



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de madera de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniera Forestal

AUTORA:

Mónica Daniela Rosales Torres

DIRECTORA:

Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez, PhD.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 27 de febrero de 2024

Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez, PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de madera de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal**, de la autoría de la estudiante **Mónica Daniela Rosales Torres**, con **cédula de identidad Nro. 1150780631**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**NOHEMI DEL CARMEN
JUMBO BENITEZ**

Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez, PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Mónica Daniela Rosales Torres**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150780631

Fecha: 12 de junio del 2024

Correo electrónico: monica.rosales@unl.edu.ec

Celular: 0986197211

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular

Yo, **Mónica Daniela Rosales Torres**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de madera de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Forestal**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de junio de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autora: Mónica Daniela Rosales Torres

Cédula: 1150780631

Dirección: Ciudadela los Ciprés –La Argelia – Loja

Correo electrónico: monica.rosales@unl.edu.ec

Celular: 0986197211

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora de Trabajo de Integración Curricular: Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez, PhD.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado principalmente a mis padres Francisco Rosales y Beatriz Torres, cuyo amor, apoyo incondicional, sacrificio y dedicación han allanado el camino de mi educación, les debo todo lo que soy. Su ejemplo de perseverancia y valores han sido mi guía inquebrantable e hicieron posible que alcanzara esta meta.

A mis hermanas Gina y Evelin quienes me han acompañado durante todo este proceso, su compañía ha llenado mi travesía académica de momentos preciosos y memorables. Gracias por ser mi faro en las horas oscuras y mi refugio en los momentos de desafío.

A mis amigos, por su comprensión y aliento en los momentos difíciles, así como a todos aquellos que, de alguna manera directa o indirecta en el transcurso de mi formación académica, contribuyeron a este logro, ya sea con sus conocimientos, tiempo o ánimo, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento.

Y por último y no menos importante, me la dedico a mí Mónica Daniela Rosales Torres, en el transcurso de esta travesía académica, he experimentado desafíos, aprendizajes y momentos de auto descubrimiento que han moldeado mi camino. Este trabajo de integración curricular representa no solo la culminación de mi esfuerzo y dedicación, sino también la manifestación tangible de mi perseverancia y crecimiento. A medida que cierro este capítulo reconozco el arduo trabajo, la pasión y la determinación que he invertido en esta investigación, que este logro sirva como recordatorio de mi capacidad para superar obstáculos y alcanzar metas, impulsándome hacia futuros desafíos con confianza y determinación.

Mónica Daniela Rosales Torres

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez directora del Trabajo de Integración Curricular quien con su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso hizo posible el cumplimiento de los objetivos propuestos logrando culminar con éxito esta investigación.

Así mismo, quiero agradecer al proyecto de arbolado urbano: 17-DI-FARNR-2021: “Dinámica de crecimiento y servicios ecosistémicos del arbolado urbano de la ciudad de Loja” y a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y en especial a la Carrera de Ingeniería Forestal, que por medio de sus docentes y autoridades me permitieron capacitarme y formarme día a día en el campo profesional.

Al término de la presente investigación quiero extender un eterno agradecimiento a todos mis familiares y amigos por su incondicional apoyo durante mi formación, así como aquellos que de una forma u otra contribuyeron al desarrollo de esta investigación.

Mónica Daniela Rosales Torres

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas:.....	xi
Índice de figuras:.....	xii
Índice de anexos:	xiii
1. Título	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Generalidades de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	6
4.1.1. Descripción botánica	6
4.1.2. Clasificación taxonómica.....	6
4.1.3. Importancia y usos	7
4.1.4. Características de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	7
4.1.5. Distribución y requerimientos ambientales de la especie	7
4.2. La madera.....	7
4.2.1. Estructura macroscópica de la madera	8
4.2.1.1. Médula	8
4.2.1.2. Duramen	8
4.2.1.3. Albura	8
4.2.1.4. Cambium vascular	8
4.2.1.5. Corteza.....	9
4.2.1.6. Anillos de crecimiento	9
4.3. Propiedades físicas de la madera.....	9
4.3.1. Contenido de humedad	9
4.3.2. Densidad	9

4.3.3.	Contracción volumétrica.....	10
4.4.	Composición química de la madera	10
4.4.1.	Celulosa (C ₆ H ₁₀ O ₅).....	10
4.4.2.	Hemicelulosa	10
4.4.3.	Lignina.....	10
4.4.4.	Compuestos extraíbles	11
4.4.5.	Ceniza	11
4.5.	El suelo	11
4.5.1.	Propiedades químicas del suelo	11
4.5.2.	Potencial hidrógeno (pH).....	11
4.5.3.	Materia orgánica	12
4.5.4.	Principales nutrientes del suelo	12
4.5.4.1.	Nitrógeno (N).....	12
4.5.4.2.	Fósforo (P)	12
4.5.4.3.	Potasio (K).....	12
5.	Metodología	13
5.1.	Área de estudio.....	13
5.2.	Determinación de la edad de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	13
5.2.1.	Montaje y preparación de las muestras en laboratorio	14
5.2.2.	Medición de anillos de crecimiento	14
5.3.	Evaluación de la influencia de las propiedades químicas del suelo en las propiedades físicas de <i>Alnus acuminata</i> Kunth, en la ciudad de Loja.....	15
5.3.1.	Análisis de las propiedades químicas del suelo.....	15
5.3.1.1.	Recolección de muestras de suelo	15
5.3.1.2.	Obtención de materia orgánica	15
5.3.2.	Determinación de las propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	16
5.3.2.1.	Material vegetal	16
5.3.2.2.	Contenido de humedad de la madera.....	16
5.3.2.3.	Densidad de la madera.....	17
5.3.2.4.	Contracción de la madera	17
5.4.	Determinación de la relación de las propiedades químicas del suelo en la composición química de <i>Alnus acuminata</i> Kunth, en la ciudad de Loja.....	17
5.4.1.	Composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	17
5.4.1.1.	Obtención de extractivos	18

5.4.1.2. Obtención de holocelulosa.....	18
5.4.1.3. Obtención de lignina.....	18
5.4.1.4. Obtención de humedad	19
5.4.1.5. Obtención de ceniza.....	19
5.5. Análisis de datos.....	19
6. Resultados.....	20
6.1. Determinación de la edad de los árboles de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	20
6.2. Influencia de las propiedades químicas del suelo en las propiedades físicas de <i>Alnus acuminata</i> Kunth en la ciudad de Loja	20
6.2.1. Propiedades químicas del suelo	20
6.2.2. Propiedades físicas de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	20
6.2.2.1. Contenido de humedad	21
6.2.2.2. Densidad básica	22
6.2.2.3. Contracción volumétrica.....	22
6.2.3. Análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades químicas del suelo y las propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	23
6.3. Relación de las propiedades químicas del suelo con la composición química de <i>Alnus acuminata</i> Kunth en la ciudad de Loja	24
6.3.1. Composición química de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	24
6.3.1.1. Extractivos	25
6.3.1.2. Holocelulosa	25
6.3.1.3. Lignina.....	26
6.3.1.4. Ceniza	27
6.3.2. Análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades químicas del suelo y la composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	27
7. Discusión.....	29
7.1. Determinación de la edad de los árboles de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	29
7.2. Propiedades químicas del suelo	29
7.3. Propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth	31
7.4. Análisis PCA de las propiedades químicas del suelo con las propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	33
7.5. Composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	34
7.6. Análisis PCA de las propiedades químicas del suelo con la composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	36

8. Conclusiones	38
9. Recomendaciones	39
10. Bibliografía	40
11. Anexos	53

Índice de tablas:

Tabla 1. Hoja de campo para la recolección de información de árboles de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	14
Tabla 2. Información de los árboles seleccionados de <i>Alnus acuminata</i> Kunth en parques y avenidas de la ciudad de Loja.....	20
Tabla 3. Valores promedio de las propiedades químicas del suelo (pH, fósforo, nitrógeno y materia orgánica) en árboles de <i>Alnus acuminata</i> Kunth en parques y avenidas de la ciudad de Loja.	20
Tabla 4. Valores promedio de las propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth, en parques y avenidas de la ciudad de Loja.	21
Tabla 5. Valores promedio de la composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth, en parques y avenidas de la ciudad de Loja.	24

Índice de figuras:

Figura 1. Individuo de <i>Alnus acuminata</i> Kunth en el parque recreacional “Jipiro” del cantón Loja.....	6
Figura 2. Estructura de un corte transversal de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	8
Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio.....	13
Figura 4. Valores promedio del contenido de humedad de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	21
Figura 5. Valores promedio de la densidad básica de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	22
Figura 6. Valores promedio de la contracción volumétrica de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	23
Figura 7. Análisis de componentes principales (PCA) donde se relacionan las propiedades químicas del suelo y las propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	24
Figura 8. Valores promedio del contenido de extractivos de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	25
Figura 9. Valores promedio del contenido de holocelulosa de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	26
Figura 10. Valores promedio del contenido de lignina de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	26
Figura 11. Valores promedio del contenido de ceniza de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	27
Figura 12. Análisis de componentes principales (PCA) donde se relacionan las propiedades químicas del suelo y la composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	28

Índice de anexos:

Anexo 1. Árboles seleccionados de <i>Alnus acuminata</i> Kunth en parques y avenidas de la ciudad de Loja.....	53
Anexo 2. Análisis químico de las muestras de suelo.....	54
Anexo 3. Determinación de las propiedades físicas de cinco individuos de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.....	54
Anexo 4. Determinación de la composición química de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	55
Anexo 5. Determinación de las propiedades químicas del suelo de cinco individuos de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	56
Anexo 6. Datos sobre las propiedades físicas de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	56
Anexo 7. Datos sobre la composición química de la madera de <i>Alnus acuminata</i> Kunth.	57
Anexo 8. Análisis estadístico.....	57
Anexo 9. Hoja de registro.....	60
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen.....	61

1. Título

Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de madera de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja

2. Resumen

Los árboles desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas urbanos gracias a los múltiples beneficios que aportan. Entre las 91 especies registradas en el arbolado urbano de la ciudad de Loja, destaca *Alnus acuminata* Kunth, que se caracteriza por ser una especie pionera de rápido crecimiento y logra capturar grandes cantidades de dióxido de carbono y óxido nítrico, siendo una opción adecuada para la reforestación. El presente estudio se centró en determinar la relación de las propiedades físicas y composición química de la madera de *Alnus acuminata* con las propiedades químicas del suelo del arbolado urbano de la ciudad de Loja. A partir de muestras recolectadas de cinco árboles se determinó: contenido de humedad, densidad básica y contracción volumétrica; y se analizó la composición química: extractivos, holocelulosa, lignina y ceniza, mediante la norma *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI). En cuanto al análisis de pH, N, P, K y MO del suelo se realizó un muestreo en zigzag de los árboles seleccionados. El análisis de datos se realizó mediante estadística descriptiva y cuantitativa para establecer diferencias entre los valores promedios obtenidos por cada árbol. Además, para establecer la relación entre las variables, se aplicó un análisis de componentes principales (PCA). Los resultados señalaron que la madera de *Alnus acuminata* tiene un contenido de humedad de 47,36 %, densidad básica 0,49 g/cm³ y contracción volumétrica 12,4 %, extractivos 3,56 %, holocelulosa 56,04 %, lignina 39,30 % y ceniza 0,83 %. El suelo donde crece es ligeramente alcalino con un pH=7,68 y posee niveles medios de N y altos de P, K y MO. Por tanto, se concluye que las propiedades químicas del suelo influyen significativamente en las propiedades físicas y en la cantidad de componentes químicos de la madera de *Alnus acuminata*.

Palabras clave: arbolado urbano, suelo, madera, química, aliso

Abstract

Trees play a fundamental role in urban ecosystems thanks to the multiple benefits they provide. Among the 91 species registered in the urban woodland of the city of Loja, *Alnus acuminata* Kunth stands out as a fast-growing pioneer species that captures large amounts of carbon dioxide and nitrous oxide, making it a suitable option for reforestation. The present study focused on determining the relationship between the physical properties and chemical composition of the wood of *Alnus acuminata* and the chemical properties of the soil of urban trees in the city of Loja. The following were determined from samples collected from five trees: moisture content, basic density and volumetric shrinkage; and the chemical composition was analyzed: extractives, holocellulose, lignin and ash, using the *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI) standard. The analysis of soil pH, N, P, K and OM was carried out by zigzag sampling of the selected trees. Data analysis was performed using descriptive and quantitative statistics to establish differences between the average values obtained for each tree. In addition, a principal component analysis (PCA) was applied to establish the relationship between the variables. The results showed that *Alnus acuminata* wood has a moisture content of 47.36 %, basic density 0.49 g/cm³ and volumetric shrinkage 12.4 %, extractives 3.56 %, holocellulose 56.04 %, lignin 39.30 % and ash 0.83 %. The soil where it grows is slightly alkaline with a pH=7.68 and has medium levels of N and high levels of P, K and MO. Therefore, it is concluded that the chemical properties of the soil significantly influence the physical properties and the amount of chemical components of the wood of *Alnus acuminata*.

Key words: urban woodland, soil, wood, chemistry, alder.

3. Introducción

Los árboles son un componente clave de los ecosistemas urbanos, principalmente por los servicios que proveen como la filtración de contaminantes del aire, reducción de ruido, infiltración de agua, incremento de fauna, belleza escénica, conservación de la biodiversidad, recreación, mejoran la salud física y psicológica de las personas y brindan la oportunidad de tener contacto con la naturaleza (Leal et al., 2018).

Sin embargo, el crecimiento poblacional en las áreas urbanas, ha desencadenado un impacto ambiental, dado que las áreas naturales han sido remplazadas por vías y construcciones, dejando en segundo plano al arbolado como parte del desarrollo sostenible (Cabrera et al., 2020). Otra amenaza que enfrenta el arbolado urbano son las limitaciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, ya que a menudo presentan restricciones para el crecimiento de los árboles (Delgado et al., 2021).

En Ecuador, el patrimonio de áreas verdes registró un índice verde urbano (IVU) de 13,01 m²/hab, rango superior al sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (9,00 m²/hab). Sin embargo, en el año 2012 el cantón Loja registró un IVU 3,38 m²/hab (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2012). Por otro lado, el arbolado urbano de la ciudad de Loja registró alrededor de 91 especies, dentro de las cuales resalta *Alnus acuminata* Kunth (Pucha et al., 2023), que se caracteriza por ser una especie pionera de rápido crecimiento que pertenece a la familia Betulaceae (Aguilar et al., 2020) y es nativa de los Andes (Pacheco y Quisbert, 2016). Además, algunas investigaciones han demostrado que esta especie logra capturar grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O), por lo tanto es considerada una opción adecuada para programas de reforestación (Silva et al., 2018).

El crecimiento de los árboles en áreas urbanas está condicionado por el ambiente donde se desarrollan, por tanto, entender la relación entre suelo - planta es importante debido a que las propiedades físicas y químicas del suelo influyen directamente sobre el crecimiento de los mismos y por supuesto en la calidad de la madera (Barroso et al., 2005). No obstante, estudios sobre los efectos en las propiedades físicas y composición química de la madera aún son escasos dado que, dependen de la especie, edad, parte del árbol y principalmente de los factores ambientales y edáficos, que son los que determinan la concentración, en mayor o menor porcentaje de los componentes químicos y propiedades físicas presentes en la madera (Bautista y Honorato, 2005).

La madera químicamente está conformada por extractivos, holocelulosa, lignina y ceniza, producidos durante el periodo de vida de cada individuo (Aguinsaca et al., 2019).

Además, estos componentes ejercen influencia en las propiedades físicas, organolépticas y mecánicas de la madera (Urrelo et al., 2016). Por tanto, es importante recalcar que el estudio de la composición química y las propiedades físicas permiten definir el uso y aprovechamiento adecuado que se le puede dar a las especies forestales y potenciarlas económica y socialmente por sus distintos usos y servicios ambientales (Rosales et al., 2016).

En este contexto, la presente investigación contribuyó al conocimiento de las propiedades físicas y composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Además, permitió obtener información sobre las condiciones en las que esta especie crece, así como los beneficios ambientales que genera para la ciudadanía lojana con la finalidad de orientar futuros programas de manejo y conservación de las áreas verdes de la ciudad.

Con los antecedentes señalados, los objetivos que orientaron la presente investigación son los siguientes:

Objetivo general

- Contribuir con información científica sobre las propiedades físicas, composición química de *Alnus acuminata* Kunth y su relación con las propiedades químicas del suelo, en la ciudad de Loja.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de las propiedades químicas del suelo en las propiedades físicas de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja.
- Determinar la relación de las propiedades químicas del suelo en la composición química de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja.

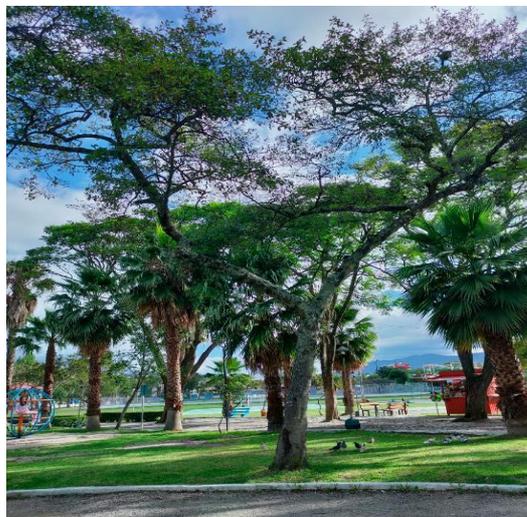
4. Marco teórico

4.1. Generalidades de *Alnus acuminata* Kunth

4.1.1. Descripción botánica

Alnus acuminata Kunth es una especie pionera que pertenece a la familia Betulaceae, alcanza una altura de 30 m y un diámetro de 20 a 70 cm (Figura 1); posee un tronco recto con corteza de color cenizo; hojas simples y alternas de forma oblonga a ovada, con borde acerrado y nervios muy rectos; flores agrupadas individualmente según el género; flores masculinas pequeñas y numerosas, agrupadas en amentos pendulares o espigas colgantes; flores femeninas se agrupan en amentos o espigas colgantes. Los frutos se agrupan en infrutescencias oblongas, con apariencia de conos, aplanados, alados muy pequeños (Sánchez et al., 2009).

Figura 1. Individuo de *Alnus acuminata* Kunth en el parque recreacional “Jipiro” del cantón Loja.



4.1.2. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fagales

Familia: Betulaceae

Género: *Alnus*

Especie: *acuminata*

Nombre científico: *Alnus acuminata* Kunth

Nombre común: Aliso, aile o aliso andino

(Sánchez et al., 2009).

4.1.3. Importancia y usos

Se utiliza principalmente para la fabricación de cucharas, artesanías e instrumentos musicales (Aguilar et al., 2020). Además, es incorporada en sistemas silvopastoriles, ya que tiene la capacidad de crecer en suelos marginados y contribuir a la conservación de la biodiversidad y al mejoramiento de este (Rey et al., 2014). Así mismo, *Alnus acuminata* es utilizada en sistemas de producción pecuaria y se encuentra ubicada principalmente en cercas vivas, linderos y árboles dispersos (Muñoz et al., 2018).

4.1.4. Características de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

La madera de aliso es de color marrón - amarilla, claro a rosada, inodora e insípida, sin diferencias entre el duramen y la albura. El peso específico varía de 0,34 a 0,39 g/cm³, de fácil secado, preservación, trabajabilidad y acabado ya sea a mano o máquina, posee grano recto y uniforme (Moya et al., 2010). Así mismo, presenta anillos de crecimiento visibles (Barrera et al., 2018).

4.1.5. Distribución y requerimientos ambientales de la especie

Alnus acuminata es originaria de zonas montañosas de América Latina, se extiende desde el noroeste mexicano hasta el norte argentino, con un rango altitudinal de 2 400 a 3 200 m s.n.m. (Bacca et al., 2023), se desarrolla en las orillas de los ríos y terrenos con alta humedad (Erazo et al., 2019) con temperatura entre 4 a 26 °C, precipitación de 1 000 a 3 000 mm (Pacheco y Quisbert, 2016). En Ecuador se encuentra de manera natural en sectores con temperaturas entre los 4 a 27 °C, precipitaciones de 1 000 a 3 000 mm (Aguirre et al., 2017) y altitudes de 1 500 y 4 000 m s.n.m. en terrenos con altas pendientes (Caranqui, 2017). Para crecer de forma óptima prefiere suelos con un pH entre 4,5 y 6,0 con alto contenido de humedad y textura liviana, bien drenados y ricos en materia orgánica (Sánchez et al., 2009).

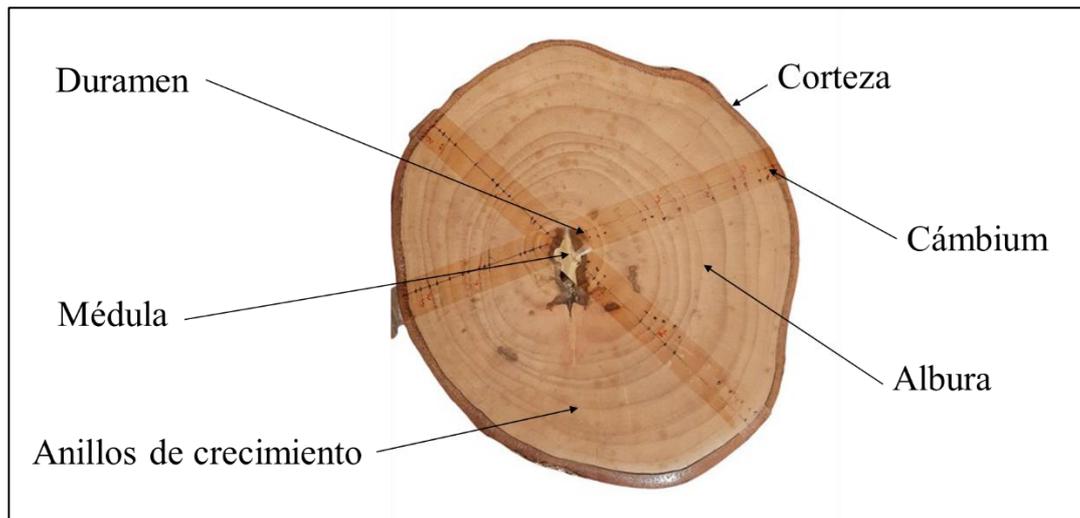
4.2. La madera

La madera es un componente natural que contiene elementos esenciales como: la celulosa, hemicelulosa y lignina. Así mismo, se encuentran en menor proporción resinas, sales minerales, gomas, ceras, sustancias colorantes, grasas y taninos. La madera también se define como una estructura tubular en la que la mayoría de sus ejes siguen la dirección del árbol y en menor medida son perpendiculares a este. Cada uno de estos ejes está compuesto por dos sustancias principales: la lignina, que es una sustancia amorfa y resistente a la compresión y la celulosa, un material de gran resistencia a la tracción (Cedeño, 2013).

4.2.1. Estructura macroscópica de la madera

La madera se divide en: médula, duramen, albura, cambium vascular y corteza (Figura 2).

Figura 2. Estructura de un corte transversal de la madera de *Alnus acuminata* Kunth.



4.2.1.1. Médula

La médula se encuentra en el centro del tronco y está compuesta por tejido blando sensible a los ataques biológicos (Arriagada et al., 2020).

4.2.1.2. Duramen

Es la parte del tronco que se encuentra situado entre la médula y la albura, corresponde a la parte de la madera biológicamente inactiva con funciones de sostén, posee una estructura más compacta y de coloración más oscura que la albura (Cobas y Monteoliva, 2018).

4.2.1.3. Albura

Porción de madera que rodea al duramen, tiene un color claro y corresponde a la madera de crecimiento más reciente del árbol. La función principal es transportar el agua y los minerales absorbidos por las raíces hasta las hojas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis con la ayuda del CO₂, la clorofila y la luz solar (Arriagada et al., 2020).

4.2.1.4. Cambium vascular

Es el estrato de células responsable de la producción de nuevas células, se encuentra en posición intermedia entre la corteza y la madera interior del tronco. El cambium es el responsable de la formación de células de xilema secundario hacia el interior, las cuales se especializarán para producir células que componen la madera, y hacia el exterior produce

células de floema secundario, que se transformarán en corteza. Las células del cambium no solo se dividen y crecen hacia el interior y el exterior sino también en sentido lateral para acoplarse al aumento del diámetro del tronco (Diodato y De Gregorio, 2015).

4.2.1.5. Corteza

Capa externa del árbol que se divide en corteza externa e interna. La corteza externa, es agrietada y está formada por tejido muerto y cumple la función de proteger al árbol. Por otro lado la corteza interna es el tejido vivo que se encarga de distribuir la savia elaborada (Arriagada et al., 2020).

4.2.1.6. Anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento están formados por células que se inician en el cambium vascular (Giraldo, 2011), proporcionan información valiosa que ha permitido cuantificar cómo el crecimiento de las especies responde a las variables climáticas especialmente la precipitación. Así mismo, “un anillo de crecimiento está formado por madera temprana y madera tardía, donde la última por lo general es color más oscuro y tiene células más pequeñas, lo que permite observarse como una línea a través de todo un corte transversal de la madera” (Pucha, comunicación personal, 5 de mayo de 2024). Además, los anillos de crecimiento han ayudado a determinar la relación entre el crecimiento de los árboles con los patrones atmosféricos a gran escala. Por otro lado los anillos de crecimiento son utilizados para reconstruir y comprender aspectos fundamentales de la historia de vida de las especies arbóreas, como la edad y las tasas de crecimiento (Mendivelso et al., 2016).

4.3. Propiedades físicas de la madera

4.3.1. Contenido de humedad

Se define como la relación entre la cantidad de agua contenida en una muestra de madera y la cantidad de la misma muestra en estado seco y se expresa en porcentaje (CH %). La determinación del contenido de humedad es indispensable para el control del proceso de secado y para optimizar la utilización de los productos de madera (Bown y Lasserre, 2015).

4.3.2. Densidad

Es la relación entre el peso mínimo de la madera, es decir en estado seco y el volumen en verde (Cobas y Monteoliva, 2018) y es empleada como indicador de calidad. Así mismo, la densidad de la madera influye en la conductividad hidráulica y en las estrategias ecológicas

que utilizan las plantas leñosas para regular la cantidad de carbono que invierten por unidad de volumen del tronco (Muñoz et al., 2019).

4.3.3. Contracción volumétrica

La contracción de la madera ocurre principalmente cuando esta pierde humedad y alcanza un nivel por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), lo cual es un aspecto relevante para usos estructurales y decorativos de la madera. Se ha establecido que el valor promedio del punto de saturación de la fibra es 30 % para todas las especies maderables (González et al., 2020).

4.4. Composición química de la madera

La composición química de la madera expresa el contenido de extractivos, holocelulosa, lignina y ceniza (Aguinsaca et al., 2019) y varía en función de la parte del árbol, localización geográfica y de la calidad del sitio, así como de la distribución heterogénea del tejido leñoso (Bautista y Honorato, 2005).

Existen dos componentes químicos importantes en la madera: holocelulosa (65 – 75 %), lignina (18 – 35 %) y en pequeñas cantidades (4 – 10 %) se encuentran extractivos y cenizas. Globalmente, la madera se compone de 50 % carbono, 6 % hidrógeno, 44 % oxígeno (Gómez et al., 2012).

4.4.1. Celulosa ($C_6H_{10}O_5$)

Es la molécula biológica más abundante, que constituye el mayor porcentaje de los biopolímeros en la tierra, la fuente principal es de origen vegetal, por lo que forma parte de la pared celular en plantas (Jaramillo et al., 2014).

4.4.2. Hemicelulosa

Es un polímero heterogéneo corto ramificado compuesto por pentosas, hexosas y diferentes tipos de ácidos urónicos (Rosales et al., 2016). Forma parte de las paredes de las células vegetales y cubre la superficie de las fibras de celulosa y facilita la unión de la pectina (Cruz, 2011).

4.4.3. Lignina

Es una de las principales estructuras de la pared celular de las plantas (Maceda et al., 2021), está compuesta por diversos monómeros y polímeros que proveen rigidez estructural, así como resistencia a la tensión y presión hídrica además, confiere soporte a células especializadas en sostén y almacenamiento (Renault et al., 2019).

4.4.4. Compuestos extraíbles

Son un grupo de compuestos químicos de la madera que están constituidos por ácidos grasos, alcoholes grasos, ácidos resínicos, terpenos, fenoles, taninos, esteroides, alcaloides, compuestos nitrogenados, azúcares, grasas y ceras (Rosales et al., 2016), se pueden extraer con solventes polares y no polares. Estos compuestos se encuentran en los lúmenes de las células o en las cavidades intercelulares. Forman parte del 4 a 10 % del peso anhidro de la madera de las especies que crecen en climas templados y el 20 % en la madera de especies tropicales (Ávila y Herrera, 2012).

4.4.5. Ceniza

Son pequeñas cantidades de elementos minerales, como calcio, potasio y magnesio, el volumen de la ceniza raramente es más bajo que 0,2 % o más alto que el 1 % del porcentaje en peso de madera y varía entre las especies (Arias et al., 2021).

4.5. El suelo

Se define como un recurso natural limitado y no renovable que proporciona varios servicios ecológicos o ambientales como, la participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos esenciales para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo. Además es entorno natural para la generación de alimentos y recursos, los cuales son indispensables para la población mundial (Burbano, 2016) y se considera como el reservorio de carbono más grande en la naturaleza después de los océanos (Huamán et al., 2021).

4.5.1. Propiedades químicas del suelo

Son indicadores de la calidad del suelo y pueden modificarse debido a las actividades antropogénicas (Yáñez et al., 2018), están relacionadas directamente con la calidad, disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. Algunas de estas propiedades son: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y N, P, K (Calderón et al., 2018).

4.5.2. Potencial hidrógeno (pH)

El pH se refiere a la acidez del suelo, y está directamente relacionado con la fertilidad del mismo. Además, indica si existen niveles altos de aluminio y manganeso o si es bajo el nivel de elementos esenciales como el calcio y el magnesio. Los valores de pH influyen en la disponibilidad de nutrientes indispensables para el crecimiento de las plantas, además permiten diagnosticar problemas nutricionales y asegurar un adecuado desarrollo de las plantas (Rivera et al., 2018).

4.5.3. Materia orgánica

Está constituida por restos de animales y plantas en descomposición. Es un indicador de calidad de los suelos y está relacionada directamente con las propiedades físicas, químicas y biológicas (Díaz et al., 2020). La materia orgánica influye en los ciclos de nutrientes del suelo y en el uso sostenible del mismo (Izquierdo y Arévalo, 2021).

4.5.4. Principales nutrientes del suelo

4.5.4.1. Nitrógeno (N)

Es un nutriente indispensable para los seres vivos, debido forma parte de los compuestos esenciales como: aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como de las estructuras celulares y clorofila en los vegetales (Ticona, 2018).

4.5.4.2. Fósforo (P)

Es un elemento vital para las plantas, debido a que desempeña un papel fundamental en varias funciones esenciales como la generación de adenosín trifosfato (ATP), formación de biomembranas y reacciones de señalización. Cuando las plantas carecen de fósforo desarrollan estrategias fisiomorfológicas que se reflejan en síntomas característicos como crecimiento deficiente, elongación de raíz, maduración prematura y disminución de la productividad (Lira et al., 2019).

4.5.4.3. Potasio (K)

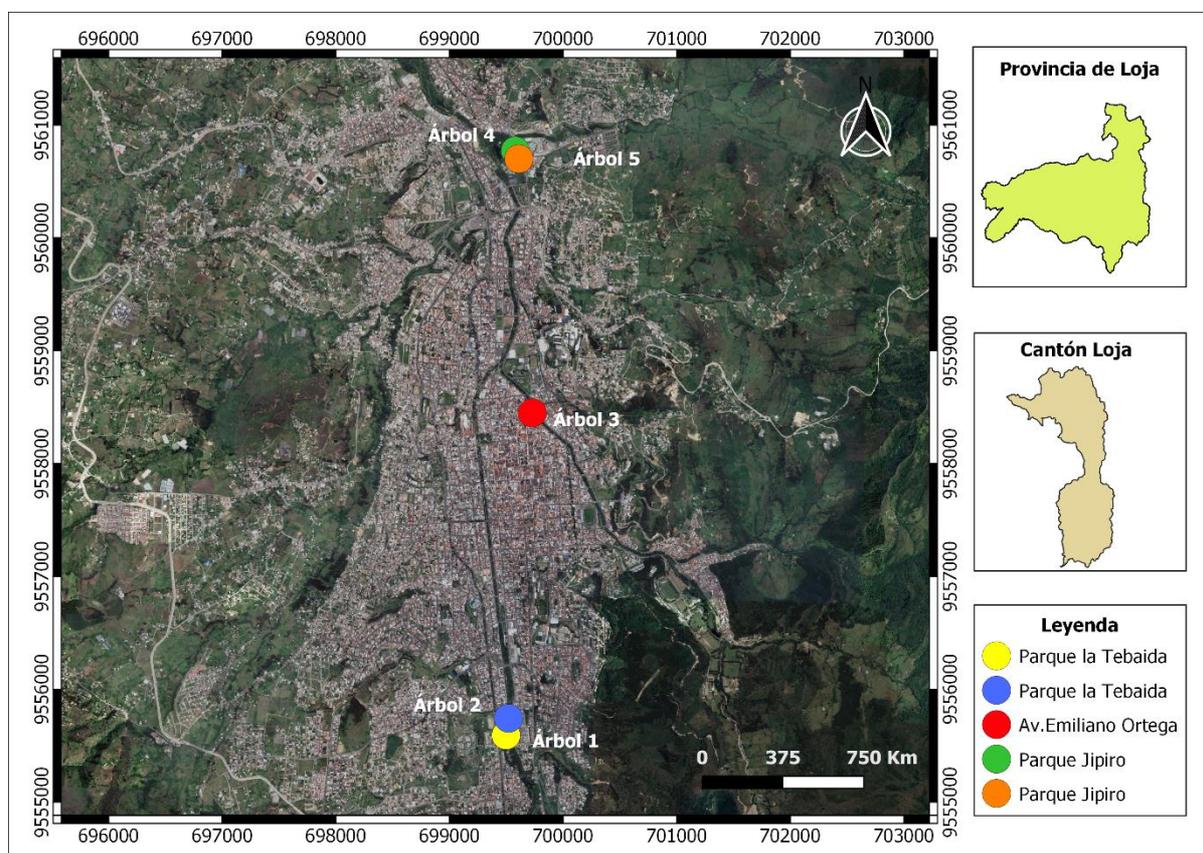
Es un elemento que se destaca por tener la capacidad de moverse y disolverse en el interior de los tejidos, generando un efecto significativo en la permeabilidad de las membranas celulares y en la hidratación de los tejidos. Así mismo, desempeña un papel fundamental en el equilibrio hídrico de la planta, controlando la absorción y la pérdida de agua a través de la transpiración (Chabbal et al., 2017).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en árboles de *Alnus acuminata* Kunth localizados en los principales parques y avenidas de la ciudad de Loja. Se identificó y seleccionó cinco árboles en base a las características fenotípicas y estado fitosanitario. Los sectores específicos que se evaluaron corresponden al Parque La Tebaida, Avenida Emiliano Ortega y el Parque Jipiro (Anexo 1). La ciudad de Loja se encuentra situada en la Zona 17 Sur a 2 100 m s.n.m. en las siguientes coordenadas geográficas: Latitud N: 9 501 249 m y Longitud E: 661 421 m (Figura 3). El clima es templado ecuatorial, subhúmedo, caracterizado por una temperatura media de 16 °C y precipitación anual de 900 mm (Reales et al., 2010).

Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio.



5.2. Determinación de la edad de *Alnus acuminata* Kunth

En los árboles seleccionados de *Alnus acuminata* se realizó la toma de variables dasométricas: diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht) y se colectaron núcleos

de madera a 1,30 m del suelo (DAP) con el barreno de Pressler en cada árbol respectivamente, esto con la finalidad de determinar de la edad.

Los núcleos de madera colectados fueron montados en soportes, sujetos con cinta adhesiva e identificados por árbol, sector y dirección en la que fueron tomados para el posterior traslado al laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Nacional de Loja. Los datos colectados en campo de cada árbol muestreado fueron sistematizados en una hoja de registro (Tabla 1).

Tabla 1. Hoja de campo para la recolección de información de árboles de *Alnus acuminata* Kunth.

1. Árbol No:	10. Fructificación/floración:
2. Código árbol:	11. Vitalidad del árbol:
3. Especie:	12. Fuste (inclinación °):
4. Sitio:	13. CAP (cm):
5. Coordenadas X (long):	14. HT (m) HC (m):
6. Coordenadas Y (lat.):	15. Luz / cobertura del dosel (%):
7. Altitud (m s.n.m.):	16. Comentario árbol:
8. Pendiente (%) / dirección:	17. Copa (dom, inter, supr):
9. Follaje (%):	18. Colector:
Fecha – Hora	Dirección muestra
Código muestra	Comentario muestra

5.2.1. Montaje y preparación de las muestras en laboratorio

En el laboratorio se retiró la cinta adhesiva de las muestras, sin cambiar la dirección original en la que fue tomada y montada en el soporte; a continuación, se colocó pegamento en el canal del soporte y se procedió a montar nuevamente la muestra en la posición inicial, observando que la dirección de las fibras forme un plano transversal con el soporte, con ello se aseguró que sean validadas para la medición posterior.

Una vez montadas las muestras se las dejó secar por un mínimo de 24 horas y luego se procedió a lijarlas para poder identificar y medir los anillos de crecimiento. Para ello se utilizó un protocolo de lijado a partir de la lija N°240, con el objetivo de rebajar las muestras en un 50 a 60 %, el lijado continuó con las lijas N°360, 500, 600, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 (máquina y manual) y finalmente se pulió las muestras con una lija número 4 000. Cada lija se aplicó un mínimo de 20 veces sobre cada muestra, con ello se obtuvo como resultado final un acabado óptimo de las muestras.

5.2.2. Medición de anillos de crecimiento

La identificación de anillos de crecimiento se realizó en el estereoscopio y la medición en el equipo LintabTM6 por medio del software TsapWin para el posterior análisis.

5.3. Evaluación de la influencia de las propiedades químicas del suelo en las propiedades físicas de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja

5.3.1. Análisis de las propiedades químicas del suelo

5.3.1.1. Recolección de muestras de suelo

En los árboles seleccionados de *Alnus acuminata* se colectaron muestras de suelo, en tres puntos, a una distancia de 2 m con referencia a la base del árbol, para ello se utilizó el muestreo sistemático en zigzag. Posteriormente para la recolección de las muestras se descartó el horizonte superficial (0 – 20 cm) y se colectó la capa posterior, con un barreno holandés. En total se recolectaron tres muestras en cada uno de los árboles seleccionados y se combinaron, dando una muestra total de 1 kg por cada árbol; la cual se identificó con el número de árbol y sector para el posterior análisis.

Las muestras recolectadas fueron enviadas al Laboratorio de análisis de Suelos Plantas y Agua, (LASPA) Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para el análisis químico: pH, fósforo, nitrógeno y potasio. (Anexo 2).

5.3.1.2. Obtención de materia orgánica

El análisis de materia orgánica se lo realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables (FARNR) de la Universidad Nacional de Loja en base al método propuesto por Walkley y Black (1934).

En las muestras de suelo colectadas para la determinación de la materia orgánica se procedió a tamizar la muestra sobre un papel encerado (tamiz 0,25 mm), posteriormente en un matraz se pesó 0,1 g de suelo cuando existe mucha materia orgánica y 0,2 g cuando existe poca; seguidamente se preparó un blanco. Después se procedió a añadir a cada muestra 5 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado al 97 % y se agitó la muestra aproximadamente un minuto a fin de homogenizar y evitar que se adhiriera a las paredes del matraz y se dejó reposar por 30 min. Luego de este tiempo se procedió a añadir 100 ml de agua destilada, 5 ml de ácido fosfórico al 85 % y 10 gotas de difenlamina.

A continuación, se procedió a titular el exceso de dicromato de potasio por medio de la solución de la sal de Morh de concentración de 0,5 N, para el blanco y las muestras, para ello se observó que el viraje pasara de color azul a verde y se procedió a anotar el volumen consumido.

Finalmente se calculó el porcentaje de materia orgánica con la siguiente fórmula:

$$C(\%) = \frac{(V_0 - V) * N * 0,39}{PM}$$

$$MO(\%) = \frac{(V_0 - V) * N * 0,39 * 1,72 * 1.1}{PM}$$

Donde:

$C(\%)$ = Porcentaje de carbono

$MO(\%)$ = Porcentaje de materia orgánica

V_0 = Volumen gastado en la titulación en blanco

V = Volumen gastado en la titulación de la muestra

N = Normalidad exacta del sulfato de hierro

$0,39$ = Peso químico equivalente al carbón

$1,72$ = Constante de conversión de C a MO sobre la hipótesis de que la materia orgánica contiene 58 % de C en la generalidad de suelos encontrados en Ecuador

1.1 = Error de conversión de C a MO (10 %)

PM = Peso de la muestra de suelo

F = Factor de corrección de la sal Morh

$0,39 = 3 * 100 * 1,3 / 100$ (3 = peso equivalente del carbono)

Nota: El factor 1,3 es un factor de compensación por la combustión incompleta de la materia orgánica en este procedimiento.

5.3.2. Determinación de las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

5.3.2.1. Material vegetal

Para la determinación de las propiedades físicas de la madera en los cinco árboles seleccionados se recolectó secciones de ramas de un 1 m de longitud y un diámetro de 5 a 10 cm aproximadamente, cada muestra fue identificada según el número de árbol y sector.

Tomando en consideración las secciones obtenidas en campo, se realizó la obtención de siete probetas cilíndricas de 10 cm de largo y 3,18 cm de radio de cada uno de los árboles seleccionados, para el análisis posterior.

5.3.2.2. Contenido de humedad de la madera

De acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana establecida en el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2012), se calculó el contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{P_v - P_{sh}}{P_{sh}} * 100$$

Donde:

CH %: Contenido de humedad en porcentaje

Pv: Peso en verde (g)

Psh: Peso seco o anhidro (g)

Para determinar el peso seco, las muestras verdes fueron llevadas a la estufa a una temperatura de 100 °C, por alrededor de 10 días (peso estabilizado) para ello se controló el peso diariamente (mañana - tarde).

5.3.2.3. Densidad de la madera

Para determinar la densidad de la madera de *Alnus acuminata*, las probetas fueron pesadas y medidas en alto, largo y ancho. Además, en base a la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2013), se determinó la densidad aparente de la madera mediante la relación de masa – volumen, en base en la siguiente formula:

$$D = \frac{M}{V}$$

Donde:

D = densidad aparente

M = masa (g)

V = volumen (cm³)

Con el valor de la densidad aparente se obtuvo la densidad básica:

$$D. \text{ básica (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{peso anhidro}}{\text{volumen en verde}}$$

5.3.2.4. Contracción de la madera

En lo que respecta a la contracción de la madera, se utilizó los datos obtenidos del volumen en verde y seco y se empleó la siguiente fórmula:

$$C.V (\%) = \frac{\text{volumen en verde} - \text{volumen en seco}}{\text{volumen en verde}} * 100$$

5.4. Determinación de la relación de las propiedades químicas del suelo en la composición química de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja

5.4.1. Composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

Para determinar la composición química de la madera de *Alnus acuminata*, se tomó en cuenta la norma *Technical Association of the Pulp and Paper Industry* (TAPPI) (1998), para ello, las probetas fueron previamente secadas. Posteriormente se obtuvo el polvo de la madera

con una lijadora de banda con lija N°80, de cada muestra procesada se extrajo tres submuestras para el análisis químico de extractivos, holocelulosa, lignina, humedad y ceniza.

5.4.1.1. Obtención de extractivos

En cuanto a la obtención de extractivos, se pesó 4 g de muestra (polvo) en papel filtro y se colocó en un dedal de celulosa, para luego ser introducido en el extractor de Soxhlet. Seguidamente, se conectó con el refrigerante a reflujo y con el balón, el cual fue pesado y llenado previamente con 160 ml de éter de petróleo. Después se conectó a la plancha eléctrica y se controló la ebullición del solvente, tomando en cuenta que la extracción termina cuando el solvente esta incoloro en el extractor, luego se agregó etanol para continuar con el proceso de extracción. Por último, para calcular el porcentaje de extractivos se aplicó la siguiente fórmula:

$$E(\%) = \frac{(masa\ seca\ del\ balón\ con\ extracto) - (masa\ seca\ del\ balón\ vacío)}{masa\ seca\ de\ la\ muestra} * 100$$

5.4.1.2. Obtención de holocelulosa

Para la obtención de la holocelulosa se pesó 1 g de la muestra de madera en polvo libre de extractivos en el matraz de 250 ml, se añadió 150 ml de clorito de sodio ($NaClO_2$) al 1,5 % y 10 gotas de ácido acético ($C_2H_4O_2$) concentrado. Después fue tapado y llevado a baño María a 70 °C por 40 min. Pasado este tiempo se añadió 5 gotas de ácido acético concentrado y 1 g de clorito de sodio y se agitó para dejar por 40 min adicionales. Posteriormente se dejó enfriar y se filtró en un papel filtro previamente pesado. A continuación, se lavó el residuo almacenado con agua destilada fría y se llevó la holocelulosa obtenida a la estufa a 80 °C y se pesó. Finalmente, para determinar el porcentaje de holocelulosa se utilizó la siguiente fórmula:

$$H(\%) = \frac{(masa\ seca\ del\ papel\ filtro + residuo) - (masa\ seco\ del\ papel\ filtro\ vacío)}{masa\ seca\ de\ la\ muestra} * 100$$

5.4.1.3. Obtención de lignina

En cuanto a la obtención de lignina se pesó 0,1 g de muestra libre de extractivos, posteriormente se adicionó 1,5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al 72 % para dejar reposar por 15 min. Después se agregó 60 ml de agua destilada y se procedió a hervir a reflujo por 30 min y luego enfriar. Seguidamente se filtró en un papel filtro previamente pesado; los residuos obtenidos fueron lavados con agua caliente y secados en una estufa a 100 °C. Para finalizar se pesó el papel filtro con el residuo obtenido y el cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$L(\%) = \frac{(masa\ seca\ del\ papel\ filtro + residuo) - (masa\ seca\ del\ papel\ filtro\ vacio)}{masa\ seca\ de\ la\ muestra} * 100$$

5.4.1.4. Obtención de humedad

Para la obtención de humedad se pesó 5 g de muestra (W) de cada árbol seleccionado, posteriormente se colocó en capsulas de cerámica, las cuales fueron previamente pesadas en vacío (W1) y seguidamente con la muestra fueron colocadas en la estufa a 105 °C durante dos horas y se registró el peso. Finalmente, se calculó el porcentaje de humedad contenido en la muestra, con la siguiente fórmula:

$$H(\%) = \frac{(W3 - W2)}{W} * 100$$

Donde:

H=% de humedad

W3= W1+W

W= peso de la muestra

W1= cápsula vacía

W2= peso de la cápsula + muestra seca

W3= peso de la cápsula vacía + muestra seca

5.4.1.5. Obtención de ceniza

Para la obtención del contenido de ceniza se procedió a pesar 5 g de la muestra de madera en un crisol tarado, luego se colocó en una mufla a 575 – 600 °C, durante 5 horas aproximadamente, pasado ese tiempo se dejó enfriar en desecador durante 15 min y se pesó. Finalmente, para el cálculo del porcentaje de ceniza se aplicó la siguiente fórmula:

$$C(\%) = \frac{(masa\ de\ ceniza\ obtenida) - (masa\ del\ crisol\ vacio)}{masa\ seca\ de\ la\ muestra} * 100$$

5.5. Análisis de datos

Los datos obtenidos de la composición química, propiedades físicas de la madera y de las propiedades químicas del suelo, fueron organizados en tablas con el fin de realizar estadística descriptiva. Además, se utilizó un ANOVA con la prueba paramétrica de Tukey para los datos que cumplen normalidad, mientras que para los que no cumplen el supuesto de normalidad se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis. El nivel de significancia mínimo utilizado para este análisis fue del 0,05 %. Para conocer la relación entre todas las variables se aplicó un análisis de los componentes principales (PCA). Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el software RStudio 4.2.2 (2022) y Excel.

6. Resultados

6.1. Determinación de la edad de los árboles de *Alnus acuminata* Kunth

Los cinco árboles de *Alnus acuminata* seleccionados en los parques y avenidas de la ciudad de Loja presentaron una edad aproximada entre 10 y 31 años, un DAP promedio de 26,35 cm y una altura total promedio de 8 m (Tabla 2).

Tabla 2. Información de los árboles seleccionados de *Alnus acuminata* Kunth en parques y avenidas de la ciudad de Loja.

N° Árbol	Edad (años)	DAP* (cm)	Altura (m)	Coordenadas*		Altitud (m s.n.m)
				Latitud	Longitud	
1	22	29,28	7,0	9 555 591	699 498	2 117,9
2	15	22,28	6,5	9 555 742	699 520	2 114,3
3	10	17,51	6,5	9 558 448	699 730	2 080,1
4	19	31,99	11,0	9 560 772	699 579	2 051,2
5	31	30,72	9,0	9 560 702	699 611	2 053,3

*Diámetro a la altura del pecho (DAP), *Coordenadas WGS84 UTM 17 Sur.

6.2. Influencia de las propiedades químicas del suelo en las propiedades físicas de *Alnus acuminata* Kunth en la ciudad de Loja

6.2.1. Propiedades químicas del suelo

En el análisis de las propiedades químicas del suelo (Tabla 3), se obtuvo que *Alnus acuminata* crece en un suelo ligeramente alcalino pH=7,68. Además, se observa que contiene una concentración media de nitrógeno (46,70 ppm) y alta de fósforo (74,01 ppm) y potasio (0,96 meq/100) respectivamente, junto con un elevado contenido de materia orgánica (5,05 %).

Tabla 3. Valores promedio de las propiedades químicas del suelo (pH, fósforo, nitrógeno y materia orgánica) en árboles de *Alnus acuminata* Kunth en parques y avenidas de la ciudad de Loja.

Muestra suelo	pH		Nitrógeno ppm		Fósforo ppm		Potasio (meq/100g)		MO (%)	
1	7,67	Lige. Alcalino	37,39	Medio	53,3	Alto	1,47	Alto	2,95	Bajo
2	7,87	Lige. Alcalino	22,29	Bajo	61,68	Alto	0,92	Alto	3,24	Medio
3	7,70	Lige. Alcalino	56,09	Medio	50,78	Alto	0,39	Alto	8,13	Alto
4	7,39	Practic. Neutro	68,58	Alto	167,22	Alto	0,81	Alto	3,23	Medio
5	7,79	Lige. Alcalino	49,17	Medio	37,09	Alto	1,22	Alto	7,74	Alto
\bar{x}	7,68	Lige. Alcalino	46,70	Medio	74,01	Alto	0,96	Alto	5,05	Alto

6.2.2. Propiedades físicas de *Alnus acuminata* Kunth

Los resultados obtenidos en el análisis de las propiedades físicas de la madera fueron los siguientes: 47,36 %, para el contenido de humedad, 0,49 g/cm³ de densidad básica y 12,4 % para la contracción volumétrica (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio de las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth, en parques y avenidas de la ciudad de Loja.

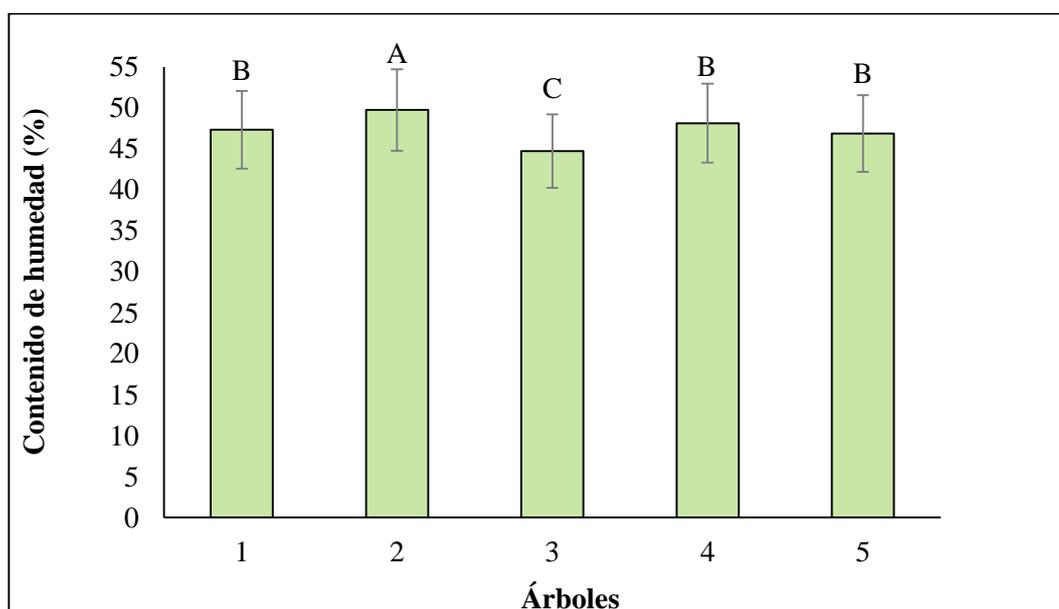
Nº Árbol	Contenido de humedad (%)	Densidad básica (g/cm ³)	Contracción volumétrica (%)
1	47,33	0,48	12,04
2	49,75	0,47	12,41
3	44,72	0,52	12,31
4	48,13	0,52	11,48
5	46,86	0,49	14,13
\bar{x} *	47,36	0,49	12,48
Med*	47,19	0,50	12,34
Min*	44,00	0,41	10,20
Max*	50,96	0,62	15,72
Ds*	1,90	0,05	1,34
Sd*	0,32	0,01	0,23
cv (%)*	4,01	9,19	10,73

*Valores promedio (\bar{x}), *mediana (med), *mínimo (min), *máximo (max), *desviación estándar (Ds), *error estándar (Sd.) y *coeficiente de variación (cv).

6.2.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad en la madera varía desde un 44,72 % (árbol tres) a 49,75 % (árbol dos). Además, se observó que existe diferencia significativa ($p=0,0001$) en el contenido de humedad de los árboles analizados, siendo el árbol dos y tres los que presentan el mayor y menor contenido de humedad respectivamente y, por ende, difieren significativamente de los demás. Sin embargo, los árboles uno, cuatro y cinco no muestran diferencias significativas en el contenido de humedad, dado que sus valores promedios son similares (Figura 4).

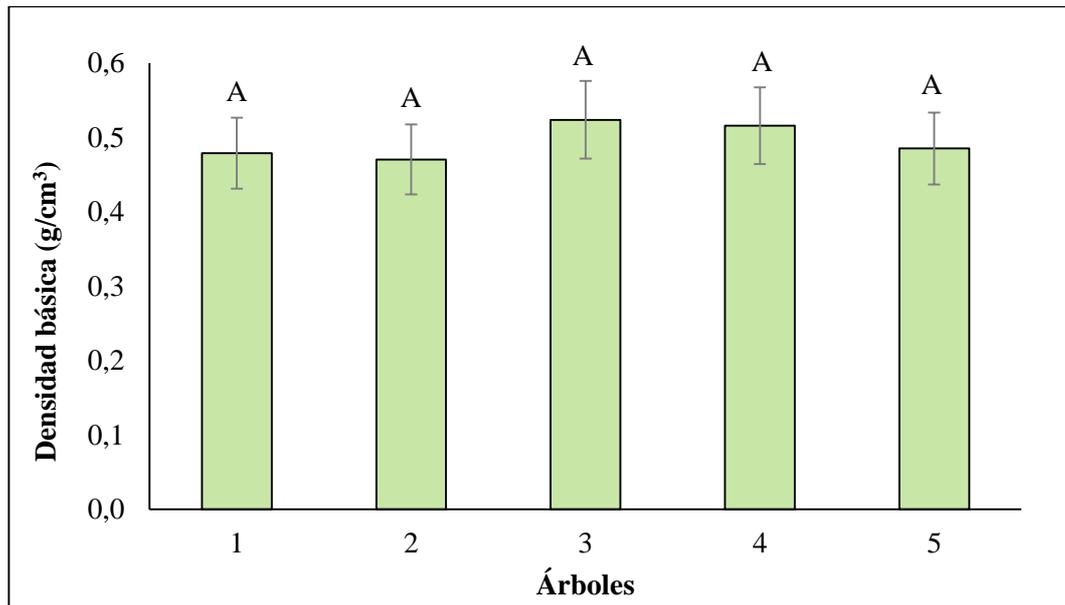
Figura 4. Valores promedio del contenido de humedad de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.2.2.2. Densidad básica

En cuanto a la densidad básica se obtuvo valores desde $0,47 \text{ g/cm}^3$ (árbol dos) hasta $0,52 \text{ g/cm}^3$ (árbol tres y cuatro) y se determinó que no existen diferencias significativas ($p=0,1016$) entre los arboles estudiados, es decir, los valores promedio de densidad presentan similitud (Figura 5).

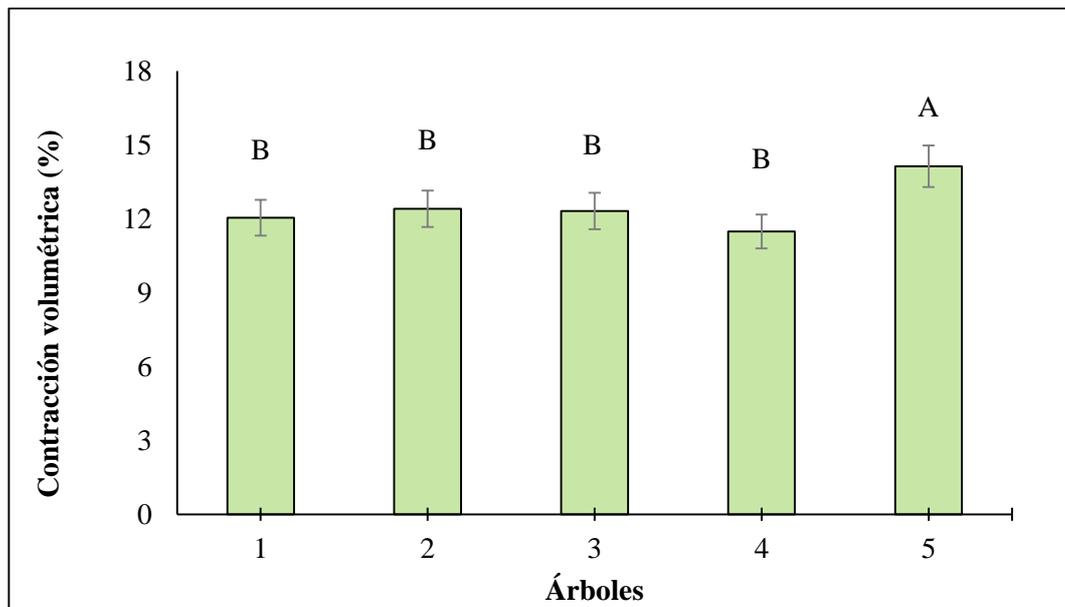
Figura 5. Valores promedio de la densidad básica de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.2.2.3. Contracción volumétrica

En cuanto a la contracción volumétrica se obtuvo valores que oscilan entre 11,48% (árbol cuatro) a 14,13 % (árbol cinco). Así mismo, se encontró diferencias significativas ($p=0,0009$) en el porcentaje de contracción volumétrica, siendo el árbol cinco el que mostró mayor porcentaje de contracción volumétrica y difiere significativamente de los demás. Por otro lado, los árboles uno, dos, tres y cuatro no presentaron diferencia estadística significativa entre sí, es decir, los valores promedios obtenidos son semejantes (Figura 6).

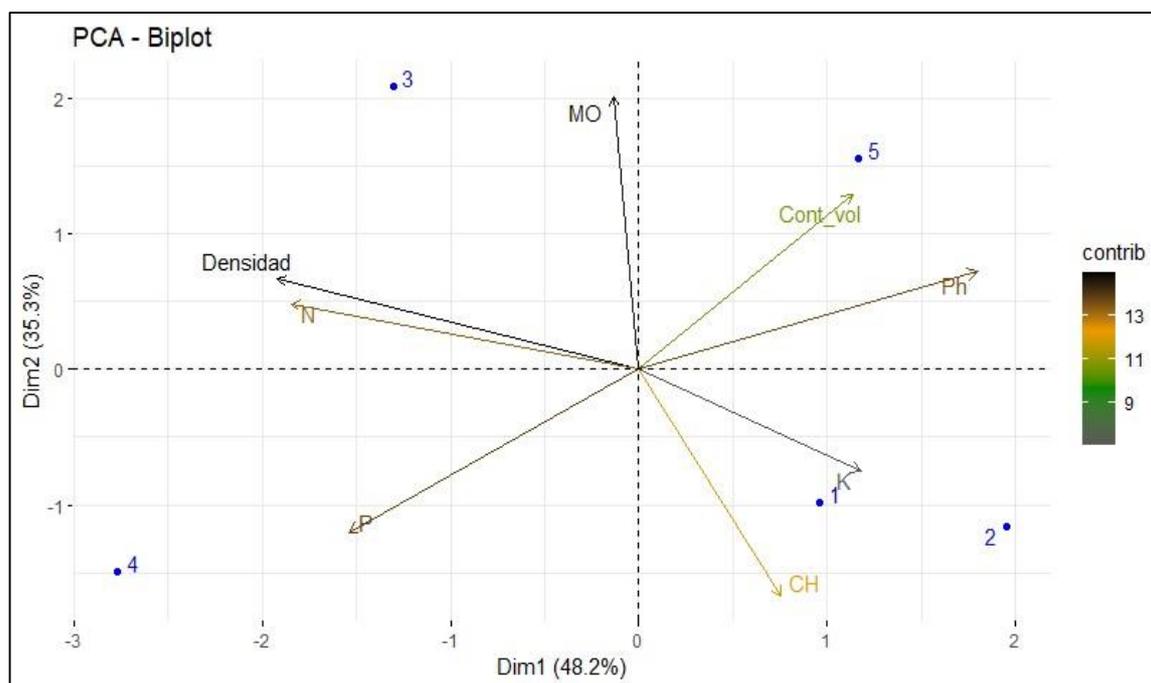
Figura 6. Valores promedio de la contracción volumétrica de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.2.3. Análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades químicas del suelo y las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

En el análisis de componentes principales (PCA) se observó que la relación entre las propiedades químicas del suelo y las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* en conjunto suman una variabilidad del 83,5 %. El componente 1 (48,2 %) mostró una correlación positiva entre la densidad de la madera con el nitrógeno y negativa con el potasio. Por otro lado, la contracción volumétrica se asoció directamente con el pH e inversamente con el fósforo. Finalmente, el contenido de humedad se vinculó positivamente con el potasio y negativamente con la materia orgánica (Figura 7).

Figura 7. Análisis de componentes principales (PCA) donde se relacionan las propiedades químicas del suelo y las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth.



6.3. Relación de las propiedades químicas del suelo con la composición química de *Alnus acuminata* Kunth en la ciudad de Loja

6.3.1. Composición química de *Alnus acuminata* Kunth

En cuanto a, la composición química de la madera se evaluó el contenido de extractivos, holocelulosa, lignina y ceniza. En términos promedio esta especie contiene 3,56 % de extractivos, 56,04 %, holocelulosa, 39,30 % lignina y 0,83 % de ceniza (Tabla 5).

Tabla 5. Valores promedio de la composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth, en parques y avenidas de la ciudad de Loja.

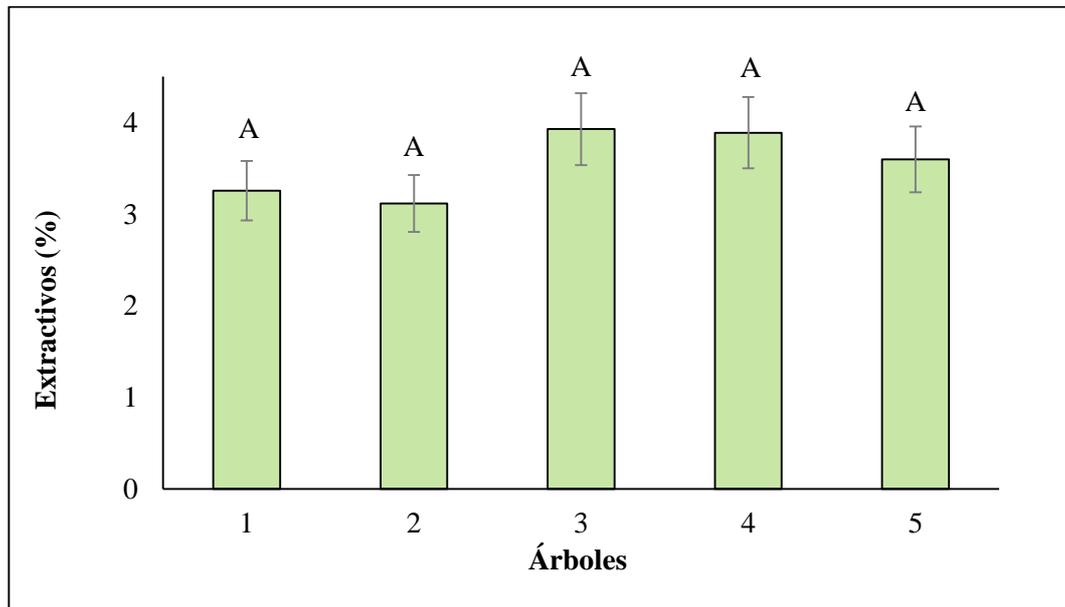
Árbol	Extractivos (%)	Holocelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
1	3,26	57,19	38,67	0,89
2	3,12	53,97	42,00	0,87
3	3,93	54,85	38,40	0,65
4	3,89	56,22	38,53	0,90
5	3,60	57,98	38,90	0,82
\bar{x}	3,56	56,04	39,30	0,83
Med	3,64	56,20	38,80	0,84
Min	2,79	53,21	29,10	0,65
Max	4,38	58,46	50,80	0,97
Ds	0,46	1,72	5,51	0,10
Sd	0,12	0,44	1,42	0,03
cv (%)	12,80	3,07	14,02	12,17

Valores promedio (\bar{x}), mediana (med), mínimo (min), máximo (max), desviación estándar (Ds), error estándar (Sd.) y coeficiente de variación (cv).

6.3.1.1. Extractivos

El contenido de extractivos en la madera se encuentra en un rango de 3,12 % (árbol dos) a 3,93 % (árbol tres). Además, el análisis estadístico indicó que no existen diferencias significativas ($p = 0,0683$) por ende, la variabilidad existente entre los valores del porcentaje de extractivos de los arboles evaluados es mínima (Figura 8).

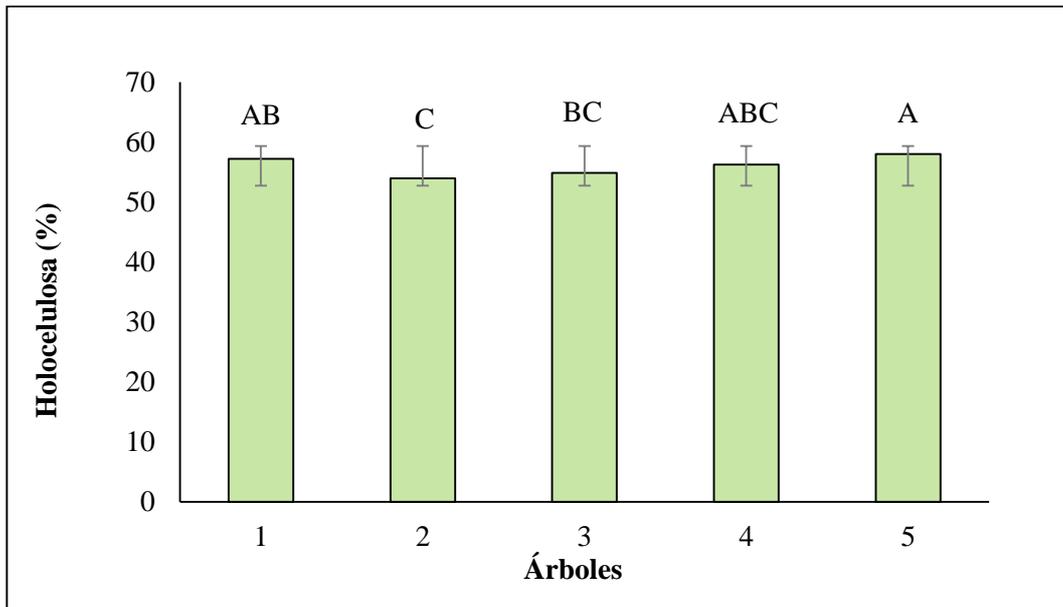
Figura 8. Valores promedio del contenido de extractivos de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.3.1.2. Holocelulosa

En el porcentaje de holocelulosa se observó una variabilidad que abarca desde 53,91 % (árbol dos) a 57,98 % (árbol cinco). El análisis estadístico determinó que existen diferencias estadísticamente significativas ($p=0,0023$) entre los valores promedio de los arboles estudiados, siendo los árboles cinco y dos los que presentan el mayor y menor porcentaje de holocelulosa respectivamente, por tanto, difieren significativamente entre sí. Sin embargo, los árboles uno, tres y cuatro no presentaron diferencia significativa entre los valores obtenidos dado que, la dispersión entre los datos es mínima (Figura 9).

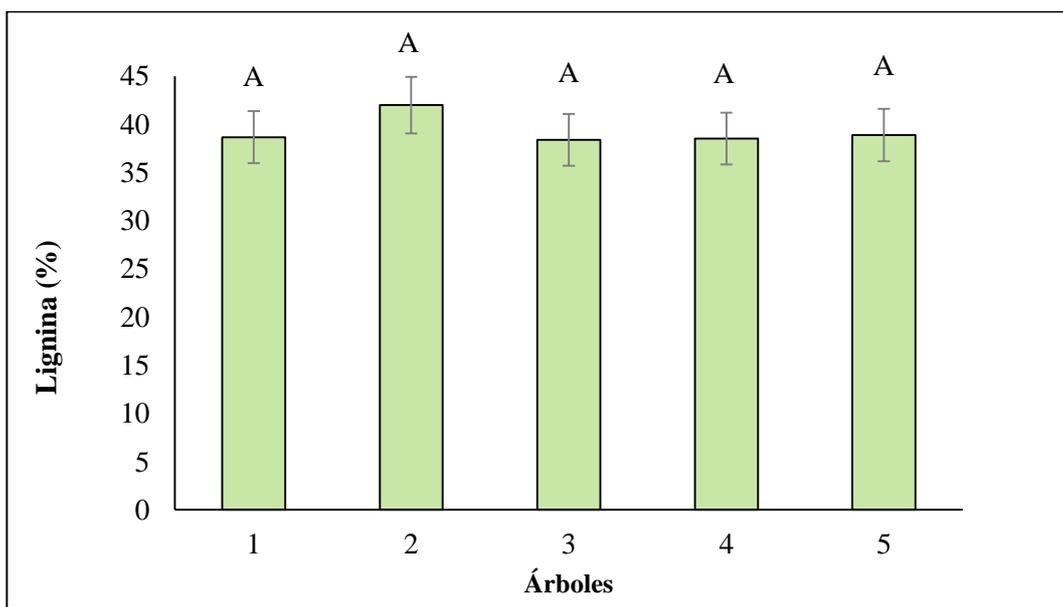
Figura 9. Valores promedio del contenido de holocelulosa de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.3.1.3. Lignina

El contenido de lignina de la madera oscila entre 38,40 % (árbol tres) a 42,00 % (árbol dos). El análisis estadístico aplicado a los datos promedios mostró que no hay diferencias significativas ($p = 0,9464$), entre los arboles analizados, es decir los datos obtenidos presentan semejanzas entre sí (Figura 10).

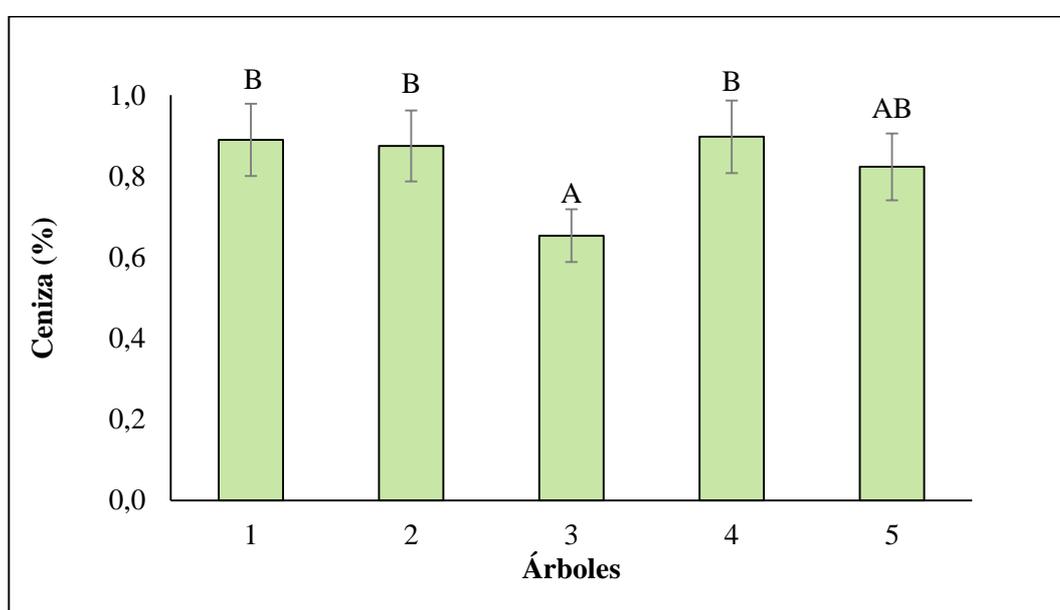
Figura 10. Valores promedio del contenido de lignina de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.3.1.4. Ceniza

En cuanto al porcentaje de ceniza se observó una variación entre los árboles que va desde 0,65 % (árbol tres) hasta 0,90 % (árbol cuatro). De acuerdo a la prueba no paramétrica de Kruskal- Wallis se identificó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,0431$) entre los valores promedios de los árboles evaluados, siendo el árbol tres el que presentó menor porcentaje de ceniza y difiere significativamente del resto de árboles. Por otra parte, los árboles uno, dos, cuatro y cinco no presentaron diferencias significativas, dado que, los valores muestran similitud entre ellos (Figura 11)

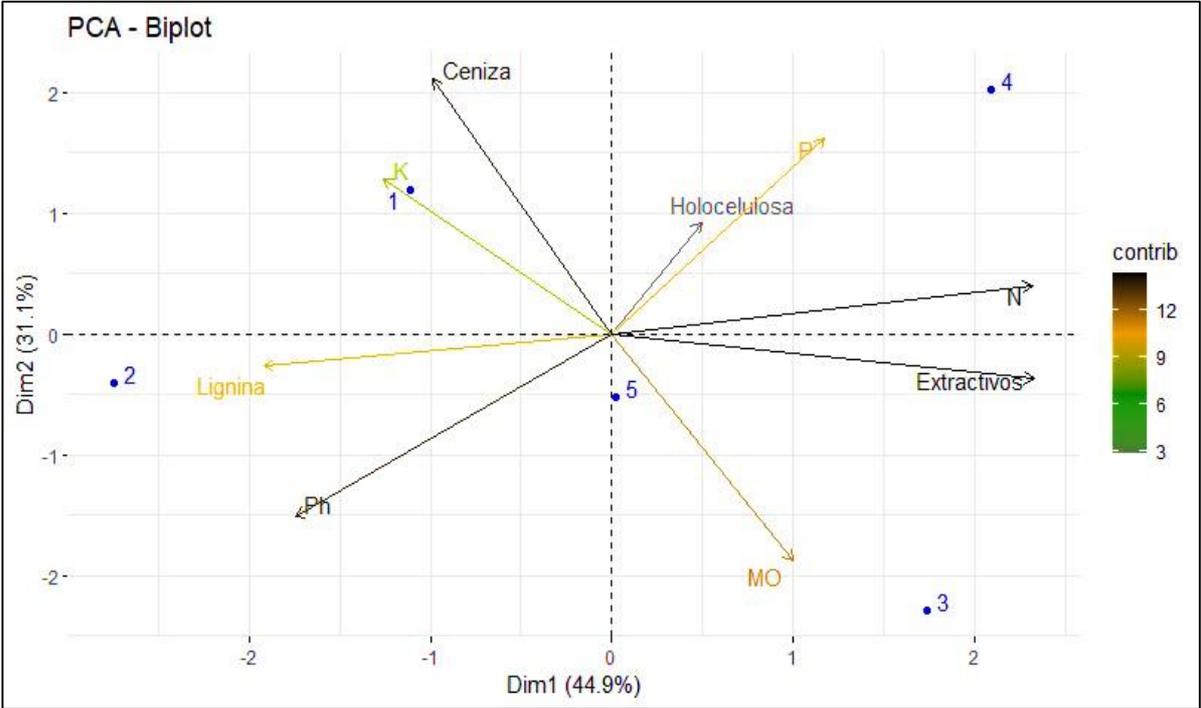
Figura 11. Valores promedio del contenido de ceniza de la madera de *Alnus acuminata* Kunth. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



6.3.2. Análisis de componentes principales (PCA) de las propiedades químicas del suelo y la composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

En el PCA (Figura 12), se observó que la relación entre las propiedades químicas del suelo y la composición química de la madera de *Alnus acuminata* presentó una variabilidad de 76 % en la suma de sus dos componentes. El componente 1 (44,9 %) reflejó una relación positiva entre la ceniza y el potasio, no obstante, la ceniza se relaciona negativamente con la materia orgánica. Por otro lado, la lignina presentó una asociación positiva con el pH y negativa con fósforo. En cuanto a, la holocelulosa se relacionó directamente con el fósforo e indirectamente con el pH. Finalmente, los extractivos se vincularon positivamente con el nitrógeno y negativamente con el potasio y pH.

Figura 12. Análisis de componentes principales (PCA) donde se relacionan las propiedades químicas del suelo y la composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth.



7. Discusión

7.1. Determinación de la edad de los árboles de *Alnus acuminata* Kunth

En esta investigación se estudió cinco árboles de *Alnus acuminata*, los cuales presentaron una edad estimada entre 10 y 31 años, con un diámetro de 26,35 cm y una altura total promedio de 8 m. Sin embargo, investigaciones previas realizadas por Carranza y Madrigal (1995), indican que en plantaciones esta especie puede alcanzar una altura total de 25 m y 20 cm de diámetro en tan solo 10 años. Por otro lado, Russo (1994), señala que en condiciones naturales y óptimas *Alnus acuminata* puede llegar a medir 30 m de altura y 50 cm de diámetro a los 30 años y puede alcanzar una edad máxima de 60 años. Así mismo, Sidán y Grau (1998), mencionan que un aspecto relevante de esta especie es la tasa de crecimiento dado que durante los primeros años muestra un incremento rápido en condiciones favorables. Además, afirman que a edades superiores (20 y 30 años) el crecimiento se vuelve muy lento incluso en ambientes propicios, esto sugiere que existen factores externos que limitan el crecimiento a partir de cierta edad, entre estos factores se encuentran: el ecosistema, variables climáticas presencia de plagas y enfermedades, espacio disponible para crecer, la humedad, profundidad y disponibilidad de nutrientes del suelo. Por ello, es importante considerar que las muestras utilizadas en este estudio provienen de áreas urbanas, donde la intervención humana puede alterar el ambiente lo que explica la variabilidad existente entre los diferentes contextos de desarrollo de la especie.

7.2. Propiedades químicas del suelo

El análisis de las propiedades químicas del suelo de los árboles evaluados, mostró que *Alnus acuminata* crece en un suelo ligeramente alcalino (7,68). Este valor difiere al obtenido por Sánchez et al. (2009), quienes mencionan que para un óptimo crecimiento, esta especie prefiere suelos con un pH entre 4,5 y 6,0. Así mismo, señalan que en ocasiones se puede lograr un mejor desarrollo en suelos con pH mayor a 5,0 siempre que se sean francos o franco-arenosos y ricos en materia orgánica. Además, argumentan que el suelo debe tener alto contenido de humedad, textura liviana, ser de origen aluvial o volcánico y estar bien drenados. Por otro lado, Navia et al. (2001), reportaron un valor de 5,6 de pH considerado como ácido en un estudio realizado en un sistema silvopastoril con aliso. Las diferencias entre los valores obtenidos pueden atribuirse a la ubicación de los árboles en áreas urbanas y condiciones climáticas, debido a que en este estudio los árboles evaluados se tomaron de parques y avenidas de la ciudad de Loja, donde existe influencia de obras civiles e intervención de la población lo que ocasiona alteraciones en el suelo.

En lo referente al contenido de nitrógeno (N) se obtuvo un valor 46,70 ppm, clasificado como medio. Este resultado se asemeja al obtenido por Chamba (2022), con 44,8 ppm de nitrógeno. Igualmente Carpio (2024), obtuvo un valor promedio de 39,11 ppm considerado como un nivel medio en un estudio realizado en el arbolado urbano de la ciudad de Loja. Además, Ticona (2018), enfatiza que el N es un nutriente indispensable para los seres vivos, debido a que forma parte de los compuestos esenciales como: aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos. Así mismo, está presente en las estructuras celulares y es fundamental para la síntesis de clorofila en las plantas y la deficiencia de este elemento provoca clorosis en las hojas y en caso de deficiencias agudas, éstas caen prematuramente afectando toda la planta. Por el contrario, Sánchez et al. (2009), afirman que *Alnus acuminata* no es exigente en calidad de suelos, debido a su condición de especie caducifolia es decir, produce gran cantidad de hojarasca rica en nitrógeno y de rápida descomposición que se incorpora al suelo como materia orgánica mejorando la fertilidad y estructura lo que aumenta la porosidad y capacidad de infiltración razón por la cual este árbol se destaca en el mejoramiento de suelos erosionados y en la recuperación de áreas degradadas.

En cuanto a la concentración de fósforo (P) se obtuvo un valor de 74,01 ppm considerado como alto, valor similar al obtenido por Aguirre (2023), quien presenta un promedio de 60 ppm dentro del arbolado urbano. Sin embargo, este valor difiere al obtenido por Navia et al.(2001), con 20 ppm, esta variación puede ocurrir debido que, este estudio fue realizado en un sistema silvopastoril. Así mismo, puede atribuirse a que las propiedades químicas del suelo se ven afectadas por actividades antrópicas, prácticas de manejo aplicadas y la compactación debido al el uso inadecuado del suelo, lo que influye en el desarrollo de la planta. Según Fernández (2007), el fósforo es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, participa en los procesos metabólicos clave como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y degradación de los carbohidratos. Por otra parte Suquilanda (2003), indica que los síntomas de la deficiencia del fósforo incluyen retrasos en el crecimiento de la planta, coloración oscura de las hojas más viejas, retraso en el crecimiento de las raíces y el florecimiento. En la mayoría de las plantas estos síntomas aparecen cuando la concentración del fósforo en las hojas es inferior al 0,2 %.

En lo referente al contenido de potasio (K) se obtuvo un valor de 0,96 meq/100 dato semejante al reportado por Aguirre (2023), con un resultado de 0,74 meq/100 considerado como alto en el arbolado urbano de la ciudad de Loja. Así mismo, Navia et al. (2001), presentan un resultado 0,99 meq/100. Además, según Freire (2012), el potasio es un nutriente esencial para las plantas y es requerido en grandes cantidades para el crecimiento y la reproducción.

Igualmente, afecta la forma, tamaño, color y sabor de la planta y la productividad de planta; por lo que un alto contenido de potasio hace que sea más resistente a enfermedades.

Con relación al contenido de materia orgánica (MO) se obtuvo un valor de 5,05%. Este resultado se encuentra dentro del rango establecido por Sánchez (1985) y Muñoz (1998), quienes manifiestan que el aliso se desarrolla en suelos con un contenido de materia orgánica que va desde de 0,6 – 28,1 %. Por otro lado, Chamba (2022), reporta un valor promedio de 3,58 % considerándolo como alto, dentro de un estudio del arbolado urbano. Sin embargo, Carrillo (1998), sostiene que el aliso no es exigente en lo referente al suelo, dado que crece en suelos muy pobres y los mejora por que logra fijar nitrógeno y no requiere de materia orgánica, por lo que se considera una especie adecuada para colonizar zonas de suelo expuestas. Según Mao et al. (2014), la materia orgánica es un factor clave para mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud de las plantas y su presencia influye en la retención de nutrientes, la estructura del suelo y la actividad microbiana.

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

El análisis del contenido de humedad de *Alnus acuminata* presentó un valor promedio de 47,36 %, este valor difiere al obtenido por Sotomayor y Villaseñor (2015), quienes reportaron un valor de 10,7 % para el contenido de humedad. Por otro lado Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014), en el estudio sobre las propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales presentaron un valor de 11,38 % para la especie. La diferencia entre los valores puede darse por el tiempo de secado, procedencia, dimensiones, número de muestras, edad de los árboles y la ubicación del área de estudio. Así mismo, Hoheisel (1968), menciona que el contenido de humedad depende tanto del crecimiento, condiciones del sitio, posición del tronco, ubicación del terreno y la edad es decir los árboles más jóvenes presentan mayor contenido de humedad en comparación con los adultos.

En cuanto, a la densidad básica de la madera se obtuvo un valor promedio de 0,49 gr/cm³. Este valor es superior al obtenido por el Centro Agronómico Tropical de Investigación [CATIE] (1995), en *Alnus acuminata*, cuya densidad oscila entre 0,36- 0,42 g/cm³. De igual forma Ospina et al. (2005), manifiestan que, la densidad básica de aliso fluctúa entre 0,30 g/cm³ hasta 0,40 g/cm³. Por el contrario, Moya et al.(2009), en su investigación en árboles de *Alnus acuminata* provenientes de plantaciones en Costa Rica señalan que la densidad básica promedio es de 0,34 g/cm³ clasificándola como madera de baja densidad. De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2011), pertenece

a la clase de uso “C” correspondiente a maderas cuya densidad básica es mayor a $0,40 \text{ g/cm}^3$ y menor a $0,54 \text{ g/cm}^3$, catalogadas como maderas livianas. La diferencia en los valores se debe a que las propiedades físicas de la madera están influenciadas por factores ambientales como: temperatura, precipitación, vientos, incendios. Además, de la procedencia y calidad del material vegetal, crecimiento, edad, posición del tronco, anatomía, características fisiológicas y genéticas del individuo, calidad del sitio y disponibilidad de nutrientes del suelo donde crece el árbol.

Por otro lado, Tovar (2006), menciona que los árboles urbanos enfrentan numerosos desafíos, debido a la presencia de construcciones, drenajes, calles, cables eléctricos y telefónicos, tráfico vehicular y peatonal; los árboles están sometidos a una presión continua que puede afectar su crecimiento e incluso causar la muerte. Así mismo, manifiesta que algunos de los factores que causan estrés en los árboles son: la disminución del contenido de humedad del suelo debido a la pavimentación de calles y aceras, la falta de espacio para el desarrollo de raíces y follaje, la contaminación del suelo, el agua y el aire, las podas inadecuadas, disminución de la materia orgánica del suelo y el corte de raíces debido a obras públicas lo que limita la absorción de nutrientes y agua por parte de los árboles y por ende estas condiciones afectan a las propiedades físicas de la madera del arbolado urbano; por ejemplo un suelo seco y con baja disponibilidad de nutrientes puede disminuir el crecimiento de los árboles y dar lugar a una madera más densa.

La contracción volumétrica de la madera de *Alnus acuminata* fue del 12,48 % valor similar al obtenido por MAE y FAO (2014), con 10,47 % y Moya et al. (2010), con 11,01 %, por lo que se clasifica como una madera de contracción media según Aróstegui (1982), quien establece un rango entre 10,1 a 13,0 % debido a que presenta una densidad media. De acuerdo con Gonzáles et al.(2020), la contracción volumétrica ocurre principalmente cuando la madera pierde humedad y alcanza un nivel por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), lo cual es un aspecto relevante para usos estructurales y decorativos. Así mismo, menciona que el valor promedio del punto de saturación de la fibra es 30 % para todas las especies maderables. Además, Puchaicela (2013), alude que la contracción volumétrica de la madera se ve influenciada por factores como el contenido de humedad y la edad de los arboles dado que esta tiende a aumentar a medida que el árbol crece.

7.4. Análisis PCA de las propiedades químicas del suelo con las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

El análisis de componentes principales (PCA) mostró que la densidad de madera presenta una relación directamente proporcional con el nitrógeno (a mayor nitrógeno presente en el suelo mayor densidad de la madera), e inversamente con el potasio (a mayor contenido de potasio menor densidad). Esta relación directa entre el nitrógeno y la densidad de la madera, según Núñez et al.(2021), es evidente debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, Reyes et al. (2018), indican que este nutriente también tiene un impacto significativo en el volumen y masa forestal de los arboles lo que a su vez afecta a la densidad, puesto que esta explica la relación entre la masa- volumen de una pieza de madera. De acuerdo a la relación negativa, un nivel alto de potasio según Salazar (2002), puede causar deficiencias de calcio. Así mismo, Vaca (2019), señala que el calcio aporta a la resistencia estructural de la planta por tanto, influye en la densidad dado que está asociada a la dureza de la madera. Por otra parte, Campos (2006), menciona que la densidad de la madera se ve influenciada por factores genéticos como: la procedencia y fuente de semillas. Además, menciona que, los factores del sitio como los: componentes edáficos, climáticos y bióticos también influyen en esta propiedad. De acuerdo con Moya y Pérez (2008), el crecimiento del árbol y las propiedades físicas de la madera están relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo, pues estos factores afectan a propiedades como la densidad mediante los efectos en el ancho de anillo, al estar asociadas a la división y diferenciación de las células cambiales; por ejemplo, en algunas especies de hoja ancha se puede obtener una madera de baja densidad en sitios con propiedades edáficas favorables para el crecimiento del árbol y por ende una baja calidad para usos estructurales. Además, señalan que la relación entre el contenido de nitrógeno en el suelo y la densidad de la madera puede ser variable y dependerá de una serie de factores como: la especie, condiciones ambientales, disponibilidad de otros nutrientes, tratamientos silviculturales o esquemas de manejo, como el establecimiento de plantaciones, densidad de plantación, raleos y podas. Es decir, la densidad de la madera no está determinada por la cantidad de macronutrientes, presentes en el suelo si no también depende otros factores como los citados anteriormente.

En cuanto a la contracción volumétrica esta presentó una relación directa con el pH e inversa con el fósforo. Esta relación directa se explica por una de las características de los suelos alcalinos, según lo mencionado por Vera et al (2022), un suelo alcalino posee una baja permeabilidad es decir, la retención de agua no es eficiente ocasionado que sean demasiado secos y por ende la madera puede encogerse o contraerse con mayor facilidad debido al bajo

contenido de humedad. Con respecto a la relación inversa Zobel y Buijtenen (1989), manifiestan que cuando el fósforo es agregado por fertilización produce efectos en muchas propiedades de la madera, dentro de ellas la contracción. Así mismo, Alvarado (2006), indica que ocurre un aumento en la tasa de crecimiento del árbol con una mayor disponibilidad de fósforo en el suelo. Además, Moya et al. (2010), mencionan que el incremento de fósforo puede conllevar a producir alteraciones en la composición química o anatómica de la madera dando como resultado modificaciones en sus contracciones por la variación de este elemento, razón por la cual existe esta relación negativa entre estos dos factores. No obstante, Acuña et al. (2009), manifiestan que la densidad de la madera es el factor más importante que afecta a las contracciones radial y volumétrica, con una marcada relación positiva, que indica que las especies con mayor densidad presentan valores altos de contracción como consecuencia de la presencia de una mayor masa por unidad de volumen.

En lo referente al contenido de humedad presentó una relación directamente proporcional con el potasio e inversamente con la materia orgánica. La relación directa pudo ocurrir debido a que el potasio es un nutriente clave en la relación agua– planta al ayudar a los vegetales a mantener altos niveles de turgencia, es decir, niveles adecuados de agua. Además, ayuda en la regulación de la apertura y cierre de las estomas, lo cual es esencial para la fotosíntesis según lo mencionado por Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura [INTAGRI] (2017). Así mismo, Moya et al. (2010), señalan que el contenido de humedad no está determinado por las características del suelo si no, que influyen otros parámetros de los árboles tales como: la edad, la tasa de crecimiento, el DAP. Dichos parámetros, a excepción de la edad, en muchas ocasiones son controlados. Del mismo modo, Siau (1984), y Pérez et al. (2011), manifiestan que la humedad relativa del aire es el factor más importante que afecta el contenido de humedad de la madera, otros factores son la especie, la densidad, porosidad de la madera y la temperatura del aire, así como también, la diferencia entre albura y duramen en una misma especie.

7.5. Composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

En el análisis de la composición química se registró un valor promedio de 3,56 % para extractivos, este resultado difiere a los obtenidos por Ruiz et al. (2019), y Moya et al. (2010), para la misma especie, quienes presentaron valores de 10,35 % y 0,95 % respectivamente. Además, Ruiz et al. (2019), señalan que la cantidad y composición de los extractivos depende de la especie, parte del árbol de la que fueron recolectadas, época del año y las condiciones de crecimiento, (clima, cantidad de agua suministrada, nutrientes disponibles) entre otros. Así

mismo, para este estudio se colecto secciones de ramas y se eliminó la corteza y de acuerdo con Fonseca (2006), la parte donde se encuentra mayor concentración extractivos es en la corteza y la raíz de los árboles razón por la cual existe diferencias entre los valores obtenidos con los estudios citados anteriormente.

En cuanto al contenido holocelulosa se obtuvo un valor de 56,04 % valor que difiere a los obtenidos por Moya et al. (2010), y Ruiz et al. (2019), los cuales fueron de 64,1 % y 77,24 % respectivamente. Por otro lado, González (2005), manifiesta que los valores del contenido de holocelulosa pueden ser afectados por factores climáticos y también pérdida de reactivos lo que provoca que las maderas tengan un porcentaje bajo de holocelulosa. Además, indica que la presencia de holocelulosa es, generalmente, mucho más elevado en maderas duras que en maderas blandas, es decir la densidad de la madera influye directamente en el contenido de holocelulosa. Por otra parte, Ruiz et al. (2019), mencionan que existen otros factores que intervienen en la cantidad de holocelulosa presente en la madera como: localización geográfica, condiciones de crecimiento, especie, parte de la madera como la albura y duramen, lugar donde se desarrolla cada especie, es decir, el sitio de procedencia de la planta y la edad por lo que el porcentaje de este componente suele ser mayor en arboles adultos. Así mismo, se determinó que las muestras analizadas de los cinco árboles de *Alnus acuminata* la edad tiene influencia significativa en este componente dado que, el árbol cinco contiene el mayor porcentaje con un 57,98% y es el que posee mayor edad, demostrando que la holocelulosa aumenta con la edad del árbol lo que coincide con Zaki et al.(2012), quienes mencionan que estas diferencias se deben principalmente a la edad de los individuos, ya que la madera de árboles jóvenes presenta menores contenidos de holocelulosa que la madera de árboles maduros.

Con respecto al contenido de ceniza de la madera se obtuvo un promedio de 0,83 % valor distinto a los obtenidos por Ruiz et al. (2019), y Moya et al. (2010), quienes presentaron resultados de, 0,62 % y 0,38 % para la misma especie. Además, Lima (2013) y Ruiz et al.(2019), señalan que la cantidad de cenizas puede variar de cuerdo a la especie y dentro de la misma, condiciones del clima, época del año que fue recolectada la muestra, edad, (árboles adultos poseen mayor cantidad de ceniza). partes del árbol y condiciones edáficas en la que creció el individuo por tanto existen diferencias entre maderas que provienen de zonas templadas y tropicales. Así mismo, se evidenció que el contenido de ceniza es el componente con menor porcentaje, lo que coincide con lo expresado por Rowell (2007), quien afirma que el contenido de ceniza es bajo en comparación al resto de componentes químicos de la madera.

En cuanto al contenido de lignina en esta investigación se obtuvo un valor promedio de 39,30 % resultado que se asemeja al determinado por Ruiz et al. (2019), con 31,74 % y Moya

et al.(2015), con 33,00 %. Por otro lado, Abarca y Blanco (2003), mencionan que la composición de la lignina depende de muchos factores como: el método utilizado para la obtención, la especie que se estudie, la edad, parte del árbol, condiciones ambientales en que se ha desarrollado el árbol, etc. Además, Renault et al. (2019), indican que esta sustancia provee resistencia, dureza e impermeabilidad a las paredes celulares de las plantas.

7.6. Análisis PCA de las propiedades químicas del suelo con la composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth

En el análisis de PCA, se observó que existe una relación directamente proporcional entre la ceniza y el potasio e inversamente con la materia orgánica. Esta relación directa coincide con lo descrito por Someshwar (1996), quien señala que las cenizas de la madera presentan contenidos importantes de diferentes nutrientes como potasio (K), fósforo (P), magnesio (Mg) y calcio (Ca). Sin embargo, la relación inversa según Rivero et al. (2009), se debe a que las cenizas de la madera pueden desencadenar la disminución en los niveles de materia orgánica en el suelo y en sus componentes (fósforo, magnesio). Además, este efecto puede variar significativamente según varios factores, como el tipo de suelo y la cantidad de ceniza aplicada. Por otro lado, Carballo (1990), manifiesta que el contenido de la ceniza puede variar según la parte del árbol que se estudie, de acuerdo a la edad que presente y las condiciones del suelo en donde se desarrolle.

El contenido de lignina presentó una relación directa con el pH e inversa con el fósforo. Esta relación directa se debe a que según Power y Prasad (1997), en un pH de 6,5 y 7 se encuentran la mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo que pueden ser aprovechados por la planta. Además, Vaca (2019), señala que los suelos alcalinos poseen grandes cantidades de calcio, el cual aporta al desarrollo de las paredes celulares de la planta lo que influye directamente con la dureza de la madera. Por otro lado, la relación inversa ocurre debido a que según Salisbury y Ross (1992), el fósforo influye en el contenido de holocelulosa (carbohidratos) presente en la planta. Además, Fengel y Wegener (1979), indican que existen otros factores además de los nutrientes del suelo que influyen en el porcentaje de lignina, entre los que se debe considerar están la especie, edad del árbol, genética, región geográfica donde éste crece y las prácticas silviculturales.

En cuanto al contenido de extractivos, estos poseen una correlación positiva con el nitrógeno y negativa con el potasio– pH. Según Gonzales (2013), los extractivos son el resultado de los diferentes procesos metabólicos celulares de las plantas. Por otra parte, Guzmán y Montero (2021), señalan que el nitrógeno es un nutriente primario que desempeña un papel fundamental en el metabolismo vegetal y es esencial para las estructuras y funciones celulares

y también forma parte de las proteínas y clorofila, razón por la cual existe esta relación directa entre ambos componentes, es decir, el nitrógeno interviene en la producción de extractivos de la planta. Por otro lado, la relación inversa entre el potasio y los extractivos puede ocurrir debido a que según Coitiño et al.(2016), el potasio interviene en funciones fisiológicas relacionadas a la salud de la planta como tolerancia al estrés hídrico, regulación de la apertura estomas, el control de la transpiración, síntesis de proteínas y fotosíntesis y por ende los extractivos al ser resultado de procesos metabólicos no guardan relación directa con el contenido de potasio del suelo. Además, Carballo (1990), alude que el contenido de extractivos varía en el árbol en dependencia de la parte que se estudie: altos contenidos pueden encontrarse en las hojas, ramas, corteza y raíces, por lo que es común encontrar diferencias entre las maderas latifoliadas y coníferas. Así mismo, las condiciones del suelo y la edad influyen en los contenidos de sustancias minerales.

La holocelulosa presentó una relación directa con el fósforo e indirecta con el pH. De acuerdo con Salisbury y Ross (1992), el fósforo se encuentra relacionado con el contenido de holocelulosa presente en la planta debido a que la deficiencia de este elemento provoca que la producción de proteínas sea muy baja y por tanto, la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa disminuyan. Respecto a la relación inversa coincide con lo mencionado por Vaca (2019), quien señala que los suelos alcalinos (pH 7,5) poseen grandes cantidades de calcio el cual aporta directamente a la dureza (lignina) de la madera.

A partir de estos resultados es importante destacar que la composición química de la madera no depende únicamente de la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo y no puede ser definida con exactitud para un grupo de especies o cierta especie, dado que esta varía según la localización geográfica, condiciones de crecimiento, clima y de sitio de crecimiento de cada especie. Así mismo, Honorato y Hernández (1998), señalan que el alto o bajo contenido de los componentes químicos, puede deberse al hecho de que las sustancias presentes en la madera, varían en el árbol en dependencia de la parte que se estudie. De acuerdo con Bonilla (1971), existe influencia de los factores edafológicos sobre el desarrollo de los árboles, siendo los macronutrientes (N, P y K) los que presentan mayor demanda a través del tiempo en las plantas.

8. Conclusiones

- El contenido de humedad y densidad básica de la madera de *Alnus acuminata* Kunth presentaron valores más altos en comparación con otros sitios donde se realizó estudios para la misma especie.
- Los extractivos y la lignina de la madera de *Alnus acuminata* Kunth proveniente del arbolado urbano no presentan diferencias significativas en los valores promedios obtenidos.
- Los árboles de *Alnus acuminata* Kunth del arbolado urbano crecen en un suelo ligeramente alcalino con una concentración media de nitrógeno y alta de fósforo, potasio y materia orgánica.
- Las propiedades químicas del suelo como pH, N, y K influyen positivamente en las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth tales como: contracción volumétrica, densidad y contenido de humedad respectivamente.
- El análisis de componentes principales de la composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth y las propiedades químicas del suelo del arbolado urbano de la ciudad de Loja mostró que la lignina, holocelulosa, extractivos y ceniza presentan una correlación positiva con el pH, P, N y K.

9. Recomendaciones

- Para futuras investigaciones se recomienda considerar todas las propiedades físicas y químicas del suelo con el fin de obtener datos más significativos con respecto a la relación suelo– planta.
- Investigar nuevas técnicas para aplicar en la caracterización química de la madera, con el fin de reducir costos, tiempo y mejorar los resultados que se vayan a realizar en investigaciones posteriores.
- Se sugiere realizar estudios sobre las propiedades físicas y composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth y la relación con las propiedades químicas del suelo en áreas naturales, con el objetivo de establecer comparaciones con las áreas urbanas.

10. Bibliografía

- Abarca, R., y Blanco, L. (2003). *Composición química de Tectona grandis*. Universidad de Costa Rica.
- Acuña, L., Díez, R., y Casado, M. (2009). *Influencia de las propiedades químicas en la densidad de la madera de Pinus pinaster Aiton*. https://www.researchgate.net/publication/329990573_Influencia_de_las_propiedades_quimicas_en_la_densidad_de_la_madera_de_Pinus_pinaster_Aiton
- Aguilar, J., Cabrera, N., Barrio, B., y Loeza, J. (2020). Efecto de onda y fenómeno de timidez en bosques homogéneos de *Alnus acuminata*. *Madera y Bosques*, 26(1), 1–14. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611939>
- Aguinsaca, F., Rey, Y., Jaramillo, A., Luzón, C., Jumbo, N., Fernandez, P., González, J., y Pucha, D. (2019). Caracterización química de cinco especies forestales en el sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(1), 110–118. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/591/529>
- Aguirre, V. (2023). *Evaluación de la relación entre las propiedades físicas y químicas de la madera en Jacaranda mimosifolia, árbol patrimonial de la ciudad de Loja* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/26196>
- Aguirre, Z., Reyes, B., Quizhpe, W., y Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 543–556. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a07v24n2.pdf>
- Alvarado, A. (2006). Nutrición y fertilización de la Teca. *Informaciones Agronómicas*, 61(2), 1–8. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/\\$FILE/Nutrición y Fertilización de la Teca.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/31A0615834C27F92852579A3006D8237/$FILE/Nutrici%20y%20Fertilizaci%20de%20la%20Teca.pdf)
- Arias, Q., López, R., Sainz, L., Verdecia, M., y Eichler, B. (2021). Potencial fertilizante de cenizas de bagazo de caña de azúcar de industrias azucareras. *Revista Cubana de Química*, 33(3), 1–15. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v33n3/2224-5421-ind-33-03-452.pdf>

- Aróstegui, A. (1982). *Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas*.
https://books.google.com.ec/books?id=caZjAAAAMAAJysitesec=buyyhl=esysource=gb_s_atb
- Arriagada, I., Troncoso, L., Hernández, G., y Elgueta, P. (2020). *Características de crecimiento y defectos de procesamiento mecánico y secado de la madera de pino radiata*.
<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/30354/30354.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Ávila, L., y Herrera, M. (2012). Efecto de los extraíbles en tres propiedades físicas de la madera de *enterolobium cyclocarpum* procedente de michoacán, México. *Bosque*, 33(2), 227–232.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000200013>
- Bacca, P., Obando, B., Lerma, J., Ortega, M., Palacio, R., y Zuluaga, J. (2023). Modelo alométrico para estimación de altura de *Alnus acuminata* Kunth en zonas agroecológicas del trópico alto andino. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 40(2), 1–13.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22267/rcia.20234002.209>
- 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/view/491/386>
- Barroso, D., Mazzei, F., Pereira, R., Reis, A., y Silva, L. (2005). Diagnóstico de deficiência de macronutrientes em mudas de teca. *Revista Árvore*, 29(5), 671–679.
<https://doi.org/10.1590/s0100-67622005000500002>
- Bautista, R., y Honorato, J. (2005). Composición química de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. *Ciencia Forestal En México*, 30(98), 1–25.
<https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/853/2127>
- Bonilla, J. A. (1971). *La influencia del suelo y el clima en el crecimiento de los arboles en las regiones templadas* *. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap05.pdf>
- Bown, H., y Lasserre, J. (2015). An air-drying model for piled logs of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* in Chile. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 45(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/s40490-015-0047-6>

- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Cabrera, C., Ponce, C., Cantos, C., Morán, J., y Cabrera, R. (2020). Áreas verdes y arbolado en la zona urbana del cantón Jipijapa. *Ciencias Ambientales*, 13(2), 37–53. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3380>
- Calderón, C., Bautista, G., y Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141–157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Campos, E. (2006). *Variación de la densidad básica de la madera, en siete familias de Larix decidua Miller*. [Universidad Austral de Chile]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fifc186v/doc/fifc186v.pdf
- Caranqui, J. (2017). Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central del Ecuador. *Enfoque UTE*, 8(5), 103–109. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstractypid=S1390-65422017000500103yln=ptynrm=iso
- Carballo, L. (1990). *The influence of chemical composition and age of caribea pine wood (Pinus caribea) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp* [University College of Forestry and wood Technology.]. <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1361/1529>
- Carpio, B. (2024). *Evaluación de la relación entre las propiedades físicas y químicas de la madera en Salix humboldtiana, árbol patrimonial de la ciudad de Loja* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/29291>
- Carranza, E., y Madrigal, X. (1995). Árboles y Arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Nova Genera et Species Plantarum*, 2(20), 337. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/9-betul1m.pdf

- Carrillo, F. (1998). *Propiedades Físicas y Mecánicas en Especies Nativas, Aliso, Arrayán, Capulí, Molle, Quishuar*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cedeño, A. (2013). La madera. ¿Una alternativa para proteger el medioambiente? *Revista de Arquitectura*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.14718/revarq.2013.15.1.12>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación [CATIE]. (1995). *Jaúl *Alnus acuminata* Especie de arbol de uso multiple en america*.
- Chabbal, M., Yfran, M., Píccoli, A., Giménez, L., Rodríguez, V., y Martínez, G. (2017). Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos. *Cultivo Tropicales*, 38(4), 22–29. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr07417.pdf>
- Chamba. (2022). *Evaluación de la relación entre las propiedades físicas y químicas de la madera en Chionanthus pubescens, árbol patrimonial de la ciudad de Loja* [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26005/1/Patricia Enith Chamba Shonda.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26005/1/Patricia%20Enith%20Chamba%20Shonda.pdf)
- Cobas, A., y Monteoliva, S. (2018). Duramen y propiedades físicas de la madera de Robinia pseudoacacia en relación a su potencial uso en la industria de la madera sólida. *Revista de La Facultad de Agronomía, La Plata*, 117(1), 127–131. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6937488.pdf>
- Coitiño, J., Barbazán, M., y Ernst, O. (2016). Fertilización con potasio en soja: Asociación de la respuesta del cultivo con características edáficas y topográficas. *Agrociencia*, 20(2), 109–120. <https://doi.org/10.31285/agro.20.2.14>
- Cruz, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera*. <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Consideraciones-tecnologicas-de-la-madera.pdf>
- Delgado, L., Rabassa, A., Trocones, A., y Orrantía, I. (2021). Diagnóstico del arbolado urbano en una sección de la ciudad de Sancti Spíritus. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(2), 285–301. <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v9n2/2310-3469-cfp-9-02-285.pdf>
- Díaz, M., Gamarra, C., Ruiz, S., y Vera de Ortiz, M. (2020). Contenido de materia orgánica en suelos de sistemas silvopastoriles establecidos en el Chaco Central paraguayo. *Revista de La Sociedad Científica Del Paraguay*, 25(2), 131–143.

<https://doi.org/10.32480/rscp.2020.25.2.131>

- Diodato, M., y De Gregorio, S. (2015). Identificación microscópica, una herramienta fundamental en la investigación de estructuras históricas de madera: casos prácticos. *Arché*, (10), 377–386. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84776/Arq_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Erazo, O., Fernández, Y., Molina, Y., Araujo, J., y Encinas, O. (2019). Durabilidad natural de *Alnus Acuminata* Kunth. *Revista Forestal Venezolana*, 63(23), 23–36. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/47170/art2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fengel, D., y Wegener, G. (1979). Hydrolysis of Polysaccharides with Trifluoroacetic Acid and its Application to Rapid Wood and Pulp Analysis. *Advances in Chemistry*, 181(7), 145–158. <https://doi.org/10.1021/BA-1979-0181.CH007>
- Fernández, M. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, XLI(2), 51–57. <https://doi.org/223114970009>
- Fonseca. (2006). *Determinación de la composición química de la madera de pino Candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz.* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://biblio.ingenieria.usac.edu.gt/tesis/T7448.pdf>
- Freire, M. (2012). *Evaluación en fertilización de NPK-Ca en el cultivo de alstromeria (Alstroemeria hybrida).* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2225/1/Tesis-27agr.pdf>
- Giraldo, J. (2011). Dendrocronología En El Trópico : Aplicaciones Actuales Y Potenciales. *Colombia Forestal*, 14(1), 97–111. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v14n1/v14n1a09.pdf>
- Gómez, E., Ríos, L., y Peña, J. (2012). Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Informacion Tecnologica*, 23(6), 73–86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000600009>

- Gonzales, H. (2013). *Productos forestales de transformacion quimica*.
https://www.academia.edu/7993070/Transformaci3n_Qu3mica_de_la_madera
- Gonz3les, I., Vel3zquez, L., y 3lvarez, D. (2020). Movimiento del agua en la madera durante el secado. Modelo discreto. *Revista Cubana De Ciencias Forestales*, 8(3), 468–477.
http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v8n3/en_2310-3469-cfp-8-03-468.pdf
- Gonz3lez, M. (2005). *Determinaci3n de la composici3n qu3mica de la madera del pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) procedente de plantaci3n en Cucanj3 , Tukur3, Alta Verapaz [Universidad de San Carlos de Guatemala]*.
<https://repositorioiidca.csuca.org/Record/RepoUSAC323>
- Guzm3n, D., y Montero, J. (2021). Interacci3n de bacterias y plantas en la fijaci3n del nitr3geno. *Revista de Investigaci3n e Innovaci3n Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87–101. <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>
- Hoheisel, H. (1968). *Estipulaciones para los ensayos de propiedades f3sicas y mec3nicas de la madera*. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/2462>
- Huam3n, M. ., Espinoza, F., Barrial, A., y Ponce, Y. (2021). Influencia de la altitud y caracter3sticas del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono org3nico de pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 83–90.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.010>
- Instituto Ecuatoriano de Normalizaci3n [INEN]. (2011). Sistema de clasificaci3n y clasificaci3n de madera aserrada proveniente de bosques h3medos tropicales. In *Norma T3cnica Ecuatoriana* (First Edit). <https://construccionesuce.wordpress.com/2022/03/11/n-te-inen-2580-sistema-de-clasificacion-de-madera-aserrada-proveniente-de-bosques-humedos-tropicales/>
- Instituto Ecuatoriano de Normalizaci3n [INEN]. (2012). *Maderas determinacion del contenido de humedad* (WOODS.MOIS). <https://docplayer.es/227721222-Maderas-determinacion-del-contenido-de-humedad.html>
- Instituto Ecuatoriano de Normalizaci3n [INEN]. (2013). *Maderas.Determinacion de la densidad aparente*. (WOODS.MOIS).
<https://archive.org/details/ec.n.te.1162.1984/page/n5/mode/2up>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2012). *Índice Verde Urbano 20*. Ecuador En Cifras. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Verde_Urbano/Presentacion_Indice_Verde_Urbano_2012.pdf
- Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura [INTAGRI]. (2017). Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. In *Nutrición Vegetal* (Vol. 100). <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal>
- Izquierdo, J., y Arévalo, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20–28. <https://doi.org/10.25054/22161325.2527>
- Jaramillo, R., Perna, O., Ríos, L., y Escobar, J. (2014). Efecto de la melaza de caña tratada con ácido sulfúrico en la producción de celulosa por *Gluconacetobacter xylinus* IFO 13693. *Revista Colombiana de Química*, 43(2), 25–31. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n2.53121>
- Leal, E., Leal, N., Alanís, E., Pequeño, A., Mora, A., y Buendía, E. (2018). Estructura, composición y diversidad del arbolado urbano de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 1–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.129>
- Lima, L. (2013). *Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/3530/1/1080256594.pdf>
- Lira, J., Valenzuela, M., Islas, M., Osuna, T., López, J., y Sañudo, J. (2019). Proteínas transportadoras de fósforo de la familia PHT1 y su uso potencial en la agricultura moderna. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1–13. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1303>
- Maceda, A., Soto, M., Peña, C., Trejo, C., y Terrazas, T. (2021). Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques*, 27(2), 1–16. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- Mao, Y., Sang, S., Liu, S., y Jia, J. (2014). Spatial distribution of pH and organic matter in

- urban soils and its implications on site-specific land uses in Xuzhou, China. *Comptes Rendus - Biologies*, 337(5), 332–337. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2014.02.008>
- Mendivelso, H., Camarero, J., y Gutiérrez, E. (2016). Dendrocronología en bosques neotropicales secos: métodos, avances y aplicaciones. *Ecosistemas*, 25(2), 66–75. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-2.08>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador(MAE), y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura(FAO). (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador. In *Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático (MFSCC)*. <https://www.fao.org/3/i4407s/i4407s.pdf>
- Moya, R., Arce, V., Gonzalez, P., Olivares, G., y Rios, G. (2010). Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*tectona grandis*). *Revista Arvore*, 34(6), 1109–1118. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000600017>
- Moya, R., Esquivel, E., y Urueña, E. (2009). Aprovechamiento e industrialización de árboles de *Alnus acuminata* Kuntz de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 6(16), 1–11. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/401/333>
- Moya, R., Muñoz, F., Salas, C., Berrocal, A., Leandro, L., y Esquivel, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales_ Fichas técnicas. In *Revista Forestal Mesoamerica Kurú* (Vol. 7, Issues 18–19). <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/383/2355>
- Moya, R., y Pérez, D. (2008). Effects of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Tropical Forest Science*, 20(4), 248–257. https://www.researchgate.net/publication/276277263_Effects_of_physical_and_chemical_soil_properties_on_physical_wood_characteristics_of_tectona_grandis_plantations_in_Costa_Rica
- Moya, R., Salas, C., Berrocal, A., y Valverde, C. (2015). Evaluación de la composición química, secado al aire, preservación y trabajabilidad de ocho especies de rápido crecimiento en plantación de Costa Rica. *Madera y Bosques*, 21, 31-47 p. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21nspe/v21nspea3.pdf>

- Muñoz, D., Navia, J., y Solarte, J. (2018). *El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina* (21st ed.). <https://doi.org/10.22267/lib.udn.003>
- Muñoz, F. (1998). *Propiedades y usos de las maderas de jaúl y melina*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Muñoz, G., Encinas, J., y de Paula, J. (2019). Densidad de la madera de 59 especies del orden Sapindales procedentes de bosques naturales brasileños. *Madera y Bosques*, 25(2), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521817>
- Navia, J., Criollo, C., y Garcia, J. (2001). Comportamiento del aliso *Alnus jorullensis* H.B.K. en su fase de establecimiento en un arreglo silvopastoril en las propiedades del suelo del altiplano de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 18(2), 132–139. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1456/1799>
- Núñez, J., García, C., Valenzuela, L., Torres, A., Esparza, J., y Martínez, R. (2021). Factores ambientales y su relación con el nitrógeno contenido en proteínas solubles totales (PST) en *Carya illinoensis*. *Acta Universitaria*, 31(1), 1–10. <https://doi.org/10.15174/au.2021.2581>
- Ospina, C., Hernandez, R., Gomez, D., Godoy, J., Aristizabal, F., Patiño, J., y Medina, J. (2005). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana*. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/cartillas/publicaciones_guias_silviculturales_para_el_manejo_de_especies_forestales_c
- Pacheco, E., y Quisbert, A. (2016). Modelos de aprovechamiento sostenible del Aliso (*Alnus Acuminata* Kunth) en zona de ladera de bosque de niebla. *Selva Andina Biosphere*, 4(1), 24–39. <http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v4n1/v4n1-a03.pdf>
- Pérez, N., Valenzuela, L., Diaz-, J., y Ananías, R. (2011). Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 13(3), 253–266. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000300002>
- Power, F., y Prasad, R. (1997). *Gestión de la fertilidad del suelo para una agricultura sostenible*

- (1ra edición). <https://www.routledge.com/Soil-Fertility-Management-for-Sustainable-Agriculture/Power-Prasad/p/book/9781566702546>
- Pucha, D., Lozano, D., Jumbo, N., Fernández, P., Armijos, A., Macas, M., Gualán, R., y Merino, B. (2023). Caracterización florística y estructura del arbolado urbano de la ciudad de Loja. *Bosques Latitud Cero*, 13(2), 1–22. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i2.1886>
- Puchaicela, C. (2013). *Estudio De La Estructura Anatómica Y Propiedades Físico-Mecánicas De Cinco Especies Maderables En Bosques Secundarios Del Cantón Zamora* [Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5218/1/ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA ANATÓMICA Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5218/1/ESTUDIO_DE_LA_ESTRUCTURA_ANATÓMICA_Y_PROPIEDADES_FÍSICO-MECÁNICAS.pdf)
- Reales, C., Garcilaso, I., Sebasti, S., Moscoso, G., y Cant, E. (2010). *Cantón Loja*. 1, 6. [http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/savia/PDF/Cantón Loja.pdf](http://www.cicad.oas.org/fortalecimiento_institucional/savia/PDF/Cantón%20Loja.pdf)
- Renault, H., Werck, D., y Weng, J. K. (2019). Harnessing lignin evolution for biotechnological applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.10.011>
- Rey, A., Chamorro, D., y Barahona, R. (2014). Efecto del medio de soporte en la estabilidad biológica de dos cepas de Frankia aisladas de Alnus acuminata H. B. K. *Pastos y Forerajes*, 37(3), 305–312. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v37n3/pyf08314.pdf>
- Reyes, J., León, M., y Herrero, G. (2018). Efecto de la fertilización sobre el volumen de madera en Pinus caribaea Morelet var. caribaea Barret y Golfari EN CUB. *Foresta Veracruzana*, 20(2), 29. <https://www.redalyc.org/journal/497/49758340003/html/>
- Rivera, E., Sánchez, M., y Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101–105. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- Rivero, C., Chirenje, T., y Ma, L. (2009). Efecto de la incorporación de ceniza de madera sobre la concentración de elementos pesados unidos a las sustancias húmicas del suelo. *Rev. Fac. Agron*, 35(3), 106–111. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/158/135
- Rosales, M., Honorato, A., Santos, A., Pérez, E., Colotl, G., y Sánchez, V. (2016). Composición

- química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica. *Madera y Bosques*, 22(2), 131–146. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221330>
- Rowell, R. M. (2007). Composite materials from forest biomass: A review of current practices, science, and technology. In *ACS Symposium Series* (Vol. 954). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0954.ch005>
- Ruiz, F., Ruiz, Á., Feria, R., Wenceslao, S., Suárez, M., y Rutiaga, J. (2019). Composición química de la madera de cinco especies de árboles de Oaxaca, México. *BioResources*, 14(4), 9826–9839. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9826-9839>
- Russo, R. (1994). *Alnus acuminata*: valuable timber tree for tropical highlands. *Nitrogen Fixing Trees Highlights*, 90(3), 10–14. https://www.researchgate.net/publication/236626790_Alnus_acuminata_Valuable_Timber_Tree_for_Tropical_Highlands
- Salazar, S. (2002). *Nutrición del aguacate: principios y aplicaciones*. INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. https://books.google.com.ec/books/about/Nutrición_del_aguacate.html?id=gAuTYgEACAAJyredir_esc=y
- Salisbury, F., y Ross, C. (1992). *Plant physiology* (4 Ed). Wadsworth Publishing, Belmont.
- Sánchez, L., Amado, G., Criollo, P., Carvajal, T., Roa, J., Cuesta, A., Conde, A., Umaña, A., Bernal, L., y Barreto, L. (2009). *El aliso (Alnus acuminata H.B.K.) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano*. p.56. https://plantashumedal.weebly.com/uploads/2/0/1/5/20159271/aliso_en_sistemas_silvopastoriles.pdf
- Sánchez, V. (1985). *Raleos iniciales en una plantación de Alnus acuminata (HBK) Oktze en Cascajal de Coronado*. [https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=+Raleos+iniciales+en+una+plantación+de+Alnus+acuminata+\(H.+B.+K.\)+Oktze+en+Cascajal+de+Coronado.yauthor=Sánchez+Vpublication_year=1985](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=+Raleos+iniciales+en+una+plantación+de+Alnus+acuminata+(H.+B.+K.)+Oktze+en+Cascajal+de+Coronado.yauthor=Sánchez+Vpublication_year=1985)
- Siau, J. (1984). *Transport processes in wood* (1st ed., Vol. 2). Springer Berlin Heidelberg.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-69213-0>

- Sidán, O., y Grau, A. (1998). Dinámica de crecimiento de *Alnus acuminata* H.B.K ssp.*acuminata*(aliso de cerro) en áreas de montaña de Tucumán y Catamarca(Argentina). *Lilloa*, 39(2), 191–199.
- Silva, A., Garay, S., y Gómez, A. (2018). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47–57. <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/11629>
- Someshwar, A. (1996). Wood and Combination Wood-Fired Boiler Ash Characterization. *Journal of Environmental Quality*, 25(5), 962–972. <https://doi.org/10.2134/JEQ1996.00472425002500050006X>
- Sotomayor, J., y Villaseñor, J. (2015). Características acústicas de la madera de *Swietenia humilis* y *Alnus acuminata*. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 1(1), 28–33. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol1numero1/Aplicacion-Cientifica-y-Tecnica--35-40.pdf
- Suquilanda, M. (2003). *Fertilización química en plantas forestales; en la Sierra Norte y Central del Ecuador* (pp. 117–203).
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). (1998). *TAPPI Standards: Regulations and Style Guidelines*. Van Nostrand Reinhold. New York, 198.
- Ticona, C. (2018). Análisis comparativo de macronutrientes NPK y materia orgánica en suelos de la Estación Experimental de Sapecho – Alto Beni. *Revista de La Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA*, 4(2), 1–8. http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/apt/v4n2/v4n2_a05.pdf
- Tovar, G. (2006). Manejo del arbolado urbano en Bogotá. *Colombia Forestal*, 9(19), 187–205. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423941362011>
- Urrelo, D., Leal, L., y Bozo, C. (2016). Composición química de la madera de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standley proveniente de la comunidad rural Ocho Hermanos, Municipalidad El Carmen Rivero Torrez, Departamento de Santa Cruz. *Bolivian Journal of Chemistry*, 33(3), 104–115. <https://www.redalyc.org/pdf/4263/426347540001.pdf>

- Vaca, J. (2019). *Aplicación foliar de calcio en el cultivo de fresa (Fragaria sp .) obtenido a partir de cáscara de huevo de gallina (Gallus gallus)* [Universidad Técnica De Ambato]. [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29517/1/Tesis-231 Ingeniería Agronómica - CD 632.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29517/1/Tesis-231%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20CD%20632.pdf)
- Vera, R., Del Valle, W., Pallarozo, R., y Duma, K. (2022). Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas. *Revista Científica Sinapsis*, 2(21). <https://doi.org/10.37117/s.v2i21.534>
- Walkley, A., y Black, I. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*, 37(2), 29–38.
- Yáñez, M., Cantú, I., y González, H. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en las propiedades químicas de un vertisol. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 369–379. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.349>
- Zaki, J., Muhammed, S., Shafie, A., y Daud, W. (2012). Chemical properties of juvenile latex timber clone rubberwood trees. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 16(3), 228–234. https://www.ukm.my/mjas/v16_n3/Junaiza.pdf
- Zobel, B., y Buijtenen, P. (1989). *Wood variation. Its causes and control*. Springer-Verlag. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5386>

11. Anexos

Anexo 1. Árboles seleccionados de *Alnus acuminata* Kunth en parques y avenidas de la ciudad de Loja.



Árbol N ° 1 Parque Lineal la Tebaida.



Árbol N ° 2 Parque Lineal la Tebaida.



Árbol N ° 3 Avenida Emiliano Ortega



Árbol N ° 4 Parque Recreacional Jipiro



Árbol N ° 5 Parque Recreacional Jipiro

Anexo 2. Análisis químico de las muestras de suelo.

Análisis		Ph	N	P	S*	B*	K	Ca	Mg	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	I Bases	MO*	CO.*	Textura (%)			Clase Textural	IDENTIFICACIÓN							
Unidad			ppm	ppm	ppm	ppm	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm				meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla									
23-1325	7,67	L AI	37,39	M	53,30	A		1,47	A	25,20	A	2,28	A				11,06	1,55	18,68	28,95											Muestra AI 001
23-1326	7,87	L AI	22,29	B	61,68	A		0,92	A	23,49	A	3,30	A				7,12	3,60	29,24	27,70											Muestra AI 002
23-1327	7,70	L AI	56,09	M	50,78	A		0,39	A	25,03	A	1,02	A				24,46	2,62	66,71	26,44											Muestra AI 003
23-1328	7,39	P N	68,58	A	167,22	A		0,81	A	28,52	A	1,84	A				15,49	2,27	37,44	31,17											Muestra AI 004
23-1329	7,79	L AI	49,17	M	37,09	A		1,22	A	23,94	A	1,65	A				14,51	1,36	21,03	26,81											Muestra AI 005
23-1330	7,73	L AI	28,63	B	62,63	A		0,92	A	16,65	A	1,79	A				9,32	1,95	20,14	19,35											Muestra Mo 001
23-1331	7,51	L AI	49,89	M	53,96	A		1,12	A	18,45	A	2,00	A				9,23	1,79	18,31	21,56											Muestra Mo 002
23-1332	7,71	L AI	51,17	M	74,24	A		0,50	A	24,74	A	2,67	A				9,25	5,39	55,32	27,91											Muestra Mo 003
23-1333	8,13	Me AI	15,57	B	29,45	A		0,82	A	16,34	A	3,23	A				5,06	3,96	23,95	20,40											Muestra Mo 004
23-1334	7,40	P N	40,58	M	98,96	A		0,96	A	21,70	A	3,01	A				7,22	3,14	25,82	25,66											Muestra Mo 005
23-1335	7,98	L AI	31,92	M	53,72	A		0,83	A	20,39	A	2,23	A				9,16	2,69	27,38	23,44											Muestra Fa 001
23-1336	7,88	L AI	40,62	M	50,27	A		1,16	A	21,59	A	3,16	A				6,83	2,72	21,33	25,91											Muestra Fa 002
23-1337	6,58	P N	74,92	A	120,42	A		0,86	A	21,13	A	2,82	A				7,49	3,27	27,78	24,82											Muestra Fa 003
23-1338	7,69	L AI	27,75	B	53,11	A		0,84	A	22,75	A	2,28	A				10,00	2,71	29,85	25,87											Muestra Fa 004
23-1339	8,04	Me AI	23,49	B	44,46	A		1,43	A	24,11	A	3,79	A				6,37	2,65	19,52	29,33											Muestra Fa 005

Anexo 3. Determinación de las propiedades físicas de cinco individuos de *Alnus acuminata* Kunth.



2.1 Probetas de madera de *A. acuminata*

Anexo 4. Determinación de la composición química de *Alnus acuminata* Kunth.



4.1 Madera en polvo de *A.acuminata*



4.2 Obtención de extractivos



4.3. Obtención de holocelulosa



4.4. Obtención de lignina



4.5. Obtención de ceniza

Anexo 5. Determinación de las propiedades químicas del suelo de cinco individuos de *Alnus acuminata* Kunth.



5.1 Recolección de muestras.



5.2 Etiquetado de muestras



5.3 Muestras para materia orgánica



5.4 Determinación de materia orgánica

Anexo 6. Datos sobre las propiedades físicas de la madera de *Alnus acuminata* Kunth.

N° Árbol	Contenido de humedad(g)	Densidad básica (g/cm ³)	Contracción volumétrica
1	45,37	0,56	13,35
	47,72	0,41	14,64
	47,19	0,51	10,51
	47,12	0,46	11,87
	47,68	0,47	11,22
	48,18	0,44	10,69
	48,05	0,50	12,01
2	46,00	0,44	14,46
	49,55	0,44	11,10
	49,94	0,49	11,27
	50,27	0,47	12,69
	50,91	0,47	12,64
	50,96	0,49	12,54
	50,62	0,50	12,16
3	44,08	0,52	11,80
	44,00	0,58	12,34
	44,89	0,51	13,34

	45,01	0,53	11,61
	45,22	0,51	11,82
	45,03	0,50	12,99
	44,84	0,52	12,31
4	46,69	0,62	10,20
	48,48	0,48	12,88
	48,25	0,48	11,24
	48,12	0,51	11,74
	48,63	0,43	12,59
	48,59	0,59	11,28
	48,19	0,50	10,44
5	47,43	0,46	14,18
	46,73	0,49	13,68
	46,65	0,50	14,38
	46,96	0,52	15,72
	47,05	0,52	13,90
	46,91	0,46	13,08
	46,31	0,44	13,98

Anexo 7. Datos sobre la composición química de la madera de *Alnus acuminata* Kunth.

N° Árbol	Extractivos(%)	Holocelulosa(%)	Lignina(%)	Ceniza(%)
1	2,87	57,29	43,40	0,94
	3,35	58,07	36,70	0,86
	3,55	56,20	35,90	0,87
2	2,79	54,34	50,80	0,82
	3,02	53,94	33,00	0,90
	3,54	53,62	42,20	0,90
3	3,64	56,03	34,30	0,65
	3,76	53,21	44,40	0,65
	4,38	55,30	36,50	0,66
4	4,05	56,55	39,70	0,97
	3,75	55,04	37,10	0,84
	3,87	57,08	38,80	0,89
5	3,10	57,71	44,50	0,81
	3,72	57,75	29,10	0,82
	3,97	58,46	43,10	0,84

Anexo 8. Análisis estadístico.

8.1 Análisis de normalidad de datos.

Supuesto de normalidad de datos
Ho: Datos cumplen normalidad ($p > 0,05$)
H1: Datos no cumplen normalidad ($p < 0,05$)

8.2 .Prueba de Shapiro –Wilks para el analisis de homogeniedad de la composicion quimica de la madera

Variable	n	Media	P (unilateral D)
Extractivos	15	3,56	0,6478
Holocelulosa	15	56,04	0,2509
Lignina	15	39,30	0,9599
Ceniza	15	0,83	0,0302

8.3. Pruebas para el análisis químico de la madera

Variable química de la madera	ANOVA-test
Extractivos	Tukey
Holocelulosa	Tukey
Lignina	Tukey
Ceniza	Kruskal-Wallis

8.4 Prueba de Shapiro –Wilks para el analisis de homogeneidad de las propiedades fisicas de la madera

Variable	n	Media	P (unilateral D)
Contenido de humedad	35	47,36	0,2022
Densidad básica	35	0,49	0,3252
Contracción volumétrica	35	12,48	0,5676

8.5 Pruebas para el análisis de las propiedades físicas de la madera

Variable química de la madera	ANOVA-test
Contenido de humedad	Tukey
Densidad básica	Tukey
Contracción volumétrica	Tukey

8.6 Análisis de significancia del contenido de humedad.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	47,33	B	< 0,0001
2	49,75	A	
3	44,72	C	
4	48,14	B	
5	46,86	B	

8.7 Análisis de significancia de la densidad básica.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	0,48	A	0,1016
2	0,47	A	

3	0,52	A	
4	0,52	A	
5	0,48	A	

8.8 Análisis de significancia de la contracción volumétrica.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	12,04	B	0,0009
2	12,41	B	
3	12,32	B	
4	11,48	B	
5	14,13	A	

8.9 Análisis de significancia del contenido de extractivos.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	3,26	A	0,0683
2	3,12	A	
3	3,93	A	
4	3,89	A	
5	3,60	A	

8.10 Análisis de significancia del contenido de holocelulosa.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	57,19	AB	0,0023
2	53,97	C	
3	54,85	BC	
4	56,22	ABC	
5	57,97	A	

8.10 Análisis de significancia del contenido de lignina.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	38,67	A	0,9464
2	42,00	A	
3	38,40	A	
4	38,53	A	
5	38,90	A	

8.11 Análisis de significancia del contenido de ceniza.

Árbol	Medias	Letras	p- valor
1	0,89	B	0,0431
2	0,87	B	
3	0,65	A	
4	0,90	B	
5	0,82	AB	

Anexo 9. Hoja de registro

FICHA PARA LA COLECTA DE MUESTRAS DE MADERA

2. Árbol Nro.: 05	10. Altitud (m. snm.): 2053.3	16. Tipo de muestra: Núcleo
3. Código árbol:	11. Pendiente (%)/dirección: NO 15%	17. CAP/DAP (cm): 96.5 cm CAP
6. Especie: Aliso	12. Follaje (%): 90%	18. HT/HC (m): 3 HG; 9 HT
7. Sitio: Parque Dipiro	13. Fruct/Floración: NO	19. Luz / cobertura del dosel (%): 75%
8. Coordenadas X (long): 699611	14. Vitalidad del árbol: Buena	20. Comentario árbol: -
9. Coordenadas Y (lat): 9560102	15. Fuste (inclinación °): NO/5°	21. Copa (dom, inter, sup): Inter
22. Colector: Mónica Rosales		

1. Fecha Hora muestra 4. Código muestra 5. Dirección de la muestra 23. Comentario

16-03-2023; 10:00 am	RIAA05-01	NE → SO	Muestra Completa

FICHA PARA LA COLECTA DE MUESTRAS DE MADERA

2. Árbol Nro.: 04	10. Altitud (m. snm.): 2051.2	16. Tipo de muestra: Núcleo
3. Código árbol:	11. Pendiente (%)/dirección: NO/10%	17. CAP/DAP (cm): 100.5 CAP
6. Especie: Aliso	12. Follaje (%): 90%	18. HT/HC (m): 8.5 HG; 11 HT
7. Sitio: Parque Dipiro	13. Fruct/Floración: NO	19. Luz / cobertura del dosel (%): 72%
8. Coordenadas X (long): 699579	14. Vitalidad del árbol: Buena	20. Comentario árbol: -
9. Coordenadas Y (lat): 9560772	15. Fuste (inclinación °): NO/10%	21. Copa (dom, inter, sup): Inter
22. Colector:		

1. Fecha Hora muestra 4. Código muestra 5. Dirección de la muestra 23. Comentario

16-03-2023; 10:25 am	RIAA04-01	SE → NO	Muestra completa

Mgs. Mónica Jimbo Galarza

C E R T I F I C O:

Haber realizado la traducción de Español – Inglés del resumen del Trabajo de Integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal titulado “Relación entre las propiedades químicas del suelo, la composición química y las propiedades físicas de madera de *Alnus acuminata* Kunth, en la ciudad de Loja.” de autoría de Mónica Daniela Rosales Torres CI:1150780631.

Se autoriza a la interesada hacer uso de la misma para los trámites que crea conveniente.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Emitida en Loja, a los 10 días del mes de junio 2024.



Mgs. Mónica Jimbo Galarza

MAGÍSTER EN ENSEÑANZA DE INGLÉS COMO LENGUA EXTRANJERA

REGISTRO EN LA SENECYT N° 1021-2018-1999861