



Universidad  
Nacional  
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**“Composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe”**

*TESIS DE GRADO PREVIA A  
LA OBTENCION DEL TITULO  
DE INGENIERA FORESTAL*

**AUTORA:**

Yadira Mercedes Abad Cordero

**DIRECTORA:**

Ing. Nohemi Jumbo Benítez Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2021



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
Agropecuaria y de Recursos  
Naturales Renovables  
Carrera de Ingeniería Forestal

Loja, 28 de agosto del 2020.

Ingeniera

Johana Muñoz Mg.Sc

GESTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL, UNL

Loja. -

De mi consideración:

La señorita Egresada **YADIRA MERCEDES ABAD CORDERO**, sistematizo y analizó los datos y, escribió los resultados de su investigación de tesis denominada: **Composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe**"; entregó el documento de su tesis, éste fue revisado y corregido en tres borradores en formato digital.

Luego de las correcciones realizadas cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Nacional de Loja, en aspectos de forma y contenido. Además, certifico que la investigación de tesis se realizó dentro del cronograma aprobado.

Por esta razón **AUTORIZO** para que la señorita **Yadira Mercedes Abad Cordero**, presente su trabajo de investigación para que sea calificado por un tribunal y continúe con los trámites para su graduación.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente

NOHEMI DEL  
CARMEN  
JUMBO BENITEZ

Firmado digitalmente por  
NOHEMI DEL CARMEN  
JUMBO BENITEZ  
Fecha: 2020.08.28  
15:49:07 -05'00'

Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez Mg.Sc

**DIRECTORA DE TESIS**



Ing. Narcisca de Jesús Urgiles Gómez Ph.D.

**PRESIDENTA DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS**

**CERTIFICA:**

En calidad de presidenta del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada: “**Composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe**”, de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal Yadira Mercedes Abad Cordero portadora de la cédula N° 1105822538, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por el Tribunal Calificador, y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva calificación. Por lo tanto, autorizo la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

**Atentamente,**

Loja, 27 de enero de 2021



Firmado electrónicamente por:  
NARCISA DE  
JESUS URGILES  
GOMEZ

Ing. Narcisca de Jesús Urgiles Gómez Ph.D.

**PRESIDENTA**



Firmado electrónicamente por:  
LUIS ALFREDO  
YAGUACHE  
ORDONEZ

Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordóñez Mg.Sc

**VOCAL**



Firmado electrónicamente por:  
VANESSA  
ALEXANDRA GRANDA  
MOSER

Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser Mg.Sc

**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, Yadira Mercedes Abad Cordero declaro ser la autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Digitally signed by YADIRA  
MERCEDES ABAD CORDERO  
Date: 2021.02.02 14:11:48

**Firma:**.....

**Autor:** Yadira Mercedes Abad Cordero

**Cédula:** 1105822538

**Fecha:** Loja 02 de febrero de 2021

## CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Yadira Mercedes Abad Cordero, declaro ser autora, de la tesis titulada “**Composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniera Forestal, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dos días uno del mes de febrero de dos mil veintiuno, firma el autor.

Digitally signed by YADIRA  
MÉRCEDES ABAD CORDERO  
Firma:.....Date: 2021.02.02 15:43:03

**Autor:** Yadira Mercedes Abad Cordero

**Número de cédula:** 1105822538

**Dirección:** Loja, La Argelia

**Correo electrónico:** ymabadc@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0988399407

**Celular:** 0988399407

### DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez Mg.Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Narcisa de Jesús Urgiles Gómez PhD.      Presidente

Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordoñez Mg. Sc.      Vocal

Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser Mg. Sc.      Vocal

## AGRADECIMIENTOS

*En este pequeño apartado me permito agradecer a quienes me acompañaron durante este proceso de formación profesional e hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.*

*En primer lugar, a mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, quienes me han brindado su apoyo en todo momento.*

*De igual manera expreso mis agradecimientos a la Técnica del Laboratorio de Química de la Facultad de Educación, el Arte y Comunicación, Lic. Julia González, a las Técnicas del Laboratorio de Suelos, Ing. Diana Iñiguez e Ing. Fernanda Livisaca y a la ingeniera Victoria Moncada encargada del Laboratorio de Dendrocronología, quienes me brindaron la confianza de laborara en sus laboratorios para la realización de mi trabajo de investigación.*

*Gracias a los docentes de la Carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja por sus enseñanzas y motivación que me ha brindado desde inicios de la formación profesional.*

*A los distinguidos miembros de mi tribunal por las observaciones realizadas y el tiempo dedicado a mejorar mi trabajo.*

*Finalmente a mi directora de tesis, estimada Ing. Nohemí Jumbo, por su gran ayuda en el desarrollo de este trabajo, por sus enseñanzas, su comprensión y paciencia.*

**Yadira Abad Cordero**

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis va dedicada a Dios por darme salud, bienestar y fortaleza para lograr una de las tantas metas anheladas, a mis padres Ezequiel Abad y Luz Cordero por su apoyo, amor y confianza y ser ejemplo de perseverancia, humildad, y sacrificio durante toda mi vida*

*A mis familiares, amigos y maestros quienes me brindaron respeto, conocimiento y experiencias maravillosas, gracias a cada uno de ustedes por existir y brindarme la confianza necesaria para alcanzar lo anhelado.*

**Yadira Abad Cordero**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE TESIS.....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORÍA.....</b>	<b>iv</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vii</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1. Ecosistemas Forestales.....	3
2.2. La Madera .....	3
2.2.1. Composición química de la madera .....	4
2.3. Especie <i>Cedrela odorata</i> L. ....	6
2.3.1. Generalidades .....	6
2.3.2. Distribución .....	6
2.3.3. Descripción botánica.....	7
2.3.4. Crecimiento .....	7

2.3.5.	Importancia.....	8
2.4.	El Suelo.....	8
2.4.1.	Propiedades físicas.....	8
2.4.2.	Propiedades químicas.....	9
2.4.3.	Principales nutrientes.....	11
3.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1.	Materiales para la recolección de muestras.....	13
3.2.	Materiales para la determinación de la composición química de la madera.....	13
3.2.1.	Materiales.....	13
3.2.2.	Reactivos.....	14
3.3.	Materiales para el análisis de las propiedades químicas del suelo.....	14
3.3.1.	Materiales.....	14
3.3.2.	Reactivos.....	15
3.4.	Área de estudio.....	16
3.5.	Estimación de los porcentajes de extractivos de ceniza, holocelulosa y lignina de la madera de <i>Cedrela odorata</i> L.....	17
3.5.1.	Recolección de muestras de madera.....	17
3.5.2.	Preparación de las muestras para análisis químico.....	18
3.5.3.	Obtención de extractivos.....	18
3.5.4.	Obtención de la lignina.....	19
3.5.5.	Obtención de la holocelulosa.....	19
3.5.6.	Obtención de ceniza.....	20

3.6.	Análisis de las propiedades químicas del suelo.....	20
3.6.1.	Toma de muestras .....	20
3.6.2.	Obtención de extractivos .....	20
3.6.3.	Determinación de Nitrógeno .....	21
3.6.4.	Determinación de Fósforo (P) .....	21
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>23</b>
4.1.	Composición química de la madera de <i>Cedrela odorata</i> .....	23
4.2.	Relación entre la composición química de la madera de <i>Cedrela odorata</i> L., y las propiedades químicas del suelo .....	28
<b>5.</b>	<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>31</b>
5.1.	Composición química de la madera <i>Cedrela odorata</i> .....	31
5.2.	Relación entre la composición química de la madera de <i>Cedrela odorata</i> L., y las propiedades químicas del suelo. ....	33
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>38</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>44</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Información básica de los individuos seleccionados para la recolección de muestras de la especie <i>Cedrela odorata</i> . .....	18
<b>Tabla 2.</b> Niveles de interpretación de valores de nitrógeno disponibles en el suelo en partes por millón (ppm). .....	21
<b>Tabla 3.</b> Niveles de interpretación de valores de fósforo disponible ( $P_2O_5$ ) en el suelo para la planta en unidades partes por millón (ppm). .....	22
<b>Tabla 4.</b> Valores promedio ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar ( $\pm DS$ ) por árbol y general de las propiedades químicas de la madera de los individuos analizados de <i>Cedrela odorata</i> . .....	23
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio ( $\bar{X}$ ), desviación estándar ( $\bar{X} \pm DS$ ) y coeficiente de variación (CV) e interpretación de las propiedades analizadas del suelo (pH, fósforo y nitrógeno). .....	29
<b>Tabla 6.</b> Relación estadística no paramétrica (Spearman) de la composición químicas de la madera de <i>Cedrela odorata</i> y las propiedades químicas del suelo. ....	30

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de ubicación del área de intervención del proyecto. Los cuadros de color azul y violeta representan los sitios donde se realizarán los diferentes análisis. ....17
- Figura 2.** Porcentaje de la composición química de madera en cada individuo de *Cedrela odorata*. ....24
- Figura 3.** Coeficiente de variación de la composición química de la madera de *Cedrela odorata*  
25
- Figura 4.** Valores promedio de contenido de extractivos de los cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas no significativas ( $p > 0,05$ ) .....25
- Figura 5.** Valores promedio de contenido de extractivos de los cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ). .....26
- Figura 6.** Valores promedio de contenido de extractivos de los cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas no significativas ( $p > 0,05$ ) .....27
- Figura 7.** Valores promedio de contenido de extractivos de cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas no significativas ( $p > 0,05$ ) .....28

**Composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe.**

## RESUMEN

Se realizó la caracterización química de la madera de *Cedrela odorata* y su relación con las propiedades químicas del suelo de un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe. La muestra tomada fue de cinco árboles, de los cuales se obtuvo una rama de un metro de longitud de 10 a 20 centímetros de diámetro, después se las procesó en harina y posteriormente se realizó los análisis de ceniza, extractivos, lignina y holocelulosa de cada muestra. Para realizar los análisis del suelo, se recolectó muestras de suelo del lugar en donde los individuos analizados crecieron y después se analizó el nivel de pH, fósforo y nitrógeno.

El estudio reveló que la Holocelulosa (62,97%), es el componente más abundante, seguido de la Lignina (30,15%) y con un menor porcentaje el contenido de Extractivos (5,64%) y Cenizas (1,24%), estos datos coinciden con los reportados por otros autores para la misma especie. El suelo en donde los individuos crecieron es muy ácido (pH de 4,70) con niveles medios de fósforo (33,74 ppm), y niveles altos de nitrógeno (165,24 ppm). Se encontró que entre las variables de suelo y madera existen cuatro relaciones estadísticamente significativas, de las cuales dos son positivas (fósforo - lignina con una significancia de 0,01 y nitrógeno - holocelulosa con una significancia = 0,01) y dos son negativas (pH - ceniza con una significancia de 0,01 y nitrógeno - lignina con un valor de significancia de 0,04) de manera que existe relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo.

**Palabras clave:** Composición química, madera, suelo, *Cedrela odorata*

## ABSTRACT

The chemical characterization of the wood of *Cedrela odorata* and its relationship with the chemical properties of the soil of a forest ecosystem in the parish of Zumba, province of Zamora Chinchipe, was carried out. The sample taken was from five trees, from which a branch of one meter long and 10 to 20 centimeters in diameter was obtained, then they were processed into flour and then the analyses of ash, extracts, lignin and holocellulose of each sample were made. To perform the soil analysis, soil samples were collected from the place where the analyzed individuals grew and then the level of pH, phosphorus and nitrogen was analyzed.

The study revealed that Holocellulose (62.97%), is the most abundant component, followed by Lignin (30.15%) and with a lower percentage the content of Extractive (5.64%) and Ashes (1.24%), these data coincide with the ones reported by other authors for the same species. The soil where the individuals grew is very acid (pH of 4.70) with average levels of phosphorus (33.74 ppm), and high levels of nitrogen (165.24 ppm). It was found that among the variables of soil and wood there are four statistically significant relationships, of which two are positive (phosphorus - lignin with a significance of 0.01 and nitrogen - holocellulose with a significance = 0.01) and two are negative (pH - ash with a significance of 0.01 and nitrogen - lignin with a significance value of 0.04) so that there is a relationship between the chemical composition of the wood and the chemical properties of the soil.

**Keywords:** Chemical composition, wood, soil, *Cedrela odorata*

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país poseedor de distintos factores biológicos que generan condiciones favorables para sustentar una exuberante variedad de ecosistemas forestales (Castro, Muñoz, y Pucha, 2018). Estos ecosistemas representan un capital natural importante para el presente y el futuro de las poblaciones humanas, en lo que se refiere a bienes y servicios ambientales (Cayuela y Granzow, 2012). Uno de esos bienes es la madera, el cual es un recurso natural renovable y materia prima versátil, de la que se pueden obtener múltiples productos (Martínez y Gil, 2012).

Una de las maderas más representativas del país es la proveniente de la especie *Cedrela odorata* quien posee un alto valor comercial, y es cotizada en los mercados locales, nacionales e internacionales, lo cual ha provocado la fragmentación y disminución de sus poblaciones naturales (Bárceñas et al., 2008). Actualmente se encuentra protegida por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES), y esta categorizada como vulnerable en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Santos García, 2014).

El estudio de la composición química de la madera nos permite definir el uso y aprovechamiento adecuado que se le puede dar a este recurso, lo cual evitaría hacer una extracción indiscriminada de las especies forestales de su ambiente natural (Rosales et al., 2016). A pesar de la importancia en Ecuador son limitados los estudios sobre la composición química de la madera de *Cedrela odorata*.

Hasta el momento solo se tiene referencia del trabajo realizado por Aguinsaca et al (2019), quienes encontraron una alta variabilidad en la composición química entre individuos, especies, y sitios, lo cual está relacionado con factores fisiológicos, morfológicos, biogeográficos, y el origen del tejido vegetal para análisis de laboratorio. Esto provoca que

exista un conocimiento muy limitado, no solo de la composición química de la madera, sino también de cómo esta se ve afectada por las propiedades químicas del suelo. En este sentido, en la presente investigación como parte del proyecto “Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador”, se evaluó si la composición química de la madera de *Cedrela odorata* L., se relaciona con las propiedades químicas del suelo de un ecosistema forestal. Para responder a esta pregunta se plantearon las siguientes hipótesis de investigación:

H0: La composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. no tiene una alta relación con las propiedades químicas del suelo como pH, nitrógeno y fósforo.

H1: La composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. tiene una alta relación con las propiedades químicas del suelo como pH, nitrógeno y fósforo.

### **Objetivo general**

Evaluar la composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar la composición química de la madera de *Cedrela odorata* L., en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe.
- Evaluar la relación entre la composición química de la madera de *Cedrela odorata* L., y las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Ecosistemas Forestales**

Los ecosistemas forestales son zonas de paisaje dominadas por árboles y consisten en comunidades biológicamente integradas de plantas, animales y microbios junto con los suelos locales (substratos) y atmósfera (climas) con los que interactúan. El ecosistema forestal natural está formado por vegetación silvestre en la que predomina las especies arbóreas (Yactayo, 2018). Estos ecosistemas desarrollan funciones vitales para mantener su integridad ecológica, como regulación del ciclo hidrológico, captura y almacenamiento de agua, captura de carbono, generación y formación de suelos, entre otros; asimismo, proporcionan números bienes y servicios para las poblaciones humanas, tales como alimentos, madera, leña y medicinas (CONAFOR, 2009).

Actualmente, los ecosistemas forestales han cobrado importancia y reconocimiento debido a su biodiversidad, los servicios ambientales, los múltiples productos que generan, así como por sus aportaciones a las estrategias de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y su papel esencial para desarrollo de los país (CONAFOR, 2016).

### **2.2. La Madera**

La madera es un material heterogéneo más o menos duro, fibroso y compacto, de origen vegetal, constituido por células muertas, proveniente de las plantas leñosas; presenta gran variedad física y mecánica, aún dentro de una misma especie, dependiendo de las condiciones del sitio (latitud, calidad del suelo, características del clima (altitud, temperatura y precipitación)) donde esta se desarrolla; de su procedencia (bosques nativos o plantados), del manejo silvicultural, de su densidad básica y de los defectos que puede presentar una pieza de madera determinada (CAMICON y MIDUVI, 2014).

Según Robledo (2019) la madera es la parte sólida de los árboles que se encuentra debajo de la corteza. Así, madera es el conjunto de tejidos, de cierta dureza, que constituyen la mayor parte del tronco y las ramas del árbol.

### **2.2.1. Composición química de la madera**

La madera está constituida por componentes primarios y secundarios (Lima, 2013). Según lo describe este autor, los componentes primarios o esenciales los constituyen la holocelulosa (celulosa y hemicelulosa) y la lignina. Por su parte, los componentes secundarios o extraños son de dos tipos: los compuestos extraíbles, bien en agua, en solventes o volatilizados en vapor; y los no extraíbles que son los compuestos inorgánicos, proteínas y sustancias péptidas. Estos compuestos químicos están distribuidos en la madera por toda la pared celular en cantidades variables (Han y Rowell, 1996).

#### **2.2.1.1. *Lignina***

La lignina es un polímero aromático de estructura tridimensional, compleja, ramificada y amorfa (Torres Ramos et al., 2015), constituye del 21 % al 37% de la biomasa leñosa en las coníferas y de 14% al 37% en las latifoliadas (Paz Fong, 2008), su presencia le da el carácter leñoso a una especie forestal y su contenido va aumentando con la edad de la planta (González-Pimentel, 2005). Presenta varias funciones importantes (Carmona, 2015); una es la de conferir resistencia e impermeabilidad a la matriz lignocelulósica y proteger la celulosa de ataques microbianos; otra función es mantener unidas las fibras leñosas mediante la lámina media ubicada en su parte exterior; asimismo es considerado como un tipo de cemento que une las células individuales entre sí.

#### **2.2.1.2. *Holocelulosa***

La holocelulosa es la suma de las porciones de celulosa y hemicelulosa presentes en la madera. Su contenido abarca del 60 al 90 % del total de las sustancias de la pared celular

libre de extractivos o material extraño. La presencia de holocelulosa es, generalmente, mucho más elevado en maderas duras que en maderas blandas (González-Pimentel, 2005).

a) Celulosa

La celulosa denominada también sustancia estructural, es un polisacárido compuesto exclusivamente por moléculas de glucosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) unidas (Cruz, 2011); es pues, un polisacárido; es insoluble en la mayoría de los solventes, incluyendo álcalis fuertes; es difícil aislarla de la madera en forma pura debido a que se encuentra íntimamente asociada con la lignina y las hemicelulosas; contiene desde varios cientos, hasta varios miles de unidades de  $\beta$ -glucosa (Leon, 2016). La celulosa es la biomolécula orgánica más abundante ya que forma la mayor parte de la biomasa terrestre (Cruz, 2011).

b) Hemicelulosa

Las hemicelulosas son una mezcla de polisacáridos cuyos componentes principales son polipentosas y polihexosas. Las polipentosas son macromoléculas de pentosas en las cuales aparecen con especial frecuencia como componentes fundamentales la D- xilosa y la L- arabinosa. Las polihexosas son macromoléculas con hexosas, particularmente D-manosa, D-galactosa y D-glucosa, como componentes fundamentales (Leon, 2016). La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como lo es el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre ésta por el resto de las células que la rodean (Cruz, 2011).

**2.2.1.3. Ceniza**

Las cenizas son las sustancias inorgánicas de la madera que se pueden determinar por incineración del material lignocelulósico a temperaturas entre 525 y 900 °C. Fundamentalmente son las sales inorgánicas de calcio, potasio y magnesio (González-

Pimentel, 2005). Usualmente su contenido es alrededor del 1% en maderas de climas templados y puede ser mayor en aquellas de climas tropicales (Carchi, 2014).

#### **2.2.1.4. Sílice**

El sílice es un material cuya fórmula química y grado de dureza se asemejan al diamante, pueden encontrarse en el interior de las células en forma partículas o granos. Los cristales y depósitos de sílice tienen gran importancia en la propiedad de trabajabilidad de la madera y se conocen popularmente como cenizas, se ha informado que tanto para coníferas como para latifoliadas varían entre 0.1 y 1.0 % (Paucar, 2015).

#### **2.2.1.5. Extractivos**

Los extractivos son sustancias de la madera, que no forman parte integral de la estructura celular, pueden ser extraídos en una solución caliente o fría de agua, éter, benceno u otros solventes inertes que no alteren la sustancia madera (Nalvarte A., Puertas P., Guevara C., Espinoza M, y Icochea E., 2013)

### **2.3. Especie *Cedrela odorata* L.**

#### **2.3.1. Generalidades**

*Cedrela odorata* L. (cedro rojo), característica de las regiones tropicales (Fernández, 2013), es considerada una de las especies forestales de mayor importancia económica. Fue descrita originalmente por Linneo en 1759 en su obra System Naturae (Apolinar, 2011), y taxonómicamente se clasifica de la siguiente manera: División: Magnoliophyta; Clase: Magnoliopsidae; Subclase: Rosidae; Orden: Sapindales; Familia: Meliaceae; Género: *Cedrela*; Especie: *odorata* (Apolinar, 2011).

#### **2.3.2. Distribución**

El cedro es una especie originaria de América Tropical se distribuye, desde el norte de México hasta el norte de Argentina así como en las islas del Caribe, forma parte de la flora nativa de la mayoría de países latinoamericanos, a excepción de Chile (Ramírez et al., 2018).

### **2.3.3. Descripción botánica**

Se caracteriza por ser un árbol de hasta 35 m de altura, y de 1.7 m de diámetro a la altura del pecho, ramas ascendentes y gruesas, copa redondeada, densa su corteza externa ampliamente fisurada con las costillas escamosas pardo grisácea a moreno rojiza, la capa interna rosada y cambia a pardo amarillenta, fibrosa y de sabor amarga; de un grosor total en la corteza de 20 mm. Sus hojas tienen apariencia de pluma de color verde oscuro en el anverso y verde pálido o amarillento en el reverso presentan un olor penetrante a ajo cuando se estrujan. Sus flores son masculinas y femeninas están suavemente perfumadas y son de color blanco verdoso. Sus frutos son unas capsulas leñosas agrupadas que en estado inmaduro poseen un color verde y al madurar se torna café oscuro y se ven doblados, tiene alrededor de 30 semillas aladas (Santos García, 2014).

### **2.3.4. Crecimiento**

El crecimiento inicial de *Cedrela odorata* es rápido en condiciones normales cuando el árbol mide 15-35 cm de DAP, ya que después se hace más lento. Los árboles en plantaciones se pueden aprovechar cuando alcanzan 45 cm de DAP (Cárdenas y Salinas, 2007). En bosque natural, es común encontrar una alta densidad de plántulas cerca de los árboles productores de frutas poco después del comienzo de la temporada lluviosa, pero la mayoría de estas plántulas desaparece a la mitad de la temporada lluviosa o poco después; esta alta mortalidad natural puede deberse a la sombra o la competencia, pero se cree que se debe en parte al mal del vivero (“damping off”) o a otros problemas con las raíces (Cintrón, 1990).

### **2.3.5. Importancia**

La especie tiene, a nivel mundial, un mercado completamente desarrollado. De hecho, cedro y caoba son las maderas con mayor mercado a nivel mundial (Ávila et al., 2017). La madera del cedro es atractiva, moderadamente liviana (con un peso específico de 0.4) (Cintrón, 1990). Esta apreciación es consecuencia de su dureza, color y aroma, además de su magnífico comportamiento como material para distintos usos: madera aserrada, chapa, triplay, ebanistería y carpinterías se utiliza en acabados y divisiones de interiores, muebles de lujo, chapas decorativas, artículos torneados, gabinetes de primera clase, puertas talladas, contrachapados (Cárdenas L. y R. Salinas, 2007).

## **2.4. El Suelo**

El suelo es la capa superficial de material mineral y orgánico no consolidado que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota material parental y tiempo) (CONAFOR, 2009).

### **2.4.1. Propiedades físicas *Textura***

La textura se refiere a la distribución de las partículas del suelo expresada en porcentaje; Estas partículas son la arena (2–0.0 2 mm), limo (0.02–0.002 mm) y arcilla (0.002) (Ramirez Carvajal, 1997). Esta propiedad influye en la fertilidad y la capacidad de retención de agua, aireación y contenido de materia orgánica (Novillo Espinoza et al., 2018).

#### **2.4.1.2. *Estructura***

La estructura es cómo se agrupan las partículas de arena, limo y arcilla, para formar agregados, no debe confundirse “agregado” con “terron”. El terrón es el resultado de las operaciones de labranza y no guarda la estabilidad que corresponde a un agregado (Sánchez, 2007).

#### **2.4.1.3.        *Color***

Es una de las características que guarda relación directa con la temperatura, dinámica de los elementos, movilidad del agua en el suelo, contenido de materia orgánica, cantidad de organismos y evolución de los suelos (Ramirez Carvajal, 1997).

#### **2.4.1.4.        *Densidad (Da)***

La densidad aparente es la relación entre el volumen total de sólidos del suelo y su masa utilizada como indicador de calidad del suelo, da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación (Novillo Espinoza et al., 2018).

#### **2.4.1.5.        *Densidad real (Dr)***

Es la relación entre el volumen de las partículas de suelo y el volumen de éstas sin considerar el espacio poroso (Ramirez Carvajal, 1997). Mide el grado de compactación de un determinado suelo cuando éste ha sido sometido a trabajos constantes de maquinaria pesada sobre la capa arable, pudiendo mostrarse esa compactación en esa misma capa o en la subyacente (Ramirez Carvajal, 1997).

#### **2.4.1.6.        *Porosidad***

La porosidad es el porcentaje de espacios vacíos (o poros) con respecto del volumen total del suelo (volumen de sólidos + volumen de poros). A su vez, la porosidad incluye macroporosidad (poros grandes donde se ubica el aire) y la microporosidad (poros pequeños, que definen los capilares donde se retiene el agua) (Sánchez, 2007).

### **2.4.2. Propiedades químicas**

Desde el punto de vista general, la composición elemental de los suelos varía de acuerdo a la naturaleza de la roca madre y los cambios producidos durante la meteorización, acumulación de materia orgánica y prácticas de manejo. Un factor importante es la movilidad relativa de

los distintos elementos, que determina pérdidas diferenciales durante los procesos de meteorización y formación del suelo. Así, el  $\text{SiO}_2$  es el constituyente más abundante en las rocas ígneas y en la mayoría de los suelos, en cambio las bases Ca, Mg, K y Na presentan porcentajes más bajos en los suelos que en las rocas ígneas debido a su remoción preferencial durante la meteorización (Rucks, Garcia, Kaplán, Ponce de León, y Hill, 2004).

#### **2.4.2.1. *El pH***

El pH expresa el grado de acidez del suelo, es decir la concentración (en forma logarítmica) de hidrogeniones  $\text{H}^+$  que existen en el suelo (Lozano, 2018); entre más alta sea la concentración de  $\text{H}^+$  menor será el pH y mayor la acidez y viceversa. En la escala del pH el valor máximo es 14 que indica máxima alcalinidad, y el valor de 7 corresponde a un suelo neutro (Siavosh, 2016).

El pH es una de las propiedades fisicoquímicas más importante en los suelos, ya que determina su solubilidad, así como la actividad de los microorganismos que mineralizan la materia orgánica; por lo que este factor influye en la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Ramirez Carvajal, 1997). Los valores de pH que proporciona mejores condiciones de asimilabilidad de nutrientes para las plantas son los ligeramente ácidos (pH entre 6 y 7) (Ginés y Mariscal, 2002).

#### **2.4.2.2. *Capacidad de intercambio catiónico del pH***

La materia orgánica del suelo y las arcillas poseen cargas eléctricas; predominantemente negativas. Estas cargas ayudan a retener los elementos cargados positivamente, tanto aquellos de naturaleza ácida como básica, evitando que se pierdan con facilidad por lixiviación (lavado); Los cationes retenidos en esta fase por fuerzas electroestáticas se intercambian con aquellos que se encuentran en la solución del suelo; fenómeno que se conoce como el

Intercambio Catiónico (Siavosh, 2016). Los suelos con más cargas negativas poseen una mayor Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (Siavosh, 2016).

### **2.4.3. Principales nutrientes**

Todos los nutrientes son esenciales para que las plantas puedan desarrollarse. Sin embargo existen algunos elementos que por la cantidad en que son requeridos por las plantas son llamados macro elementos, elementos primarios o elementos esenciales. Un desbalance entre ellos crearía serios problemas en el desarrollo de las plantas. Entre los macro elementos tenemos al nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (Morales, 2011).

**Nitrógenos (N):** Interviene en procesos de, absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis multiplicación y diferenciación celular (Sánchez, 2007). La disponibilidad de este elemento depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Esta mineralización se da en valores cercanos a pH 7, que es donde mayor desarrollo presenta las bacterias encargadas de la nitrificación y la fijación de nitrógeno (Ramirez Carvajal, 1997).

**Fósforo (P):** Interviene en los procesos de almacenamiento y transferencia de energía, fijación simbiótica de nitrógeno y en otros procesos con el nitrógeno. Si el pH es ácido, la solubilidad del aluminio y del hierro es alta (Sánchez, 2007). Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles. En pH alcalino, es decir, superior a 7.5, el calcio aumenta su solubilidad y reacciona con los fosfatos precipitándolos y formando compuestos insolubles; por lo tanto, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5, siendo en ese rango donde se presenta la mayor mineralización de compuestos de fósforo orgánico y mineral (Ramirez Carvajal, 1997).

**Potasio (K):** Interviene en procesos osmóticos, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis y transporte de carbohidratos, respiración y fijación simbiótica de nitrógeno (Sánchez, 2007). Aumentan su solubilidad con pH de 7 a 8,5 (Ramirez Carvajal, 1997).

**Calcio (Ca):** Interviene en los procesos de estructura y funcionamiento de las membranas, absorción iónica, reacciones con hormonas vegetales y activación enzimática (Sánchez, 2007). Aumentan su solubilidad con pH de 7 a 8,5 (Ramirez Carvajal, 1997).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Materiales para la recolección de muestras**

- Libreta
- Esferográfico
- Marcador
- Cinta adhesiva
- GPS
- Fundas ziploc
- Saquillos
- Machete
- barreta
- Cámara fotográfica

#### **3.2. Materiales para la determinación de la composición química de la madera**

##### **3.2.1. Materiales**

- Espátulas
- Pinzas
- Marcadores
- Extractor Soxhlet,
- Condensador a reflujo
- Crisoles de porcelana
- Embudos
- Matraces de 200 ml
- Papel filtro de 11 y 25 mm
- Probetas de 500 y 100 ml

- Pipetas de 10 ml
- Peras
- Tubos
- Soporte Universal
- Balanza analítica
- Baño María
- Desecador
- Mufla
- Plancha Eléctrica de una Hornilla
- Refrigerante de Reflujo

### **3.2.2. Reactivos**

- Ácido acético concentrado ( $H_2SO_4$ )
- Clorito de sodio ( $NaClO_2$ )
- Éter de Petróleo
- Alcohol etílico
- Solución de HCl 1N y 4N
- Hipoclorito al 1%
- Agua destilada
- Muestra de la especie forestal

### **3.3. Materiales para el análisis de las propiedades químicas del suelo**

#### **3.3.1. Materiales**

- Bandejas con cubetas
- Bandejas de extracción y dilución
- Cuchareta calibrada

- Diluidores
- Frascos de polietileno
- Medidores de suelo de capacidades de 2.5 - 5 - 10 ml
- Pipetas volumétricas
- Probetas de 100 m
- Soporte universal
- Tubos de ensayo
- Agitador automático axial
- Balanza Analítica
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Espectrofotómetro UV - 1800
- pH metro ORION 4 STAR.
- Refrigerador

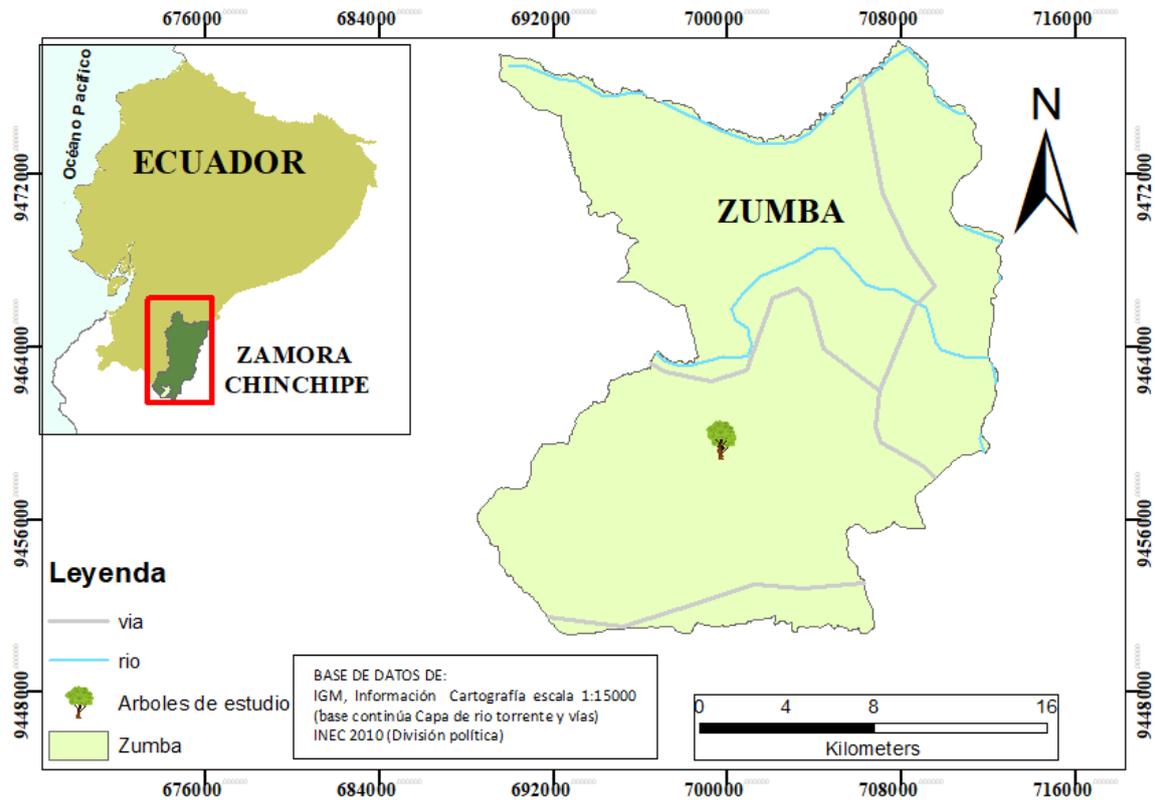
### **3.3.2. Reactivos**

- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada
- Cloruro de Amonio
- Cloruro de potasio (KCl)
- Fenol básico
- Fosfato monobásico
- Goma de Acacia Q.P.2
- Hidróxido de Sodio
- Molibdato de Amonio
- Olsen

- Óxido de lantano al 1%
- Solución buffer pH 4, pH7, pH10.
- Solución de Hipoclorito de Sodio

### **3.4. Área de estudio**

La investigación se realizó en un ecosistema forestal ubicado en la región sur de Ecuador específicamente en la parroquia Zumba del cantón Chinchipe perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 1). De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Chinchipe (2020), la parroquia Zumba cuenta con una extensión de 426,00 km<sup>2</sup> y un rango altitudinal de 1000 a 2300 m s.n.m., presenta un precipitación media anual de 1165,10 mm y una temperatura media anual de 22 a 24 °C; la región corresponde a la formación bosque húmedo Pre-Montano de la clasificación ecológica de Holdridge y según la clasificación del Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE, a los ecosistemas Antrópico, Bosque Siempreverde Montano Bajo de los Andes Orientales del Sur, Bosque Siempreverde Montano Bajo de los Andes Orientales del Sur y Bosque de Neblina Montano de los Andes Orientales.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de intervención del proyecto. Los cuadros de color azul y violeta representan los sitios donde se realizarán los diferentes análisis.

### 3.5. Estimación de los porcentajes de extractivos de ceniza, holocelulosa y lignina de la madera de *Cedrela odorata* L.

#### 3.5.1. Recolección de muestras de madera

Para realizar la caracterización química de la madera se seleccionó cinco individuos de *Cedrela odorata* L; para la selección de los individuos se consideró parámetros mínimos como tener un buen estado fitosanitario y fuste recto, de los cuales se recolectó secciones de ramas de un metro de longitud y diámetros de 10 a 20 cm dependiendo del individuo (Anexo 1). A cada muestra se la identificó con su respectiva etiqueta, la cual contiene el número de árbol, diámetro a la altura del pecho (DAP), coordenadas geográficas y altitud (véase en la tabla 1).

**Tabla 1.** Información básica de los individuos seleccionados para la recolección de muestras de la especie *Cedrela odorata*.

Árboles	CAP (cm)	DAP (cm)	Coordenadas UTM		Altitud
			X	Y	
1	96	30,57	699750	9459623	2184
2	62	19,75	699740	9459539	2214
3	65	20,70	699725	9459527	2215
4	86	27,39	699651	9459813	2138
5	66	21,02	699630	9459856	2148

### 3.5.2. Preparación de las muestras para análisis químico

Para la preparación de las muestras y la caracterización química se utilizó las Normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1978), y la metodología desarrollada por Anguinsaca *et al.*, (2019). De cada muestra se obtuvo los datos del contenido de extractivos, ceniza, holocelulosa y lignina; los análisis se realizaron con tres repeticiones.

Las secciones de madera fueron secadas al ambiente y su corteza fue removida. Posteriormente en el laboratorio de Bromatología de la Facultad Agropecuaria con ayuda de la lijadora de banda y una lija de banda N°60, se obtuvo la harina de madera de cada individuo. Finalmente se tamizó a través de una malla N° 40 (0,42 mm).

Posteriormente, en el Laboratorio de Química Facultad de Educación, el Arte y la Comunicación, se realizó la extracción de extractivos; el análisis del contenido de ceniza de lignina y de holocelulosa.

### 3.5.3. Obtención de extractivos

Para la obtención de extractivos se pesó aproximadamente 4 g de muestra (aserrín) en papel filtro, y se colocó en un dedal de celulosa, el cual fue introducido en un extractor de Soxhlet. Se conectó con un refrigerante a reflujo y con el balón, el cual previamente fue pesado y

llenado con 160 ml del solvente a usar (Éter de petróleo o alcohol etílico). 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, para el porcentaje de extractivos se aplicó la siguiente fórmula:

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

#### **3.5.4. Obtención de la lignina**

Para la obtención de lignina se pesó 0,1 g de muestra libre de extractivos, se adicionó 1,5 ml de ácido sulfúrico concentrado al 72% y se dejó reposar por 15 min. Luego se agregó 60 ml de agua destilada, se dejó hervir a reflujo por 30 min y luego enfriar.

Posteriormente se filtró en papel filtro previamente pesado lavando con agua caliente, los residuos obtenidos se los dejó secar en una estufa a 100°C. Para finalizar se pesó el papel filtro con el residuo obtenido, para el porcentaje de extractivos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{(\text{Peso seco del papel filtro} + \text{residuo}) - (\text{Peso del papel filtro vacío})}{\text{Peso seco de muestra}} * 100$$

#### **3.5.5. Obtención de la holocelulosa**

Para la obtención de la holocelulosa se pesó 1,0 gramo de muestra libre de extractivos en el matraz de 250 ml, se añadió 150 ml de Clorito de Sodio (NaClO<sub>2</sub>) al 1,5 % y 10 gotas de Ácido Acético (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) concentrado, después se tapó y llevó a baño maría a 70°C por 40 min, pasados los 40 min se dejó enfriar y se filtró en papel filtro previamente pesado. Luego, se lavó el residuo con agua destilada fría y se llevó la holocelulosa obtenida a la estufa a 105°C y finalmente se pesó. Para determinar el porcentaje de celulosa se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Holo} = \frac{(\text{Masa seca del papel filtro} + \text{residuo}) - (\text{masa seca papel filtro vacío})}{\text{masa seca de muestra}} * 100$$

### **3.5.6. Obtención de ceniza**

Para la obtención de ceniza en un crisol tarado se pesó aproximadamente 5g de muestra, luego se colocó en una mufla a 575- 600°C, durante 5 horas aproximadamente, se dejó enfriar y se pesó. Para el cálculo del porcentaje de ceniza, se aplicó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{masa de cenizas obtenidas}) - (\text{masa de crisol vacío})}{\text{masa de muestra seca}} * 100$$

## **3.6. Análisis de las propiedades químicas del suelo.**

### **3.6.1. Toma de muestras**

Las muestras de suelo fueron recolectadas en el área de cada individuo en un radio de dos metros, para lo cual se cavó un hoyo de 40 por 20 centímetros de profundidad. A cada muestra se la identificó con su respectiva etiqueta, posterior a su etiquetado fueron transportadas en fundas plásticas hacia el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja para su respectivo análisis en laboratorio.

Para el análisis químico se dejó secar las muestras de suelo, posteriormente se las trituró y se las tamizó a través de una malla N° 10.

### **3.6.2. Obtención de extractivos**

En un frasco de plástico se colocó 2,5 gr de muestra de suelo y se añadió 25 ml de solución extractante (Olsen modificado), después se agitó durante 10 min a 400 rpm, luego se filtró en papel filtro y finalmente se guardó en el refrigerador la solución resultante en frascos de polietileno.

### 3.6.3. Determinación de Nitrógeno

En un tubo de ensayo se colocó 2.0 ml de extractivos, posteriormente se añadió 8.0 ml de fenol básico y 10 ml de Hipoclorito de sodio (NaClO); se dejó en reposo sin exposición a la luz directa durante una hora con la finalidad de mantener por más tiempo el color estable.

Se realizó la curva de calibración, utilizando las concentraciones de 0 – 3 – 6 – 19 – 12 ppm, tomando como punto más alto la solución patrón y como punto más bajo la solución extractante. Se determinó la absorción a una longitud de onda de 630 nm, finalmente se interpoló los datos de absorbancia de las muestras en la curva de calibración que se construyó y reposó directamente el mg de N por 1000 ml de suelo (ppm).

*Tabla 2. Niveles de interpretación de valores de nitrógeno disponibles en el suelo en partes por millón (ppm).*

Elemento	Unidad	Región	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
Nitrógeno (N)	ppm	Sierra / Oriente	< 30,0	30,0 – 60,0	> 60,0	---
		Costa	< 20,0	20,0- 40,0	>40,0	---

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNL

### 3.6.4. Determinación de Fósforo (P)

En un tubo de ensayo se tomó 1,0 ml de extractivos, posteriormente se agregó 4,0 ml de agua destilada y 5,0 ml de reactivo de color para fósforo y reposó por 1 hora. Para hacer la curva de calibración, se utilizó las concentraciones de 0 – 30 – 60 – 90 – 120 ppm, tomando como punto más alto (120 ppm) la solución de 12 mg/ml de P y como punto más bajo (0 ppm) la solución extractante. En el espectrofotómetro UV, se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 680 nm. Al interpretar los datos de absorbancia de las muestras, en la curva de calibración, se reportó directamente el mg de P por 1000 ml de suelo (ppm).

**Tabla 3.** Niveles de interpretación de valores de fósforo disponible ( $P_2O_2$ ) en el suelo para la planta en unidades partes por millón (ppm).

Elemento	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
P <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	ppm	< 22,91	22,91 – 45,82	> 45,82	---

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNL

### 3.7. Análisis y procesamiento de datos.

El análisis y procesamiento de datos se los realizó en Excel (Microsoft office 2010) y en el programa de Infostat versión student 2018, para lo cual los datos de madera y suelo fueron registrados en tablas de entrada múltiple diseñadas a partir de los datos. Los resultados promedio de los componentes químicos de madera de cada individuo se presentaron en Tablas y graficas de barra. Asimismo, se presentó en una gráfica de barra del coeficiente de variación (CV) de los componentes químicos. Se aplicó una prueba no paramétrica de comparación múltiple de medias de Kruskal-Wallis, con el Test de Dunn a posteriori, con el fin de evaluar las posibles diferencias significativas de la composición química de madera entre los cinco individuos considerados para el estudio. Para este análisis el nivel de significación a usar fue  $p = 0.05$ . Este análisis se hizo con la ayuda del paquete estadístico Infostat.

Las diferencias significativas, son representadas por letras distintivas dado que la probabilidad de cada individuo es menor que 0,05; es decir, que, si hay dos o más individuos que comparten una letra del alfabeto latino, tiene similitud estadística y van a conformar un solo grupo; esto se debe a que el valor de probabilidad de cada individuos es mayor o igual a 0,05.

Para conocer la relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo, se aplicó una correlación bivariada de Spearman (prueba no paramétrica) con un nivel de significancia = 0,05. Este análisis se llevó a cabo con el paquete estadístico Infostar.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Composición química de la madera de *Cedrela odorata*

La composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. analizada en los cinco árboles (Tabla 4), muestran que en promedio esta especie contiene 1,24% de ceniza, 5,64% de extractivos, 30,15% de lignina y 62,97% de holocelulosa. De esta manera los componentes con menor y mayor proporción presentes en la madera son la ceniza y la holocelulosa

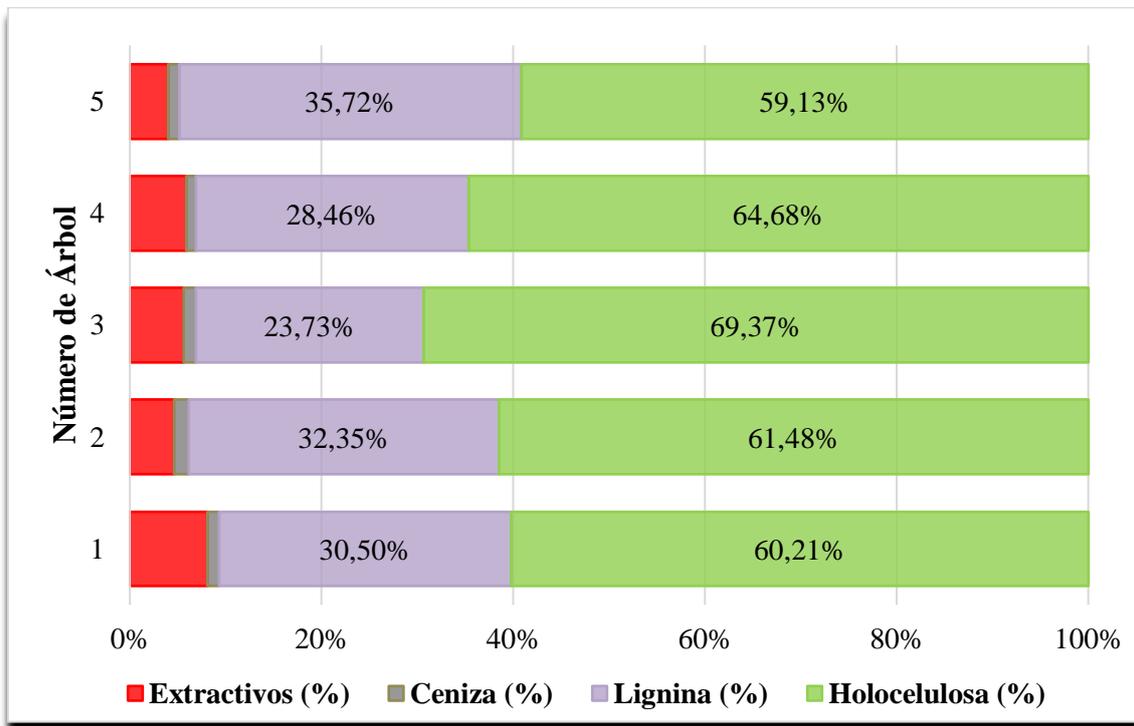
**Tabla 4.** Valores promedio ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar ( $\pm DS$ ) por árbol y general de las propiedades químicas de la madera de los individuos analizados de *Cedrela odorata*.

#### Composición Química de la madera

Árbol	Extractivo	Ceniza	Lignina	Holocelulosa
	% / (DS)	% / (DS)	% / (DS)	% / (DS)
1	8,09 / ( $\pm 1,68$ )	1,20 / ( $\pm 0,13$ )	30,50 / ( $\pm 1,31$ )	60,21 / ( $\pm 2,89$ )
2	4,57 / ( $\pm 0,66$ )	1,60 / ( $\pm 0,25$ )	30,50 / ( $\pm 1,31$ )	61,48 / ( $\pm 3,85$ )
3	5,64 / ( $\pm 0,78$ )	1,27 / ( $\pm 0,08$ )	32,35 / ( $\pm 3,68$ )	69,37 / ( $\pm 2,61$ )
4	5,89 / ( $\pm 2,43$ )	0,98 / ( $\pm 0,06$ )	23,73 / ( $\pm 2,81$ )	64,68 / ( $\pm 3,47$ )
5	4,01 / ( $\pm 0,12$ )	1,14 / ( $\pm 0,03$ )	35,72 / ( $\pm 7,26$ )	59,13 / ( $\pm 7,33$ )
$\bar{X}(\%)$	<b>5,64</b>	<b>1,24</b>	<b>30,15</b>	<b>62,97</b>
$\bar{X}(\pm DS)$	1,57	0,23	4,47	4,13

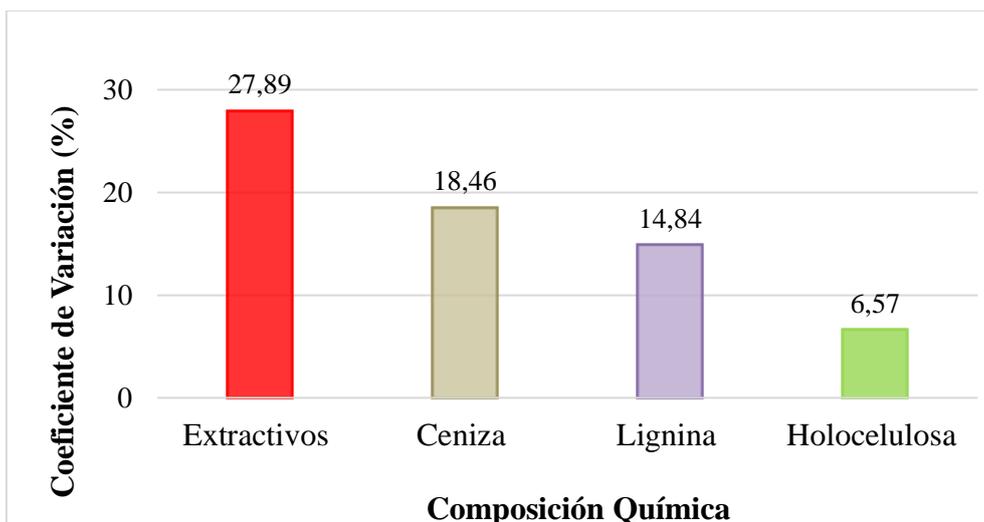
La tabla 4 y figura 2 muestran el contenido porcentual de la composición química de la madera de *Cedrela odorata* de cada uno de los individuos analizados. El contenido porcentual y la desviación estándar (véase en la tabla 5) indican que la holocelulosa y la lignina son las propiedades más abundantes en la composición química de esta especie con valores superiores al 59% ( $\pm 7,33$ ) y 23,73% ( $\pm 2,81$ ) respectivamente, siendo el árbol tres el que presentó el mayor porcentaje (69,37%) para holocelulosa y, para el contenido de lignina,

con un porcentaje de 35,72% destacó al árbol cinco. El contenido de extractivos y ceniza fueron los componentes menos abundantes, los cuales no superan el 10% del total general.

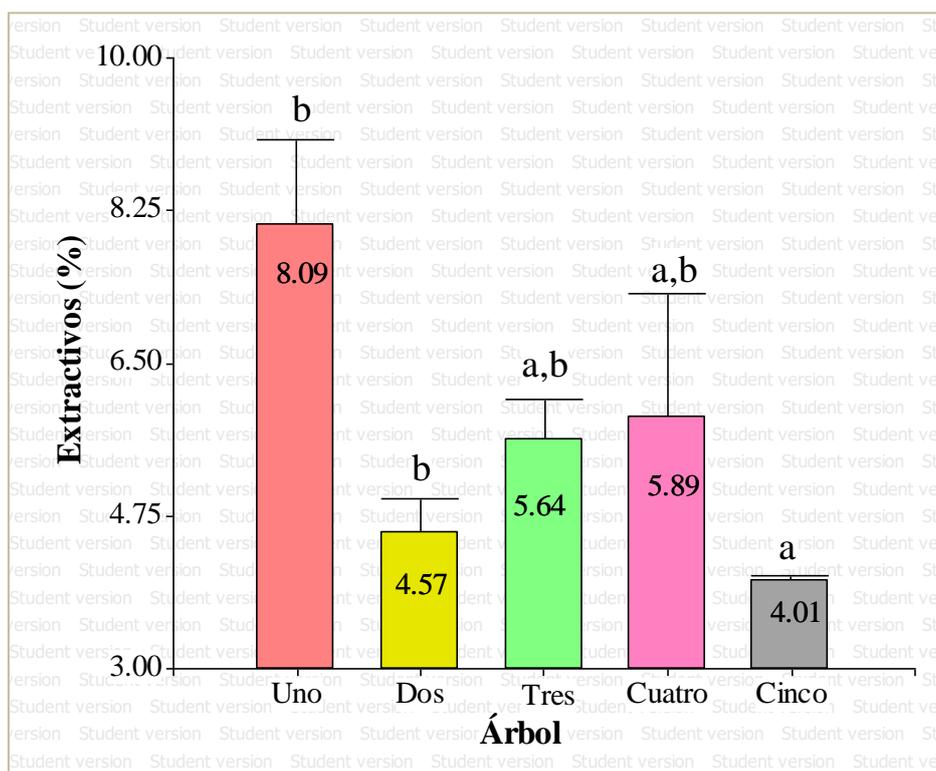


**Figura 2.** Porcentaje de la composición química de madera en cada individuo de *Cedrela odorata*.

En la Figura 3, se muestra el grado de variabilidad que presentó la composición química de la madera de *Cedrela odorata*. El contenido de extractivo fue el componente más variable con un CV de 27,89%, seguido del contenido de ceniza con un CV de 18,46%; mientras que, el contenido de lignina y holocelulosa resultaron ser más homogéneos, con valores del CV de 14,84% y 6,57% respectivamente.



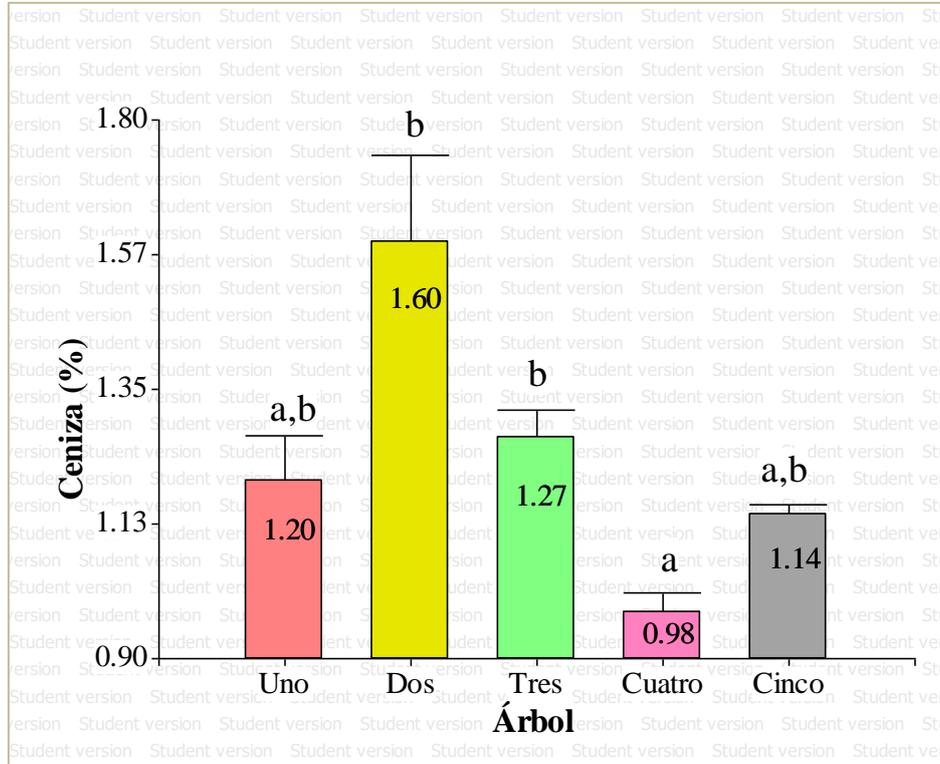
**Figura 3.** Coeficiente de variación de la composición química de la madera de *Cedrela odorata*



**Figura 4.** Valores promedio de contenido de extractivos de los cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas no significativas ( $p > 0,05$ )

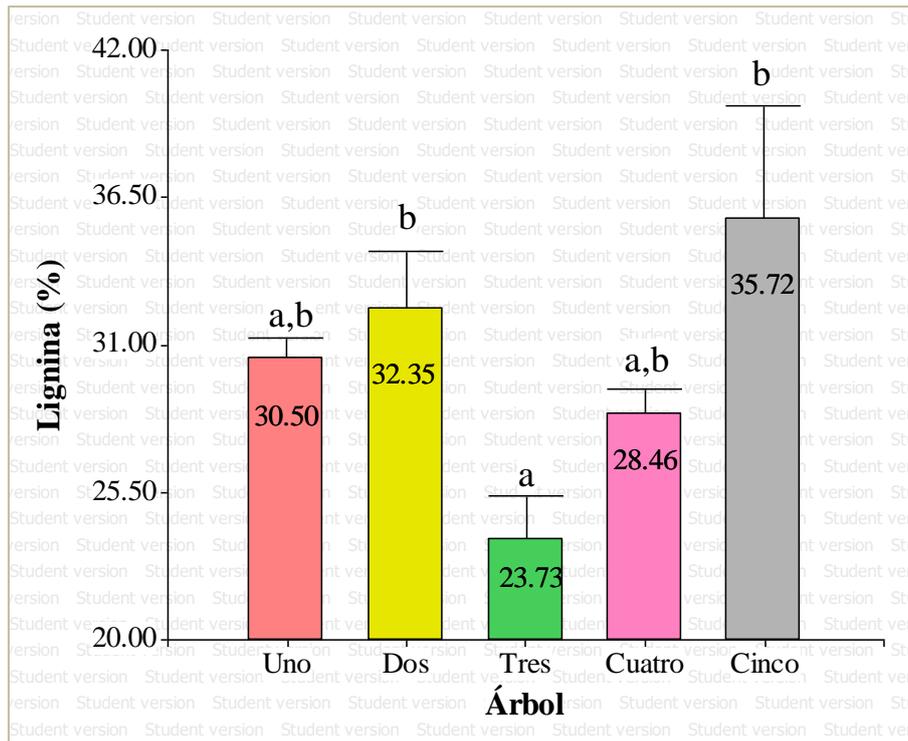
En la figura 4 se observa el contenido de extractivos (%) de la madera de *Cedrela odorata* de cada uno de los individuos estudiados, el cual se encuentra entre 4,1 % (árbol cinco) a 8% (árbol uno). A sí mismo el análisis estadístico (Kruskal Wallis) agrupa a los árboles en dos

grupos: en el primer grupo tenemos al árbol 1, 4 y 5 y en el segundo grupo, los árboles 1, 2, 3 y 5 para los cuales muestra que no existe diferencia significativa ( $p = 0,0953$ ) entre sus valores.



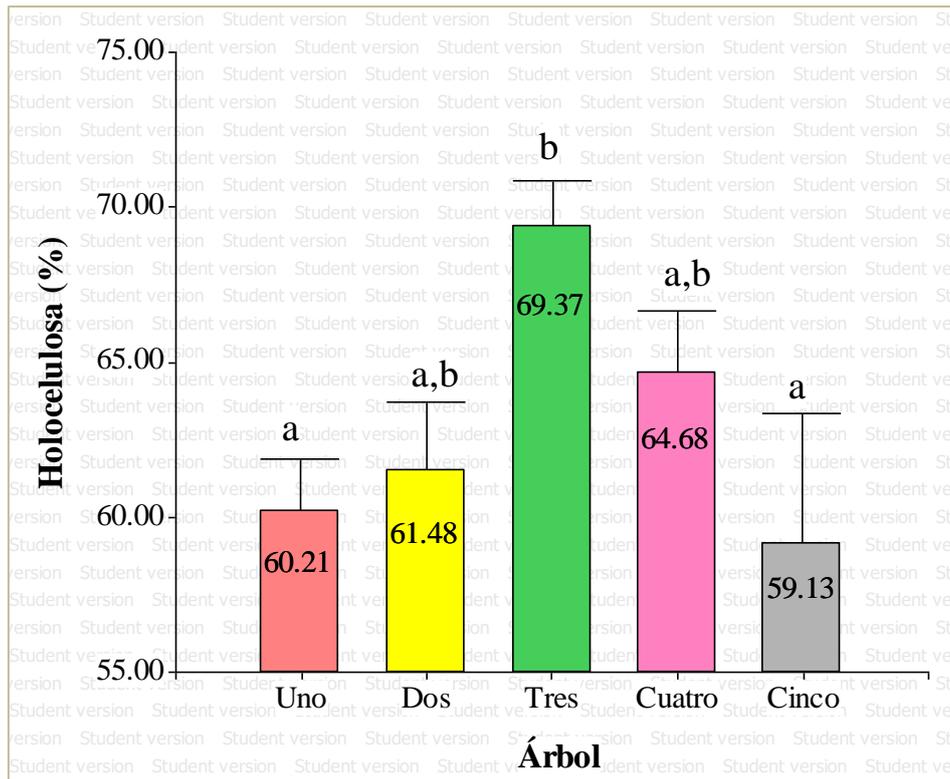
**Figura 5.** Valores promedio de contenido de extractivos de los cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).

La figura 5 presenta el contenido de ceniza (%) de la especie estudiada, el cual se encuentra en un rango de 0,98% (árbol cuatro) a 1,60% (árbol dos). De acuerdo al análisis estadístico, se ve que existe diferencia significativa ( $p = 0,0248$ ) de este componente entre los árboles analizados, identificando dos grupos; primer grupo, árboles 1, 4 y 5 y segundo grupo, árboles 1, 2, 3 y 5.



**Figura 6.** Valores promedio de contenido de extractivos de los cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas no significativas ( $p > 0,05$ )

El porcentaje de lignina que posee la especie *Cedrela odorata* varía de 23.73% (árbol tres) a 35,72% (árbol cinco), como se observa en la Figura 10, de la misma manera se muestra los resultados del análisis estadístico (Kruskal-Wallis) el cual dio un valor de  $p = 0,0654$ , lo que se interpreta que los promedios de lignina no son diferentes estadísticamente.



**Figura 7.** Valores promedio de contenido de extractivos de cinco árboles de *Cedrela odorata*. Letras distintas indican diferencias estadísticas no significativas ( $p > 0,05$ )

El contenido promedio de holocelulosa de los árboles varió entre 59,13% (árbol cinco) y 69,37% (árbol tres) cuyos resultados se muestran en la Figura 11, en la cual también se indica los resultados del análisis estadístico (Kruskal-Wallis). De acuerdo a esto, se ve que no existe diferencia significativa ( $p = 0,1088$ ) de Holocelulosa entre los valores de los arboles analizados.

#### **4.2.Relación entre la composición química de la madera de *Cedrela odorata* L., y las propiedades químicas del suelo**

El análisis de las propiedades químicas del suelo proveniente de los árboles estudiados, dio como resultado que el suelo en donde la especie creció son suelos muy ácidos (4,69); con un nivel medio de fosforo (33,74ppm) y un alto contenido de nitrógeno (165,24 ppm). La tabla 6 muestra los valores promedio, desviación estándar (DS), coeficiente de variación (CV) e interpretación del suelo de cada uno de los individuos analizados.

**Tabla 5.** Valores promedio ( $\bar{X}$ ), desviación estándar ( $\bar{X} \pm DS$ ) y coeficiente de variación (CV) e interpretación de las propiedades analizadas del suelo (pH, fósforo y nitrógeno).

Propiedades del suelo						
Muestra	pH	Interpretación	P2O5 (ppm)	Interpretación	N (ppm)	Interpretación
Árbol 1	4,93	Muy Ácido	13,64	Bajo	91,10	Alto
Árbol 2	4,33	Muy Ácido	36,39	Medio	177,65	Alto
Árbol 3	4,60	Muy Ácido	41,44	Medio	188,01	Alto
Árbol 4	4,90	Muy Ácido	48,85	Alto	249,17	Alto
Árbol 5	4,70	Muy Ácido	28,37	Medio	120,26	Alto
$\bar{X}$	<b>4,69</b>	<b>Muy Ácido</b>	<b>33,74</b>	<b>Medio</b>	<b>165,24</b>	<b>Alto</b>
$\bar{X} \pm DS$	0,24		13,48		61,72	
CV	5,2		39,97		37,35	

Según la prueba de correlación Spearman entre la composición química de la madera *Cedrela odorata* (extractivos, ceniza, lignina y holocelulosa) y las propiedades químicas del suelo (pH, nitrógeno y fósforo) muestra como resultado (Tabla 7) que la ceniza está relacionada directamente con el pH del suelo; de la misma manera el fósforo del suelo está asociado con el contenido de holocelulosa y el nitrógeno del suelo con el contenido de lignina y holocelulosa en la madera.

La ceniza y el pH del suelo están correlacionados negativamente con un coeficiente de -0,61 y un nivel de significancia igual a 0,01; es decir que si el nivel de pH tiende a aumentar el contenido de ceniza disminuye.

El contenido de holocelulosa está relacionada positivamente con nivel de fósforo presente en el suelo, con un coeficiente de correlación de 0,63 y un valor de significancia de 0,01; en otras palabras, si el nivel de fósforo aumenta de igual manera lo hace el contenido de la holocelulosa.

El nitrógeno del suelo está relacionado negativamente con la lignina, dando un valor de coeficiente de correlación de -0,49 (Sig. = 0,04) es decir que, si el nivel de nitrógeno

disminuye en el suelo, el contenido de lignina se incrementa en la madera y así viceversa. La holocelulosa está relacionada directa y proporcionalmente al nivel del nitrógeno, con un coeficiente de correlación de 0,62 y un valor de significancia de 0,001; en otras palabras, si el nivel de nitrógeno aumenta de igual manera lo hace el contenido de la holocelulosa.

Al analizar los resultados de correlación entre las propiedades de la composición química de la madera, se obtuvo los contenidos de lignina y holocelulosa están relacionados negativamente, es decir que si el valor de lignina se incrementa, el valor de holocelulosa disminuye; por lo contrario si el porcentaje de holocelulosa sube, el contenido de lignina se reduce, con un valor de coeficiente de correlación igual a -0,91 y significancia de 0,000033 (ver anexo 7). De igual manera al analizar los resultados de correlación entre las propiedades químicas del suelo se demostró estadísticamente (anexo 7) que el fósforo y el nitrógeno tienen relación positiva con de coeficiente de correlación igual a 0,94 y significancia de 0,0002 es decir si el nivel de nitrógeno aumenta de igual manera lo hace el contenido de fosforo.

**Tabla 6.** Relación estadística no paramétrica (Spearman) de la composición químicas de la madera de *Cedrela odorata* y las propiedades químicas del suelo.

		Composición química de la madera			
		Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa
Coeficiente de correlación	pH	0,12	<b>-0,61*</b>	0,04	-0,17
		significancia	0,67	<b>0,02</b>	0,89
Coeficiente de correlación	P	-0,16	-0,24	-0,48	<b>0,63**</b>
		significancia	0,54	0,36	0,07
Coeficiente de correlación	N	-0,23	-0,22	<b>-0,49*</b>	<b>0,62**</b>
		significancia	0,39	0,41	<b>0,04</b>

\* La correlación es negativa con una significancia estadística menor a 0,05

\*\* La correlación positiva con una significancia estadística menor a 0,05

## 5. DISCUSIONES

### 5.1. Composición química de la madera *Cedrela odorata*

Los resultados generales de la composición química de *Cedrela odorata* (cedro) tienen similitud con los datos reportados por Tsoumis (1982) con referencia al tipo de madera latifoliadas entre las cuales se encuentra el cedro, con excepción de la holocelulosa. Los datos registrados en la literatura son los siguientes, para holocelulosa un rango de 70% y 89%, para lignina entre 14% y 36%, para extractivos entre 1% y 7,7% y cenizas entre 0,1% y 5,4%.

El contenido de extractivos para la especie estudiada tuvo un porcentaje de 5,64% valor comprendido dentro del rango propuesto por Tsoumis (1982). Este valor es cercano al obtenido por Rosales-Castro et al. (2016) quien presentó un porcentaje de 6,10%, y es superior a los obtenidos por Segura (2019) quien presentó valores de 3,5 y 4% en un estudio realizado en plantaciones de *Cedrela odorata* de nueve y diez años de edad. Además Aguinosa et al. (2019) reportó valores de 9,54 % para extractivos, el cual supera con gran diferencia los datos antes mencionados y el rango propuesto por Tsoumis (1982). De acuerdo con el resultado obtenido podemos acotar que *Cedrela odorata* al tener un elevado contenido de extractivos presenta cierto grado de resistencia natural al ataque de hongos e insectos, ya que los extraíbles incluyen compuestos tóxicos en su composición química que inhiben el ataque de estos. Además, influyen en la permeabilidad y en las propiedades físicas de la madera, como por ejemplo en la densidad básica, dureza y en la resistencia a la compresión (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

El contenido de ceniza de *Cedrela odorata* fue de 1,24 % con diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0,0248$ ) entre los individuos estudiados, este valor está comprendido dentro del rango propuesto por Tsoumis (1982), se acerca a los valores reportados por Segura (2019) quien obtuvo valores de 2,33% y 0,68% en un estudio realizado en plantaciones de *Cedrela odorata* de nueve y diez años de edad y está por debajo del valor presentado por Aguinosa

et al. (2019) quien reporto un valor de 3,25%. Lima (2013) menciona que la cantidad de cenizas pueden variar de acuerdo a la especie y dentro de la misma, las condiciones del clima y época del año que fue recolectada la muestra, edad del árbol y condiciones edáficas en la que creció el individuo.

El contenido de lignina en *Cedrela odorata* fue de 30,47% valor similar al obtenido por Santos García (2014); Rosales-Castro et al. (2016) y Gómez, Ríos, & Peña (2012) quienes presentaron valores de 31,6 %, 32,24% y 33% respectivamente. Además Segura (2019) presentó valores de 30,89% y 28,64% en un estudio realizado en plantaciones de *Cedrela odorata* de nueve y diez años de edad, y Aguinosa et al. (2019) reportó valores de 16,53 % todos estos valores se encuentran dentro del rango propuesto por Tsoumis (1982). Barahona (2005) indica que su composición de lignina depende de muchos factores, entre ellos, el método utilizado para aislarlas, la especie que se estudie, la edad, parte del árbol, condiciones ambientales en que se ha desarrollado el árbol, etc. Sin embargo, Bauer et al. (2012) manifiesta que este tipo de resultados puede variar dependiendo del método que se utilice ya que en los diferentes procesos mecánicos y/o químicos de su obtención se puede ir perdiendo debido a la naturaleza heterogénea de las materias primas (madera y pulpa), no hay ningún método disponible actualmente para el aislamiento cuantitativo de lignina natural o residual, sin el riesgo de modificar estructuralmente durante el proceso.

El componente más abundante en la composición química de la madera de *Cedrela odorata* es la holocelulosa con un porcentaje general de 62,97%. Rosales-Castro et al. (2016) y Santos García (2014) encontraron valores de 70,67, 71,65% y 72,76% respectivamente, valores superiores al reportado por Gómez, Ríos, & Peña (2012) quien presentó un porcentaje de 55%, además indica que arboles con altos porcentajes de holocelulosa son aptos para la producción de bioetanol. Núñez (2008) manifiesta que los valores pueden ser afectados por factores climáticos y también pérdida de reactivos, esto hace que tengan un porcentaje bajo

de holocelulosa. Al tener valores altos puede ser que aún contienen lignina en su composición, y al tener valores bajos es porque han perdido hemicelulosas (Núñez, 2008).

Para (López, 200; Guarnizo et al 2009, Álvarez et al, 2013; Gómez et al.2012) los parámetros más importantes al evaluar el material lignocelulosico para la producción de biotenaol son los que tengan altos contenidos de holocelulosa, por lo que *Cedrela odorata* se perfila como un buen competidor en la producción de bioetanol; considerando que estos materiales que se estarían usando para este fin serían residuos forestales y se estaría compitiendo con la industria forestal sino se le estaría dando un valor agregado.

Gómez, Ríos, & Peña (2012) manifiestan que la composición química de la madera puede variar dependiendo las condiciones de pretratamiento, hidrólisis y fermentación de la materia prima. Así mismo la composición química de la madera no puede definirse precisamente para una especie forestal, ni siquiera para un árbol dado. La composición química varía con la parte del árbol (raíz, tallo o rama), tipo de madera (por ejemplo, normal, tensión o compresión), ubicación geográfica, clima y condiciones del suelo. Los datos acumulados durante muchos años ayudan a definir valores promedios esperados para la composición química de la madera.

## **5.2.Relación entre la composición química de la madera de *Cedrela odorata* L., y las propiedades químicas del suelo.**

El análisis químico del suelo donde crecieron los árboles objeto de estudio dieron como resultado que la especie se desarrolló en un suelo muy ácido con un contenido medio de fosforo y un nivel alto de nitrógeno. El nivel de pH 4,7 (muy ácido) encontrado se encuentra fuera de los rangos establecidos para el crecimiento de la especie de *Cedrela odorata* que son de 5 (ácido) a 6,1 (ligeramente ácido) (Marroquín, 1988). Sin embargo Cintrón (1990) y Ávila et al. (2017) mencionan que esta especie crece en suelos ácidos y extremadamente

ácidos ricos en fosforo derivados de rocas volcánicas (Ultisoles) y que el denominador común parece ser el drenaje y la aireación del suelo y no su pH.

De acuerdo con Clark y Richardson (2002) existe una influencia de los nutrientes del suelo en el desarrollo de los árboles, siendo los macronutrientes (N y P) los que presentan mayor demanda a través del tiempo en las plantas; lo que se evidencia en el presente estudio en donde los componentes químicos de la madera de *Cedrela odorata* obtenidos en la parroquia Zumba, poseen relación con los macronutrientes disponibles en el suelo donde se han desarrollado los individuos arbóreos.

El contenido de ceniza está relacionada negativamente con el nivel de pH del suelo con una significancia igual a 0,01, Guigues (2019) menciona que el pH tiene un rol importante en la asimilación de ciertos nutrientes como el nitrógeno, de la misma manera el fosforo está relacionado positivamente con el contenido de holocelulosa en la madera con un valor de significancia igual a 0,01.

El nitrógeno está relacionado negativamente con la lignina con un coeficiente de relación de -0,48 (significancia 0,04), y positivamente al contenido de holocelulosa con un coeficiente de relación de 0,62 (significancia igual a 0,01) esta información es similar a la encontrada por Quito (2019) quien manifestó que el nitrógeno del suelo está relacionado negativamente con la lignina, dando un valor de coeficiente de correlación de -0,470 (Sig. = 0,049) y la holocelulosa está relacionada directa y proporcionalmente al nivel del nitrógeno, con un coeficiente de correlación de 0,769 y un valor de significancia de 0,001 en un estudio realizado con la especie *Schizolobium parahyba*. Según Rodríguez & Flores (2004) el nitrógeno tiene una acción directa sobre el incremento de la masa porque favorece el desarrollo del tallo y el crecimiento del follaje, para lograr un mejor crecimiento los niveles deben mantenerse alrededor de los 100 a 150 ppm, niveles cercanos al encontrado en este estudio que es de 165,24 ppm.



## 6. CONCLUSIONES

- La composición química de la madera de *Cedrela odorata* L., del ecosistema forestal de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe indica que la holocelulosa y la lignina son los componentes más abundantes y menos variables en la composición química de esta especie; con valores comprendidos entre 59 y 70 % para la holocelulosa, y con valores comprendidos entre 23 y 36 % para la lignina. El contenido de extractivos y ceniza fueron los componentes menos abundantes y más variables con valores comprendidos entre 4 y 8 % para extractivos, y con valores comprendidos entre 0,98 y 1,60 % para la ceniza.
- Los individuos de *Cedrela odorata* crecieron en suelos muy ácidos, con niveles medios de fósforo y altos de nitrógeno, estas propiedades establecieron cuatro relaciones estadísticamente significativas con la composición química de la madera de esta especie (Fosforo vs. Holocelulosa y N vs. holocelulosa con una correlación positiva; mientras el pH vs. Ceniza y N vs. Lignina con una correlación negativa) evidenciando que existe relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo.

## 7. RECOMENDACIONES

- La composición química de la madera presentó un alto coeficiente de variación para disminuir este, es necesario aumentar el número de individuos y número de repeticiones a analizar.
- Buscar alternativas sobre los métodos utilizados para determinar los componentes químicos en la madera, para lograr ahorrar recursos y tiempo; así como la validación de los métodos mediante la inter-comparación.
- Durante el análisis químico de la madera y los análisis del suelo se debe cumplir con las normas de bioseguridad en los laboratorios.
- Realizar estudios de la caracterización química de otras especies forestales procedentes del mismo lugar para comparar cantidades porcentuales de los distintos componentes químicos y su influencia con las propiedades del suelo.
- Realizar una campaña de conservación de *Cedrela odorata*, debido a que es una especie vulnerable y más estudios de la misma.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aguinsaca, F., Rey, Y., Jaramillo, A., Luzón, C., Jumbo, N., Fernández, P., ... Pucha, D. (2019). *Caracterización química de cinco especies forestales en el sur de Ecuador*. 9(1), 110-118.
- Apolinar, M. (2011). Generación de un vector de transformación genética de cloroplastos en Cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) (Vol. 0). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Ávila, R., Cruz, S., Domingo, H., Marmillod, D., Sagüi, H., Favio, A., ... Ramírez González, R. (2017). *Cedro Cedrela odorata. paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB*. Recuperado de [www.inab.gob.gt](http://www.inab.gob.gt)
- Barahona, G. 2005. Variación de la composición química en albura, duramen y altura de madera pulpable de *Eucalyptus globulus* proveniente de monte alto y monte bajo. <https://pdfs.semanticscholar.org/282b/b7c34d00a885d1e26d81fe928df4b3ea7144.pdf>
- Bárcenas, G. M., Ríos, R., Aguirre, J. R., Juárez, B. I., & Honorato, J. A. (2008). Composición química y densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encino blanco de la Sierra de Álvarez, SLP, México. *Madera Bosques*.
- Bauer, S., Sorek, H., Mitchell, V.D., Ibáñez, A.B. Y Wemmer, D.E. (2012). Caracterización de lignina de *Miscanthus giganteus* aislada mediante proceso Organosolv con etanol en condiciones de reflujo. *Revista de química agrícola y alimentaria*, 60, 8203-8212
- CAMICON, & MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-MD - Estructuras de Madera*. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962013000200001>
- Carchi, D. (2014). Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa (Vol. 19). Recuperado de <https://doi.org/10.1177/1742766510373715>

- Cárdenas, D., & Salinas, N. (2007). Cedro (*Cedrela odorata* L.) Protocolo para su Colecta, Beneficio y Almacenaje Elaboración: *Libro rojo de plantas de {Colombia}. {Especies} maderables amenazadas: {Primera} parte, 4, 127-132*. Recuperado de [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1299Cedro rojo Yucatán.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1299Cedro%20rojo%20Yucat%C3%A1n.pdf)
- Cárdenas L., D., & R. Salinas, N. (2007). Libro Rojo de plantas de -Colombia - Especies maderables amenazadas. *Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas: primera parte., 234*. Recuperado de <https://senaintro.blackboard.com/bbcswebdav/users/1130585219/LibroRojoMaderables.pdf>
- Carmona, R. (2015). Caracterización física, química y energética de biomasa leñosa como materia prima biocombustible. (Universidad de Cordoba). Recuperado de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13089/2015000001202.pdf?sequence=1>
- Castro, J., Muñoz, D., & Pucha, D. (2018). *Variabilidad anatómica de la madera en cuatro especies forestales de diferentes procedencias al sur del Ecuador*. 8(2), 16-29.
- Cayuela, L., & Granzow, I. (2012). Biodiversidad y conservación de bosques neotropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2), 1-5. <https://doi.org/10.7818/re.2014.21-1-2.00>
- Cintrón, B. B. (1990). *Meliaceae familia de la caoba*. 128-134.
- Clark, C., & Richardson, A. (2002). Biomasa y nutriente mineral partición en un tamarillo en desarrollo (*Solanum betaceum*) cultivo. *Sci. Hort.* 94
- CONAFOR. (2009). *Restauración de ecosistemas forestales*.
- CONAFOR. (2016). *Resumen ejecutivo estrategia de integración para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad: Sector Forestal*. Recuperado de <http://www.undp.org/content/dam/peru/docs/Publicaciones> medio

- Cruz, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en la protección de la madera* (Universida). Zapopan, Jalisco.
- Fernández, E. (2013). *Efectividad biológica de especies nativas de hongos micorrízicos arbusculares en cedro rojo (Cedrela odorata L.)*. Universidad autónoma de Nuevo León.
- Ginés, I., & Mariscal, I. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. *Fertiberia*, 1-9.
- Gómez, E. A., Ríos, L. A., & Peña, J. D. (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>
- González-Pimentel, M. R. (2005). *Determinación de la composición química de la madera del pino ocote ( Pinus oocarpa Schiede Ex Schltdl ) procedente de plantación en Cucanjá , Tukurú, Alta Verapaz*.
- Guigues, A. A. (2019). *Evaluación de crecimiento de plantulas de Cedrela odorata y Grevillea robusta en diferentes sustratos durante su fase de propagación, Lima*. (August), 95. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31450.90563>
- Laboratorio de Suelos. (sf). *Guía del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja*.
- Leon, W. (2016). *Anatomía de la madera / Williams José León Hernández , Narcisana Espinoza de Pernía*. (March).
- 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.

Lozano, W. A. (2018). pH DEL SUELO. *Suelos*, 1, 64-66. Recuperado de <https://doi.org/10.2307/j.ctv8j5r0.16>

Marroquín, G. G. (1988). *Experiencias colombianas con cedro (Cedrela odorata L.)*. Por: Bogota-Colombia.

Martínez, V., & Gil, M. J. (2012). Fuentes renovables para la producción de materias primas y energía. *Real Sociedad Española de Química*, 108, 1-10.

Morales, M. (2011). *Edafología* (Espacio Gr). Recuperado de <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Nalvarte A., Puertas P., Guevara C., Espinoza M, & Icochea E. (2013). *Propiedades Físicas del Suelo*. 2(I), 1-45. Recuperado de [http://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/2929/Technical/Technical report - Estudio de composición química.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical_report_-_Estudio_de_composici3n_qu3mica.pdf)

Novillo Espinoza, I. D., Carrillo Zenteno, M. D., Cargua Chavez, J. E., Nabel Moreiral, V., Albán Solarte, K. E., & Morales Intriago, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>

Núñez, E. (2008). *Obtenido de Química de la madera*. Obtenido de <http://www.cenunez.com.ar/archivos/69-Paz>

Panshin, A.J., De-Zeeuw, C. 1970. Libro de texto de tecnología de la madera, vol. 1, tercera edición, Estructura, Identificación, Usos y Propiedades de las Maderas Comerciales de Estados Unidos y Canadá. Mc. Serie Graw Hill en Foresta Fesources. E.E.U.U. 652p

Paucar, P. (2015). *Determinación de la composición química a nivel básico de la corteza y madera de Septotheca tessmannii (utucuro) procedente de la CCNN' Callería y CCNN*

- Puerto Belén en tres niveles longitudinales del fuste".* Universidad Nacional De Ucayali.
- Paz Fong, F. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina.*
- Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial. 2020. Canton Chinchipe
- Quito, J. (2019). *La composición química de la madera de Schizolobium parahyba y su relación con las propiedades químicas del suelo , en la Quinta Experimental “ El Padmi ”, provincia Zamora Chinchipe . 9(2), 47-60*
- Ramirez Carvajal, R. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. *Santa Fe de Bogotá, Septiembre*, 13-23.
- Ramírez, D., Alvarado, A., Ávila, C., Camacho, M. E., Fernández, J., Murillo, R., ... Sandí, C. (2018). *Dinámica De La Concentración Y Acumulación De Nutrientes. 42(1), 21-48.*
- Robledo, J. M. (2019). Madera. En *Empaques, envases y embalajes: el producto y su recipiente* (pp. 165-196). <https://doi.org/10.2307/j.ctvgs0cnw.10>
- Rodriguez, M., & Flores, V. (2004). Elementos Esenciales Y Beneficiosos. *Cyted*, (3), 25-36.  
Recuperado de <http://www.cyted.org>
- Rosales-Castro, M., Honorato-Salazar, J. A., Santos-García, A. B., Pérez-López, M. E., Colotl-Hernández, G., & Sánchez-Monsalvo, V. (2016). Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelósica. *Madera y Bosques*, 22(2), 131.  
<https://doi.org/10.21829/myb.2016.2221330>
- Rucks, L., Garcia, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo.* 68. Recuperado de

<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Sánchez, J. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral en plantas -Conceptos Básicos.

*Fertitec S.A.*, 19. Recuperado de

[http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fertilidad del suelo y nutricion.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fertilidad%20del%20suelo%20y%20nutricion.pdf)

Santos García, A. B. (2014). *Evaluación química de subproductos de cedrela odorata L.*

*(cedro rojo) y propuesta de gestión para su aprovechamiento.* 97. Recuperado de

<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/2909/1/T2.111.pdf>

Segura, B. (2019). *Propiedades de la madera de cedrela odorata de nueve y diez años en un*

*saf con theobroma cacao , comparado con una plantación pura de diez años. turrialba,*

*costa rica.*

Siavosh, S. (2016). La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café.

*Avances Técnicos Cenicafé*, 466(12), 1-12. <https://doi.org/0120-0178>

Torres Ramos, R., Montero Alpírez, G., Stoytcheva Stillianova, M., Beleño Cabarcas, M. T.,

Toscano Palomar, L., & Pérez Pelayo, L. J. (2015). Lignina obtenida de residuos

agrícolas como biocombustible de tercera generación. *Ciencia y Tecnología*, 1(15), 151-

164. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i15.290>

Tsoumis, George. (1982). *Ciencia y Tecnología de la Madera.* Editorial Van Nostrand

Reinhold. Nueva York

Yactayo, H. P. (2018). *Identificación y Diseño del Mapa de Servicios Ecosistémicos*

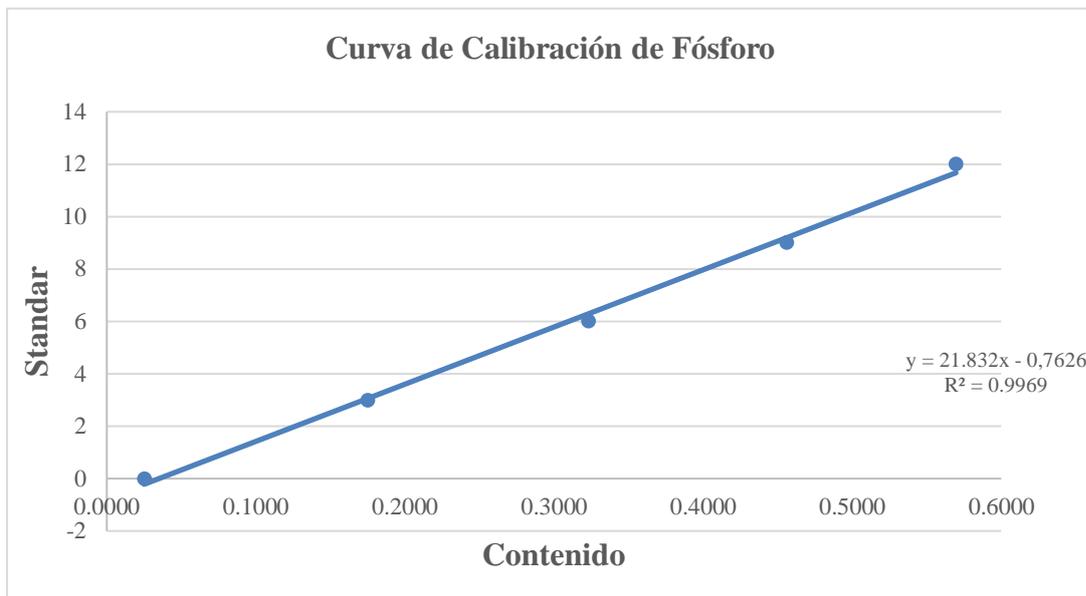
*Forestales Estratégicos que impulsen el desarrollo sostenible en las regiones de*

*Amazonas, Huánuco, Junín y Pasco.*

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Curva de calibración de fósforo (F)

ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN
0,0251	0
0,1751	3
0,3230	6
0,4560	9
0,5696	12

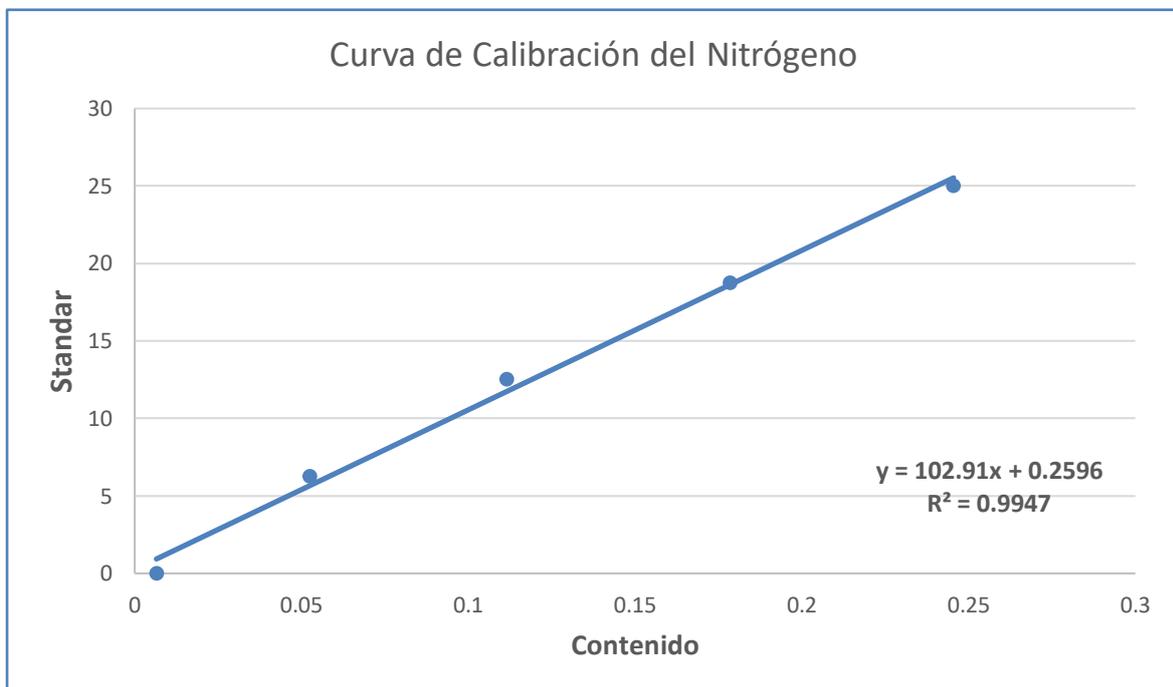


*Anexo 2. Tabla de valores de absorbancia, concentración y Fosforo disponible de las muestras de suelo analizadas.*

<b>Código laboratorio</b>	<b>Código campo</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración</b>	<b>P (ppm)</b>	<b>P2o5 (ppm)</b>
2456	A1M1	0,0551	0.440	4,40	10,09
2457	A1M2	0,0668	0,696	6,96	15,94
2458	A1M3	0,0647	0,650	6,50	14,89
2459	A2M1	0,1093	1,624	16,24	37,21
2460	A2M2	0,1095	1,628	16,28	37,31
2461	A2M3	0,1042	1,512	15,12	34,65
2462	A3M1	0,114	1,726	17,26	39,56
2463	A3M2	0,1175	1,803	18,03	41,31
2464	A3M3	0,1218	1,897	18,97	43,46
2465	A4M1	0,1368	2,224	22,24	50,96
2466	A4M2	0,129	2,054	20,54	47,06
2467	A4M3	0,1319	2,117	21,17	48,51
2468	A5M1	0,0892	1,185	11,85	27,15
2469	A5M2	0,0955	1,322	13,22	30,30
2470	A5M3	0,0902	1,207	12,07	27,65

**Anexo 3. Curva de calibración de Nitrógeno (N)**

<b>ABSORBANCIA</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
0.0065	0
0.0525	6,25
0.1116	12,5
0.1786	18,75
0.2455	25



*Anexo 4. Tabla de valores de absorbancia, concentración y nitrógeno disponible de las muestras de suelo analizadas.*

<b>Código laboratorio</b>	<b>Código campo</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentración</b>	<b>N (ppm)</b>
2456	A1M1	0,0881	9,326	93,26
2457	A1M2	0,0847	8,976	89,76
2458	A1M3	0,0852	9,028	90,28
2459	A2M1	0,1717	17,929	179,29
2460	A2M2	0,1687	17,621	176,21
2461	A2M3	0,1699	17,744	177,44
2462	A3M1	0,1816	18,948	189,48
2463	A3M2	0,1791	18,691	186,91
2464	A3M3	0,1798	18,763	187,63
2465	A4M1	0,2395	24,907	249,07
2466	A4M2	0,2405	25,009	250,09
2467	A4M3	0,2388	24,835	248,35
2468	A5M1	0,1146	12,053	120,53
2469	A5M2	0,1128	11,868	118,68
2470	A5M3	0,1156	12,156	121,56

*Anexo 5. Datos de la composición química de la madera de Cedrela odorata de cada sub-muestra en porcentaje de los cinco árboles estudiados.*

Muestra de árbol		Extractivos (%)	Ceniza (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)	total %
Árbol 1	1	6,54	1,34	29,68	62,44	100,0000
	2	9,88	1,16	32,02	56,94	100,0000
	3	7,86	1,09	29,81	61,24	100,0000
<b>Promedio</b>		<b>8,09</b>	<b>1,20</b>	<b>30,50</b>	<b>60,21</b>	<b>100,0000</b>
<b>Promedio ± DS</b>		<b>1,68</b>	<b>0,13</b>	<b>1,31</b>	<b>2,89</b>	
Árbol 2	1	3,89	1,32	30,33	64,46	100,0000
	2	5,21	1,80	30,12	62,87	100,0000
	3	4,60	1,67	36,60	57,13	100,0000
<b>Promedio</b>		<b>4,57</b>	<b>1,60</b>	<b>32,35</b>	<b>61,48</b>	<b>100,0000</b>
<b>Promedio ± DS</b>		<b>0,66</b>	<b>0,25</b>	<b>3,68</b>	<b>3,85</b>	
Árbol 3	1	4,98	1,23	26,54	67,26	100,0000
	2	6,49	1,22	23,74	68,55	100,0000
	3	5,43	1,36	20,92	72,29	100,0000
<b>Promedio</b>		<b>5,64</b>	<b>1,27</b>	<b>23,73</b>	<b>69,37</b>	<b>100,0000</b>
<b>Promedio ± DS</b>		<b>0,78</b>	<b>0,08</b>	<b>2,81</b>	<b>2,61</b>	
Árbol 4	1	3,22	0,92	27,20	68,66	100,0000
	2	6,45	0,99	30,22	62,34	100,0000
	3	7,99	1,03	27,96	63,03	100,0000
<b>Promedio</b>		<b>5,89</b>	<b>0,98</b>	<b>28,46</b>	<b>64,68</b>	<b>100,0000</b>
<b>Promedio ± DS</b>		<b>2,43</b>	<b>0,06</b>	<b>1,57</b>	<b>3,47</b>	
Árbol 5	1	3,97	1,17	41,85	53,01	100,0000
	2	4,14	1,12	37,61	57,13	100,0000
	3	3,91	1,14	27,70	67,25	100,0000
<b>Promedio</b>		<b>4,01</b>	<b>1,14</b>	<b>35,72</b>	<b>59,13</b>	<b>100,0000</b>
<b>Promedio ± DS</b>		<b>0,12</b>	<b>0,03</b>	<b>7,26</b>	<b>7,33</b>	

*Anexo 6. Valores de cada sub-muestra de suelo, promedio y nivel de interpretación de las de las propiedades del suelo analizadas.*

Muestra de árbol		pH		P2O5(ppm)		N (ppm)	
Árbol 1	1	4,6		10,09		93,26	
	2	4,8		15,94		89,76	
	3	5,4		14,89		90,28	
Promedio		<b>4,93</b>	Muy Ácido	<b>13,64</b>	Bajo	<b>91,10</b>	Alto
Árbol 2	1	4,2		37,21		179,29	
	2	4,2		37,31		176,21	
	3	4,6		34,65		177,4	
Promedio		<b>4,33</b>	Muy Ácido	<b>36,39</b>	Medio	<b>177,65</b>	Alto
Árbol 3	1	4,7		39,56		189,48	
	2	4,2		41,31		186,91	
	3	4,9		43,46		187,63	
Promedio		<b>4,6</b>	Muy Ácido	<b>41,44</b>	Medio	<b>188,01</b>	Alto
Árbol 4	1	5		50,96		249,07	
	2	4,9		47,06		250,09	
	3	4,8		48,51		248,35	
Promedio		<b>4,9</b>	Muy Ácido	<b>48,85</b>	Alto	<b>249,17</b>	Alto
Árbol 5	1	4.9		27,15		120,53	
	2	4,8		30,30		118,68	
	3	4,4		27,65		121,56	
Promedio		<b>4,7</b>	Muy Ácido	<b>28,37</b>	Medio	120,26	Alto

Anexo 7. Tabla de Correlaciones del coeficiente de correlación de Spearman (prueba no paramétrica) entre las propiedades químicas de la madera de *Cedrela odorata* y el suelo.

			Composición Química de la Madera				Propiedades del Suelo			
			Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa	pH	Nitrógeno	Fósforo	
Coeficiente de correlación	Significancia	N	Extractivos	1	-0,03	-0,13	-0,21	0,12	-0,23	-0,16
				0,9	0,64	0,45	0,67	0,39	0,54	
				15	15	15	15	15	15	
Coeficiente de correlación	Significancia	N	Ceniza	1	0,09	0,05	<b>-0,61**</b>	-0,22	-0,24	
				-0,21	0,86	0,02	0,41	0,36		
				15	15	15	15	15	15	
Coeficiente de correlación	Significancia	N	Lignina	1	<b>-0,91**</b>	0,04	<b>-0,49**</b>	-0,48		
				0,000033	0,89	0,04	0,07			
				15	15	15	15	15		
Coeficiente de correlación	Significancia	N	Holocelulosa	1	-0,17	<b>0,62*</b>	<b>0,63*</b>			
				0,55	0,01	0,01				
				15	15	15	15			
Coeficiente de correlación	Significancia	N	pH	1	0,07	0,09				
				0,79	0,75					
				15	15	15				
Coeficiente de correlación	Significancia	N	Nitrógeno	1	<b>0,94*</b>					
				2,00E-04						
				15	15					
Coeficiente de correlación	Significancia	N	Fósforo	1						
				15						
				15						

\*. La correlación es positiva.

\*\* . La correlación es negativa

*Anexo 5. Fotografías de los análisis de la composición química de la madera Cedrela odorata.*



*10.1. Muestras de madera*



*10.2. Lijado de las muestras*



*10.3. Extracción de extractivos*



#### *10.4. Obtención de ceniza*



#### *10.5. Determinación del pH*