



Universidad
Nacional
de Loja

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Composición química de la madera de *Schizolobium
parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Pachaco) de una
plantación de la Quinta Experimental “El Pادمي”,
Provincia de Zamora Chinchipe.**

Tesis de grado previa a la
obtención del título de
Ingeniera Forestal.

Autora:

Jhulissa Gabriela Quito Torres

Directora:

Ing. Nohemí Jumbo Benítez Mg. Sc.

Loja- Ecuador

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

CERTIFICACIÓN

Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez, Mg. Sc.

DIRECTORA DE TESIS

En calidad de directora de la tesis titula “**Composición química de la madera de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Pachaco) de una plantación de la Quinta Experimental “El Pادمي”, Provincia de Zamora Chinchipe.**”, de autoría de la señorita **JHULISSA GABRIELA QUITO TORRES** con cédula de identidad N° 1104285638, egresada de la carrera de Ingeniería Forestal, ha sido dirigida, revisada y desarrollada dentro del cronograma aprobado, por tal razón autorizo su presentación y publicación.

Loja, 17 de julio del 2019

Atentamente,



.....
Ing. Nohemí del Carmen Jumbo Benítez, Mg. Sc.

DIRECTORA DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Ing. Alexandra del Cisne Jiménez Torres Mg. Sc.

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 *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Pachaco) de una plantación de la Quinta Experimental “El Padmi”, Provincia de Zamora Chinchipe.**” de autoría del señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal **Jhulissa Gabriela Quito Torres** portadora de la cédula N° 1104285638, 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.

Loja, 15 de agosto del 2019

Atentamente,



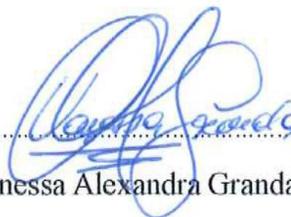
.....
Ing. Alexandra del Cisne Jiménez Torres Mg. Sc.

PRESIDENTA



.....
Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep Ph.D.

VOCAL



.....
Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser Mg. Sc.

VOCAL

AUTORÍA

Yo, Jhulissa Gabriela Quito Torres 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.

Autor: Jhulissa Gabriela Quito Torres

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jhulissa Quito Torres', written over a dotted line.

Cedula: 1104285638

Fecha: 15 de agosto de 2019

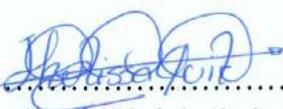
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Jhulissa Gabriela Quito Torres, declaro se autora, de la tesis titulada “**Composición química de la madera de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Pachaco) de una plantación de la Quinta Experimental “El Pادمي”, 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 de 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 quince días del mes de agosto del dos mil diecinueve, firma autor.

Firma: 

Autor: Jhulissa Gabriela Quito Torres

Numero de Cedula: 11047285638

Dirección: Loja, Celi Román

Teléfono: 0981819954

Correo electrónico: jhuly.gaby.qt@gmail.com

Celular: 0981819954

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Tribunal de Grado: Ing. Alexandra del Cisne Jiménez Torres, Mg. Sc.

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, Ph.D.

Ing. Vanessa Alexandra Granda Moser, Mg. Sc

Presidenta

Vocal

Vocal

AGRADECIMIENTO

A Dios primeramente le quiero agradecer por brindarme vida, salud y sabiduría; además de permitirme tener y disfrutar de mi familia, quienes me han apoyado, guiado, alentado y alegrado durante toda mi vida. Quiero manifestar mis sinceros y gratos agradecimientos a mis padres José y Judith, hermano Antonio y abuelitos Rosa, Olga, Carlos y Pedro por su ayuda, sacrificio, amor y paciencia que me brindaron en esta etapa de mi vida.

Quiero agradecer a mi estimada directora de tesis, Ing. Nohemí Jumbo Benítez por el gran apoyo, conocimiento, tiempo y paciencia que me brindo durante todo el proceso de realización del presente trabajo de investigación; además de quien ella me brindó su amistad y con ejemplo me guio y alentó para la elaboración de un trabajo honesto y calidad.

Agradezco con afecto a la Ing. Marleny Chacón por su paciencia, ayuda y tiempo dedicado a mi persona, que con su asesoría y orientación fue de gran importancia para la finalización de mi proyecto de investigación.

Mi gratitud a los Ingenieros Diego Loaiza y Paulina Zúñiga Técnicos del La Quinta Experimental “El Padmi” por su colaboración y ayuda desinteresada que me brindaron.

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 la Técnica del Laboratorio de Bromatología, Ing. Lesli Loarte, a las Técnicas del Laboratorio de Suelos, Ing Diana Iñiguez e Ing. Fernanda Livisaca y al director del Laboratorio de Dendrocronología, el Dr. Darwin Pucha de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, quienes me brindaron la confianza de laborara en sus laboratorios para

la realización de mi trabajo de investigación, además del lazo de respeto y aprecio que se creó y se mantiene.

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.

Por último, pero no menos importante, agradezco a los miembros del tribunal conformado por Ing. Alexandra Jiménez Mg. Sc., Ing. Darwin Pucha Ph.D. e Ing. Vanessa Granda Mg. Sc, por el tiempo dedicado y observaciones convenientes realizadas a mi trabajo de titulación.

DEDICATORIA

Con mucho amor dedico esta investigación a:

Mis amados padres José y Judith, quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional me brindaron para cumplir una meta más; gracias por ser mi pilar fundamental para sobrellevar los momentos de decline que se presentaron a lo largo de esta etapa de mi vida. A mí querido hermano Antonio por su cariño, apoyo y ayuda que me ha brindado en toda mi vida personal y académica; y a mi entrañable abuelita Olga quien me supo inspirar para lograr terminar mi estudio profesional.

Jhulissa Gabriela

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. La madera	3
2.1.1. Estructura macroscópica de la madera	3
2.1.2. Propiedades físicas de la madera	4
2.1.3. Clasificación de la madera	5
2.2. Composición química de la madera	7
2.2.1. Ceniza.....	9
2.2.2. Extractivos.....	10
2.2.3. Lignina.....	10
2.2.4. Holocelulosa.....	12
2.3. Especie <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	12
2.3.1. Características generales de <i>Schizolobium parahyba</i>	12
2.3.2. Descripción morfológica	13
2.3.3. Distribución y hábitat	14
2.3.4. Requerimientos edafoclimáticos	14
2.3.5. Propiedades organolépticas	14

2.3.6.	Importancia económica	15
2.3.7.	Plantación de <i>Schizolobium parahyba</i> en Ecuador	15
2.3.8.	Usos futuros.....	16
2.4.	El Suelo	19
2.4.1.	Propiedades químicas del suelo.....	19
2.4.2.	El potencial hídrico (pH).....	20
2.4.3.	Principales nutrientes del suelo	21
2.4.4.	Nitrógeno (N)	22
2.4.5.	Fósforo (P).....	23
2.4.6.	Potasio (K).....	23
2.4.7.	Fertilidad del suelo	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1.	Materiales para la recolección de muestras de madera y suelo.....	25
3.2.	Materiales para la determinación de la composición química de la madera	25
3.3.	Materiales para el análisis de las propiedades del suelo	27
3.4.	Área de Estudio	28
3.5.	Determinación de la composición química de la madera del <i>Schizolobium parahyba</i>	30
3.5.1.	Recolección de las muestras de madera	30
3.5.2.	Obtención de extractivos	31
3.5.3.	Obtención de la lignina.....	32
3.5.4.	Obtención de la holocelulosa	33
3.5.5.	Obtención de ceniza	33

3.6.	Análisis de las propiedades químicas del suelo.....	34
3.6.1.	Obtención de las muestras de suelo.....	34
3.6.2.	Obtención del pH.....	34
3.6.3.	Determinación de Nitrógeno	35
3.6.4.	Determinación de Fósforo	36
3.6.5.	Determinación de Potasio.....	37
3.7.	Análisis y procesamiento de datos	37
4.	RESULTADOS.....	39
4.1.	Composición química de la madera del <i>Schizolobium parahyba</i>	39
4.2.	Análisis de Suelo	46
4.3.	Reacción de la composición química de la madera de <i>Schizolobium parahyba</i> y las propiedades químicas del suelo.	51
5.	DISCUSIÓN.....	54
5.1.	Composición química de la madera del <i>Schizolobium parahyba</i>	54
5.2.	Análisis de Suelo	56
5.3.	Reacción de la composición química de la madera de <i>Schizolobium parahyba</i> y las propiedades químicas del suelo.	57
6.	CONCLUSIONES	58
7.	RECOMENDACIONES	59
8.	BIBLIOGRAFÍA	60
9.	ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Rangos de porcentaje de la composición química de la madera en latifoliadas y coníferas.....	9
Tabla 2. Información básica de los seis individuos recolectados de la especie <i>S. parahyba</i> de la Quinta Experimental “El Padmi”.....	30
Tabla 3. Interpretación del pH del suelo.....	35
Tabla 4. Niveles de interpretación de valores de nitrógeno disponibles en el suelo en partes por millón (ppm).....	36
Tabla 5. Niveles de interpretación de valores de fósforo disponible (P_2O_5) en el suelo para la planta en unidades partes por millón (ppm).....	36
Tabla 6. Niveles de interpretación de valores de potasio disponible (K_2O) en el suelo para la planta en unidades partes por millón (ppm).....	37
Tabla 7. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar ($\pm DS$) por árbol y general de las propiedades químicas de la madera de los seis individuos analizados de <i>S. parahyba</i> de la Quinta Experimental “El Padmi”.....	39
Tabla 8. Valores promedio, desviación estándar ($\pm DS$) y coeficiente de variación (CV) e interpretación de las propiedades analizadas del suelo (pH, nitrógeno, fósforo y potasio) de la Quinta Experimental “El Padmi”.....	46
Tabla 9. Relación estadística no paramétrica (Spearman) de la composición químicas de la madera <i>S. parahyba</i> y las propiedades químicas del suelo analizadas, procedentes de la Quinta Experimental “El Padmi”.....	53

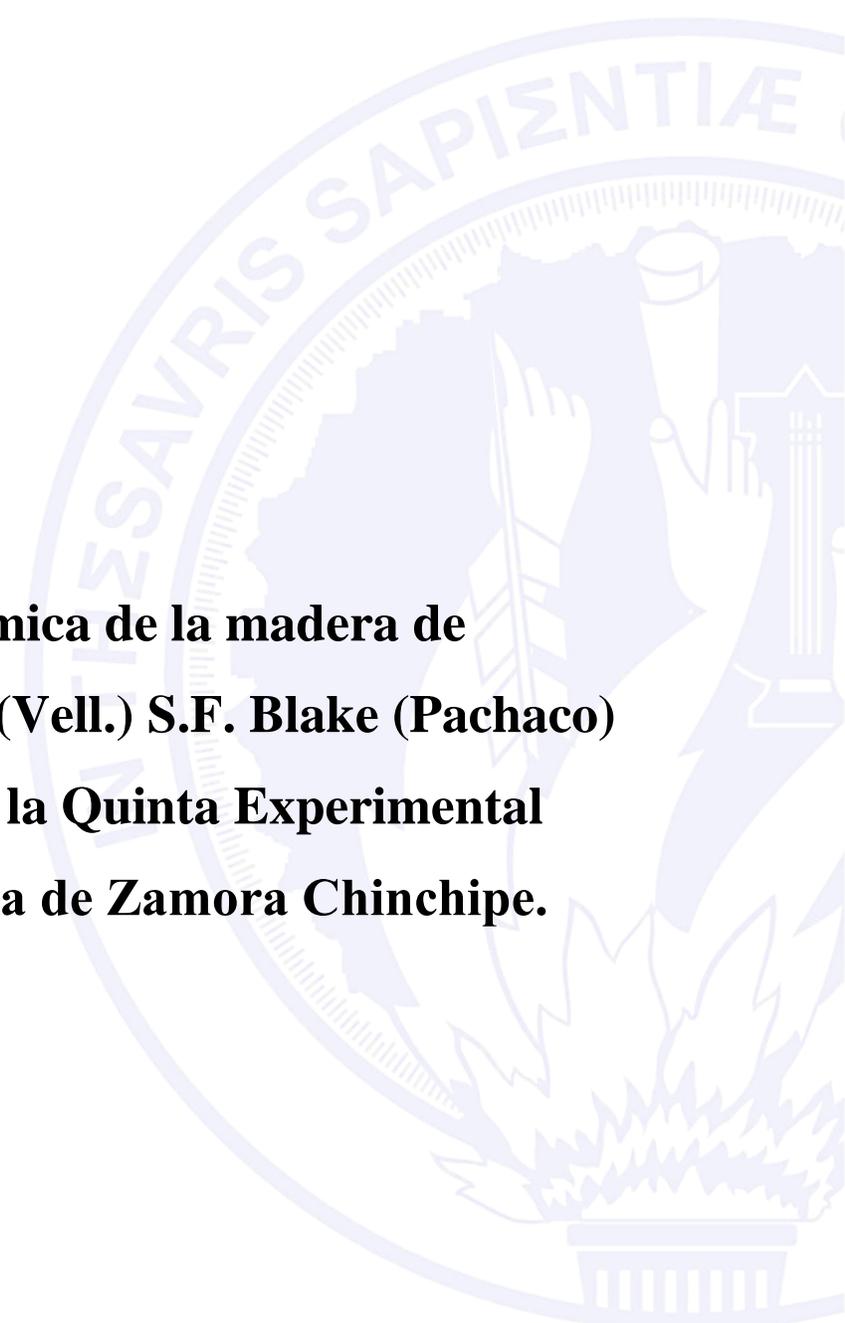
ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura de la madera. Gutiérrez, (2014).....	4
Figura 2. Esquema general de los componentes químicos de la madera. Browning (1967) y Fengel (1984).	8
Figura 3. Especie <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell) Blake. Vinueza, (2012)	13
Figura 4. Valores de pH extremos para la mayoría de los suelos minerales de las regiones húmedas. Navarro, (2003).....	20
Figura 5. Mapa de ubicación geográfica de la Quinta Experimental “El Padmi”	29
Figura 6. Porcentaje de la composición química de madera en cada individuo de <i>S. parahyba</i> estudiado de la Quinta Experimental “El Padmi”	40
Figura 7. Coeficiente de variación de la composición química de la madera de <i>S. parahyba</i> de la Quinta Experimental “El Padmi”	41
Figura 8. Valores promedio de contenido de extractivos de los seis árboles de <i>S. parahyba</i> de la Quinta Experimental “El Padmi”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)	42
Figura 9. Valores promedio de contenido de ceniza de los seis árboles de <i>S. parahyba</i> . Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	43
Figura 10. Valores promedio de contenido de lignina de los seis árboles de <i>S. parahyba</i> . Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	44
Figura 11. Valores promedio de contenido de Holocelulosa de los seis árboles de <i>S. parahyba</i> . Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	45

Figura 12. Valores promedio de pH de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmini”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	47
Figura 13. Valores promedio de Nitrógeno (N) de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmini”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	48
Figura 14. Valores promedio de fósforo (P) de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmini”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	49
Figura 15. Valores promedio de pH de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmini”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	50

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Curva de calibración de nitrógeno (N)	69
Anexo 2. Curva de calibración de fósforo (P).....	69
Anexo 3. Datos de la composición química de la madera de <i>S. parahyba</i> de cada sub-muestra en porcentaje de los seis árboles estudiados de la Quinta Experimental “El Pادمي”	70
Anexo 4. Valores de cada sub-muestra de suelo, promedio y nivel de interpretación de las de las propiedades del suelo analizadas de la Quinta Experimental “El Pادمي”.	72
Anexo 5. Tabla de valores de absorbancia, concentración y nitrógeno disponible de las seis muestras de suelo analizadas de la Quinta Experimental “El Pادمي”.	73
Anexo 6. Tabla de valores de absorbancia, concentración y fósforo disponible de las seis muestras de suelo analizadas de la Quinta Experimental “El Pادمي”.	73
Anexo 7. Tabla resumen de la composición química de la madera y las propiedades del suelo de los 6 árboles de <i>S. parahyba</i> muestreados de la Quinta Experimental “El Pادمي”	74
Anexo 8. Tabla de Correlaciones del coeficiente de correlación de Spearman (prueba no paramétrica) entre las propiedades químicas de la madera de <i>S. parahyba</i> y las propiedades químicas del suelo de la Quinta Experimental “El Pادمي”.	75
Anexo 9. Relación estadística Spearman del DAP (diámetro a la altura del pecho) y propiedades del suelo.	75
Anexo 10. Fotografías de los análisis de la composición química de la madera de <i>S. parahyba</i>	76



**Composición química de la madera de
Schizolobium parahyba (Vell.) S.F. Blake (Pachaco)
de una plantación de la Quinta Experimental
“El Padmi”, Provincia de Zamora Chinchipe.**

RESUMEN

La especie nativa *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake con nombre común Pachaco, tiene un importancia económica y ecológica, muy utilizada para los contrachapados, mueblería o de carpintería interior, puertas y juguetes; además de que se encontró un potencial como la producción de pulpa de papel y elaboración de biocombustible para bioetanol. De acuerdo a este contexto es importante generar información de la composición química de la madera de *S. parahyba* y a su vez relacionar la composición de la madera (ceniza, extractivo, lignina y hemicelulosa) con las propiedades del suelo (pH, N, P, K).

Con el fin de estudiar la composición de la especie, se escogió seis individuos de la Quinta Experimental “El Padmi” de la provincia Zamora Chinchipe, de las cuales se extrajo de dos a tres rodajas de madera del tronco principal, después se las procesó en harina y posteriormente se realizó los análisis de ceniza, extractivos, lignina y holocelulosa de cada muestra. Para analizar el suelo, se recolectó seis muestras de suelo del lugar en donde los individuos analizados crecieron y después se analizó el nivel de pH, nitrógeno, fósforo y potasio.

El método utilizado en la investigación fue experimental, lo cual se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con el Test de Dunn en la composición de la madera y propiedades del suelo. Para relacionar las dos variables, madera y suelo, se aplicó una correlación bivariada de Spearman que es una prueba no paramétrica.

La composición química dio como resultado que la holocelulosa (66,52%) es el de mayor contenido en la madera, seguido de la lignina (30,47%), estos dos compuestos son considerados como los más abundantes en los árboles; el contenido de extractivo (1,39%) y

ceniza (1,43) se encuentran en menor proporción en la madera. El suelo en donde los individuos crecieron es ácido (5,28) con un nivel de nitrógeno medio (43,68 ppm), fósforo bajo (12,56 ppm) y potasio medio (148,52 ppm).

La relación entre cada uno de los contenidos de la composición química de la madera y cada una de las propiedades químicas del suelo, dieron como resultado cinco relaciones, las cuales dos son correlaciones positivas (pH - lignina con una significancia de 0,046 y nitrógeno - holocelulosa con una significancia = 0,001) y tres son correlaciones negativas (pH - holocelulosa con una significancia de 0,0032, nitrógeno - extractivo con un valor de significancia = 0,049, y nitrógeno - lignina con una significancia de 0,002). Además de que fosforo y potasio, no arrojaron ninguna relación con la composición de la madera, ya que su nivel de significancia fue de mayor o igual a 0,05.

Palabras clave: Composición química de la madera, Análisis del Suelo, *Schizolobium parahyba*,

ABSTRACT

The native species *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake with common name Pachaco, has an economic and ecological importance, widely used for plywood, furniture or interior carpentry, doors and toys, in addition to finding a potential as the production of pulp paper and biofuel production for bioethanol. According to this context it is important to generate information on the chemical composition of *S. parahyba* wood and at the same time relate the composition of the wood (ash, extractive, lignin and holocellulose) with the properties of the soil (pH, N, P, K).

In order to study the composition of the species, six individuals were chosen from the Quinta Experimental "El Padmi"; of Zamora Chinchipe province, from which two to three slices of wood were extracted from the main trunk, then converted to flour and later the analysis of ash, extractive, lignin and hemicellulose of each sample was carried out. In order to analyze the soil, six soil samples were collected from the place where the analyzed individuals grew and then the level of pH, nitrogen, phosphorus and potassium was analyzed.

The method used in the investigation is experimental, which was applied a non-parametric test of Kruskal-Wallis with Dunn Test on wood composition and soil properties. To relate the two variables, wood and soil, a bivariate Spearman correlation was applied which is a nonparametric test.

The chemical composition of the wood resulted in holocellulose (66,524%) is the highest content, followed by lignin (30,466%), these two compounds are considered to be the most abundant in wood; the extractive content (1,393%) and ash (1,425) are in smaller proportions.

The soil where the individuals grew is acid (5,28) with a medium nitrogen level (43,68 ppm), low phosphorus (12,56 ppm) and medium potassium (148,52 ppm).

The relationship between each of the contents of the chemical composition of the wood and each of the chemical properties of the soil resulted in five relationships, which two are positive correlations (pH - lignin with a significance of 0,046 and nitrogen - holocellulose with a significance of 0,001) and three are negative correlations (pH - holocellulose with a significance of 0,0032, nitrogen - extractive with a significance value of 0,049, and nitrogen - lignin with a significance of 0,002). In addition to phosphorus and potassium, they did not yield any relation to the composition of the wood, since their significance level was greater than or equal to 0,05.

Keywords: Ash, Extractive, Lignin, Hemicellulose, Soil analysis, *Schizolobium parahyba*, Relationship between chemical composition of wood and soil.

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador se constituye en un país megadiverso ya que alberga siete de cada diez especies reconocidas en el mundo (Burneo, 2018). Para la flora Jorgensen, Neill, y León (1999) publicaron el Catálogo de las Plantas Vasculares del Ecuador, con un total de 15 306 especies, de las cuales aumentó el número a 17 748 especies nativas confirmadas en el 2012 (Neill, 2012).

En el país, la amplia variedad de especies nativas en sus cuatro regiones motiva a realizar ampliamente temas de investigación y así conocer mejor las especies. De la composición química de la madera la información es escasa para especies forestales que tienen un alto potencial ecológico y económico. Tal es el caso de la especie arbórea *Schizolobium parahyba* "Pachaco", que de acuerdo a Ecuador Forestal (2010) esta especie se utiliza en sistemas agroforestales y plantaciones que dan grandes beneficios ecológicos, entre ellos está su regeneración natural que no presenta problemas y sus semillas pueden rebrotar fácilmente durante la etapa de brinzal de un ecosistema y, económicos debido a que tiene un rápido crecimiento que es rentable en inversiones a mediano plazo para producir: elementos de mueblería o carpintería de interior y contrachapados.

S. parahyba tiene un futuro como especie forestal no maderable en producción de pulpa de papel y producción de lignocelulósica que en la actualidad está tomando apogeo para elaboración de biocombustible como es el de bioetanol (Gómez, Ríos y Peña, 2012).

En Ecuador, la especie *S. parahyba*, ha sido estudiada en diversos aspectos como: la trabajabilidad de madera (López *et al.*, 2015), almacenamiento de carbono (Raquel y Giniva, 2007), enriquecimiento forestal (Palacios *et al.*, 2015), como la especie responde al aplicado

de biocarbono y fertilización en el suelo (Valarezo *et al.*, 2016), entre otros estudios. Sin embargo, poco se conoce a su composición química de la madera y su relación con las propiedades del suelo. Esto conlleva que en el presente trabajo de investigación se estudié la composición química de la madera de *S. parahyba*, planteándose los siguientes objetivos:

Objetivo General

Estudiar 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.

Objetivos Específicos

- Evaluar el porcentaje de extractivos, ceniza, holocelulosa y lignina de la madera de *Schizolobium parahyba* en el área de estudio.
- Medir los niveles de pH, nitrógeno, fósforo y potasio del suelo de la plantación de *Schizolobium parahyba* en el área de estudio.
- Evaluar los posibles cambios de las propiedades químicas de la madera de la especie en estudio en relación a las propiedades químicas del suelo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La madera

Para NEC (2014) la madera es un material más o menos duro, fibroso y compacto, de origen vegetal, proveniente de las plantas leñosas (árboles, arbustos y lianas), principalmente de los troncos de los árboles.

La madera es la parte sólida de los árboles, que se encuentra debajo de la corteza, de esta manera, es el conjunto de tejidos de cierta dureza y densidad que forma parte del tronco y ramas de los árboles (Fajardo, 2010).

2.1.1. Estructura macroscópica de la madera

Desde el exterior hacia el interior, el fuste de un árbol (Figura 1) muestra las siguientes partes:

- **Corteza:** Parte del árbol que se puede ver a simple vista y se renueva constantemente protegiendo contra peligros externos como el frío, calor, invasión de hongos e insectos. Además, que no permite el paso de agua lluvia y evita la evaporación sea excesivamente rápida (CEDRIA, 2015).
- **Líber:** Formado por tejido vivo, que transporta en forma descendente los alimentos fabricados en la fotosíntesis (floema) y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. Estas células viven un tiempo relativamente corto, después mueren y se convierten en parte de la corteza externa protectora (CEDRIA, 2015).
- **Cambium:** Capa delgada de células vivas, que siempre se encuentran en periodo de división y produce alternativamente células de floema y xilema; esto permite que el árbol crezca en diámetro cada año (Macas, 2016).

- **Albura:** El nombre científico para albura es xilema, formado por tejidos que transportan agua y nutrientes minerales sueltos en el suelo, hasta las ramas y hojas. Es la madera más joven del árbol que con los años las capas internas de albura mueren y se convierten en duramen (Macas, 2016).
- **Duramen:** Es albura muerta en el centro del tronco, de color más oscuro y casi nunca son funcionales, aunque sus células no estén vivas no se descompone, si no que da soporte y fortaleza al árbol (Fajardo, 2010).
- **Núcleo o médula:** Es una pequeña zona oscura de células vivas y esponjosas de consistencia corchosa que se encuentran justo en el centro del tronco del árbol, protegida por el duramen. Los nutrientes esenciales se transportan a través del núcleo del árbol (López, 2015).

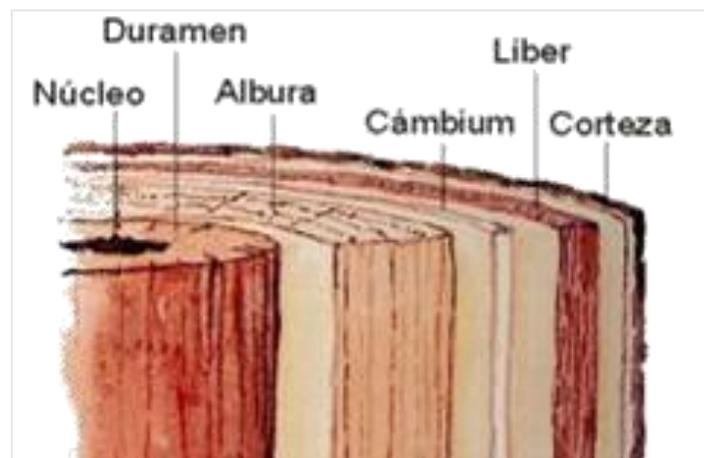


Figura 1. Estructura de la madera. Gutiérrez, (2014).

2.1.2. Propiedades físicas de la madera

Conforme al tipo de madera, edad del árbol, zona climática, entre otros factores; las propiedades varían de unos a otros, pero de manera general, las maderas presentan las siguientes características:

- **Baja densidad:** Suelen ser menos densas que el agua (de ahí que floten).
- **Conductividad térmica y eléctrica baja:** La madera es un excelente aislante térmico (casas de madera en países fríos, por ejemplo). Las maderas ricas en agua son mejores conductores que las secas.
- **Resistencia mecánica:** A la tracción, compresión, flexión, cortadura y desgaste. Es muy resistente al esfuerzo de tracción (estirarse) y bastante resistente a la compresión (aunque la mitad de resistente que a la tracción).
- **Hendibilidad:** Es la facilidad con que se abren las fibras de la madera en sentido longitudinal. Hienden peor las maderas duras, las secas, las resinosas y con nudos. La madera hendible es poco apta para el clavado y para realizar encajes. Si el secado es brusco la madera tiende a abrirse.
- **Retractabilidad o contracción:** Pérdida de volumen al perder parte del agua.
- **Humedad:** Cantidad de agua que tiene la madera en su estructura. Está relacionada con su peso y afecta a otras propiedades físicas y mecánicas. Elemento que se debe reducir para obtener una madera útil, desde un punto de vista tecnológico.
- **Dureza:** Es la resistencia que ofrece al corte. Aumenta con la densidad.
- **Flexibilidad:** Característica de las maderas jóvenes, verdes y blandas, que admiten ser dobladas sin romperse.
- **Características estéticas:** Color, vetado, olor.

2.1.3. Clasificación de la madera

Las maderas se pueden clasificar de distintas formas de acuerdo a su dureza y estructura celular o genética.

2.1.3.1. Según su dureza

- **Maderas blandas:** La gran ventaja que tiene este tipo de madera es que son provenientes de árboles de crecimiento rápido. Por lo general las maderas blandas son menos costosas que las maderas duras y se utilizan para la construcción de carpintería y la fabricación de papel y fibra de madera prensada (CEDRIA, 2015).

Ludeña (2013) señala que las maderas blandas son más ligeras y menos durables; el atractivo estético de este tipo de madera es mucho menos que el de las maderas duras, por ese motivo se suelen utilizar en la elaboración de muebles y artesanías, y casi siempre son tratadas con pintura, barniz o tintes. Teniendo un costo asequible económicamente. A demás Tamarit (1996) menciona que las maderas blandas como el pino, jacaranda, jubo, son utilizadas con el fin de obtener pulpa de celulosa de buena calidad.

- **Maderas duras:** Este tipo de maderas, provienen de árboles de crecimiento lento lo que son económicamente más caras debido a su resistencia, color, y veteado. La densidad de este tipo de madera es alta es decir son maderas pesadas y difíciles de trabajar, aunque, darles forma con maquina suele ser más sencillo (Armijos, 2013).

De acuerdo a Ludeña (2013) las maderas duras son las utilizadas para la construcción y la ebanistería teniendo como productos muebles de gran calidad y excelentes acabados. A pesar de esto tienen un tratamiento más complicado, pero un mejor poder visual, dureza y resistencia al paso del tiempo. Estos factores hacen que el precio de las maderas duras sea mayor respecto a las blandas.

2.1.3.2. Según su estructura celular

- **Coníferas:** Las especies de coníferas pertenecen a las gimnospermas. Estas especies crecen en las zonas templadas y frías de la tierra; su madera se constituye principalmente por células de características homogéneas que realizan una doble función del sostén y conducción de la sabia. Los árboles de estas especies tienen un fuste recto, cónico hasta el ápice o extremo superior revestido de ramas (Francisco, 2011 y Vélez, 2012). De acuerdo a Venturelli (2019) las especies de conífera tienen hojas perennes de consistencia dura, escamosa y en forma de aguja, con un alto porcentaje de resina tanto en sus hojas como sus tallos. Sus frutos poseen forma de cono y cuentan con semillas en su interior.
- **Latifoliadas:** Se trata de las especies correspondientes al orden de ciertas angiospermas dicotiledóneas. En general poseen una copa bien ramificada, con un tronco que varía bastante en tamaño y forma (Vélez, 2012). Se ubican en las zonas tropicales y subtropicales del planeta. Venturelli (2019) menciona que las hojas son de tipo laminar pudiendo ser caducas o perennes, no contando con resina como es en el caso de las coníferas.

2.2. Composición química de la madera

Paz (2008) menciona que en la composición química elemental de la madera, los principales elementos químicos son el carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno que comprenden una media de porcentajes de 49-50% (C), 44-45% (O), 6% (H) y 0.2% (N) respectivamente, teniendo en cuenta que todos esos componentes están formando la celulosa y la lignina.

Según Fajardo (2010) la madera es un material fibroso formado por: celulosa que es el sostén de la planta que constituye un aproximado de 50% de la madera; lignina que es el elemento que mantiene unidas las fibras constituye un 30% aproximadamente; y otros elementos como: resinas, gomas, sílice, almidón, agua y ceniza que se encuentran 20% aproximadamente en la madera.

En la Figura 2, se muestra los principales componentes químicos de la madera de acuerdo a Browning (1967) y Fengel (1984).

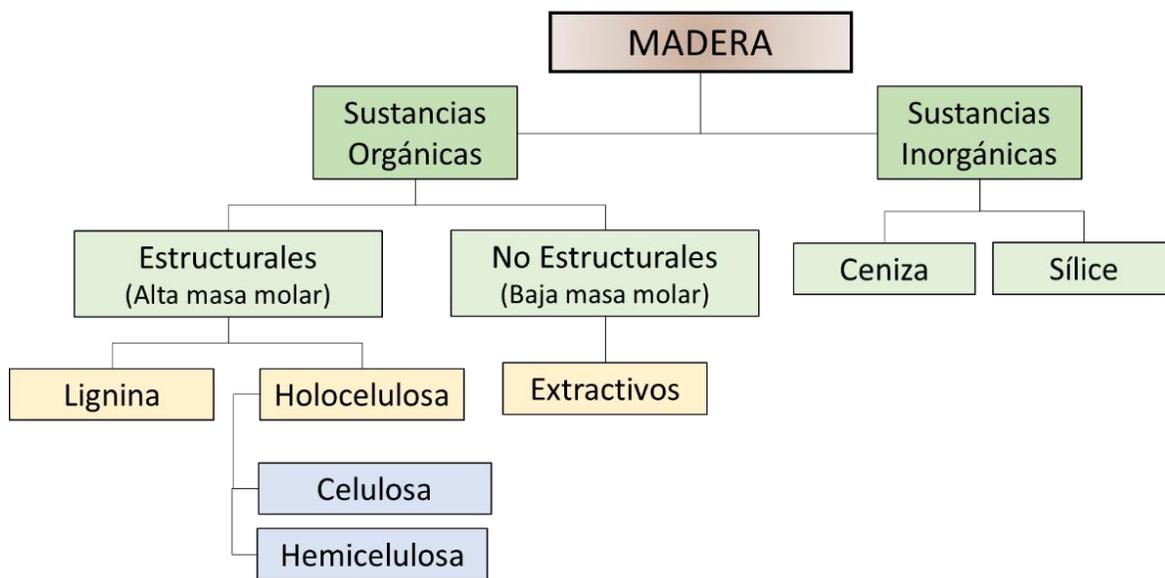


Figura 2. Esquema general de los componentes químicos de la madera. Browning (1967) y Fengel (1984).

La composición básica de la madera considera a los componentes estructurales que constituyen la pared celular y a los componentes ocasionales contenidos en los lúmenes y espacios intersticiales. El crecimiento estructural y las propiedades naturales de la madera surgen de la organización y la composición química de las paredes de las células (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

En el Tabla 1, Paz (2008) indica los rangos de los componentes químicos que forman la madera de coníferas y latifoliadas de acuerdo a su estructura celular.

Tabla 1. Rangos de porcentaje de la composición química de la madera en latifoliadas y coníferas

Componente	Latifoliadas (%)	Coníferas (%)
Holocelulosa	59,8 – 80,9	71,0 – 89,1
Celulosa	30,1 – 60,7	31,1 – 64,4
Poliosas	12,5 – 29,1	18,0 – 41,2
Pentosas	4,5 – 17,5	12,6 – 32,3
Lignina	21,7 – 37,0	14,0 – 34,6
Extractivos (agua caliente)	0,2 – 14,4	0,3 – 11,0
Extractivos (agua fría)	0,5 – 10,6	0,2 – 8,9
Extractivos (éter)	0,2 – 8,5	0,1 – 7,7
Ceniza	0,02 – 1,1	0,1 – 5,4

Fuente: Paz (2008).

Hay que tener en cuenta que CEDRIA (2015) menciona que las condiciones dadas pueden dar en mayor o menos proporción los componentes de la madera, dependiente del tipo del árbol y de las condiciones de crecimiento.

2.2.1. Ceniza

Según Paz (2008) las cenizas son pequeñas cantidades de elementos minerales, como calcio, potasio y magnesio, se encuentran en ceniza de madera. Normalmente, el volumen de la ceniza raramente es más bajo que 0,2% o más alto que el 1% del porcentaje en peso de madera.

Los resultados indicaron que el volumen de la ceniza total y la concentración de cada elemento varían significativamente entre las especies. El contenido de los constituyentes

inorgánicos varía en gran parte con las condiciones de ambiente bajo las que el árbol ha crecido (González, 2005).

2.2.2. Extractivos

Extractivos son los compuestos de composición química variada, como gomas, grasas, resinas, azúcares, aceites, almidones, alcaloides, y taninos (González, 2005).

Estas sustancias extraíbles están formadas por el metabolismo secundario de las plantas que son un grupo de compuestos químicos que están constituidos por ácidos grasos, alcoholes grasos, ácidos resínicos, terpenos, fenoles, taninos, esteroides, alcaloides, compuestos nitrogenados, azúcares, grasas y ceras (Rowell *et al.*, 2005).

De acuerdo a Panshin y De-Zeeuw (1970), los extractivos representan un gran número de componentes orgánicos. El grupo más importante en términos de cantidad son los polifenoles y las resinas. Los polifenoles están presentes en angiospermas y gimnospermas, e incluyen a un gran número de componentes químicos orgánicos, entre estos los taninos. Estos materiales orgánicos están presentes en formas mezcladas.

Rosales *et al.* (2016) menciona que los compuestos extraíbles son de gran interés por sus diversas aplicaciones en medicina, cosméticos, añejamiento de bebidas alcohólicas, como preservadores y en la obtención de aceites esenciales.

2.2.3. Lignina

La lignina es, de entre los compuestos principales de la madera específicamente en la pared celular, el más resistente a la degradación térmica y a los solventes químicos, presentando la menor higroscopicidad. Es un compuesto termoplástico, característica relevante para la fabricación de productos de madera tales como tableros y madera densificada (Díaz, 2003).

Melo y Paz (1978) mencionan que la lignina, cuya principal función en el árbol es mantener las fibras unidas, posee una estructura compleja que la hace poco deseable como constituyente de la pulpa. También confiere a la fibra un cierto grado de rigidez, dificultando algunos procesos.

Como una definición más, sencilla de comprender CEDRIA (2015) dice no se conoce con exactitud la composición química de la lignina, pero abarca un aproximación de 20 por ciento de composición de la madera dependiendo de la especie, ya que es la sustancias que actúa como cemento y endurecimiento de la madera; es decir le da la rigidez a la madera.

La lignina se la puede obtener como residuo de la industria de la celulosa y papel, por lo cual es considerado como material de baja calidad y bajo valor agregado industrial. No obstante, ya que es un compuesto abundante, se puede considerar en el futuro como una fuente de recursos natural para la producción de diversas sustancias derivadas del petróleo como: combustible, resinas, aditivos, dispersantes, mezclas termoplásticas y productos farmacéuticos (Stewart, 2008).

2.2.3.1. Uso de la lignina

La lignina es utilizada en la industria de químicos como reactivo para productos poliméricos como el nailon, el poliestireno, entre otros. Por otro lado, en la degradación controlada de lignina de desechos lignocelulósicos se generan compuestos aromáticos que pueden ser utilizados como materia prima, por ejemplo, la producción de vanilina, feniletano y fenilmetano. Se ha registrado el uso de la lignina con fines medicinales, en este reporte se plantea el hecho del uso de un derivado químico de la lignina de bagazo de caña, denominado LIGMED-A, como antidiarreico (Álvarez *et al.*, 2012).

2.2.4. Holocelulosa

El contenido de holocelulosa en la madera abarca del 50 al 80 por ciento 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 blandas que en maderas duras, las sustancias pépticas también son carbohidratos o compuestos relacionados. Según algunos informes, las sustancias pépticas están ausentes en madera más vieja. Sin embargo, la opinión prevaleciente es que ellos están presentes, aunque en proporciones pequeñas, principalmente en el lámela media y la pared primaria (González, 2005).

La biomasa lignocelulósica es decir la materia seca vegetal, está compuesta principalmente por los polímeros de celulosa, hemicelulosas y lignina, que están asociados y sirven de soporte estructural a la pared celular. Rosales *et al.* (2016) menciona que la a holocelulosa está formada por la combinación de celulosa y hemicelulosa.

Rowell *et al.* (2005) menciona que la celulosa está formada por unidades de glucosa y se considera que es el compuesto químico orgánico más abundante en la tierra, que representa en promedio de 38% a 49% del peso seco de la madera. La hemicelulosa son polímeros heterogéneos cortos ramificados compuestos por pentosas, hexosas que representan un recurso renovable de biopolímeros para la industria química, alimenticia, farmacéutica y cosmética.

2.3. Especie *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake

2.3.1. Características generales de *Schizolobium parahyba*.

La especie arbórea *Schizolobium parahyba* pertenece a la familia Fabaceae y orden Fabales, su nombre común es Pachaco, Pashaco, Masachi que varía de acuerdo a la región (Figura 3).

En Ecuador se la encuentra en estado natural en los bosques húmedos tropicales a una altitud de 150 a 1500 msnm y temperatura de 22 a 27°C. Aunque es una especie nativa de la Amazonía Ecuatoriana, se la puede encontrar en la región litoral en buenas condiciones para aprovechamiento en plantaciones o sistemas agroforestales (Vinueza, 2012).



Figura 3. Especie Schizolobium parahyba (Vell) Blake. Vinueza, (2012)

2.3.2. Descripción morfológica

López *et al.* (2015) menciona que el Pachaco es un árbol muy vistoso y frondoso que puede alcanzar 25 a 40 metros de altura y hasta 1 metro de diámetro. Justiniano *et al.* (2001) menciona que la especie posee una fuste recto y cilíndrico, teniendo en cuenta que si crece en gran espacio se ramifica bajo; además posee corteza de color blanquecina y lisa. Su copa es grande cuando el árbol crece aislado y en buenas condiciones de sitio y es estrecha cuando hay limitaciones de suelo y de clima.

Tiene hojas compuestas bipinnadas y caducas; con flores en forma de capullos amarillos rectos presentando una apariencia de ramillete de 30 cm. En floración son visibles a gran distancia. El fruto está constituido por una vaina, que contiene las semillas ovaladas y aplanadas aproximadamente 2cm de longitud, cada 1kg de semilla contiene aproximadamente 1100 semillas (Ramírez, 1990).

2.3.3. Distribución y hábitat

Según CONABIO (2014) la especie se desarrolla en zonas planas y colinas escarpadas, desde ambientes lluviosos hasta sabanas secas, cerca de los ríos. La especie es nativa desde México hasta Brasil.

Es una especie heliófita, la cual que necesita de la luz solar para crecer y desarrollarse, por este motivo las semillas se desarrollan muy bien en brinzales y bosques secundarios, ya que una de sus ventajas es su rápido crecimiento, con un aproximado de 20 m de altura y 24 cm de diámetro en un periodo de 10 años aproximadamente (CATIE, 2014).

2.3.4. Requerimientos edafoclimáticos

La especie *S. parahyba* según el CATIE (2014) y Vinuesa (2012) señalan que se tiene conocido que se adaptan bien a los diferentes tipos de suelo, incluyendo suelos ácidos muy pobres, con condiciones climáticas 22 a 27°C de temperatura y precipitación de 1200 – 2500 mm/anual con un rango altitudinal de 150 a 1500 msnm.

El Instituto Forestal de Oxford y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (OFI – CATIE) (2013) mencionan que la especie *S. parahyba* prefiere suelos fértiles, profundos y húmedos, con una textura media a pesada y un nivel de pH ácido 5,5 a neutro 7,0. Sin embargo no soporta suelos superficiales, infértiles, arenosos; ni demasiado secos o inundables.

2.3.5. Propiedades organolépticas

Las propiedades organolépticas son las que están relacionadas con los aspectos estéticos y de estructura anatómica como son el color, veteado, textura, gramo, olor y sabor. La especie *S.*

parahyba muestra en sus propiedades organolépticas un color blanco amarillento en la albura y en el duramen un color marrón muy pálido; en el veteado en bandas longitudinales poco demarcado; textura gruesa a media; grano de recto a entrecruzado; un olor y sabor ausente que no es distintivo (Vinueza, 2012).

2.3.6. Importancia económica

La madera de *S. parahyba* es blanda y de color blanco-marrón, muy utilizada para los contrachapados, elementos de mobiliario o de carpintería interior, puertas, molduras, construcción de cajas, juguetes, maquetas y pulpa para papel. El duramen que es el de mayor resistencia se utiliza para la elaboración del parquet, puertas e instrumentos musicales de percusión; y de la corteza se extraen taninos, es de fácil desenrollado lo cual permite realizar chapas decorativas (Ospina *et al.*, 2003). Además, la especie por ser de rápido crecimiento, tiene una forma de copa vigorosa y una bella floración color amarillo que es un excelente árbol ornamental.

2.3.7. Plantación de *Schizolobium parahyba* en Ecuador

Vinueza (2012) señala que una plantación de Pachaco se la puede realizar a una densidad de 654 plantas / ha a 4 x 4m y de 400 plantas / ha a 5 x 5m, aunque se puede establecer espaciamientos menores para limitar el desarrollo de ramas; además que tiene un incremento medio anual (IMA) de 20 m de altura con un diámetro de 24 cm en 10 años. Ecuador Forestal (2010) menciona que se puede obtener madera a partir de los 18 a 20 años ya que la especie es de crecimiento rápido y se la puede plantar en la región costa y oriente.

Es importante tener en cuenta que un turno estimado para la obtención de madera para pulpa es de 6 a 8 años y para aserrío es de 15 a 20 años con un rendimiento volumétrico de hasta 35m de altura con 1m de diámetro con 10 a 25 m³/ ha/año (375 m³/ ha) (Estrada, 1997; y Vinueza, 2012).

Si se realiza la plantación en un terreno con rastrojo Vinueza (2012) y Ecuador Forestal (2010) mencionan que es necesario efectuar una limpieza para reducir la competencia por luz y nutrientes, después ejecutar la balizada (señalamiento) para ubicar los hoyos. Durante los dos a tres primeros años, se necesita realizar una limpieza continua. Probablemente *S. parahyba* es una de las especies más fácil de manejar sosteniblemente debido a la capacidad de regeneración, alta tasa de crecimiento y poca susceptibilidad a la infección de bejucos.

En Ecuador Herbaria (2014) menciona que desde 1980 se ha plantado Pachaco para producción maderera y que actualmente hay unas 12 000 ha.

2.3.8. Usos futuros

S. parahyba en Ecuador es catalogada como una especie maderable por las propiedades organolépticas que posee. Sin embargo, la especie tiene más potencial de lo que se creía como especie forestal en la elaboración de pulpa de papel y fabricación de biocombustible (Mogollón *et al.*, 2004).

2.3.8.1. Pulpa de papel

La pulpa en el material consistente en células vegetales sueltas, en las que predominan las de carácter fibroso, y todos los productos laminados formados por ellas en forma de entramado

fibroso, que constituyen los diversos tipos de papeles, cartulinas y cartones. Básicamente la madera está constituida por lignina y fibras de celulosa (WRM, 2004).

El papel se fabrica con las fibras de celulosa que hay en la madera. Cuando esa fibra se utiliza por primera vez se llama fibra virgen y cuando a través del reciclaje la recuperamos y la volvemos a utilizar como materia prima para fabricación de papel la llamamos fibra recuperada o reciclada. Pero en realidad se trata de la misma fibra en momentos diferentes de su ciclo de vida (Rodríguez, 2011).

Teschke y Demers (2010) menciona que los componentes químicos en porcentaje de las fuentes de pasta y de papel en madera blanda son: celulosa 38% – 46%; hemicelulosa 23% – 34%; lignina 22% - 34%; extraíbles 1% – 5%; minerales 0,1% – 7%. En madera dura tenemos: celulosa 38% – 49%; hemicelulosa 28% – 40%; lignina 16% - 30%; extraíbles 2% – 8%; minerales 0,1% – 11%.

Tamarit (1996) menciona que el Pachaco (*S. parahyba*) es catalogado con una calidad muy buena de pulpa de papel.

2.3.8.2. Lignocelulosa

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, la composición y el porcentaje de este compuesto varía según la especie vegetal, la edad y la etapa de crecimiento; además es considerada el polímero más abundante en la biomasa producida por la fotosíntesis (Cuervo, Folch y Quiroz, 2009).

La biomasa que puede ser usada para la producción de energía cubre un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos

y las plantaciones energéticas se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles (Díaz, 2011).

Álvarez *et al.* (2012) menciona que es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas. De acuerdo a Díaz (2011) el material lignocelulósico consiste en tres tipos diferentes de polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina.

- **Bioetanol**

La producción de etanol a partir de materiales lignocelulósicos (bioetanol) ha sido ampliamente estudiada en las últimas décadas. Al respecto se han utilizado infinidad de fuentes de biomasa, entre las que podemos destacar son madera, caña de azúcar, maíz, trigo, entre otros (Álvarez *et al.*, 2012).

Dufour (2011) menciona que la biomasa lignocelulósica es un componente esencial de la madera e incluye residuos forestales y agroindustriales (serrines, restos molienda, fabricación papel, entre otros). Diferentes análisis de ciclo de vida han mostrado que la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica, por medio de conversión bioquímica o termoquímica, presenta notables ventajas medioambientales y de renovabilidad respecto de la producción de etanol por fermentación de azúcares.

La producción de etanol a partir de residuos lignocelulósicos se realiza en un proceso en cuatro etapas: 1. Pretratamiento, 2. Hidrólisis, 3. Fermentación y 4. Separación de productos (Dufour, 2011).

La producción de etanol mediante la biomasa lignocelulósica es considerada como etanol de la segunda generación.

Kenji *et al.* (2018) menciona que la especie *S. parahyba* puede ser una opción para fines energéticos, con una buena calidad, como es el caso de la producción de etanol.

2.4.El Suelo

Según Cepeda (1991) el suelo puede considerarse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos, bajo la influencia del clima y del medio biológico. Es una capa de material de soporte de vida, la cual es muy delgada y frágil. Esta capa cubre en su mayoría la superficie terrestre, la cual varía desde unos pocos centímetros de espesor hasta dos o tres metros.

2.4.1. Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo se definen como aquella parte de la ciencia del suelo que estudia la composición, las propiedades y las reacciones químicas de los suelos. Los esfuerzos mayores de aplicación de esta parte de la ciencia del suelo han estado dirigidos a tratar de explicar y/o resolver problemas relacionados con la dinámica de los nutrientes vegetales y con la fertilidad del suelo (Rubio, 2012).

Otra definición dada por Argüelles (2014) es que son aquellas que nos permite reconocer cualidades del suelo cuando se provocan cambios químicos o reacciones que alteran la composición y acción de los mismos, los principales son la fertilidad y la acidez-alcalinidad.

2.4.2. El potencial hídrico (pH)

El pH es el que determina el grado de fijación de iones (H^+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad, así como en otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2013).

El valor de pH oscila de 0 a 14; el $pH = 7$ es el que indica que el suelo tiene una reacción neutra. Los valores inferiores a 7 indican acidez y los valores superiores a 7 indican alcalinidad. Mientras más distante esté la medida del punto neutro, mayor será la acidez o la alcalinidad (FAO, 2011).

La variación de un pH en el suelo puede variar ampliamente, en la Figura 4 se muestran los límites extremos de pH para la mayoría de los suelos de las regiones húmedas.

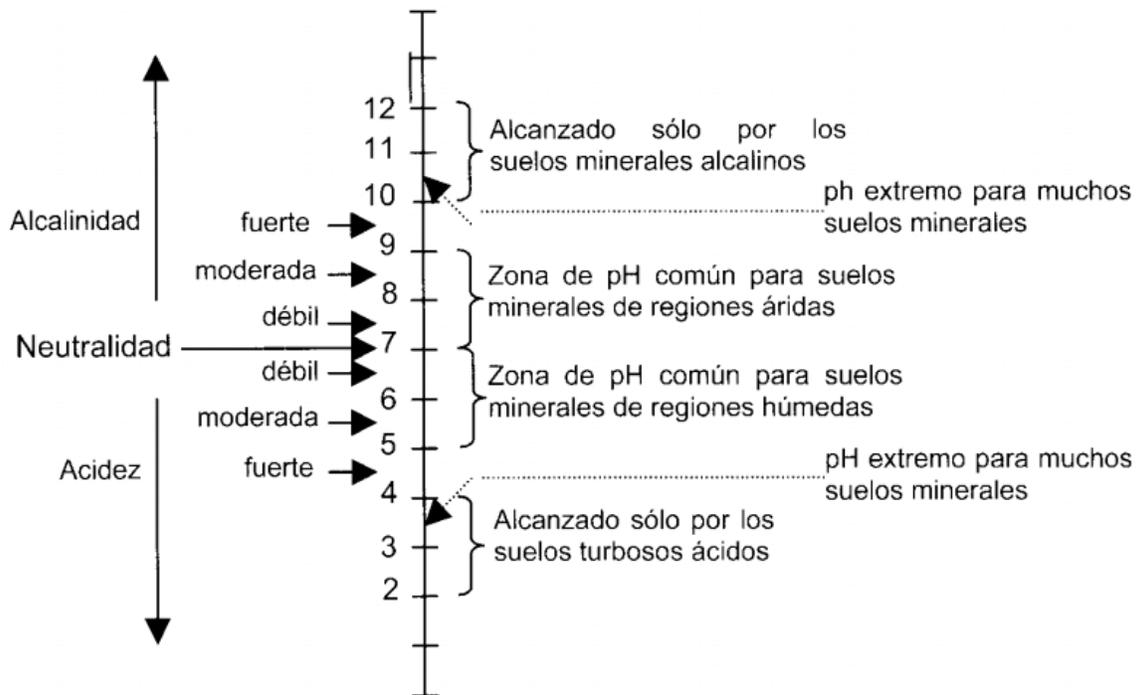


Figura 4. Valores de pH extremos para la mayoría de los suelos minerales de las regiones húmedas. Navarro, (2003).

Navarro (2003) menciona que los valores más comunes de pH obtenidos en los suelos de regiones húmedas van desde algo menos de 5 pH (acidez fuerte) a algo más de 7 pH (alcalinidad débil).

2.4.3. Principales nutrientes del suelo

López y Miñano (1988) afirman que los principales nutrientes son un grupo de elementos químicos del suelo son vitales para la sobrevivencia de las plantas. Los cuales estos elementos son nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro. Además, existen otros elementos químicos que son esenciales para un grupo determinado de plantas, que son considerados importantes, pero en menos proporción como el sodio, aluminio, silicio, entre otros.

Hay que tener en cuenta que todos los elementos son importantes y esenciales para las plantas, lo que difiere es en la cantidad que necesita cada una de ellas, así se las clasifica en: macronutrientes primarios, macronutrientes secundarios y micronutrientes u oligoelementos.

Los macroelementos primarios son los elementos que necesita la planta en mayor cantidad y cuyo contenido en el suelo no suele ser suficiente para cubrir sus necesidades. En este grupo están: nitrógeno, fósforo y potasio. En cambio, los macroelementos secundarios, son necesarios e importantes para el desarrollo para la planta, sin embargo, los necesita en menor proporción y la cantidad que se encuentra en el suelo suelen ser suficientes para cubrirlas. Este grupo queda formado por el calcio, azufre y magnesio. Los microelementos u oligoelementos son aquellos elementos que las plantas necesitan en pequeñas cantidades y cuyo contenido en el suelo son suficientes para asegurarlas; forman este grupo el hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro (López y Miñano, 1988).

2.4.4. Nitrógeno (N)

Bajo condiciones naturales, el nitrógeno (N) del suelo no proviene de la degradación de la roca madre, si no proviene de la atmosfera terrestre que se fija en el suelo por diferentes procesos que hacen algunos organismos que tienen esta característica de fijación de nitrógeno (Navarro, 2003).

La mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentran formando parte de la materia orgánica, que es transformada y liberada de en su forma más sencilla, para que las plantas puedan hacer uso de él. Navarro (2003) menciona que el nitrógeno varía más en cantidad en el suelo que los otros elementos esenciales para el desarrollo vegetal, lo cual el nitrógeno varía según las condiciones de drenaje y textura del suelo.

Hay que tener en cuenta que las condiciones climáticas influyen notablemente sobre el contenido de nitrógeno en los suelos, que de acuerdo a diferentes experiencias Perdomo y Barbazán (2002) manifiestan que el aumento de temperatura hace que el contenido de nitrógeno disminuya.

Las pérdidas de nitrógeno se deben a la absorción del cultivo, erosión, lixiviación y su volatilización en condiciones gaseosas. También los límites de pH juegan un papel importante en la nitrificación ya que esta se sitúa entre 5,5 a 8,0 pH; teniendo en cuenta que a medida que aumenta la acidez del suelo, la nitrificación se debilita debido a la sensibilidad de los organismos a un pH bajo. De la misma manera la temperatura más favorable para el proceso de nitrificación es desde 27 a 30 °C (Navarro, 2003)

Los procesos de desnitrificación son afectados por el pH del suelo, niveles de humedad y porcentaje de oxígeno en el suelo y cantidad de azufre y materia orgánica presente.

2.4.5. Fósforo (P)

El fósforo no tiene una ayuda microbiana para la fijación en el suelo, devino a que no proviene de la roca madre, durante el proceso de meteorización y representa alrededor del 0,1 % de la corteza terrestre ya que este no tiene ayuda microbiana para su fijación; su contenido es pequeños en las rocas primitivas o sedimentarias, a diferencia de rocas volcánicas que es notablemente elevado (Navarro, 2003 y Sanzano, 2000).

Sólo los fosfatos mono y disacáridos son fácilmente asimilables por la planta, ya que estos son necesarios para la formación de semillas. El fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en una concentración variables, según la parte vegetal que se tome en cuenta (Navarro, 2003). De acuerdo a Sanzano (2000), las pérdidas de fósforo en el suelo, se dan por la extracción de los cultivos, lixiviación, erosión y volatilización; este último se debe a que las condiciones oxidantes son altas y el suelo tenga un pH fuera los rangos medios.

2.4.6. Potasio (K)

Conforme a Sanzano (2000), las principales fuentes potásicas entre los minerales primarios son los feldespatos y las micas, entre los secundarios la illita y la vermiculita. El grado de liberación de potasio no sólo depende del contenido de éste en los minerales del suelo sino de la mayor o menor alteración que sufran los mismos.

Navarro (2003) menciona que el potasio a diferencia del fósforo se encuentra en relativamente de grandes cantidades, su contenido (como K_2O asimilable en el suelo) varía entre 0,5 a 1,5% dependiendo de la textura del suelo. Por eso los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos en potasio. Sin embargo, también están influidas por la intensidad de las pérdidas que se dan por los cultivos, lixiviación y erosión.

El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, teniendo en cuenta que es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable (Sanzano, 2000).

2.4.7. Fertilidad del suelo

De acuerdo a Argüelles (2014); y López y Miñano (1988) señalan que la fertilización la podemos restringir en aquellos elementos que no se hallan en el suelo en cantidad suficiente y en forma asimilable para las plantas. Estos elementos son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

En la cuantificación de estos elementos, así como en las propiedades físicas que pueden condicionar su disponibilidad, es en lo que se centran principalmente las determinaciones de los análisis de suelos (Argüelles, 2014). A continuación, se indican los beneficios, que cada uno de los macro elementos proporcionan a la planta.

El nitrógeno (N) ayuda al desarrollo de las plantas, da un color verde al follaje y es el principal elemento que ayuda a la formación de las proteínas. El fósforo (P) ayuda al crecimiento de la planta, contribuye a la formación y maduración de los frutos y semillas, así mismo forma raíces fuertes y abundantes. El potasio (K) ayuda a la formación de tallos fuertes y vigorosos, y protege de enfermedades a la planta. El calcio (Ca) ayuda al crecimiento de la raíz y el tallo de la planta y permite que la planta tome fácilmente los alimentos del suelo. El magnesio (Mg) ayuda a la formación de aceites y grasas, además es el elemento principal en la formación de clorofila, sin la cual la planta no puede formar azúcares.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales para la recolección de muestras de madera y suelo

- Libreta
- Esferográfico, lápiz y borrador
- Cinta adhesiva
- GPS
- Bolsas de basura
- Marcador
- Saquillos
- Motosierra
- Gasolina
- Aceite quemado
- Lima para motosierra
- Cámara fotográfica

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

3.1.1. Materiales

- Balón de 250ml
- Condensador a reflujo
- Crisoles de porcelana

- Embudos
- Mangueras de Jebe
- Matraces de 250 ml
- Nuez Papel Filtro
- Papel filtro
- Probetas de 100 m
- Soporte Universal

3.1.2. Equipos del laboratorio

- Balanza analítica
- Baño María
- Desecador
- Extractor Soxhlet,
- Mufla
- Plancha Eléctrica de una Hornilla
- Refrigerante de Reflujo

3.1.3. Reactivos

- Ácido acético concentrado (H_2SO_4)
- Alcohol
- Clorito de sodio ($NaClO_2$)
- Éter de Petróleo
- Materia prima de la especie forestal
- Solución de HCl 1N y 4N

3.3. Materiales para el análisis de las propiedades del suelo

3.1.1. 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 ml
- Soporte universal
- Tubos de ensayo

3.1.2. Equipos de laboratorio

- Agitador automático axial
- Balanza Analítica
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Espectrofotómetro UV - 1800
- pH metro ORION 4 STAR.

3.1.3. Reactivos

- Ácido ascórbico
- Tartrato de Potasio y Amonio
- 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 Quinta Experimental “El Padmi” de la Universidad Nacional de Loja y se encuentra ubicada en el corredor fluvial del Río Zamora, a 5 Km al norte de la unión con el Río Nangaritza. Políticamente pertenece a la parroquia Los Encuentros, cantón Yanzatza de la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 5); por su territorio cruza la carretera interprovincial que une a Loja con las provincias de Zamora Chinchipe y Morona Santiago (González y Pardo, 2013).

La quinta “El Padmi” tiene una extensión de 103,5 ha y se encuentra en las coordenadas UTM: 9585400 a 9588100 N y 764140 a 765600 E, entre una altitud de 775 a 1150 msnm (Armijos y Patiño, 2010).

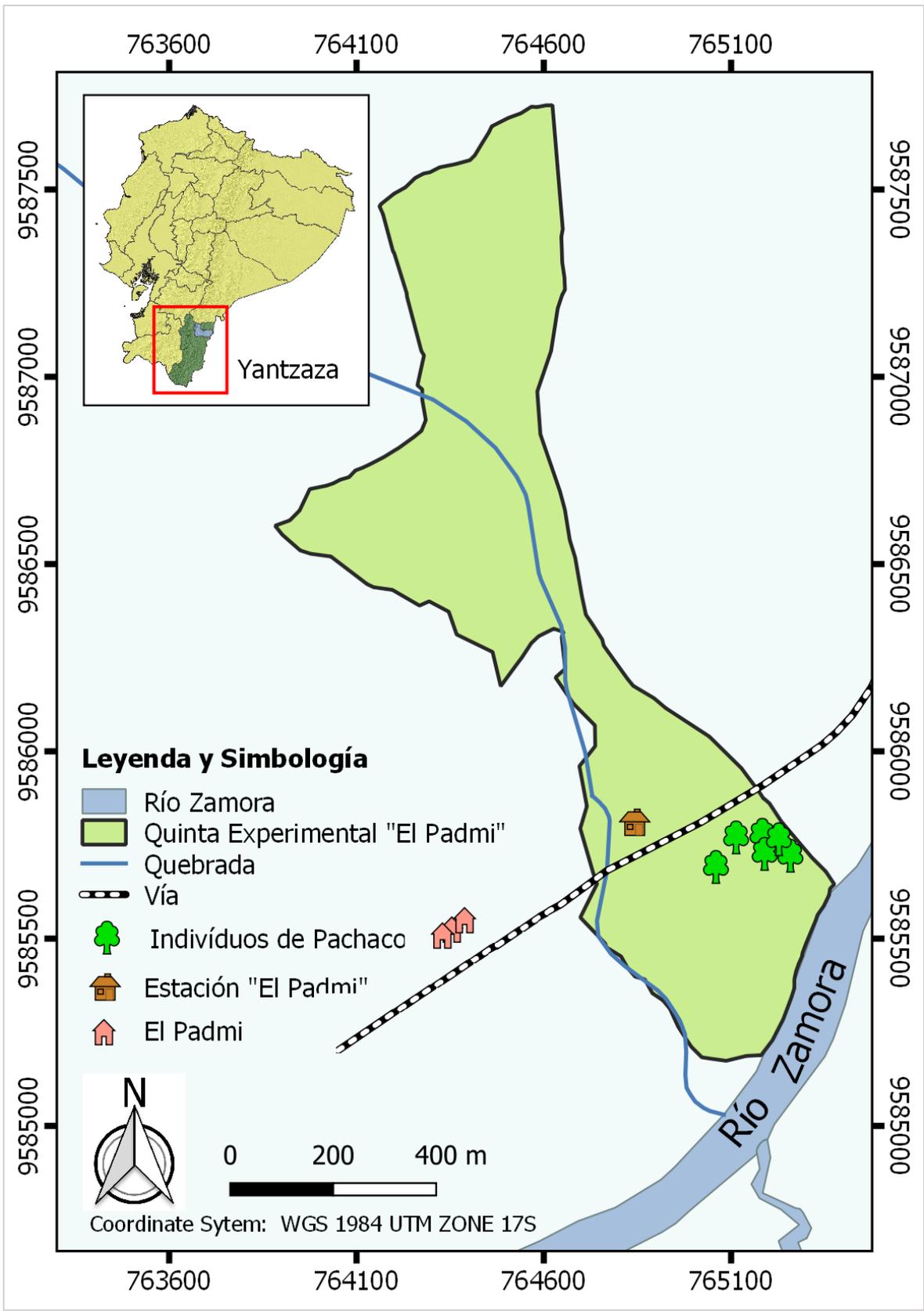


Figura 5. Mapa de ubicación geográfica de la Quinta Experimental "El Padmi"

3.5. Determinación de la composición química de la madera del *Schizolobium parahyba*.

3.5.1. Recolección de las muestras de madera

Se seleccionó seis individuos de *Schizolobium parahyba* (Pachaco) desde la Quinta Experimental “El Padmi” con la ayuda de una motosierra, obteniendo de dos a tres secciones transversales o discos del fuste principal. Hay que tener en cuenta que para esta investigación era necesario cortar el árbol; sin embargo, los árboles ya fueron cortados con anterioridad para el aprovechamiento de la madera y para un estudio de dendrocronológico. Cada muestra se rotuló con el número de árbol, circunferencia a la altura del pecho y coordenadas geográficas (Tabla 2).

Tabla 2. Información básica de los seis individuos recolectados de la especie *S. parahyba* de la Quinta Experimental “El Padmi”.

Parámetro	CAP (cm)	DAP (cm)	Coordenadas UTM	
			X	Y
Árbol 1	68,8	21,89	765184	9585777
Árbol 2	95,8	30,49	765259	9585721
Árbol 3	45,5	14,48	765114	9585770
Árbol 4	165,0	52,52	765190	9585726
Árbol 5	160,0	50,93	765060	9585691
Árbol 6	232,0	73,85	765228	9585765

Los discos obtenidos en campo fueron secados al ambiente por siete días y su corteza fue removida, debido a que Guevara (2013) menciona que la corteza de Pachaco tiene mayor contenido de extractivo, lignina y tánico.

Posteriormente con ayuda de la lijadora de banda marca Black & Decker, serie DS321; y una lija de banda N°38, se obtuvo pequeñas partículas o la harina de madera por cada individuo. Finalmente se realizó el tamizado de la harina con una malla N° 40 en el Laboratorio de Dendrocronología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables.

Posteriormente, en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad Agropecuaria se realizó el análisis químico de extractivos de la madera, y después en el Laboratorio de Química de la Facultad de Educación, el Arte y la Comunicación, se realizó el análisis del contenido de ceniza, lignina y holocelulosa de la madera. Por cada muestra proveniente de cada árbol (6 árboles) se extrajo tres sub-muestras o repeticiones dando un total de 18 sub-muestras de los 6 árboles.

El sistema de muestreo, la preparación de las muestras y la determinación de la composición química, se llevó a cabo siguiendo las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2015).

3.5.2. Obtención de extractivos

Para la obtención de extractivos se pesó aproximadamente 5,0 gramos de muestra en un papel filtro previamente pesado, después se introdujo la muestra en un dedal de celulosa y a éste se lo colocó en un extractor de Soxhlet. Para empezar con la extracción, se pesó el balón y después se colocó el solvente a utilizar, para este estudio se tomó en cuenta dos tipos de solvente: éter de petróleo y etanol absoluto.

Hay que tener en cuenta que la extracción se realizó inicialmente con éter de petróleo (160 ml) ya que tiene un punto de ebullición de 40°C, mucho más bajo que el de etanol absoluto (150 ml) con un punto de ebullición de 78°C.

La extracción terminó cuando el solvente se tornó incoloro en el extractor de Soxhlet y se procedió a recuperar los solventes, teniendo en cuenta que los extractivos que se encontraban en el balón no se quemaron. Para finalizar se dejó en la estufa a 60°C el balón con los extractivos para que se sequen, y se dejó enfriar en el desecador y finalmente se pesa. TAPPI 204 os-76.

A continuación, se aplicó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de extractivos, determinada por la norma TAPPI (2015) T 204 cm-07:

$$\% \text{ Extractivo} = \frac{(\text{Peso seco del balón con extractivo}) - (\text{Peso del balón vacío})}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

La harina de madera libre de extractivos se la utilizó posteriormente para determinar los porcentajes de lignina y holocelulosa.

3.5.3. Obtención de la lignina

De la muestra libre de extractivos, se pesó 0,1 gramo en el matraz ya tarado, enseguida se adicionó 1,5 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado al 72%, se dejó reposar por 15 min, se agregó 60 ml de agua destilada y se llevó a reflujo por 30 min a 70°C, y posteriormente se lo dejó reposar y enfriar.

Para finalizar se pesó el papel filtro, y con ayuda del embudo se filtró la solución que había en el matraz, lavando con agua caliente hasta que no quede residuos, después se dejó secar en la estufa a 100°C y se pesó.

La normativa TAPPI (2015) T 22 om-11, establece la siguiente fórmula para el cálculo del porcentaje de lignina:

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

3.5.4. 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_2) al 1,5% y 10 gotas de Ácido Acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) concentrado, después se tapó con una luna de reloj y llevó a baño maría a 70°C por 40 min.

Pasado ya los 40 minutos se dejó enfriar; se colocó 5 gotas de Ácido Acético y 10 ml de Clorito de Sodio agitando por 5 min, después que se enfrió, se filtró en papel filtro que se pesó previamente; con agua fría se lavó el matraz para que no queden residuos.

Al finalizar se llevó la holocelulosa obtenida a la estufa para que se seque a 105°C , se dejó enfriar en el desecador y se pesó.

Para calcular el porcentaje de extractivos, se aplicó la siguiente fórmula, establecida en la norma TAPPI (2015) T 9 wd-75:

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

3.5.5. Obtención de ceniza

Para la obtención de ceniza pimeramente se pesó el crisol y se colocó 5 gramos de muestra, luego se lo colocó en la mufla a 100°C hasta que la muestra se queme, después se subió la temperatura a 600°C , hasta que la muestra quede calcinada por completo, y se torne quedando de un color de blanquecino, finalmente se colocó en el desecador y se pesó.

Para el cálculo del porcentaje de ceniza, se utilizó la siguiente fórmula establecida por las normas TAPPI (2015) T 15 os-58:

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

3.6. Análisis de las propiedades químicas del suelo

3.6.1. Obtención de las muestras de suelo

Las muestras de suelo fueron recolectadas en el área de crecimiento de cada individuo, es decir el suelo que estuvo alrededor de árbol en un radio de 2 metros, para lo cual se debe de cavó un hoyo de 40 por 20 centímetros de profundidad, recolectando un terrón de suelo.

A cada muestra de suelo se identificó con su respectiva etiqueta: número de árbol, para conocer de qué árbol se pertenece la muestra de suelo; lugar de procedencia y coordenadas UTM.

Para este análisis químico, primero se dejó secar las seis muestras de suelo y se las tamizó a través de una malla N° 10. Posteriormente se las llevó al Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables y se realizó el análisis del pH, Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

3.6.2. Obtención del pH

Se tomó 20 gramos de muestra de suelo y se agregó 50 ml de agua destilada, se agitó por 5 minutos a 400 rpm, posteriormente se dejó reposar por 30 minutos, y luego se procedió a leer el pH en el potenciómetro previamente estandarizado, se midió el pH mientras se agita la mezcla. Se utilizó la siguiente tabla para una correcta interpretación del pH.

Tabla 3. Interpretación del pH del suelo.

pH	Interpretación
0,0 -<5,0	Muy Ácido
5,0 - 5,5	Ácido
>5,5 - 6,0	Mediamente Ácido
>6,0 - 6,5	Ligeramente Ácido
>6,5 - 7,5	Prácticamente Neutro
>7,5 - 8,0	Ligeramente Alcalino
>8,0 - 8,5	Mediamente Alcalino
>8,5	Alcalino
7	Neutro

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNL

3.6.3. Determinación de Nitrógeno

Se tomó 2,5 gr de muestra de suelo y se agregó 25 ml de solución extractante (Olsen modificado), después se agitó por 10 min a 400 rpm y se filtró. Seguidamente se tomó 2,0 ml de la solución filtrada, se agregó 8,0 ml de fenol básico y se adicionó 10 ml de Hipoclorito de sodio (NaClO); posteriormente reposó por 3 horas sin exponerlo a la luz directa, esto se realizó con el fin de mantener por más tiempo el color estable.

Se hizo la curva de calibración (Anexo 1), utilizando las concentraciones de 0 – 62,5 – 12,5 – 18,7 – 25,0 ppm, tomando como punto más alto la solución patrón y como punto más bajo la solución extractante.

Se observó 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 4. 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

Se tomó 2,5 gr de muestra de suelo y se agregó 25 ml de solución extractante (Olsen modificado), después de agitó por 10 min a 400 rpm y se filtró con papel filtro. Se tomó 1,0 ml del filtrado, 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 (Anexo 2), se reportó directamente el mg de P por 1000 ml de suelo (ppm).

Tabla 5. 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_2O_2	ppm	< 22.91	22.91 – 45.82	> 45.82	---

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNL

3.6.5. Determinación de Potasio

En dos 2,5 ml de muestra de suelo se añadió 25 ml de solución extractante (Olsen modificado), después se agitó por 10 min a 400 rpm y se pasó por el papel filtro.

De la solución filtrada se tomó se 1,0 ml, se agregó 9,0 ml de agua destilada y 15 ml de Óxido de Lantano (La_2O_3) al 1% y se utilizó las concentraciones de 50 – 250 – 50 ug/ ml de K, Ca y Mg respectivamente. Como punto más bajo se utilizó la solución extractora. Se realizó las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica, utilizando las condiciones y concentraciones.

Para obtener el valor del potasio disponible para la planta se hizo una transformación del valor de concentración de cada muestra y se multiplicó por cien, el valor dado de este se retorna a multiplicar por la constante 1,2046; el dato obtenido es la cantidad de potasio disponible para la planta en unidades partes por millón.

Tabla 6. Niveles de interpretación de valores de potasio disponible (K_2O) en el suelo para la planta en unidades partes por millón (ppm).

Elemento	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
K_2O	ppm	< 94,19	94,19 – 188,99	> 188,99	---

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNL

3.7. Análisis y procesamiento de datos

Los datos de madera y suelo se registraron en plantillas debidamente diseñadas para su tabulación (Anexo 3 y 4) las cuales facilitaron el análisis estadístico. 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 seis individuos considerados para el estudio; de igual manera se aplicó el análisis estadístico de comparación múltiple de medias para evaluación de las posibles diferencias de las propiedades químicas del suelo en los seis lugares de procedencia de cada árbol estudiado. Para este análisis el nivel de significación a usar fue $\alpha = 0,05$. Este análisis se hizo con la ayuda del paquete estadístico Statistix 8.0.

Las diferencias significativas que se van a mostrar en cada propiedad de madera y de suelo, son representadas por letras distintitas 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 IBM SPSS Statistics 19.

4. RESULTADOS

4.1. Composición química de la madera del *Schizolobium parahyba*

La composición química de la madera de *Schizolobium parahyba* analizada en los seis árboles (Tabla 7), obtuvo en promedio: 1,39% de contenido de extractivos, 1,43% de ceniza, 30,47% de lignina y 66,52% de holocelulosa.

Tabla 7. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar ($\pm DS$) por árbol y general de las propiedades químicas de la madera de los seis individuos analizados de *S. parahyba* de la Quinta Experimental “El Padmi”

Propiedades químicas de la madera				
Árbol	Extractivo % / (DS)	Ceniza % / (DS)	Lignina % / (DS)	Holocelulosa % / (DS)
1	0,99 / ($\pm 0,18$)	1,50 / ($\pm 0,02$)	30,42 / ($\pm 1,50$)	66,86 / ($\pm 1,35$)
2	0,82 / ($\pm 0,13$)	1,31 / ($\pm 0,16$)	29,13 / ($\pm 2,01$)	68,53 / ($\pm 1,76$)
3	2,74 / ($\pm 0,09$)	0,84 / ($\pm 0,02$)	34,87 / ($\pm 2,72$)	61,43 / ($\pm 2,791$)
4	1,67 / ($\pm 0,19$)	0,98 / ($\pm 0,06$)	23,32 / ($\pm 3,74$)	73,93 / ($\pm 3,94$)
5	1,17 / ($\pm 0,36$)	1,18 / ($\pm 0,02$)	34,79 / ($\pm 1,57$)	62,59 / ($\pm 1,60$)
6	0,96 / ($\pm 0,03$)	2,74 / ($\pm 0,04$)	30,26 / ($\pm 1,22$)	65,81 / ($\pm 1,24$)
\bar{X} (%)	1,39	1,43	30,47	66,52
\bar{X} ($\pm DS$)	0,72	0,68	4,27	4,49

El contenido porcentual de la composición química de la madera obtenida en promedio para cada individuo de *S. parahyba* (Figura 6) indica que la holocelulosa es la propiedad que predomina en la composición química de esta especie con valores superiores al 61%, siendo el árbol cuatro el que presentó el mayor porcentaje (74%). Mientras que, para el contenido de lignina, con un porcentaje de 35% destacó al árbol cuatro.

El contenido de extractivos y ceniza fueron los más variables ya que estos varían entre sí; es decir, en el árbol uno, el contenido de extractivos tiene un menor porcentaje (0,99%) que la ceniza (1,5%), lo mismo ocurre con el árbol dos (0,82% de extractivo y 1,31% de ceniza), el árbol cinco (1,17% de extractivo y 1,18% de ceniza); y árbol seis (0,96% de extractivo y 2,74% de ceniza). Sin embargo, esto se invierte en el árbol tres; teniendo el mayor porcentaje de extractivos (2,74%) que de ceniza con un 0,83%; y para el árbol cuatro también (1.67% de extractivos, y 0.98% de ceniza).

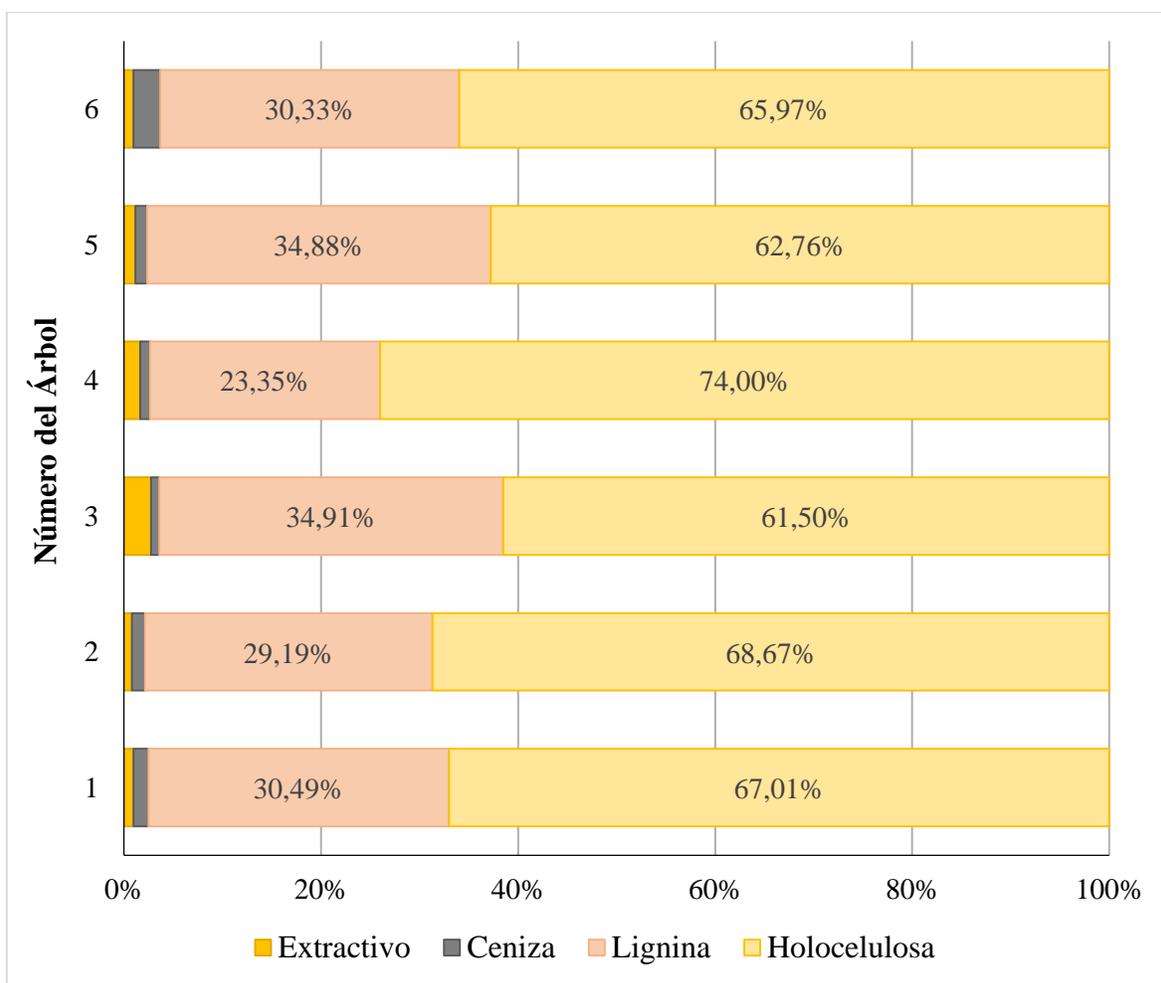


Figura 6. Porcentaje de la composición química de madera en cada individuo de *S. parahyba* estudiado de la Quinta Experimental “El Padmi”.

En la Figura 7, se muestra el grado de variabilidad que presentó la composición química de la madera de *S. parahyba*. El contenido de extractivo fue el más variable (CV=52%), seguido del contenido de ceniza (CV=48%); mientras que, el contenido de lignina y holocelulosa resultaron ser más homogéneos, con valores del coeficiente de variación de 14% y 7% respectivamente.

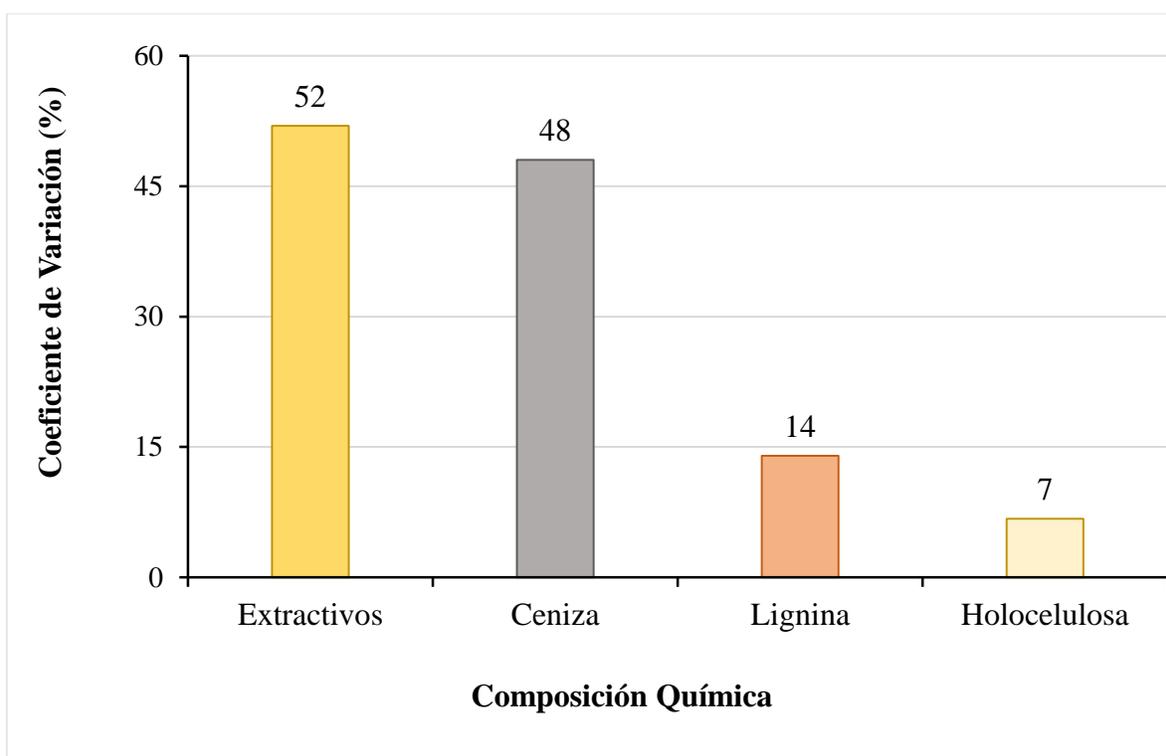


Figura 7. Coeficiente de variación de la composición química de la madera de *S. parahyba* de la Quinta Experimental “El Padmi”

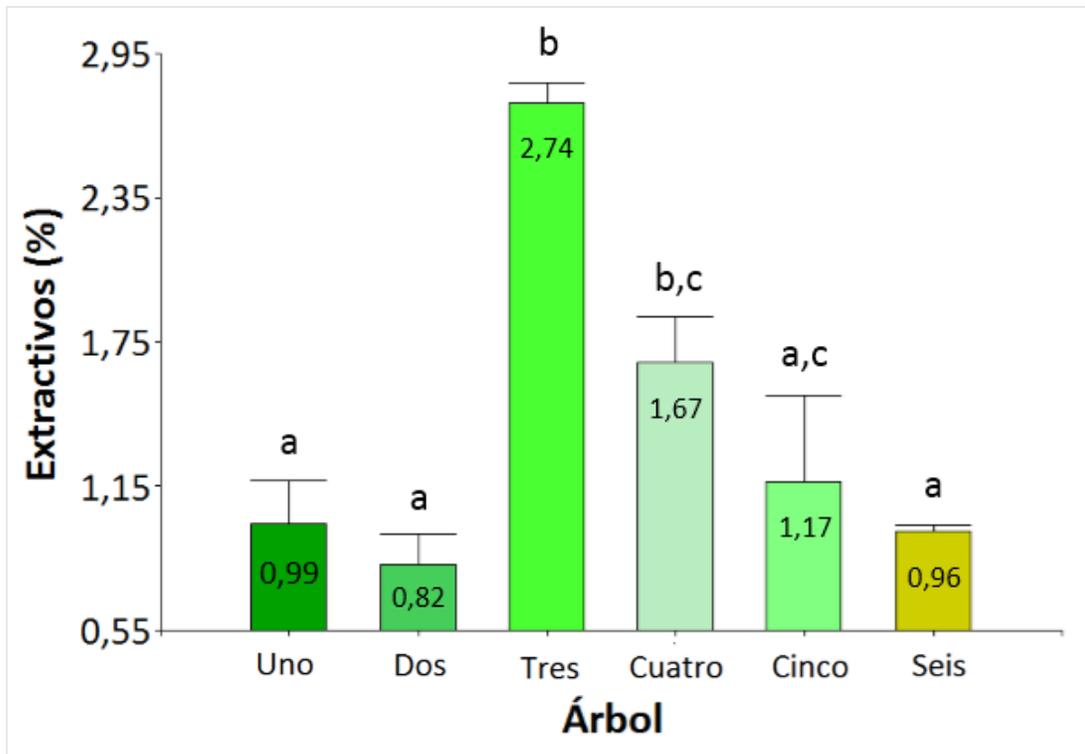


Figura 8. Valores promedio de contenido de extractivos de los seis árboles de *S. parahyba* de la Quinta Experimental “El Padmi”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)

El contenido de extractivos de *S. parahyba* se encuentra entre 0,82 % (árbol 2) a 2,74 % (árbol 3), como se indica en la Figura 8, de la misma manera se evidenció los resultados estadísticos (Kruskal-Wallis) que demostró diferencias significativas ($p = 0,0223$) entre los valores promedio de extractivo de los seis árboles estudiados, el cual agrupó en tres grupos de árboles: primer grupo tenemos los árboles 1, 2, 5 y 6; segundo grupo, árboles 4 y 5; y el tercer grupo con los árboles 3 y 4.

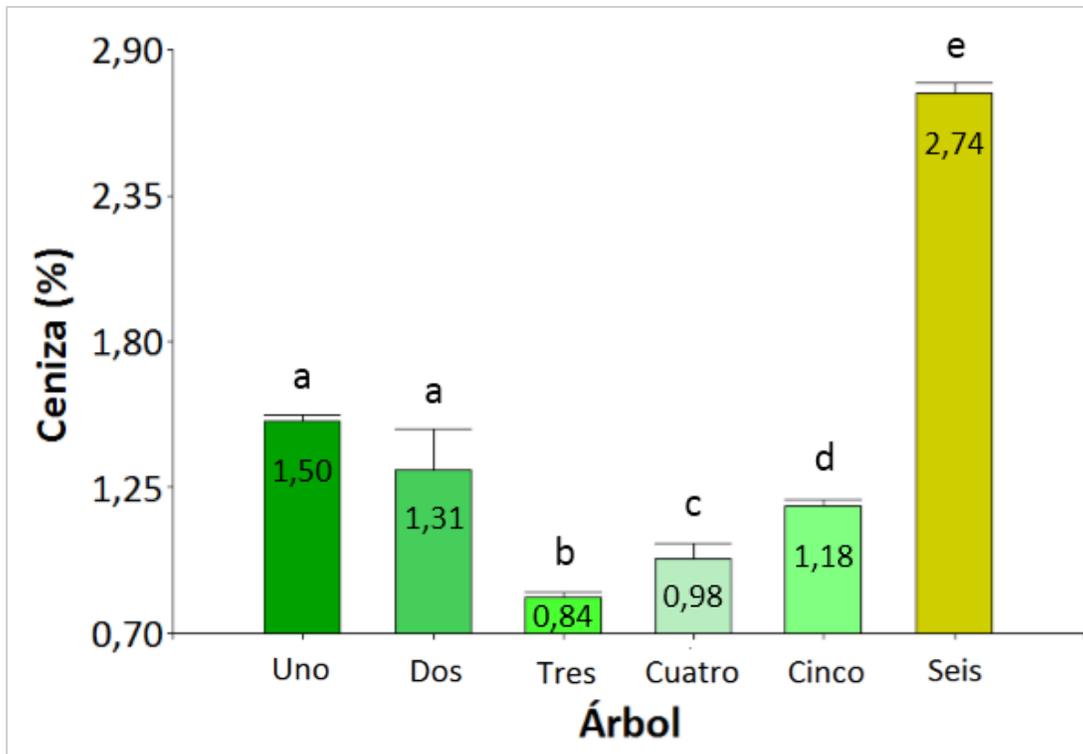


Figura 9. Valores promedio de contenido de ceniza de los seis árboles de *S. parahyba*. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

El contenido de ceniza (Figura 9) de la especie estudiada, se encuentra entre 0,84 % a 2,74% de los árboles tres y seis respectivamente. El análisis estadístico (Kruskal-Wallis) mostró que hay diferencia significativa ($p = 0,0058$) entre los seis árboles analizados, sobresaliendo que entre los árboles uno y dos hay similitud estadística ($p \geq 0,05$), mientras que en los cuatro árboles restantes el contenido de ceniza difirió entre ellos ($p < 0,05$).

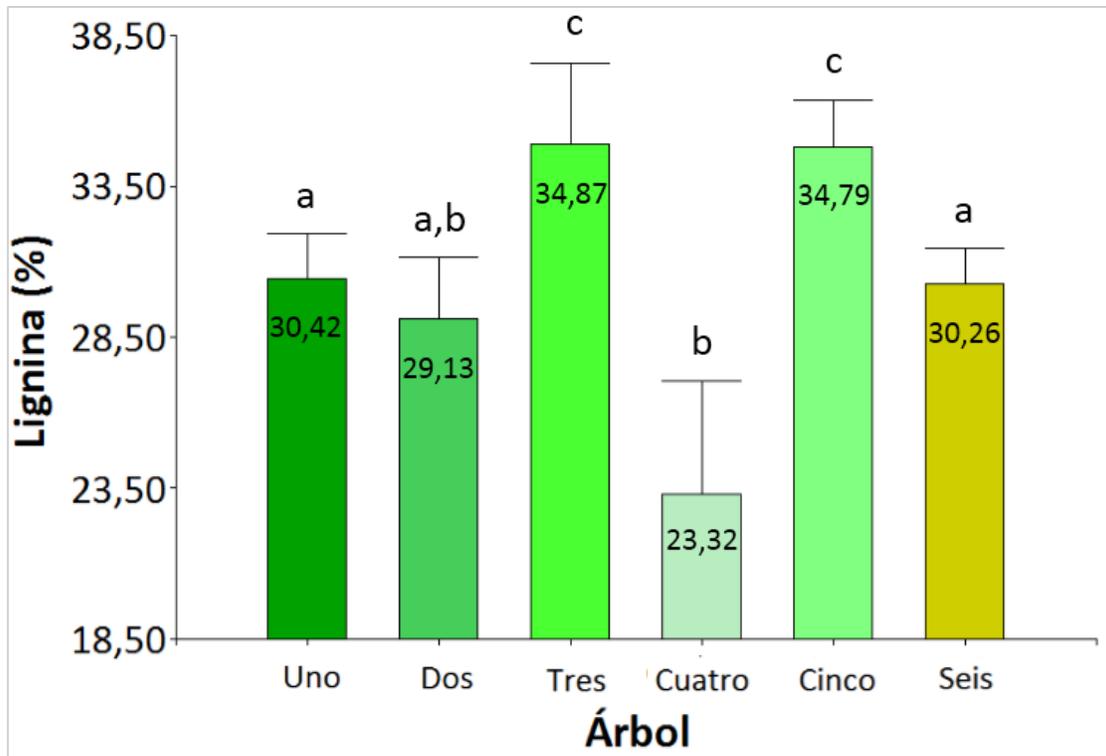


Figura 10. Valores promedio de contenido de lignina de los seis árboles de *S. parahyba* Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

El porcentaje de lignina que posee la especie *S. parahyba* es de 23,32% (árbol cuatro) a 34,87% (árbol tres), 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 $p = 0,0175$, lo que se interpreta que los promedios de lignina son diferentes estadísticamente cuando la probabilidad es menor que 0,05. Con el test a posteriori (Figura 10) se identificó tres grupos de árboles con similitud de valores promedio: Primer grupo con los árboles 1,2 y 6; segundo grupo con los árboles 2 y 4; y el tercer grupo con los árboles 3 y 5.

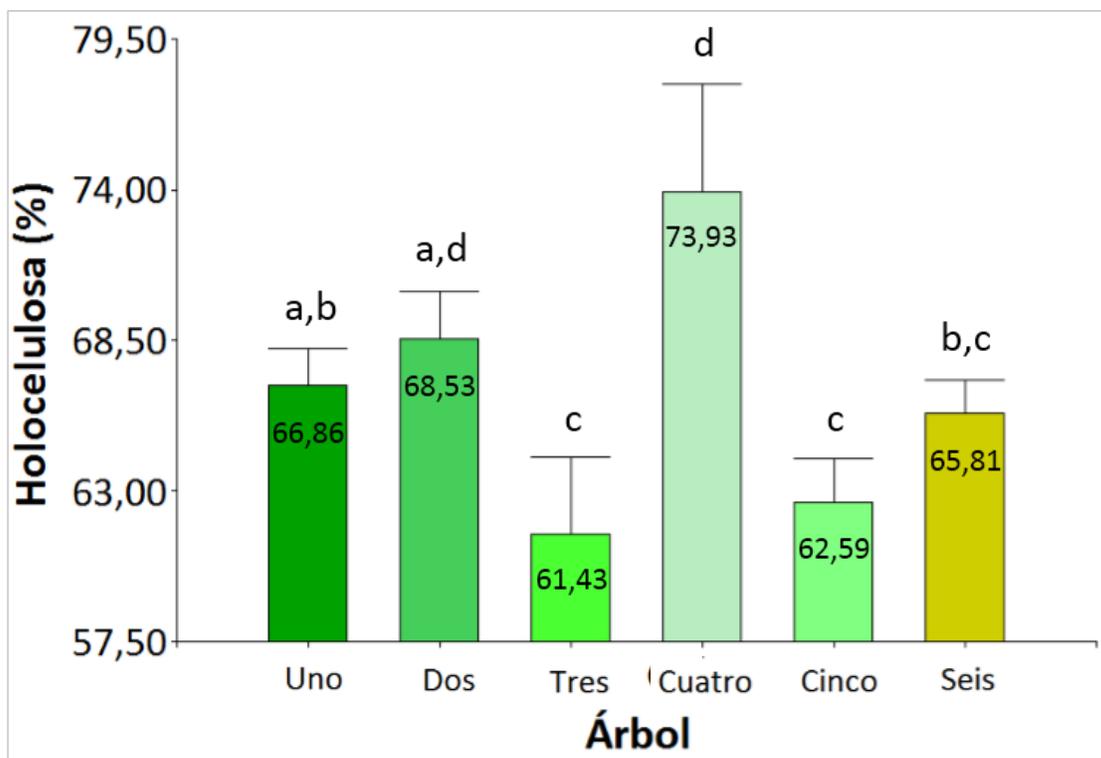


Figura 11. Valores promedio de contenido de Holoceulosa de los seis árboles de *S. parahyba*. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

El contenido promedio de holoceulosa de los árboles varió entre 61,43% (árbol tres) y 73,93% (árbol cuatro) cuyos resultados se muestran en la Figura 11, en la cual también se indica los resultados del análisis estadístico (Kruskal-Wallis). Este análisis evidenció diferencias ($p = 0,0126$) entre los valores promedio del contenido de holoceulosa de los seis árboles evaluados, el análisis reconoció cuatro grupos de árboles de acuerdo a sus similitudes ($p \geq 0,05$) en el contenido de holoceulosa: primer grupo, árboles 1 y 2; segundo grupo, árboles 1 y 6; tercer grupo, árboles 2 y 4; y cuarto grupo árboles, 3,5 y 6.

4.2. Análisis de Suelo

Los análisis de las seis muestras de suelo de los árboles estudiados, dió como resultado que el suelo en donde la especie creció son suelos ácidos (5,28); con un nivel medio de nitrógeno (43,68 ppm); bajo en fósforo (12,56 ppm), y medio en potasio (148,52 ppm). En el Tabla 8 se detalla los valores promedio, desviación estándar (DS) y coeficiente de variación (CV) e interpretación de cada uno de los individuos analizados y propiedades de suelo analizadas. El Tabla 8, muestra que pH presenta el menor coeficiente de variación con un valor de 7,53%; mientras que fósforo (P) dió un valor de 44,35% siendo el valor más alto; seguido por potasio (K) con un valor de 44,04%.

Tabla 8. Valores promedio (\bar{X}), desviación estándar ($\bar{X} \pm DS$) y coeficiente de variación ($\bar{X} CV$) e interpretación de las propiedades analizadas del suelo (pH, nitrógeno, fósforo y potasio) de la Quinta Experimental "El Padmi"

Propiedades del Suelo								
Muestra de suelo	pH		Nitrógeno (N) ppm		Fósforo (P) ppm		Potasio (K) ppm	
01	5,7	Medianamente Ácido	52,1	Medio	21,77	Bajo	223,24	Alto
02	4,93	Muy Ácido	55,15	Medio	8,45	Bajo	170,8	Medio
03	5,85	Medianamente Ácido	36,47	Medio	13,13	Bajo	208,86	Alto
04	4,94	Muy Ácido	42,68	Medio	14,64	Bajo	121,49	Medio
05	5,15	Ácido	34,68	Medio	5,63	Bajo	48,42	Bajo
06	5,11	Ácido	41,01	Medio	11,73	Bajo	118,29	Medio
Promedio	5,28	Ácido	43,68	Medio	12,56	Bajo	148,52	Medio
$\bar{X} \pm DS$	$\pm 0,40$		$\pm 8,29$		$\pm 5,57$		$\pm 65,40$	
$\bar{X} CV$	7,53 %		18,97%		44,35%		44,04%	

Se realizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis a cada una de las propiedades de los suelos analizados, para conocer si existe diferencia estadística entre individuos de cada propiedad (pH, nitrógeno, fósforo y potasio), sin tomar en cuenta el nivel de interpretación de las propiedades del suelo; para posteriormente relacionar la composición química de la madera y las propiedades del suelo.

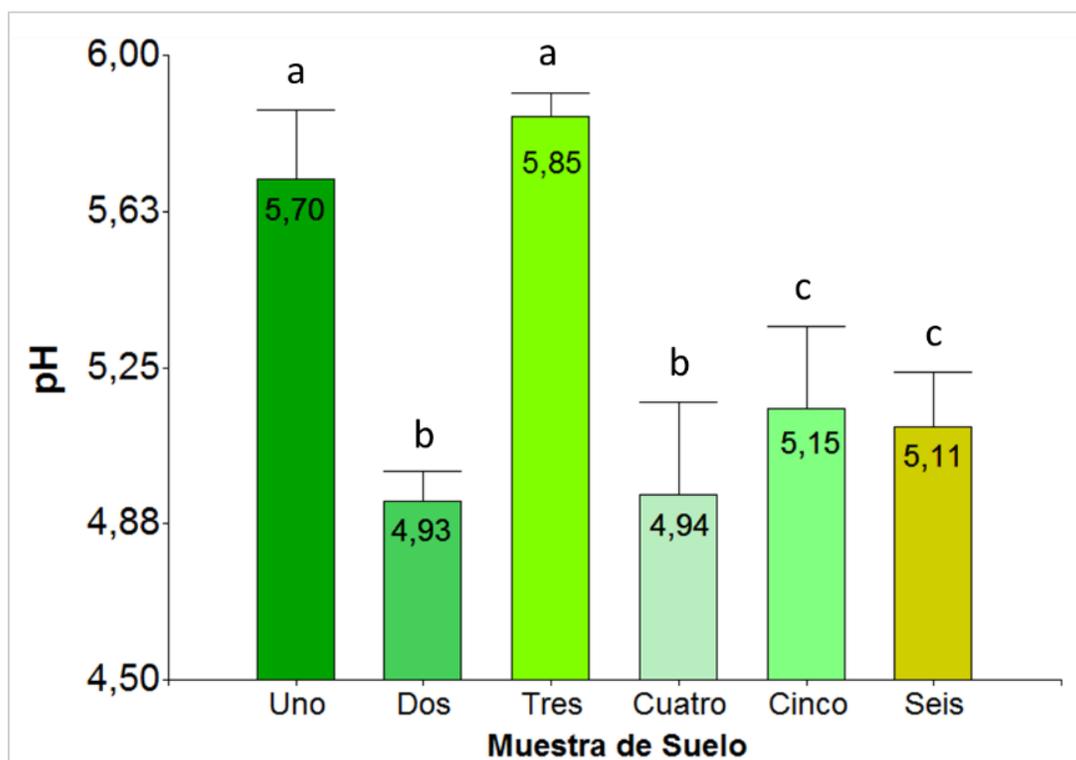


Figura 12. Valores promedio de pH de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmi”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

El pH de suelo, va de 4,94 que corresponde muy ácido a 5,85 que corresponde a medianamente ácido. El análisis estadístico arrojó una probabilidad de 0,0204; con el test a posteriori que se aplicó (Figura 12) mostró tres grupos: primer grupo con las muestras de suelo de los árboles 1 y 3 cuyo resultado es igual estadísticamente de tal manera corresponde a los suelos medianamente ácidos; segundo grupo conforman las muestras de

suelo 2 y 4 que corresponde a suelos muy ácidos; y tercer grupo son las muestras de suelo 5 y 6 que de igual manera corresponde a suelos ácidos.

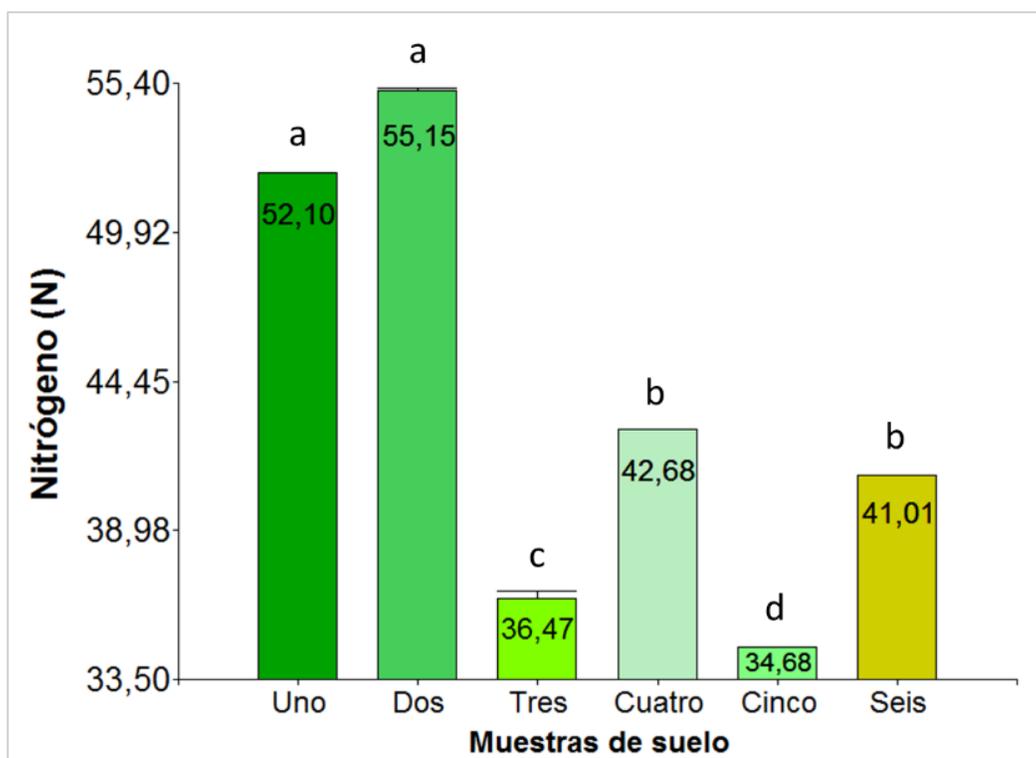


Figura 13. Valores promedio de Nitrógeno (N) de las seis muestras de suelo de la *Quinta Experimental "El Pادمي"*. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

El nitrógeno del suelo analizado (Anexo 5) mostró que el nivel de interpretación es medio con valores de 34,68 ppm a 55,15 ppm de las muestras cinco y dos respectivamente. El análisis estadístico arrojó una probabilidad de 0,005; aplicando el test de Dunn a posteriori mostró cuatro grupos con similitud estadística en sus valores promedio (Figura 13): primer grupo corresponde a las muestras de suelo 1 y 2; segundo grupo, muestras de suelo 4 y 5; tercer grupo, muestra de suelo 3; y cuarto grupo muestra de suelo 5.

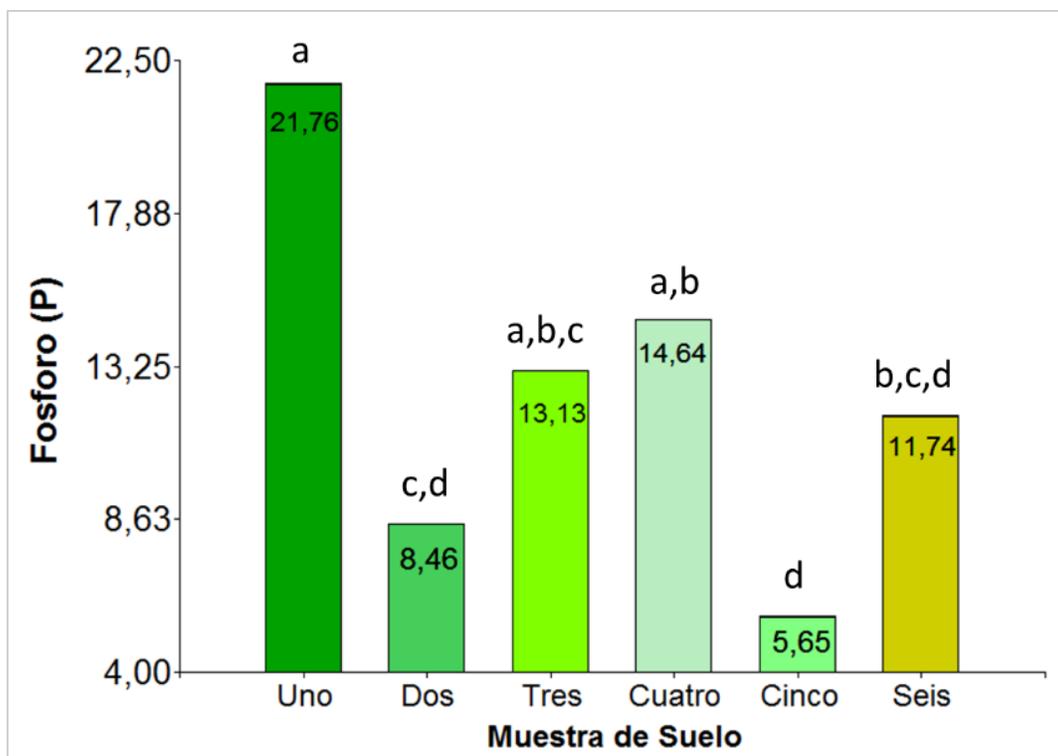


Figura 14. Valores promedio de fósforo (P) de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmi”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

El nivel de fósforo disponible para la planta de las seis muestras analizadas es bajo (Anexo 6), debido a que tiene valores promedio de 5,65 ppm a 21,76 ppm de la muestra cinco y muestra uno respectivamente. El análisis estadístico ($p=0,005$) con el test a presento cuatro grupos con similitud estadística (Figura 14): primer grupo corresponde a las muestras de suelo 1, 3 y 4; segundo grupo con las muestras de suelo 3, 4 y 6; tercer grupo las muestras de suelo 2, 3 y 6; y cuarto grupo las muestras de suelo 2 y 5.

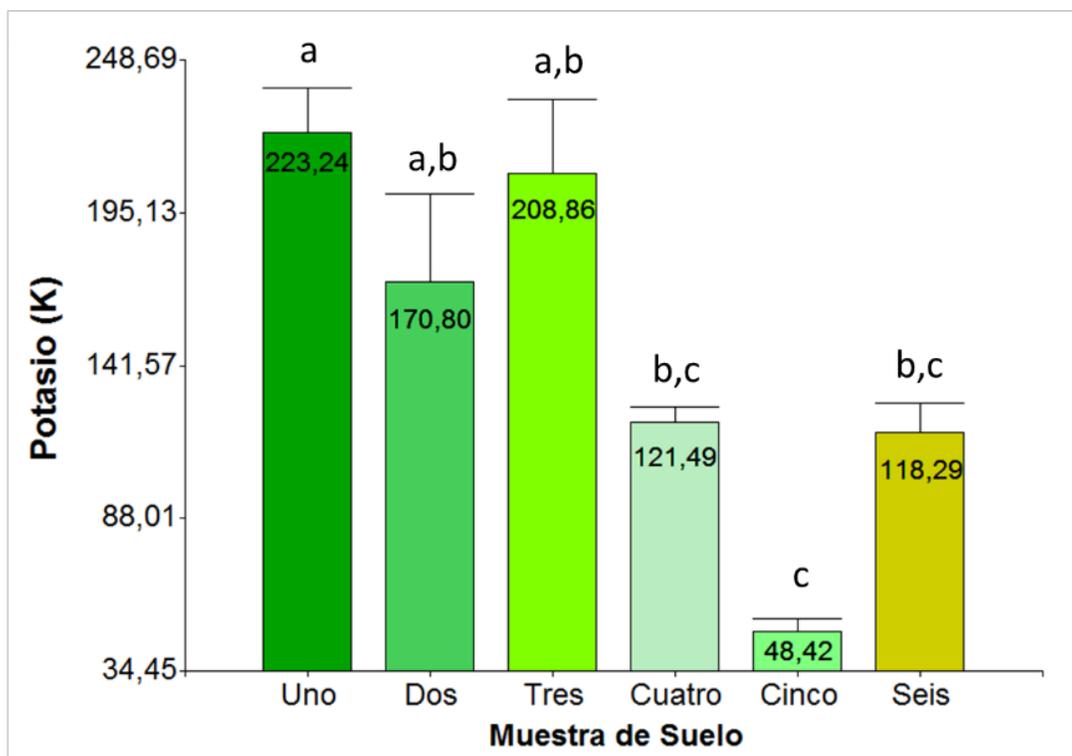


Figura 15. Valores promedio de pH de las seis muestras de suelo de la Quinta Experimental “El Padmi”. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

Los valores promedio de potasio (K) disponible para la planta de las muestras de suelo analizadas dan valores comprendidos entre 48,42 ppm a 223,24 ppm de las muestras cinco y uno respectivamente. El análisis estadístico ($p=0,009$) con el test a posteriori agrupó tres grupos con similitud estadística (Figura 15): primer grupo corresponde a las muestras de suelo 1, 2 y 3; segundo grupo con las muestras 2, 3, 4 y 6; y tercer grupo las muestras 4, 5 y 6.

Además, con una correlación no paramétrica entre las propiedades del suelo y el DAP (Anexo 7), se encontró que el DAP tiene una correlación negativa (-0,598) sólo con el nitrógeno, con un nivel de significancia de 0,009; es decir, que el DAP del Pachaco disminuye si el nivel de nitrógeno en el suelo se incrementa y viceversa.

4.3.Reacción de la composición química de la madera de *Schizolobium parahyba* y las propiedades químicas del suelo.

La relación de la composición química de la madera (extractivos, ceniza, lignina y holocelulosa) con cada una de las propiedades químicas del suelo (pH, nitrógeno, fósforo, potasio) manifestó como resultado (Tabla 9) que la lignina y la holocelulosa de la madera de la especie *S. parahyba* están relacionadas directamente con el pH del suelo; de la misma manera el nitrógeno del suelo está vinculado directamente con el contenido de extractivo, lignina y holocelulosa en la madera.

La lignina y el pH están correlacionados positivamente con un coeficiente de 0,475 y nivel de significancia igual a 0,046; es decir, que si el pH tiende a un nivel medianamente ácido el contenido de lignina sube. En cuanto a la holocelulosa es influenciada directamente por el pH de una forma negativa, con un coeficiente de correlación de -0,506 y nivel de significancia igual a 0,032; dicho de otra manera, si el pH se inclina a un nivel medianamente ácido el contenido de holocelulosa se rebaja.

Al analizar los resultados de correlación entre las propiedades de la composición química de la madera (Anexo 8 y 9), se obtuvo que lignina y holocelulosa están relacionadas inversamente proporcional; esto quiere decir, que si el contenido de lignina aumenta, el contenido de holocelulosa disminuye dando un valor de correlación de -0,971 con nivel de significancia igual a 0,001.

El nitrógeno del suelo está relacionado negativamente con el extractivo y la lignina, dando un valor de coeficiente de correlación de -0,470 (Sig. = 0,049) y -0,679 (Sig. = 0,002)

respectivamente; con esto se menciona que si el nivel de nitrógeno disminuye en el suelo, el contenido de extractivo y 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 0,769 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 relacionar lignina y holocelulosa con el pH y nitrógeno, se obtuvo que pH influye positivamente en la lignina y negativamente en la holocelulosa; sin embargo, el nitrógeno contribuye positivamente al contenido de la holocelulosa y exime negativamente al contenido de la lignina. Se sintetiza que si el pH del suelo es medianamente ácido la lignina aumentará y la holocelulosa disminuirá; y si el nivel de nitrógeno se incrementa el contenido de holocelulosa también y la lignina se reduce; por el contrario si el pH del suelo tiende a muy ácido, la lignina disminuye, de modo que la holocelulosa se eleva; no obstante, si el nitrógeno desciende la holocelulosa se rebaja y la lignina asciende.

Los contenidos de ceniza y extractivos están relacionados negativamente, es decir que si el valor de ceniza se incrementa, extractivos disminuye; por lo contrario si el porcentaje ceniza sube, el contenido de extractivo se reduce, con un valor de coeficiente de correlación igual a -0,674 y significancia de 0,002 (Anexo 9). De igual manera se demostró estadísticamente (Tabla 9) que el fósforo y el potasio no tienen ninguna relación significativa con la composición química de la madera de *S. parahyba*, ya que su valor de significancia fue superior a 0,05.

Tabla 9. Relación estadística no paramétrica (Spearman) de la composición químicas de la madera *S. parahyba* y las propiedades químicas del suelo analizadas, procedentes de la Quinta Experimental “El Padmi”.

		Composición química de la madera			
		Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa
Coeficiente de correlación	pH	0,379	-0,156	0,475*	-0,506*
		Significancia	0,121	0,537	0,046
Coeficiente de correlación	Nitrógeno	-0,470*	0,372	-0,679**	0,769**
		Significancia	0,049	0,129	0,002
Coeficiente de correlación	Fósforo	0,328	-0,052	-0,341	0,354
		Significancia	0,184	0,838	0,167
Coeficiente de correlación	Potasio	0,058	-0,014	-0,012	0,073
		Significancia	0,820	0,955	0,961

* La correlación es significativa con un valor de probabilidad menor a 0,05

** La correlación es significativa con un valor de probabilidad menor a 0,01

5. DISCUSIÓN

5.1. Composición química de la madera del *Schizolobium parahyba*.

La composición química de la madera de la especie forestal *Schizolobium parahyba* (Pachaco) analizada en este estudio, mostró como resultados que el contenido de extractivos tuvo un valor promedio de 1,39% por lo que se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$; $p = 0,0223$) en esta determinación entre los seis individuos estudiados, teniendo en cuenta esto, el valor obtenido se encuentra dentro de los rangos establecidos en extractivos para maderas latifoliadas que va de 0,2% a 8,5%, según estudios realizados por Paz (2008). Este valor es cercano obtenido por AIDER (2013) quien presentó un porcentaje de 2,26%, además Guevara (2013) reportó valores similares con 2,17% de extractivos, esto se debe a que los estudios comparados a la especie en investigación se realizaron en ecosistemas similares, ya que El Padmi-Ecuador y Pucallpa-Perú se encuentran en regiones amazónicas.

El contenido de ceniza de *S. parahyba* fue de 1,43% con diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,0058$) entre los seis individuos estudiados, este valor está fuera del rango de ceniza para madera latifoliadas que va de 0,02% a 1,1% mencionado por Paz (2008); de igual manera los resultados dados por Guevara (2013) y AIDER (2013) que son 2,87% y 3,63% respectivamente que se encuentran excluidos de los límites establecidos por Paz (2008).

Lima (2013) y Cardoso (2001) mencionan que la cantidad de cenizas pueden variar de acuerdo a la especie y dentro de la misma especie, 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.

Paz (2008) menciona que el porcentaje de lignina en maderas latifoliadas se encuentra entre 21,7% a 37,0%; el contenido de lignina obtenido de *S. parahyba* fue de 30,47% con diferencia estadística ($p = 0,0175$) entre los seis individuos analizados. Estudios similares por Guevara (2013) da como resultado que el porcentaje de lignina es de 28,12%; AIDER (2013) registra un valor de 28,43%; Bárcenas y Dávalos (1999) obtuvieron un valor de 26% y Suza *et al.* (2003) dan un promedio de 35% de lignina, todos estos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos indicados anteriormente. Hay que tener en cuenta que un bajo contenido de lignina favorece a una buena calidad y facilidad para el blanqueamiento de la pulpa de papel (Tamarit, 1996). Además que Leal, Juárez y Terán (2011) concluyeron que el valor de lignina puede variar significativamente de acuerdo a la edad del árbol y la altura del fuste que la muestra fue tomada.

El valor más alto de la composición química de la madera de *S. parahyba* es el contenido de holocelulosa con un promedio de 66,52%, que se encuentra dentro de los rangos establecidos para maderas latifoliadas que va de 59,8% a 80,9% (Paz, 2008).

Pettersen (1984) registró un valor 63% que se encuentra dentro de los valores establecidos; no obstante Guevara (2013) y AIDER (2013), registraron valores que se encuentran por debajo de los rangos determinados para holocelulosa que son 58,49 % y 57,01% respectivamente. Leal, Juárez y Terán (2011) concluyeron que el contenido de holocelulosa varía de acuerdo a la edad del árbol; de igual manera Honorato y Hernández (1998) señalan que la localización geográfica y las condiciones de crecimiento de los árboles influye en la cantidad de holocelulosa en la madera.

La composición química de la madera no puede definirse precisamente para una especie forestal, ya que esta puede variar con la parte del árbol (tallo o rama), tipo de madera (dura

o suave), ubicación geográfica (ecosistema y altitud), clima y condiciones edáficas (Gómez, Ríos y Peña, 2012). Sin embargo, tener datos referenciales de los contenidos de ceniza, extractivos, lignina y holocelulosa, ayuda a conocer el potencial de una especie arbórea, no solo como recursos maderables sino también como en un recurso forestal no maderable.

5.2. Análisis de Suelo

El análisis de suelo que se realizó a las seis muestras, se obtuvo como resultado que el nivel de pH es de 5,28 (suelo ácido); no obstante, este nivel de pH se encuentra fuera de los rangos establecidos para el crecimiento de la especie *S. parahyba* que son 5,5 (ácido) a 7,0 (neutro) (OFI – CATIE, 2013). Sin embargo, la composición química de la madera no difiere de resultados encontrados de la misma especie, ya que CATIE (2014) y Vinueza, (2012) mencionan que *S. parahyba* se adaptan bien suelos ácidos y muy pobres.

De acuerdo al análisis del suelo, el nivel de nitrógeno (N) es medio, el de fósforo (P) es bajo y el de potasio (K) es medio. Por ello, se concluye que los individuos analizados crecieron en suelos pobres, puesto que el NPK no influye en los porcentajes de la composición química, de acuerdo al análisis estadístico que se aplicó para conocer la relación entre suelo y madera. Adicionalmente, se realizó una correlación del NPK y DAP (Anexo 7) que dió como resultado que el N si influye negativamente en el crecimiento secundario de la planta (DAP), es decir que si el nivel de nitrógeno en el suelo se incrementa y el DAP disminuye, lo cual es confirmado por Olmo (2017) y Solís (2017) quienes mencionan que el exceso de nitrógeno provoca un crecimiento exagerado longitudinal.

Ospina *et al.* (2003) mencionan que la especie se adapta a suelos con baja fertilidad, incluyendo aquellos suelos con pH ácidos, aún por debajo de 5,0 lo que se relacionan

perfectamente a los niveles de pH analizados de las seis muestras, ya que 4/6 muestras dieron un pH por debajo de 5,15.

5.3.Reacción de la composición química de la madera de *Schizolobium parahyba* y las propiedades químicas del suelo.

La relación de la composición química de la madera y las propiedades del suelo de la especie *S. parahyba* es que la lignina está relacionada proporcional y directamente con el nivel de pH del suelo con un nivel de significancia igual a 0,046; de la misma manera el pH está influyendo inversamente proporcional a la holocelulosa con un valor de significancia igual a 0,032. A su vez la lignina está relacionada inversamente a la holocelulosa con un nivel de significancia igual a 0,001 (Anexo 9). El nivel de pH del suelo estudiado es de 5,28 que es un suelo ácido, además da como resultado que lignina tiene 30,466% y holocelulosa posee 66,524% de la composición química de la madera de la especie estudiada. Un estudio similar registró que el contenido de lignina es de 26% y de holocelulosa de 63% de la especie *S. parahyba* Sin embargo, muestra que la especie forestal se ha desarrollado en suelos con pH medianamente ácidos (5,5) a ligeramente ácidos (6,5) (Gómez, Ríos y Peña, 2012).

La diferencia de porcentaje de la holocelulosa y la lignina de la especie en los dos estudios realizados, se puede manifestar a que el pH del suelo juega un papel importante en los contenidos de estas dos variables en la madera, teniendo en cuenta eso, hay que recalcar que el pH está relacionado directamente con la lignina de forma positiva y con la holocelulosa manera negativa.

6. CONCLUSIONES

- Del análisis químico de la madera, el contenido de holocelulosa tener valores superiores al 61%, seguido de lignina con un porcentaje superior al 23% en los seis individuos analizados. Ceniza y extractivos presentaron mayor variabilidad, es decir que 4/6 individuos tuvieron mayor porcentaje de ceniza y 2/6 obtuvieron mayor porcentaje en extractivos.
- Los individuos de *S. parahyba* crecieron en suelos ácidos, pobres en fósforo y con un nivel medio en nitrógeno y potasio. No obstante, la especie puede tolerar suelos muy ácidos hasta un nivel de pH 4,93.
- El nivel de nitrógeno en el suelo fue inversamente proporcional al DAP de *S. parahyba*.
- Cinco relaciones entre la composición química de la madera de *S. parahyba* y las propiedades del suelo fueron significantes, éstas son: pH vs. lignina y N vs. Holocelulosa con una correlación positiva; mientras el pH vs. Holocelulosa, N vs. Extractivos y N vs. lignina con una correlación negativa.

7. RECOMENDACIONES

- El contenido de extractivo y ceniza de la especie *S. parahyba* presentaron un coeficiente de variación superior a 52% y 48% respectivamente, lo que se deducía que estos contenidos de la madera eran los más susceptibles a cambios externos. Sin embargo, con el análisis de suelo a nivel químico, se comprobó que no se relacionan directamente, por lo tanto se recomienda hacer estudios relacionados no solo con el suelo a nivel químico sino también a nivel estructural, además de otras variables como: edad del árbol, ecosistema, condiciones climáticas (precipitación y temperatura).
- Realizar estudios de la composición química de la madera de otras especies forestales para conocer su potencial maderero y también dar un auge a la producción de pulpa de papel que contribuya al cambio de la matriz productiva, así como también en la elaboración de biocombustibles como el bioetanol obtenido de la lignocelulosa.
- Cumplir con las normas de bioseguridad en los laboratorios para realizar los análisis de madera y los análisis de suelo.
- Aumentar el número de repeticiones, así como analizar individuos de diferentes sitios.

8. BIBLIOGRAFÍA

AIDER (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integra). (2013). *Estudio de la composición química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales*. Lima - Perú

Álvarez, A., Salgado, R., García, E., Dominguez, M. M., Granados, J., Aguirre, A., Carmona, R., Morales, A., Herrera, P., Licea, A. y Mendoza, A. (2012). Aprovechamiento Integral de los Materiales Lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polimeros*. 13(4), 140-150.

Arguelles, A. (2014). *Propiedades químicas del suelo*. Bogotá-Colombia.

Armijos, D. y Patiño, A. (2010). Herpetofauna de un bosque húmedo tropical en la estación El Padmi de la Universidad Nacional de Loja. *CEDAMAZ*. 1(1), 57- 64.

Armijos, L. (2013). *Tipos y Clasificación de la madera*. Recuperado de <https://www.arqhys.com/contenidos/madera-tipos.html>

Bárcenas, G. y Dávalos, R. (1999). Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. *Madera y Bosques* 5(1), 13 – 26.

Browning, B. L. (1967). *Methods of wood chemistry*. doi <https://doi.org/10.1002/pol.1968.160061112>

Burneo, S. (2018). *Megadiversidad*. Recuperado de https://www.flacsoandes.edu.ec/sites/default/files/agora/files/1240522090.2._megadiversidad_santiago_burneo_1.pdf

- Cardoso, G. V., (2001). Procedimiento de muestreo Desarrollo para la determinación del contenido de cenizas utilizando los bosques de *Eucalyptus saligna* y *Eucalyptus globulus*. *Celulose Epapel*. 6(4), 1-7.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2014). *Nota Técnica de Schizolobium parahyba (Vell.) S.F. Blake*. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0008s/A0008s64.pdf>
- Cepeda, J. (1991). *Química de Suelos*. México: Trillas.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2014). *Schizolobium parahyba (Vell.) S.F. Blake (1919). Contributions from the U. S. National Herbarium*. 20(7), 240 - 1919.
- Cuervo, L., Folch, J. L. y Quiroz, R. E. (2009). Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares para la Producción de Etanol. *Bio Tecnología*, 13(3), 11 – 25.
- Díaz, A. M. (2011). Materiales Lignocelulosicos como fuente de Biocombustible y productos Químicos. *Ciencia y Tecnología Aeronáutica*. 2(17), 41 – 46.
- Díaz, J.E. (2003). *Anatomía de Maderas. Facultad de Ciencias Forestales*, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Chile. pp 150.
- Dufour, J. (2011). *¿Puede el bioetanol obtenido a partir de residuos de madera ser competitivo a corto plazo? Energía y Sostenibilidad*. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2011/11/25/131401>
- Ecuador Forestal. (2010). *Schizolobium parahyba (Pachaco)*. Recuperado de <http://ecuadorforestal.org/download/contenido/pachaco.pdf>

- Estrada, W. (1997). *Manual para la producción de pachaco*. EDI-U. CORMADERA-OIMT. Quito-Ecuador. 51 p. <http://ecuadorforestal.org/author/admin/>
- Fajardo, B. (2010). *Materia de uso técnico. Tecnología Industrial I*. Recuperado de: https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/materiales_madera.pdf
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). (2013). *Portal de suelos de la FAO, El pH del suelo*. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación). (2011). *Propiedades químicas del suelo*. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s04.htm
- Fengel, D., y Wegener, G. (1984). *Wood Chemistry, Ultrastructure Reaction*, Berlín, Alemania: Walter de Gruyter
- Francisco, M. (2011). *La madera y su clasificación*. Madrid – España
- Gómez, E., Ríos, L. y Peña, J. (2012). Madera, un Potencial Material Lignocelulósico para la Producción de Biocombustibles en Colombia. *Información Tecnológica*. 23(6), 73 – 86.
- González, J. y Pardo, J. (2013). *Dinámica poblacional del bosque nativo de la Quinta Experimental “El Padmi”, de la Universidad Nacional de Loja, provincia de Zamora Chinchipe* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador.

- González, M. R. (2005). *Determinación de la composición química de la madera del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schlttl) procedente de plantación en Cucanjá, Tucurú.* (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Guevara, B. (2013). *Determinación de los principales componentes químicos en corteza y madera por niveles de fuste de Schizolobium parahyba (Vell) Blake (pashaco blanco).* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ucayali, Perú
- Gutiérrez, L. (2014). *Partes de un Tronco.* Recuperado de <http://luismibarríos.blogspot.com/p/partes-del-tronco-del-arbol.html>
- Herbaria, K. (2014). *Schizolobium parahyba. La madera es blanda y se usa para varas, construcciones.*
- Honorato, J. A. y Hernández, J. (1998). Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosque* 4(2), 79 - 93.
- Jorgensen, P., Neill, D. y León, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* 75(1-8), 1–1182.
- Justiniano, M. Fredericksen, T., y Nash, D. (2001). *Ecología y Silvicultura de Especies Menos Conocidas – Serebó o Sombrerillo Schizolobium parahyba (Vell.) S.F. Blake, Caesalpiniaceae.* Santa Cruz - Bolivia.
- Kenji, D., Nakashima, G., Róz, A. L., Felix, A. A. y Minoru, F. (2018). Use of Schizolobium Parahyba for Energy Purposes. *Ciencia Forestal.* 28(2), 758 – 764.

Laboratorio de Suelos. (sf). *Guía del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja*.

Leal, L. E., Juárez, V. y Terán, M. (2001). Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden procedente de Finca Las Maravillas, Departamento de Orán, Salta. *Revista de Ciencias Forestales – Quebracho*. 19(1,2), 75-83. Recuperado de <https://www.redalyc.org/html/481/48122207008/>

Lima, L. (2013). *Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía*. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey – México.

López, E. y Miñano, F. (1988). Métodos rápidos de análisis de suelos. *Hojas Divulgadoras*. 18(88), 1-31.

López, N., Ruales, G., Celi, H. y Jiménez H. (2015). Trabajabilidad de madera *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake y diseño de un mueble prototipo con madera de pequeñas dimensiones. *Bosque Latitud Cero*. 5(2), 1 - 12.

López, U. (2015). *Núcleo del árbol o médula*. Recuperado de <https://lamadera.net/nucleo-del-arbol-medula/>

Ludeña, A. (2013). *Tipos de Maderas para la Construcción y Ebanistería*. Recuperado de <https://arquigrafico.com/tipos-de-maderas-para-la-construccion-y-ebanistera/>

Macas, L. (2016). *Partes de la Madera*. Recuperado en <https://tailaketa.wordpress.com/2014/09/24/partes-de-la-madera/>

- Melo, R. y Paz, J. 1978. *Procesos de obtención de Celulosa a partir de madera de Eucalyptus globulus (Labill). Parte V. Proceso al Sulfito Neutro.* (Tesis de grado). Universidad de Concepción. Región del Río Bio-Chile.
- Mogollón, G. M., Aguilera, A. V., Gutiérrez, I., Adams, Rubén y Ruiz, S. (2004). Caracterización papelera de la especie *Schizolobium parahybum*. *Revista Forestal Venezolana*. 48(1), 15-24.
- Navarro, G. (2003). *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.* Ciudad de México, México: Mundi-Prensa
- NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). (2014). *Estructuras de la Madera.* Portoviejo – Ecuador
- Neill, D. (2012). ¿Cuántas especies nativas de plantas vasculares hay en Ecuador? *Amazónica ciencia y tecnología*. 1(1), 1-15.
- OFI – CATIE (Instituto Forestal de Oxford - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2013). *La especie forestal Schizolobium parahyba (Vellozo) Blake.* Pp 869 – 872.
- Olmo, A. (2017). *Importancia del nitrógeno (N) en las plantas cultivadas.* Recuperado de <https://blogagricultura.com/nutricion-vegetal-nitrogeno/>
- Ospina, C., Posada, F., Gil, Z. y Castros, B. (2003). *El Cultivo del tambor, aspectos fitosanitarios limitativos en Colombia.* Caldas – Colombia

- Palacios, B., Aguirre, Z., y Lozano, D. (2015). Experiencias de enriquecimiento forestal en bosque secundario en la microcuenca “El Padmi”, Zamora Chinchipe Ecuador. *CEDAMAZ*, 5 (1), 05 – 11.
- Panshin, A.J., De-Zeeuw, C. (1970). *Textbook of wood technology, vol. 1, third edition, Structure, Identification, Uses and Properties of the Commercial Woods of the United States and Canada. Mc. Graw Hill Series in Foresta Resources*. EE.UU. Pp 652.
- Paz, J. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (Gmelina arborea Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Perdomo, C. y Barbazán, M. (2002). *Nitrógeno*. Montevideo, Uruguay.
- Pettersen, R.C. 1984. *The chemical composition of wood*. In: R.M. Rowell, ed. *The chemistry of solid wood*. ACS Advances in Chemistry Series No. 207, American Chemical Society. Washington D.C., EUA. Pp 57-126.
- Ramírez, W. (1990). *Determinación e identificación de los agentes causales de la pudrición del fuste del pachaco (Schizolobium parahyba Bell Blake) en la zona central del litoral ecuatoriano*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de Loja. Loja – Ecuador.
- Raquel, G. y Giniva, F. (2007). Almacenamiento de carbono en dos sistemas silvopastoriles instalados en Quevedo, provincia de Los Ríos. *Revista USDA*. 2(3), 7-14.
- Rodríguez, L. (2011). *Fabricación del papel*. Recuperado de <https://www.camarapapel.org.ar/papel-fabricacion.php>

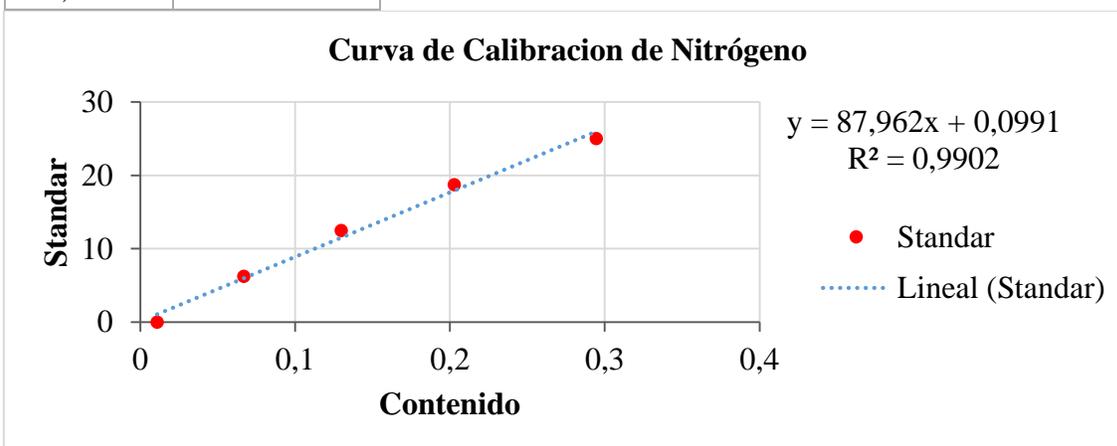
- Rosales, M., Honorato, J. A., Santos, A.B., Pérez, M. E., Colotl, G. y Sánchez, V. (2016). Composición química de las hojas y ramas de *Cedrela odorata* L. de dos plantaciones forestales como fuente de materia prima lignocelulósica. *Madera y bosques*. 22 (2), 131 – 146.
- Rowell, R. M., Pettersen, R., Han, J. S., Rowell, J. S. y Tshabalala, M. A. (2005). Cell Wall Chemistry. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 8(2), 35 – 74.
- Rubio, J. (2012). *Las propiedades químicas del suelo*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/jhonjairorubio/las-propiedades-quimicas-del-suelo>
- Sanzano, A. (2000). *Química del Suelo. El fósforo del suelo*. Bogotá, Colombia.
- Sanzano, A. (2000). *Química del Suelo. El Potasio suelo*. Bogotá, Colombia.
- Solis, S. (2017). *¿Qué nutrientes necesita tu planta?* Recuperado de <https://www.kannabia.com/es/blog/que-nutrientes-necesita-tu-planta>
- Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Products*, 27(12), 202-207.
- Suza, C., Rossi, L. M., Azevedo, C. P. y Vieira, A. H. (2003). Paricá: *Schizolobium parahyba* var. amazonicum (Huber x Ducke) Barneby. *Circular Técnica* 18(5), 1-12.
- Tamarit, J. C. (1996). Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques*. 2(2). 29 – 41.
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). (2015). *Nortiva de la Asociación técnica de la industria de la pulpa y el papel*. Recuperado en https://www.tappi.org/content/pdf/standards/numeric_index_tms.pdf

- Teschke, K. y Demers, P. (2010). Industria del papel y de la pasta de papel. En Stellman, J. (Chantal Dufresne, BA). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Madrid – España. Pp. 72 - 94.
- Valarezo, C., Villamagua, M., Mora, R., Maza, H., Wilcke, W. y Nieto, C. (2016). Respuesta del pachaco (*Schizolobium parahybum* Vell. Conc) y la melina (*Gmelina arborea* Roxb.) a la aplicación de biocarbón y fertilización en el Sur de la Amazonia Ecuatoriana. *Bosque Latitud Cero*. 6(1), 1-32.
- Vélez, L. (2012). *Manual Técnico de formación para la caracterización de maderas de uso estructura: Coníferas y Latifoliadas*.
- Venturelli, D. (2019). *Diferencias entre coníferas y Latifoliadas*. Santiago, Chile
- Vinueza, M. (2012). *Ficha Técnica N° 2: Pachaco Schizolobium parahyba*. Recuperado de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-n-2-pachaco/>
- WRM (Movimiento Mundial por los Bosque Tropicales). (2004). *El proceso de producción de la celulosa*. Recuperado de http://www.guayubira.org.uy/plantas_de_celulosa/el-proceso-de-produccion-de-la-celulosa/

9. ANEXOS

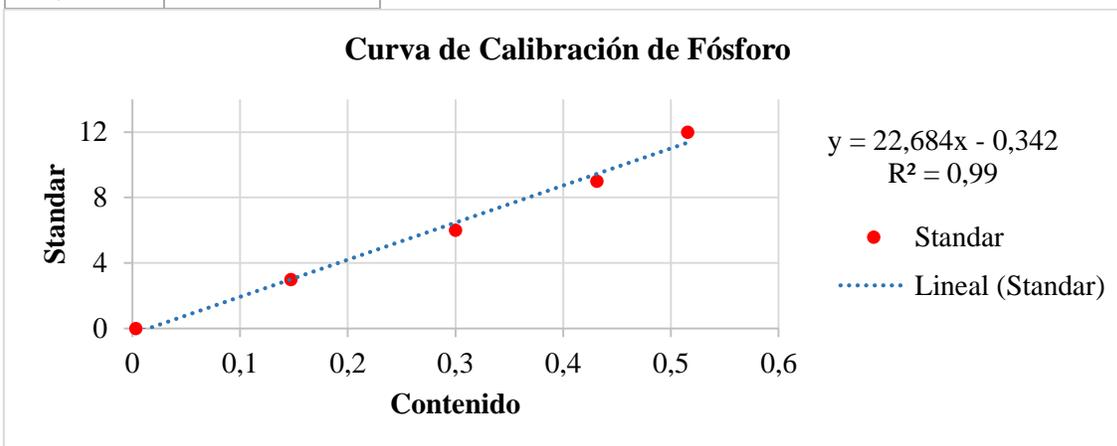
Anexo 1. Curva de calibración de nitrógeno (N)

Cont. (x)	Standar (y)
0,0108	0
0,0668	6,25
0,1299	12,5
0,2028	18,75
0,2946	25



Anexo 2. Curva de calibración de fósforo (P)

Cont. (x)	Standar (y)
0,0032	0
0,1473	3
0,3002	6
0,4314	9
0,5158	12



Anexo 3. Datos de la composición química de la madera de S. parahyba de cada sub-muestra en porcentaje de los seis árboles estudiados de la Quinta Experimental “El Pادمي”.

Muestra de Árbol		Extractivos (%)	Ceniza (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)
Árb 1	1	0,98	1,51	29,90	67,15
	2	1,18	1,52	29,26	68,04
	3	0,82	1,47	32,11	65,39
Promedio (%)		0,99	1,50	30,42	66,86
Promedio ±DS		0,18	0,02	1,50	1,35
Árb 2	1	0,97	1,22	29,41	68,25
	2	0,78	1,22	30,99	66,92
	3	0,72	1,50	27,00	70,41
Promedio (%)		0,82	1,31	29,13	68,53
Promedio ±DS		0,13	0,16	2,01	1,76
Árb 3	1	2,71	0,85	35,45	60,75
	2	2,84	0,84	37,25	59,04
	3	2,68	0,82	31,91	64,50
Promedio (%)		2,74	0,84	34,87	61,43
Promedio ±DS		0,09	0,02	2,72	2,79
Árb 4	1	1,52	1,01	22,16	75,25
	2	1,60	1,01	20,29	77,04
	3	1,88	0,91	27,51	69,50
Promedio (%)		1,67	0,98	23,32	73,93
Promedio ±DS		0,19	0,06	3,74	3,94

Continuación del Datos de la composición química de la madera de S. parahyba de cada sub-muestra en porcentaje de los seis árboles estudiados de la Quinta Experimental “El Pادمي”.

Muestra de Árbol		Extractivos (%)	Ceniza (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)
Árb 5	1	1,57	1,21	34,83	62,06
	2	1,06	1,18	33,20	64,39
	3	0,88	1,16	36,33	61,32
Promedio (%)		1,17	1,18	34,79	62,59
Promedio ±DS		0,36	0,02	1,57	1,60
Árb 6	1	0,94	2,75	31,66	64,39
	2	0,99	2,77	29,52	66,39
	3	0,95	2,69	29,59	66,66
Promedio (%)		0,96	2,74	30,26	65,81
Promedio ±DS		0,03	0,04	1,22	1,24

Anexo 4. Valores de cada sub-muestra de suelo, promedio y nivel de interpretación de las de las propiedades del suelo analizadas de la Quinta Experimental “El Padmi”.

Muestra de suelo		pH		N (ppm)		P2O5(ppm)		K2O (ppm)	
Arb 1	1	5,70		52,10		21,77		237,60	
	2	5,87		52,10		21,72		206,46	
	3	5,54		52,10		21,77		225,67	
Promedio		5,70	Medianamente Ácido	52,10	Medio	21,77	Bajo	223,24	Alto
Arb 2	1	5,01		55,18		8,50		205,97	
	2	4,88		55,09		8,45		147,60	
	3	4,90		55,18		8,45		158,83	
Promedio		4,93	Muy Ácido	55,15	Medio	8,45	Bajo	170,80	Medio
Arb 3	1	5,87		36,18		13,13		237,60	
	2	5,79		36,53		13,13		187,41	
	3	5,90		36,70		13,13		201,58	
Promedio		5,85	Medianamente Ácido	36,47	Medio	13,13	Bajo	208,86	Alto
Arb 4	1	4,94		42,68		14,64		127,81	
	2	5,17		42,68		14,64		117,27	
	3	4,72		42,68		14,64		119,39	
Promedio		4,94	Muy Ácido	42,68	Medio	14,64	Bajo	121,49	Medio
Arb 5	1	5,15		34,68		5,69		51,12	
	2	4,95		34,68		5,63		50,58	
	3	5,35		34,68		5,63		43,55	
Promedio		5,15	Ácido	34,68	Medio	5,63	Bajo	48,42	Bajo
Arb 6	1	5,25		41,01		11,73		126,35	
	2	5,08		41,01		11,78		106,81	
	3	4,99		41,01		11,73		121,70	
Promedio		5,11	Ácido	41,01	Medio	11,73	Bajo	118,29	Medio

Anexo 5. Tabla de valores de absorbancia, concentración y nitrógeno disponible de las seis muestras de suelo analizadas de la Quinta Experimental “El Padmi”.

Muestra de suelo	Absorbancia (x)	Conc. (ppm)	N (ppm)	Interpretación
Árb 01	0,06	5,21	52,10	medio
Árb 02	0,06	5,51	55,15	medio
Árb 03	0,04	3,65	36,47	medio
Árb 04	0,05	4,27	42,68	medio
Árb 05	0,04	3,47	34,68	medio
Árb 06	0,05	4,10	41,01	medio

Anexo 6. Tabla de valores de absorbancia, concentración y fósforo disponible de las seis muestras de suelo analizadas de la Quinta Experimental “El Padmi”.

Muestra de suelo	Abs. (x)	Conc. (ppm)	P (ppm)	P2O5 (ppm)	Interpretación
Árb 01	0,06	0,95	9,49	21,77	Bajo
Árb 02	0,03	0,37	3,68	8,45	Bajo
Árb 03	0,04	0,57	5,72	13,13	Bajo
Árb 04	0,04	0,64	6,38	14,64	Bajo
Árb 05	0,03	0,25	2,46	5,63	Bajo
Árb 06	0,04	0,51	5,11	11,73	Bajo

Anexo 7. Relación estadística Spearman del DAP (diámetro a la altura del pecho) y propiedades del suelo.

		Propiedades del Suelo			
		pH	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Coefficiente de correlación	DAP	0,439	-0,598**	0,312	-0,006
Significancia		0,068	0,009	0,207	0,980

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Anexo 8. Tabla resumen de la composición química de la madera y las propiedades del suelo de los 6 árboles de *S. parahyba* muestreados de la Quinta Experimental "El Padmi".

Árbol	Composición química de la madera				Propiedades del Suelo							
	Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa	pH		N (ppm)		P2O5 (ppm)		K2O (ppm)	
1	0,99	1,50	30,42	66,86	5,70	medianamente ácido	52,10	medio	21,77	bajo	223,24	alto
2	0,82	1,31	29,13	68,53	4,93	muy ácido	55,15	medio	8,45	bajo	170,80	medio
3	2,74	0,84	34,87	61,43	5,85	medianamente ácido	36,47	medio	13,13	bajo	208,86	alto
4	1,67	0,98	23,32	73,93	4,94	muy ácido	42,68	medio	14,64	bajo	121,49	medio
5	1,17	1,18	34,79	62,59	5,15	ácido	34,68	medio	5,63	bajo	48,42	bajo
6	0,96	2,74	30,26	65,81	5,11	ácido	41,01	medio	11,73	bajo	118,29	medio

Anexo 9. Tabla de Correlaciones del coeficiente de correlación de Spearman (prueba no paramétrica) entre las propiedades químicas de la madera de *S. parahyba* y las propiedades químicas del suelo de la Quinta Experimental “El Padmi”.

		Composición Química de la Madera				Propiedades del Suelo			
		Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa	pH	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Coeficiente de correlación	Extractivos	1	-0,674**	0,127	-0,220	0,379	-0,470*	0,328	0,058
			0,002	0,616	0,381	0,121	0,049	0,184	0,820
		18	18	18	18	18	18	18	18
Coeficiente de correlación	Ceniza		1	-0,263	0,230	-0,156	0,372	-0,052	-0,014
				0,291	0,358	0,537	0,129	0,838	0,955
			18	18	18	18	18	18	18
Coeficiente de correlación	Lignina			1	-0,971**	0,475*	-0,679**	-0,341	-0,012
					0,001	0,046	0,002	0,167	0,961
				18	18	18	18	18	18
Coeficiente de correlación	Holocelulosa				1	-0,506*	0,769**	0,354	0,073
						0,032	0,001	0,149	0,773
					18	18	18	18	18
Coeficiente de correlación	pH					1	-0,297	0,380	0,481*
							0,232	0,120	0,043
						18	18	18	18
Coeficiente de correlación	Nitrógeno						1	0,369	0,508*
								0,131	0,031
							18	18	18
Coeficiente de correlación	Fósforo							1	0,602**
									0,008
								18	18
Coeficiente de correlación	Potasio								1
									18

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Anexo 10. Fotografías de los análisis de la composición química de la madera de S. parahyba.



10.1 Recolección de muestras de madera



10.2 Recolección de muestras



10.3 Rodajas de madera de Pachaco



10.4 Lijado de las muestras de Pachaco



10.5 Tamizado de la muestra de harina



10.6 Obtención de la ceniza



10.7 Harina de madera de Pachaco



10.8 Obtención de Extractivos



10.9 Obtención de lignina



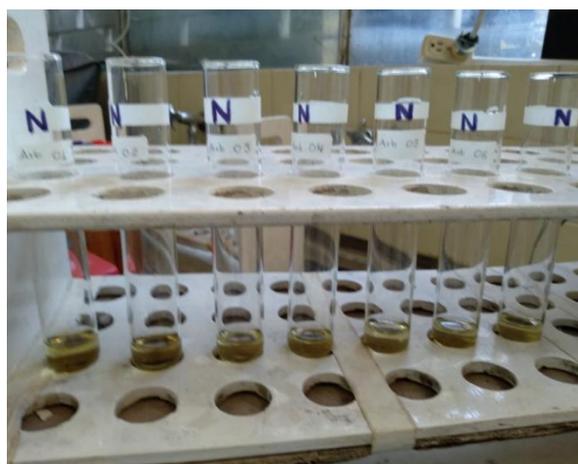
10.10 Obtención de holocelulosa



10.11 Muestras de Suelo



10.12 Solución patrón de las muestras de suelo



10.13 Obtención de Nitrógeno



10.14 Obtención de Potasio