



1859



Universidad
Nacional
de Loja

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe

**TESIS DE GRADO PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA FORESTAL**

Autora: Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez

Directora: Ing. Nohemí Jumbo Benítez Mg. Sc

Loja – Ecuador

2020

Loja, 21 de agosto del 2020.

Ingeniera

Johana Muñoz Mg.Sc

GESTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL, UNL

Loja. -

De mi consideración:

La señorita Egresada **Jhuiana Xiomara Valverde Rodríguez**, sistematizo y analizó los datos y, escribió los resultados de su investigación de tesis denominada: **Composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe**; entregó el documento de su tesis, éste fue revisado y corregido en tres borradores en formato digital.

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

Por esta razón **AUTORIZO** para que la señorita Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez, presente su trabajo de investigación para que sea calificado por un tribunal y continúe con los trámites para su graduación.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente

NOHEMI DEL
CARMEN
JUMBO BENITEZ

Firmado digitalmente por
NOHEMI DEL CARMEN
JUMBO BENITEZ
Fecha: 2020.08.21
16:12:23 -05'00'

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. Darío Alfredo Veintimilla Ramos Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS

CERTIFICA:

En calidad de presidente del Tribunal de Calificación de la Tesis titulada “**Composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe**” de autoría de la señorita egresada de la Carrera de Ingeniería Forestal **Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez**, portadora de la cédula 1104645500, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas 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, 10 de diciembre de 2020

Atentamente,



Firmado digitalmente por:
**DARIO ALFREDO
VEINTIMILLA
RAMOS**

.....
Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos Mg. Sc.

PRESIDENTE



Firmado Digitalmente por: **DARWIN
ALEXANDER PUCHA COFREP**
Hora oficial Ecuador: 10/12/2020 22:32

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

VOCAL



Firmado digitalmente por:
**LUIS ALFREDO
YAGUACHE
ORDONEZ**

.....
Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordoñez Mg. Sc

VOCAL

AUTORÍA

Yo, Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez, 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 autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Digital Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: 
Firmado electrónicamente por:
JHULIANA XIOMARA
VALVERDE
RODRIGUEZ

Autor: Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez

Cédula: 1104645500

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez, declaro ser la autora, de la tesis titulada **“Composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe”**, como requisito para optar por el grado de Ingeniería 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 pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tenga convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 11 días del mes de diciembre del dos mil veinte, firma el autor.

Firma:



Firmado digitalmente por:
JHULIANA XIOMARA
VALVERDE
RODRIGUEZ

Autor: Jhuliana Xiomara Valverde Rodríguez

Número de cédula: 1104645500

Dirección: Loja- Zamora Huayco- Río Morona y Río Upano

Correo electrónico: jxvalverder@unl.edu.ec

Celular: 0997041731

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

Tribunal de Grado: Ing. Darío Alfredo Veintimilla Ramos Mg. Sc.

Ing. Darwin Alexander Pucha Cofrep, Ph.D.

Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordoñez Mg. Sc.

Presidente

Vocal

Vocal

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de ver plasmadas mis metas y anhelos; gracias a mis angelitos que están en el cielo por siempre guiarme y darme la fortaleza para seguir adelante, a mis padres Rosa y René por darme el regalo de la vida, a mi querida tía María Elena por ser una segunda madre y mi amiga incondicional; a mi madrina Carmelita por siempre estar presente en mi vida, a mis amados hermanos: Michelle, Paola, Elena y Willman; a Luis por ser mi compañero de vida durante una década y el impulsor para estudiar esta bella carrera y a Thalia por su constante apoyo y motivación.

Gracias a la Universidad Nacional de Loja y a todos los docentes de la Carrera de ingeniería Forestal que formaron parte de mi desarrollo profesional y de una forma muy especial quiero agradecer a la Ingeniera Nohemí Jumbo por toda la confianza depositada en mí y por permitirme ser parte del proyecto de investigación “Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador”.

Mi gratitud a la Técnica del Laboratorio de Química de la Facultad de Educación, el Arte y Comunicación, Lic. Julia González; a la Técnica Ing Diana Iñiguez del Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, y al Dr. Darwin Pucha, quienes, a pesar de las circunstancias actuales, me dieron su incondicional apoyo y motivación para poder concluir mi trabajo de investigación.

Finalmente, a todos mis amigos y compañeros con los que hemos recorrido este camino para hacer realidad nuestra meta en común.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico de forma muy especial y a mi abuelito Amadeo de Jesús y a mi primo Cristopher, cuyo amor ha traspasado todas las dimensiones posibles. A todos y cada uno de las personas que forman parte de mi familia Valverde – Palacios, por todo el amor y cariño que han sembrado en mí.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Madera.....	4
2.1.1. Estructura macroscópica de la madera	4
2.1.2. Composición química de la madera	6
2.1.2.1. Componentes orgánicos estructurales	6
2.1.2.1.1. Holocelulosa.....	6
2.1.2.1.2. Lignina	7
2.1.2.2. Componentes orgánicos no estructurales	8
2.1.2.2.1. Extractivos.....	8
2.1.2.3. Componentes inorgánicos	10
2.1.2.3.1. Cenizas	10
2.2. Especie <i>Juglans neotropica</i> Diels	10
2.2.1. Clasificación taxonómica	10
2.2.2. Descripción botánica	11
2.2.3. Características de la madera.....	12
2.2.4. Distribución y requerimientos ambientales de la especie	13
2.2.5. Usos principales	14
2.3. El Suelo	14
2.3.1. Propiedades químicas del suelo.....	15
2.3.1.1. Potencial de hidrógeno (pH).....	15
2.3.1.2. Nitrógeno	16
2.3.1.3. Fósforo.....	17

2.3.1.4. Potasio	18
2.3.2. Propiedades físicas del suelo	18
2.3.2.1. Humedad del suelo	18
2.3.2.2. Textura.....	19
2.3.2.3. Porosidad	19
2.3.3. Estudios de caso	20
3. METODOLOGÍA	22
3.1. Área de estudio	22
3.2. Determinación de la composición química de la madera de <i>J. neotropica</i>.	24
3.2.1. Recolección de muestras de madera.....	24
3.2.2. Obtención del contenido de humedad	25
3.2.3. Obtención ceniza	26
3.2.4. Obtención de extractivos	26
3.2.5. Obtención de lignina	27
3.2.6. Obtención de la holocelulosa	27
3.3. Análisis de las propiedades químicas del suelo	28
3.3.1. Recolección de muestras de suelo	28
3.3.2. Obtención de pH.....	28
3.3.3. Obtención de extractivos	29
3.3.4. Nitrógeno.....	29
3.3.5. Fósforo	30
3.4. Análisis estadístico.....	31
4. RESULTADOS.....	33
4.1. Composición química de la madera de <i>J. neotropica</i>	33

4.2. Propiedades químicas del suelo	39
4.3. Relación de la composición química de la madera de <i>J. neotropica</i> con las propiedades químicas del suelo	43
5. DISCUSIONES.....	46
5.1. Composición química de la madera de <i>Juglans neotropica</i> Diels.....	46
5.2. Propiedades químicas del suelo	48
5.3. Relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo.	49
6. CONCLUSIONES.....	53
7. RECOMENDACIONES.....	54
8. BIBLIOGRAFÍA.....	55
9. ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables climáticas de la parroquia Valladolid.....	24
Tabla 2. Datos dasométricos y coordenadas de los árboles muestreados.....	25
Tabla 3. Interpretación de pH del suelo.....	29
Tabla 4. Niveles de interpretación de valores de nitrógeno en el suelo en partes por millón (ppm).	30
Tabla 5. Niveles de interpretación de valores de fósforo disponible (P_2O_5) en el suelo en unidades partes por millón (ppm).....	31
Tabla 6. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar ($\pm DS$) de los porcentajes de los componentes químicos de la madera de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid.	33
Tabla 7. Propiedades químicas del suelo del lugar de crecimiento de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> provenientes de la parroquia Valladolid.....	40
Tabla 8. Correlación a través de la prueba no paramétrica de Spearman entre la composición química de la madera de <i>J. neotropica</i> y las propiedades químicas de suelo.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura macroscópica de la madera (Hernández, 2001).....	5
Figura 2. Árbol de <i>J. neotropica</i> (MAE y FAO 2015).....	12
Figura 3. Anillos de crecimiento visibles de <i>J. neotropica</i> (Armijos et al., 2017).....	12
Figura 4. Poros y parénquima de <i>J. neotropica</i> (Armijos et al., 2017).	13
Figura 5. Clasificación de los suelos por su pH (Galical, 2016).	16
Figura 6. Ubicación geográfica de la parroquia Valladolid, cantón Palanda.	23
Figura 7. Porcentaje de los componentes químicos de la madera, presente en cinco individuos de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid	34
Figura 8. Coeficiente de variación de los componentes químicos de la madera de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid.....	35
Figura 9. Valores promedio de contenido de extractivos de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	36
Figura 10. Valores promedio de contenido de ceniza presente en la madera de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	37
Figura 11. Valores promedio de contenido de lignina presente en la madera de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	38
Figura 12. Valores promedio de contenido de holocelulosa presente en la madera de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).....	39

Figura 13. Valores promedio de pH de cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)	41
Figura 14. Valores promedio de nitrógeno (ppm) de cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	42
Figura 15. Valores promedio de Nitrógeno (ppm) de cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).	43
Figura 16. Biplot de relación entre la composición química y las propiedades químicas del suelo de cinco muestras de la parroquia Valladolid	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de la composición química de la madera de cinco individuos de <i>J. neotropica</i>	74
Anexo 2. Curva de calibración de nitrógeno disponible	75
Anexo 3. Curva de calibración de fósforo disponible	75
Anexo 4. Datos de absorbancia, concentración y nitrógeno disponible en cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid.....	76
Anexo 5. Datos de absorbancia, concentración y fósforo disponible en cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid.....	77
Anexo 6. Valores e interpretación de las propiedades químicas del suelo (pH, N, P) de cinco muestras obtenidas en la parroquia Valladolid.....	78
Anexo 7. Cuadro resumen de valores e interpretación de la composición química de la madera de cinco árboles de <i>J. neotropica</i> y las propiedades químicas del suelo en donde los individuos muestreados se desarrollaron.....	79
Anexo 8. Coeficientes de correlación de Spearman, entre las propiedades químicas del suelo y los componentes químicos de la madera de cinco muestras de <i>J. neotropica</i> de la parroquia Valladolid.	80
Anexo 9. Fotografías del análisis de la composición química de la madera de <i>J. neotropica</i> y las propiedades químicas del suelo de cinco muestras obtenidas en la parroquia Valladolid	81

**Composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels y su
relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal
de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe**

RESUMEN

El estudio de caracterización química de la madera permite conocer los contenidos de holocelulosa, lignina, extractivos y ceniza, producidos durante el desarrollo de un individuo arbóreo. El conocimiento de los patrones de variación de los componentes químicos de la madera dentro de una misma especie hace posible un mayor y mejor aprovechamiento de este recurso forestal. Es frecuente encontrar estudios sobre la relación de las características químicas del suelo con la tasa de crecimiento y la acumulación de biomasa, sin embargo, estudios sobre el efecto del suelo en las propiedades químicas de la madera de especies tropicales de gran importancia ecológica son escasos. En este sentido la presente investigación tuvo por objetivo evaluar la composición química de la madera de *J. neotropica* y su relación con las propiedades químicas del suelo, en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid.

Para ello se aplicaron metodologías y protocolos normalizados (TAPPI); se seleccionaron cinco árboles de *J. neotropica* procedentes de la parroquia Valladolid, a partir de los cuales se obtuvo una rama, para posteriormente extraer harina de madera, y con la misma determinar el porcentaje de extractivos, ceniza, lignina y holocelulosa presentes. Para determinar las propiedades químicas del suelo, por cada árbol se obtuvieron tres muestras de suelo alrededor de un radio de dos metros, las mismas fueron procesadas y se obtuvo el contenido de pH, nitrógeno y fósforo disponible. En el análisis de los datos de la composición de madera y las propiedades químicas del suelo se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y para evaluar la relación entre las variables mencionadas, se determinó el coeficiente de correlación con la prueba no paramétrica de Spearman.

Los resultados indican que la madera de *J. neotropica*, posee holocelulosa en un 78,9 %, 13,39 % de lignina, 5,76 % de extractivos y 1,94 % de ceniza. El suelo en donde los individuos muestreados se desarrollaron, es ácido con un pH promedio de 5,21 y posee niveles altos de nitrógeno (159,39 ppm) y fósforo (57,33 ppm).

La mayor o menor concentración de los componentes químicos presentes en la madera de *J. neotropica* se ve influida por la disponibilidad de macro elementos en el suelo. Altos niveles de nitrógeno disminuyen el contenido de lignina y aumentan el contenido de holocelulosa, mientras que altos niveles de fósforo disminuyen el contenido de extractivos, sin embargo, el pH y la ceniza no presentan ninguna relación con los componentes y propiedades analizadas. Es necesario realizar estudios complementarios sobre la composición química de la madera *J. neotropica* y su relación con las propiedades químicas del suelo; en diferentes ecosistemas y tomando muestras de árboles de diversas edades, con la finalidad de establecer las condiciones óptimas para el desarrollo y mejor aprovechamiento de esta especie.

Palabras clave: Extractivos, ceniza, lignina, holocelulosa, pH, nitrógeno y fósforo.

ABSTRACT

This study of chemical characterization of wood allows to know the contents of holocellulose, lignin, extracts and ash, produced during the development of an individual tree. The knowledge of the patterns of variation of the chemical components of the wood within the same species makes possible a greater and better use of this forest resource. It is frequent to find studies on the relationship of the chemical characteristics of the soil with the growth rate and the accumulation of biomass; however, studies on the effect of the soil on the chemical properties of wood of tropical species of great ecological importance are scarce. In this sense, this research aimed to evaluate the chemical composition of the wood of *J. neotropica* and its relationship with the chemical properties of the soil, in a forest ecosystem of the parish of Valladolid.

For this purpose, methodologies and standardized protocols (TAPPI) were applied; five individual trees of *J. neotropica* from the parish of Valladolid were selected, from which a branch was obtained, to later extract wood flour, and with it determine the percentage of extractive agents, ash, lignin and holocellulose present. To determine the chemical properties of the soil, three soil samples were obtained for each tree around a radius of two meters. These were processed and the content of pH, nitrogen and phosphorus available was obtained. In the analysis of the data of the wood composition and the chemical properties of the soil, the non-parametric test of Kruskal-Wallis was used and to evaluate the relationship between the variables mentioned, the correlation coefficient with the non-parametric test of Spearman was determined.

The results indicate that the wood of *J. neotropica*, had holocellulose in a 78.9 %, 13.39 % of lignin, 5.76 % of extractive and 1.94 % of ash. The soil where the sampled individuals

developed was acidic with an average pH of 5.21 and has high levels of nitrogen (159.39 ppm) and phosphorus (57.33 ppm).

The greater or lesser concentration of chemical components present in the wood of *J. neotropica* is influenced by the availability of macro elements in the soil. High levels of nitrogen decrease the lignin content and increase the holocellulose content, while high levels of phosphorus decrease the extractive content, however, the pH and ash have no relation to the components and properties analyzed. It is necessary to make complementary studies on the chemical composition of the wood *J. neotropica* and its relation with the chemical properties of the ground; in different ecosystems and taking samples of trees of diverse ages, with the purpose of establishing the optimal conditions for the development and better advantage of this species.

Keywords: Extractives, ash, lignin, holocellulose, pH, nitrogen and phosphorus.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático tiene una influencia directa en los ecosistemas, puesto que estos se ven afectados por la presencia frecuente de fenómenos meteorológicos extremos, la modificación de las pautas pluviales y la elevación de las temperaturas medias anuales (FAO, 2006). Los efectos del cambio climático en la vida pueden observarse a distintos niveles, que incluyen su efecto en las respuestas individuales de los organismos, en las relaciones interespecíficas y en la amplitud de la distribución geográfica de las especies (SEMARNAT, 2009). En este sentido, para la región sur de Ecuador, se estima que poblaciones de especies con alto valor comercial se verán reducidas en sus tamaños poblacionales por estar restringidas a zonas sensibles a variaciones climáticas (Aguirre et al., 2017).

Ecuador es considerado como un país megadiverso por poseer atributos únicos en biodiversidad y endemismo, razón por la cual el manejo de los recursos naturales debe estar orientado a revertir los procesos de degradación, a generar beneficios económicos y al mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras (FAO, 2004; Medina, 2015). En particular la región sur de Ecuador es el hogar de diversas plantas cuyas propiedades y usos le han brindado prosperidad, puesto que son de gran importancia desde el punto de vista económico, social y ambiental. A pesar de esto, existen especies que aún no han sido investigadas con respecto a sus propiedades químicas; las cuales son de interés para la industria papelera, la agricultura y ganadería (Urrelo, Leal y Bozo, 2016).

El estudio de caracterización química de la madera nos permite conocer los contenidos de holocelulosa, lignina, extractivos y ceniza, producidos durante el periodo de vida de cada individuo. Estas ejercen una gran influencia en otras propiedades de la madera, como, por ejemplo, las propiedades físicas (contenido de humedad, poder calorífico, peso y n

durabilidad), las propiedades organolépticas (brillo, color y olor) y las propiedades mecánicas (resistencia a la aplicación de fuerzas) (Urrelo, Leal y Bozo, 2016). La composición química de la madera, a su vez, depende principalmente de los factores ambientales y edáficos, que son los que determinan la concentración, en mayor o menor porcentaje, de los componentes químicos presentes en la madera (Anguisaca et al., 2019).

Es más frecuente encontrar estudios sobre la relación de las características químicas del suelo y el clima con la tasa de crecimiento y la acumulación de biomasa (Mekonnen, 2006). No obstante, los estudios sobre el efecto del suelo en las propiedades químicas de la madera de especies tropicales de gran importancia ecológica como *J. neotropica* aún son escasos (Rigatto, Dedecek y Monteiro de Matos, 2004; Moya, Arce, Gonzalez, Olivares y Rios, 2010). Esta especie se caracteriza por su capacidad de adaptación ante el cambio climático, recuperación ecológica de suelos degradados, y por mantener la calidad del aire y el agua en los sistemas agroforestales que al mismo tiempo son el hábitat y fuente de recursos alimenticios para la fauna silvestre (Toro y Roldán, 2018).

Ante la escasa información disponible, surge la necesidad de realizar estudios que aporten conocimiento sobre la composición química de la madera de *J. neotropica* y su relación con las propiedades químicas del suelo. El conocimiento de los patrones de variación dentro de la misma especie hace posible un mayor y mejor aprovechamiento de este recurso forestal. Con este fin, en la presente investigación se abordó la siguiente pregunta ¿La composición química de la madera de *J. neotropica* está directamente relacionada con las propiedades químicas del suelo del lugar de procedencia? Para dar respuesta a la misma se plantearon las siguientes hipótesis:

Ho: La composición química de la madera de *J. neotropica* no está directamente relacionada con las propiedades químicas del suelo del lugar de procedencia.

H1: La composición química de la madera de *J. neotropica* está directamente relacionada con las propiedades químicas del suelo del lugar de procedencia.

Objetivo general

Evaluar la composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos específicos

- Evaluar la composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels, en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe.
- Evaluar la relación entre la composición química de la madera de *Juglans neotropica* Diels, y las propiedades químicas del suelo en un ecosistema forestal de la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe.

Cabe destacar que la presente investigación se desarrolló dentro del marco del proyecto 21-DI-FARNR-2019: “Impacto de las variaciones climáticas en la fijación de carbono en ecosistemas forestales al sur de Ecuador” que se realiza bajo el financiamiento de la Universidad Nacional de Loja.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Madera

La madera es un material natural, biológico, poroso, higroscópico, anisotrópico y heterogéneo (Cruz, 2011). La madera está compuesta de forma principal por células fibrosas tubulares y alargadas, que se encuentran de forma paralela a lo largo del tronco del árbol (Espinosa y Salazar, 2011). La formación de madera tiene lugar en el cambium, el cual forma hacia afuera la corteza, cuyas partes externas se quiebran y caen durante el crecimiento del árbol; y hacia el interior forma las células de madera (Aguilar y Guzowski, 2011).

2.1.1. Estructura macroscópica de la madera

La estructura de la madera (Figura 1) se encuentra formada por los siguientes tejidos: corteza, cambium vascular, albura, duramen y médula.

La corteza constituye el tejido exterior del tallo y se encuentra separado de la madera por el cambium; tiene una parte viva y una parte muerta; la parte viva (floema) es producida por la cara externa del cambium, y la parte muerta incluye un tejido protector (corcho) producido por la capa peridérmica (Thirakul, 1998).

El cámbium vascular es un meristemo lateral que se encuentra ubicado entre el floema y xilema del tallo y permite el crecimiento secundario del árbol (Raven, Evert y Eichhorn, 1992). Se encuentra siempre en período de división de células de floema y xilema; y produce cada año corteza y madera nueva (Presa, 2015).

La albura contiene células vivas y material de reserva, y es la parte activa del xilema (IAWA, 1964). La albura permite conducir gran cantidad de agua y savia bruta desde la raíz a las hojas, brinda rigidez al tallo y reserva las sustancias nutritivas de la planta (Hook, Brown y Wetmore, 1972).

El duramen es la parte inactiva del xilema, se encuentra entre la médula y la albura; generalmente es de estructura más compacta y de coloración más oscura en relación a la albura (Giménez, Ríos y Moglia, 2000). La madera del duramen pierde gradualmente su vitalidad y adquiere una coloración más oscura gracias a la acumulación de taninos, resinas, grasas y otras sustancias. Debido a que el duramen es un tejido más compacto y más pobre en sustancias nutritivas, es mucho más resistente al ataque de hongos e insectos y presenta una durabilidad natural superior a la albura (Rivera, 2016).

La médula es un tejido parenquimatoso ubicado en el centro del tallo, posee poca resistencia, puesto que, es un material esponjoso y con un diámetro muy pequeño (Batres, 2009; Sandoval, Muñoz, Alarez, Moreno y Quintero, 2013)

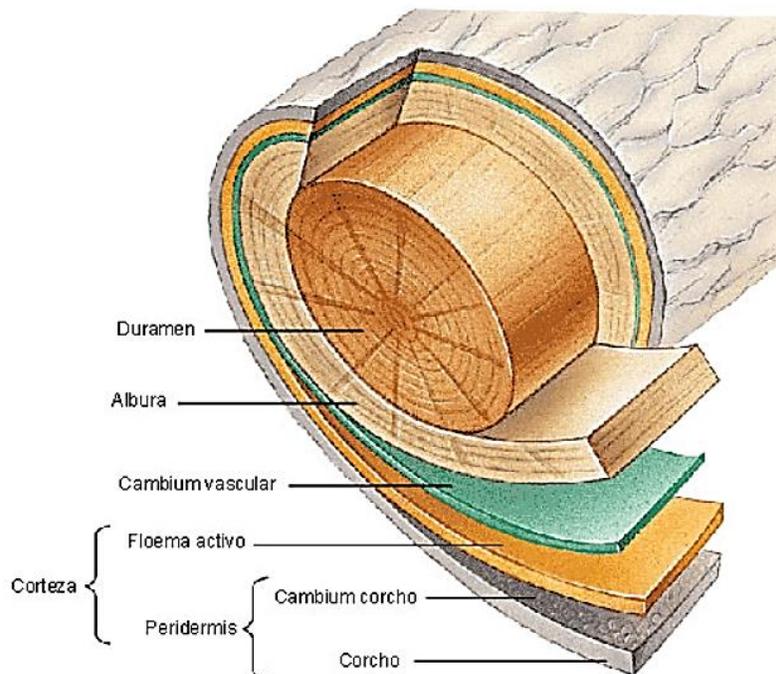


Figura 1. Estructura macroscópica de la madera (Hernández, 2001).

2.1.2. Composición química de la madera

La madera, al igual que cualquier sustancia de origen orgánico, se encuentra formada por 50 % de carbono, 42 % de oxígeno, 6 % de hidrógeno, 0,2 % de nitrógeno y en proporciones menores se encuentran otros elementos inorgánicos como fósforo, sodio y calcio (Paz, 2008; Presa, 2015). En la composición química básica de la madera también se consideran tres tipos de componentes: orgánicos estructurales, que constituyen la pared celular; orgánicos no estructurales u ocasionales, contenidos en los lúmenes y espacios intersticiales; y los componentes inorgánicos (Gonzales, 2013; Panshin y De-Zeeuw, 1970). La proporción de estos componentes puede variar entre la madera de una misma especie, y entre la madera presente en las diferentes partes de un mismo árbol. Además, los componentes químicos se ven influidos por las características edafo-climáticas del lugar de desarrollo de los individuos arbóreos, de esta forma, se puede encontrar variación entre la madera proveniente de zonas templadas con las de zonas tropicales (Basaure, 2005).

2.1.2.1. Componentes orgánicos estructurales

2.1.2.1.1. Holocelulosa

El contenido de holocelulosa en la madera abarca del 70 al 90 % del total de las sustancias de la pared celular libre de extractivos o material extraño (Gonzales M. , 2005). La holocelulosa está compuesta por polisacáridos, que corresponden a polímeros de largas cadenas de unidades de azúcares, en las que se encuentra la celulosa y hemicelulosa (Núñez, 2008).

La celulosa ($C_6H_{10}O_5$) es el biopolímero más abundante en la tierra y es el material orgánico más importante a nivel estructural del reino vegetal ya que es el componente principal de: paredes celulares, tejidos leñosos y tejidos fibrosos de las células vegetales (Abril, 2006;

Romero, 2015). Se origina a partir de la fotosíntesis, puesto que, gracias a la combinación de agua y dióxido de carbono, y la presencia de luz solar se produce glucosa, la cual es la unidad básica de la celulosa (Chuman, 2007). Las estructuras de las moléculas de celulosa se encuentran estabilizadas por puentes de hidrógeno, que, pese a que son muy débiles individualmente, su elevado número hace de la fibra de celulosa una estructura firme y poco sensible a la degradación (Guardiola y Amparo, 1995). Los enlaces de hidrógeno son los responsables de la alta cohesión molecular en la celulosa, lo que, aparejado a la ausencia de ramificaciones, origina una macromolécula semicristalina en un 60 %, con un carácter esencialmente hidrofílico pero insoluble en agua (Klemm y Philipp, 2001).

La Hemicelulosa es polímero constituido por unidades diferentes de monosacáridos: pentosas y hexosas. Posee cadenas más cortas y con ramificaciones, pero de bajo peso molecular en comparación con la celulosa (Cuervo, 2001). Es el segundo biopolímero más abundante en la pared celular vegetal, ya que comprenden alrededor del 20 – 30 % del peso seco de madera; su función es servir de puente de unión entre la celulosa y la lignina, facilitando la incrustación de las microfibrillas (Martínez, 2013). Es insoluble en agua, pero en medio alcalino se disuelve (Sousa y Martínez, 2010). El contenido de hemicelulosas presentes en la madera varía con la especie, la edad, y parte del árbol (Guardiola y Amparo, 1995).

2.1.2.1.2. *Lignina*

Esta palabra proviene del latín “lignum”, que significa madera; por lo que su presencia le da el carácter leñoso a una especie forestal y su contenido va aumentando conforme la edad de la planta (Cruz, 2011). Las ligninas son fracciones no carbohidratos de la madera libre de extraíbles y presentan gran complejidad por lo cual su caracterización es difícil. Su contenido

en masa depende del origen de la especie vegetal; en la madera, puede variar entre 19 y 35 % (Dence y Lin, 1992).

La lignina es un polímero aromático altamente ramificado con una gran variedad de grupos funcionales (hidroxilos fenólicos, hidroxilos alifáticos, metoxilos, carbonilos, carboxilos y sulfonatos) que proporcionan centros activos para interacciones químicas y biológicas (Mansouri, 2006). La lignina se localiza principalmente en la lámina media y en las capas de la pared celular en donde se incorpora como su último componente (Gutiérrez, 2010). Se encarga de la cohesión de las células, reforzándolas mecánicamente, les proporciona elasticidad y las protege de la pérdida de agua (puesto que presenta hidrofobicidad) (Bermúdez, Touza y Sanz, 2014).

De acuerdo con Fengel y Wegener (2003), la principal función de la lignina en la madera es la de mantener unidas a las fibras, proporciona rigidez y resistencia a los tallos y desempeña funciones en el transporte de agua y nutrientes. Además, cumple un rol importante en el sistema de defensa de la planta al protegerla de ataques físicos y químicos de agentes externos (Prinsen, 2013).

El desarrollo de la tecnología y las tendencias de consumo de la actualidad han brindado la posibilidad de aprovechar la lignina como fuente de diversos productos químicos, tales como, plásticos, resinas fenólicas, aditivos, etc (Gonzales H. , 2013).

2.1.2.2. Componentes orgánicos no estructurales

2.1.2.2.1. Extractivos

Son compuestos que tienen gran influencia en las propiedades y calidad de la madera, aunque solo se encuentren en un pequeño porcentaje en relación a la masa total (Cruz, 2011). Los

extractivos son materiales orgánicos presentes en la madera, que no forman parte integral de la estructura celular, y dependiendo de su cantidad influyen en el color, olor, estabilidad dimensional, durabilidad, resistencia al ataque de hongos e insectos, inflamabilidad, poder calorífico y densidad (Stanley, 1969). Es por ello que, sin la presencia de los extractivos, el reconocimiento macroscópico de la madera no sería posible y únicamente se reconocería por un estudio anatómico microscópico (Panshin y De-Zeeuw, 1970).

Los extractivos, pueden encontrarse en el espacio vacío en el interior del lumen de las células, entre células (como es el caso de los canales resiníferos) y en el interior de la pared celular (Koach, 1972). Contienen un amplio grupo de componentes orgánicos, entre los más importantes en términos de cantidad se encuentran los polifenoles y las resinas (Panshin y De-Zeeuw, 1970). Las maderas que poseen cantidades importantes de extractivos, presentan cierto grado de resistencia natural al ataque de hongos e insectos, ya que los extractivos incluyen compuestos tóxicos en su composición química que inhiben el ataque de organismos externos (Chuman, 2007). La obtención de extractivos se puede realizar a través de solventes como: agua, éter y benceno (AIDER, 2012).

Los extractivos tienen efectos en muchas de las propiedades tecnológicas de la madera y en su procesamiento; la presencia de estos compuestos aumenta la durabilidad natural de la madera y disminuyen las contracciones y expansiones de la misma (Fengel y Wegener, 2003). La composición química y cantidad de los mismos es variable entre coníferas y latifoliadas, incluso dentro de una especie puede variar de acuerdo a la edad, tipo de suelo, posición en el árbol, albura y duramen (Gonzales H. , 2013).

2.1.2.3. Componentes inorgánicos

2.1.2.3.1. Cenizas

Las cenizas son componentes inorgánicos, cuyo contenido puede variar según la parte del árbol que se estudie, de acuerdo a la edad que presente y a las condiciones de suelo en donde se desarrolle (Carballo, 1990).

Según Someshwar (1996) las cenizas de madera presentan contenidos importantes de diferentes nutrientes como potasio (K), fósforo (P), magnesio (Mg) y calcio (Ca). En algunas especies tropicales, la mayoría de la ceniza está compuesta de sílice; por lo general estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que, poseen un gran potencial alcalino (Etiégni y Campbell, 1991). El volumen de la ceniza raramente es más bajo que 0,2 % o más alto que el 1 % del porcentaje en peso de madera (Paz, 2008).

2.2. Especie *Juglans neotropica* Diels

2.2.1. Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fagales

Familia: Juglandaceae

Género: *Juglans*

Especie: *Juglans neotropica* Diels

Nombre común: Nogal

2.2.2. Descripción botánica

El nogal es una especie forestal que llega a medir entre 15 y 48 m de altura; posee raíces pivotantes que pueden alcanzar hasta más de tres metros de profundidad; su fuste es cilíndrico, con diámetro a la altura del pecho (DAP) de entre 30 a 120 cm; presenta una corteza externa fisurada de color gris oscuro y una corteza interna fibrosa de color crema (Toro y Roldán, 2018).

Esta especie tiene una copa irregular, frondosa, de hasta 10 m de ancho, cuyas ramas son gruesas, de poca médula, con lenticelas cuando adulto, en ocasiones con pubescencia rojiza, monopódicas y casi horizontales al fuste principal y en el cual dejan unas cicatrices triangulares cuando caen (Mannig, 1978). Presenta follaje caducifolio; sus hojas son compuestas, alternas e imparipinadas, grandes de hasta 40 cm de largo, con 10 - 15 folios ovado-lanceolados de 6 a 9 cm de largo, presenta bordes dentados con nervaduras marcadas en el envés (Pretell, 1985).

Es una especie monoica. Las flores masculinas son de tamaño muy reducido y de color verde amarillento, se encuentran dispuestas en espigas estaminadas. Las flores femeninas en amentos cortos y pocas flores, que se ubican en grupos de 2 a 4 en los extremos de las ramas; el ovario lleva dos estigmas (Torres Romero, 1983).

El fruto es una drupa carnosa, indehiscente, de forma semiesférica de aproximadamente 6 cm de largo por 5 cm de ancho. Tiene una cáscara gruesa, coriácea, áspera y escamosa; en estado inmaduro es de color verde con pubescencia blanquecina y toma un color verde amarillento al madurar (Ospina, Hernández, Aristizabal, Patiño y Salazar, 2003).



Figura 2. Árbol de *J. neotropica* (MAE y FAO, 2015).

2.2.3. Características de la madera

La madera presenta albura de color castaño claro, duramen color castaño oscuro con vetas lineales café oscuras, una médula de color púrpura y un olor característico (madera seca) producto de ciertas gomas, resinas o tálides presentes en los elementos, con anillos de crecimiento visibles (Figura 3) y con grano recto a ondulado (Rodríguez, 1988).

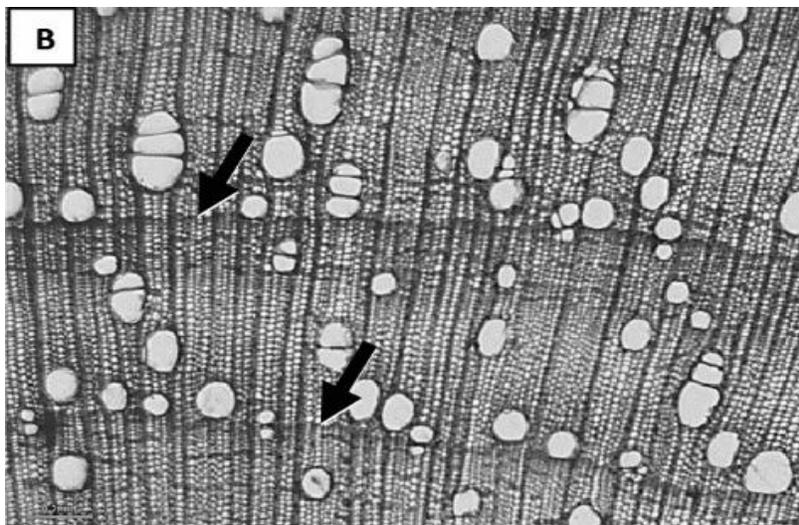


Figura 3. Anillos de crecimiento visibles de *J. neotropica* (Armijos et al., 2017).

La porosidad de la madera es semicircular con poros solitarios con un tamaño mayor a 210 μm rodeados de parénquima apotraqueal (Figura 4) y largas cadenas cristalíferas que le dan una apariencia a la madera con fines industriales (Toro y Roldán, 2018).

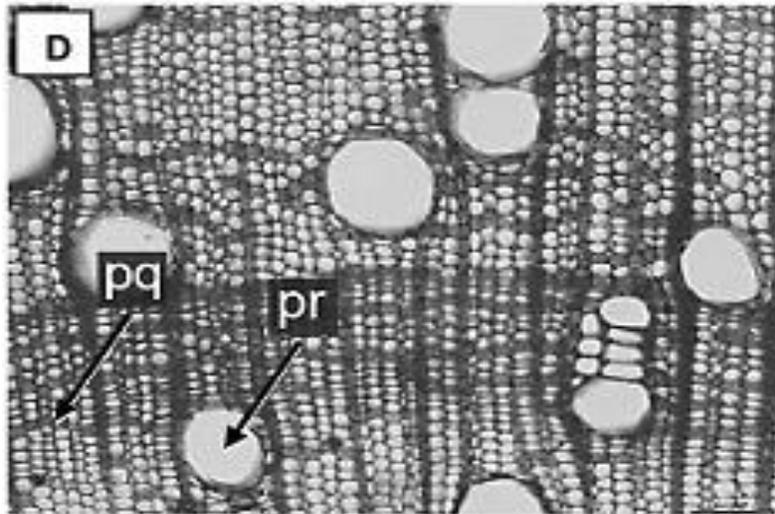


Figura 4. Poros y parénquima de *J. neotropica* (Armijos et al., 2017).

2.2.4. Distribución y requerimientos ambientales de la especie

El nogal es una especie nativa del neotrópico con distribución en Honduras, Ecuador, Colombia, Perú y Bolivia (Rojas y Torres, 2008). Es frecuente encontrar esta especie en la cordillera oriental entre los 1 600 y 2 700 m s.n.m (Echeverría, 1997). Es sensible a temperaturas extremas (heladas), por lo que para su desarrollo deben evitarse temperaturas inferiores a 1,1 °C, ya que ocurren daños en las inflorescencias masculinas lo que resulta en una producción de frutos pequeños. Si la temperatura supera los 38 °C, en combinación con alta humedad, los frutos (toctes) que están más expuestos pueden quemarse por el sol (Zea, 2015). Esta especie prefiere suelos arcillosos, profundos, sueltos, permeables y fértiles, aunque suele adaptarse bien a otros tipos de suelo; el pH favorable para su desarrollo se encuentra entre un valor mínimo 5,5 y un máximo 8,0 (Vásquez, 1996).

2.2.5. Usos principales

La madera del fuste de *J. neotropica*, se usa en ebanistería (muebles finos), tableros, contrachapados, construcción (vigas y postes), productos torneados y en la elaboración de instrumentos musicales, por su buen acabado y color, así como por su densidad (Kaiser, 2005).

Las ramas se usan para leña o madera para cercar potreros (INEFAN, 1997). De las raíces, corteza, hojas, y frutos se extraen tintes o colorantes (amarillos y negros) para adornar artesanías, así como para teñir ropa y cabello siendo al mismo tiempo un estimulante del crecimiento de este (Sandoval y Venegas, 2009). A nivel rural, la madera y las ramas son utilizadas para aserrío, carbón, leña, postes para cercos, construcción de inmuebles (Rodríguez, 1988).

Además, gracias a las características botánicas y biológicas de la especie, se la utiliza para recuperar suelos degradados, para el enriquecimiento de bosques secundarios, para la protección de fuentes de agua y para sistemas agroforestales (Toro y Roldán, 2018).

2.3. El Suelo

Es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; sin embargo, es vulnerable, de difícil y larga recuperación, y de extensión limitada, por lo que, se considera un recurso natural no renovable (Silva y Correa, 2009). Es un sistema abierto, trifásico y tridimensional; está compuesto por material orgánico y mineral (Ramírez, 1997).

El suelo es una parte fundamental de los ecosistemas terrestres debido a que contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan para desarrollarse (Echarri, 1998). Además,

almacena el agua de lluvias para posteriormente cederlas a las plantas a medida que estas la necesiten (INIA, 2015).

Los suelos se forman debido a la descomposición de las rocas, las mismas, se convierten en partículas o pedazos pequeños por la acción del tiempo, de las condiciones climáticas y el hombre; estas partículas se van mezclando con los residuos de los animales y plantas, este proceso es muy lento y la formación de una pequeña capa de suelo puede llevar millones de años (FAO, 2013).

2.3.1. Propiedades químicas del suelo

2.3.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrogeno, más conocido como pH, es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos. Este factor expresa el grado de concentración de iones hidrógeno activos (H^+) en las partículas del suelo e indica si éste es ácido o alcalino; lo cual determina los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Fernández y Rojas, 2006). Además, es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que influye en la solubilidad, movilidad, disponibilidad, así como en otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2013). En general, existe mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas a cuando el pH del suelo se encuentra entre 6,0 y 7,0 (Toledo, 2016).

La escala de valores del pH va de 0 a 14 (Figura 5); un valor igual a 7 indica un suelo de reacción neutra, valores inferiores a 7 indican acidez, y valores superiores indican alcalinidad; mientras más distante esté la medida del punto neutro, mayor será la acidez o la alcalinidad (FAO, 2011). El pH del suelo puede tener variaciones provocadas por factores

como las condiciones climáticas, la actividad biológica y las prácticas de gestión del suelo (Miralles, 2006).

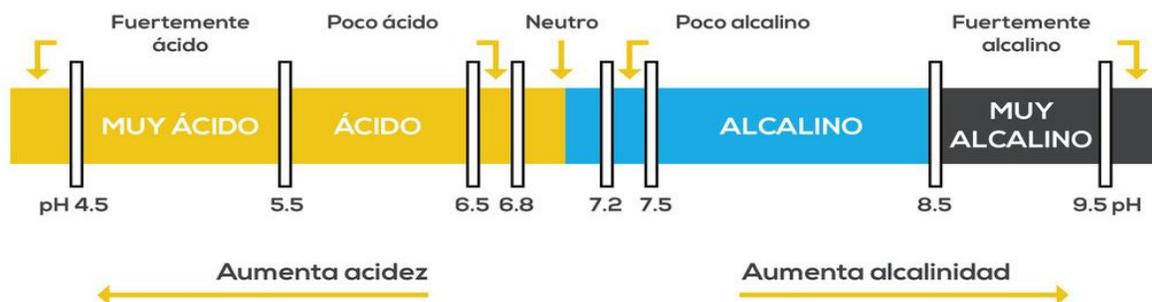


Figura 5. Clasificación de los suelos por su pH (Galical, 2016).

2.3.1.2. Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento químico altamente dinámico que se encuentra presente en todos los estratos del planeta (Moreira y Siqueria, 2002). Entre los elementos esenciales de las plantas, el nitrógeno es el que sufre mayor número de transformaciones biogeoquímicas en el sistema suelo-planta (Stevenson, 1982). Según Ramírez (1997) la disponibilidad de este elemento depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos; esta mineralización se da en valores cercanos a pH 7, que es donde las bacterias encargadas de la fijación de nitrógeno presentan mayor desarrollo.

Las plantas absorben considerables cantidades de este elemento en forma de iones de amonio (NH_4) o de nitrato (NO_3), y esto les permite producir aminoácidos y a partir de estos se forman proteínas, las mismas que son necesarias para su desarrollo y rendimiento normal (IPNI, 1997). Cuando existe deficiencia de nitrógeno, este es transportado desde las hojas viejas a los puntos de crecimiento de la planta, debido a esto, los primeros síntomas de carencia se presentan en coloraciones amarillentas o enrojecimientos en las hojas viejas (Toledo, 2016).

2.3.1.3.Fósforo

Es considerado el más importante de los nutrientes del suelo después del nitrógeno (N) para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que juega un papel relevante en su estructura y en la transformación de la energía (Suñer, 2015). Según IPNI (1997), el fósforo es parte de reacciones metabólicas, como la obtención y reserva de energía y la transformación de azúcares en almidones. Cuando hay una deficiencia de este elemento la planta produce antocianinas (pigmento de color morado), y al ser un elemento de gran movilidad dentro de las plantas, uno de los primeros síntomas de su carencia, se presenta en las hojas viejas, las mismas que se tornan de color cercano a púrpura (Toledo, 2016).

El fósforo (P) disponible, se refiere a la cantidad del mismo, presente en los suelos que se pueden extraer o es extraído por las raíces de las plantas y utilizado por las mismas para su crecimiento y desarrollo (Raven y Hossner, 1993). El contenido del fósforo (P) en los suelos agrícolas, está influenciado por las propiedades del material parental, el tipo de arcilla dominante, por los elementos orgánicos, así como por otras propiedades y procesos de naturaleza biológica y química (Henríquez, 2015). Según Tisdale, Nelson y Beaton (1985), el pH influye en la disponibilidad de fósforo en el suelo, siendo más aprovechado por las plantas cuando el rango del pH está entre 6 y 6,5.

El fósforo es absorbido por las plantas en forma de ácido fosfórico (H_3PO_4) y presenta muy poca movilidad en el suelo, manteniéndose en el lugar donde ha sido colocado por cualquiera de sus fuentes; se considera que se puede llegar a trasladar 2,5 cm por año (Donahue, Miller y Shickluna, 1981).

2.3.1.4. Potasio

El potasio es un catión univalente (K^+) y junto con el nitrógeno son absorbidos en grandes cantidades por las plantas. La mayor parte del potasio absorbido depende de la difusión del elemento y de los contenidos calcio y magnesio, puesto que estos en niveles altos provocan baja absorción del potasio (Alegría, 2016). Según Padilla (2007), el potasio se encuentra en los suelos en cantidades variables y es absorbido por las plantas en forma de ion K^+ . Se caracteriza por ser un elemento móvil en la planta dentro del xilema y floema, cuya absorción es altamente selectiva; las plantas jóvenes presentan mayor eficiencia en la absorción de este elemento (Ardon, 2015).

Este elemento es esencial para que las plantas se desenvuelvan y completen su ciclo biológico, puesto que, participa en un sinnúmero de procesos bioquímicos como, por ejemplo, en el metabolismo de las proteínas y carbohidratos, en la abertura y cierre de estomas, en funciones de regulación osmótica, fotosíntesis y respiración (Pérez, 1996; Malavolta, 2006).

El potasio en la corteza terrestre se encuentra en aproximadamente un 2,5 %, siendo el contenido de potasio mayor en las rocas ígneas que en las sedimentarias, de allí que los suelos derivados de cenizas volcánicas son ricos en potasio (Lechón, 2014).

2.3.2. Propiedades físicas del suelo

2.3.2.1. Humedad del suelo

Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo; es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación,

penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo (Flores y Alcalá, 2010).

2.3.2.2. Textura

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño que presenta el suelo, entre las cuales se encuentra, la arena (mayor tamaño), el limo y la arcilla (menor tamaño); esta caracterización se refiere a partículas con diámetros inferiores a 2 mm (Castillo, 2005). Esta propiedad influye en la fertilidad y la capacidad de retención de agua, aireación y contenido de materia orgánica (FAO, 2016).

Los suelos francos poseen una textura fina y contienen menos del 25 % de arcilla; se trata de suelos más adecuados para realizar actividades de agricultura (López, 2016). Los suelos arenosos presentan una textura gruesa, con predominio de arenas (75 % arenas, 5 % arcillas y 20 % limo), razón por la cual, presentan un gran aireación y absorción efectiva del agua, sin embargo, poseen poca capacidad para retener el agua y los nutrientes, los mismos que por lixiviación son arrastrados hacia el subsuelo (Martínez, 2015). Los suelos arcillosos presentan una textura fina, con un alto predominio de arcillas (45 % de arcillas, 30 % de limo y 25 % de arena), presentando una elevada retención de agua y nutrientes, sin embargo, posee baja porosidad, lo que ocasiona la carencia de una adecuada aireación (López, 2016).

2.3.2.3. Porosidad

La porosidad total (Pt) representa el porcentaje del volumen de suelo que no se encuentra ocupado por sólidos y está constituido aproximadamente del 50 % por materiales sólidos y el otro 50 % por espacio poroso, donde nutrientes, aire, gases y agua pueden circular (FAO, 2016). Los suelos de texturas gruesas tienden a ser menos porosos que aquellos de textura fina (Calvache, 2009).

De acuerdo al tamaño los poros se clasifican en: macroporos (más de 0,20 mm); poros medios (0,20 a 0,02 mm); poros finos (0,02 a 0,002 mm); y muy finos (menores de 0,002 mm) (Calvache, 2009). Al determinar la porosidad del suelo, debe tenerse en cuenta que si predominan los macroporos, se va a presentar drenaje y aireación excesivos, por lo que la capacidad de almacenamiento de agua es baja, en tanto que, si predomina la microporos, existirá deficiencia de drenaje y aireación, por la que aumentará la posibilidad de compactación del suelo (Jaramillo, 2002).

La importancia agrícola de la porosidad del suelo es muy grande y sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos, labranza y otras propiedades del suelo y su manejo (Flores y Alcalá, 2010).

2.3.3. Estudios de caso

La composición química de la madera influye en las propiedades físicas y mecánicas de la misma, pero su estudio se ve limitado por la demanda de tiempo, los recursos económicos y capital humano capacitado para el trabajo en laboratorio (Anguisaca et al., 2019). En la actualidad estudios sobre la composición química de la madera de especies latifoliadas en los trópicos aún son escasos; por tal motivo aun no existen investigaciones acerca del efecto del suelo en las concentraciones de holocelulosa, lignina, extractivos y ceniza presente en la madera. Las características físicas y químicas del suelo influyen directamente sobre el crecimiento de los árboles en plantaciones forestales y por supuesto en la calidad de la madera (Barroso, Mazzei, Campos, Reis y Cruz, 2005).

Moya y Perez (2008) en su investigación denominada “Efectos de las propiedades físicas y químicas del suelo sobre las características físicas de la madera de *Tectona grandis* en Costa Rica”, realizaron análisis de textura y de los elementos químicos (K, Ca, Mg, P, Fe y Zn)

presentes en el suelo y como estas variables se relacionaban con las contracciones volumétricas y el contenido de humedad en verde y seco de la madera; sin, embargo los coeficientes de correlación obtenidos no fueron lo suficientemente altos; llegando a la conclusión de que las características físicas y químicas del suelo no tuvieron ninguna influencia importante sobre las propiedades físicas de la madera de esta especie. Este estudio es importante ya que toma en cuenta las propiedades químicas del suelo, pero deja a un lado la relación que podría existir con los componentes químicos de la madera.

El único estudio encontrado en donde toman en cuenta estas variables, es el realizado por Quito (2019), denominado “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”, en el cual se analizaron los contenidos de holocelulosa, lignina, extractivos y ceniza presente en la madera, con el pH y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo; al obtenerse coeficientes de correlación positivos y significativos entre (pH - lignina y nitrógeno - holocelulosa) y correlaciones negativas entre (pH - holocelulosa, nitrógeno - extractivo y nitrógeno - lignina), se concluyó que efectivamente si existe una influencia de las propiedades químicas del suelo sobre los componentes químicos de la madera de esta especie.

3. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

El área de estudio seleccionada corresponde a un ecosistema forestal ubicado en la región sur de Ecuador, específicamente en la parroquia Valladolid del cantón Palanda, perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe (Figura 6).

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Valladolid (PDOT Valladolid, 2015), esta cuenta con una extensión territorial de 575,23 Km² y un rango altitudinal de 1 596 m s.n.m. Se encuentra limitado al:

Norte: Con la Parroquia Zamora, del cantón Zamora

Sur: Con la Parroquia Palanda, del cantón Palanda.

Este: Con las Parroquias: San Francisco del Vergel y La Canela del Cantón Palanda

Oeste: Con el cantón Loja y el cantón Espíndola.

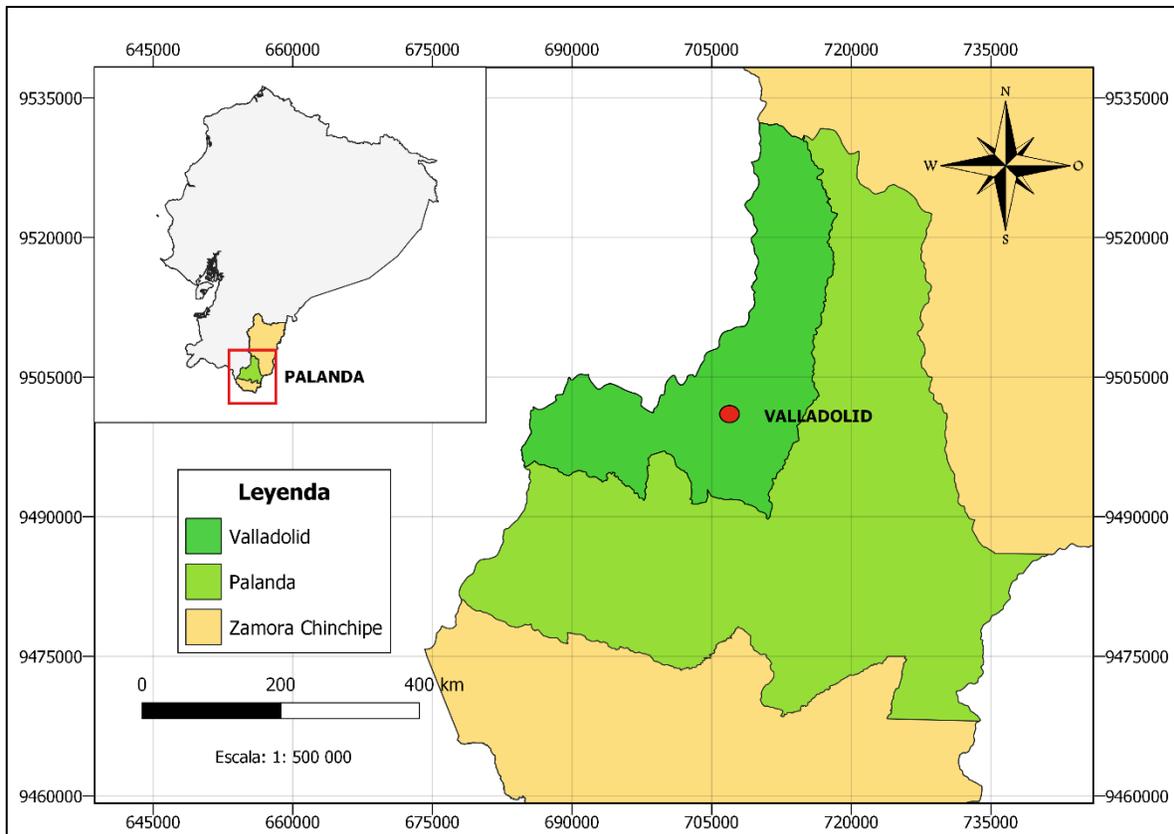


Figura 6. Ubicación geográfica de la parroquia Valladolid, cantón Palanda.

- **Información climática**

El territorio de la parroquia Valladolid cuenta con un piso climático Ecuatorial de alta montaña en 54 % y Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo en 46 %, estos tipos de climas influyen sobre las actividades productivas, económicas, culturales, turísticas de la parroquia (PDOT Valladolid, 2015).

Según el PDOT Valladolid (2015), las variables climáticas poseen las siguientes características:

Tabla 1. Variables climáticas de la parroquia Valladolid

Variable	Descripción
Precipitación media anual	1 612
Temperatura media anual	17,1 °C y 17,9 °C
Pisos climáticos	Ecuatorial de alta montaña Ecuatorial mesotérmico semi-humedo

Fuente: (PDOT Valladolid, 2015)

- **Suelos**

Los suelos de la parroquia Valladolid son ácidos, con una gran capacidad de drenaje y de una profundidad media. Presenta una textura media, lo que significa que el contenido de arena está dentro de 20 - 50%, el contenido de limo va dentro de 28 - 88 %, el contenido de arcilla va desde 12 - 27 %; dentro de la clase textural existen suelos francos y francos limosos (PDOT Valladolid, 2015).

3.2. Determinación de la composición química de la madera de *J. neotropica*.

3.2.1. Recolección de muestras de madera

Para realizar la caracterización química de la madera, se seleccionaron cinco individuos de *J. neotropica*, a los cuales se les extrajo una rama principal. Cada rama se identificó con su respectiva etiqueta, contemplando los siguientes datos: número de árbol, altura total, diámetro a la altura del pecho (DAP) y coordenadas geográficas (Tabla 2).

Tabla 2. Datos dasométricos y coordenadas de los árboles muestreados

Número de árbol	Altura (m)	DAP (cm)	Coordenadas UTM	
			X	Y
1	16	38.2	706740,25	9496130
2	18	33.5	706733,43	9496132
3	17.5	42.6	706723,37	9496133
4	21.4	43.1	706711,18	9496140
5	19.5	44.6	706698,18	9496147

La preparación de las muestras y la caracterización química de la madera se efectuó siguiendo las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper), 2015.

Para obtener las muestras en polvo, se llevó las ramas al Laboratorio de Dendrocronología y Anatomía de la madera de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales, en donde se utilizó una lijadora de banda marca Black & Decker, serie DS321 con lija N°60 y una vez obtenido el polvo de madera, este se tamizó a través de una malla número N°60. Para realizar repeticiones del análisis químico, de cada muestra de polvo de madera obtenido (5), se extrajeron tres sub-muestras, dando un total de 15 sub-muestras.

Las muestras obtenidas fueron llevadas al Laboratorio de Química de la Facultad de Educación, el Arte y la Comunicación, en donde se obtuvo el porcentaje de los componentes químicos de la madera de *J. neotropica*: humedad, ceniza, extractivos, holocelulosa y lignina.

3.2.2. Obtención del contenido de humedad

Para obtener el contenido de humedad de cada muestra, se utilizó tres crisoles vacíos previamente secados en una estufa a 105 °C durante una hora. Posteriormente, y asegurándose que estén fríos, se los pesó y registró como W1, seguidamente se agregó en cada crisol, cinco gramos de muestra, registrándola como W. Los crisoles con las muestras

fueron llevados durante dos horas a la estufa a 105 °C; transcurrido el tiempo se pesó cada uno de ellos. Finalmente, se calculó el porcentaje de humedad contenido en la muestra, con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad: } \frac{(W3 - W2)}{W} \times 100$$

Donde:

W3= W1-W

W= peso de la muestra

W1= cápsula vacía

W2= peso de la cápsula + muestra seca

3.2.3. Obtención ceniza

Para determinar el contenido de cenizas (%), se pesó el crisol y se agregó cinco gramos de muestra; posteriormente se procedió a calcinar la muestra dentro de la mufla en un rango de temperatura de 100 a 600 °C, al observar que la muestra obtuvo un color blanquecino, se procedió a colocar en el crisol dentro de un desecador para que la misma enfriara. Finalmente se pesó y utilizó la siguiente fórmula indicada por la norma TAPPI (2015) T9 wd-75:

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

3.2.4. Obtención de extractivos

Para obtener los extractivos se pesó aproximadamente 4 g de muestra, y se la colocó en un dedal de celulosa, introduciéndola en el extractor Soxhlet. Se conectó con un refrigerante a reflujo y con un balón, el cual previamente se pesó y llenó con 160 ml solvente (Éter de

petróleo). Después se conectó la plancha eléctrica y controló la ebullición del solvente, tomando en cuenta que la extracción termina cuando el solvente esta incoloro en el extractor. Para el porcentaje de extractivos se aplicó la siguiente fórmula, establecida por la norma TAPPI (2015) T 204 cm-07:

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

3.2.5. Obtención de lignina

En un matraz de 250 ml, se pesó 0,1 g de muestra libre de extractivos y se adicionó 1.5ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado al 72 % y se dejó reposar 15 min. Posteriormente se adicionó 60ml de agua destilada, la misma que hirvió a reflujo durante 30 min. En un papel filtro previamente pesado y colocado en un embudo, se filtró la muestra procesada con la ayuda de agua caliente; el papel filtro con los residuos se colocaron en la estufa a 100 °C para secar.

Para obtener el porcentaje de lignina, se utilizó la fórmula establecida por la norma TAPPI (2015) T22 cm-11:

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

3.2.6. Obtención de la holocelulosa

En un matraz de 250 ml, se pesó aproximadamente 1g de muestra libre de extractivos, y se añadió 150ml de solución de clorito de sodio (NaClO₂) al 1,5 % y 10 gotas de ácido acético (CH₃-COOH) concentrado, y llevó a baño maría a 70 °C durante 40 min. Pasado el tiempo se añadió 5 gotas de ácido acético concentrado y aproximadamente 1g de clorito de sodio sólido y se llevó a baño maría por 40 min más. Lo obtenido se filtró en el papel filtro

previamente pesado, lavando los residuos con agua destilada fría. La holocelulosa contenida en el papel filtro, se llevó a la estufa a 105 °C, y finalmente se la pesó.

Con los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de holocelulosa, aplicando la fórmula establecida por la norma TAPPI (2015) T9 wd-75:

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

3.3. Análisis de las propiedades químicas del suelo

3.3.1. Recolección de muestras de suelo

Por cada árbol se tomaron tres muestras de suelo; para ello en diferentes direcciones (N, S, E) a una distancia de dos metros desde la base del árbol, se extrajeron tres terrones de 40 cm de ancho y 20 cm de profundidad. De esta forma al ser cinco árboles se obtuvieron en total 15 muestras de suelo, las mismas que fueron identificadas con su respectiva etiqueta, conformada con los siguientes datos: número de árbol, número de muestra y coordenadas UTM.

El análisis químico de las muestras se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables, para ello, previamente las muestras se dejaron secar, se tamizaron con una malla N°10, se pesaron y etiquetaron.

3.3.2. Obtención de pH

En un recipiente plástico se colocó 20 gramos de muestra de suelo tamizada y se agregó 50ml de agua destilada, se agitó a 400 rpm durante cinco minutos, pasado este tiempo se dejó reposar por 30 minutos y finalmente, mientras se agita manualmente la mezcla se procedió a realizar la lectura del pH con la ayuda de un potenciómetro previamente estandarizado. La interpretación de los resultados se realizó a través de la siguiente tabla.

Tabla 3. Interpretación de pH del suelo

pH	Interpretación
0,0 -< 5,0	Muy ácido
5,0 - 5,5	Ácido
> 5,5 - 6,0	Medianamente 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

3.3.3. Obtención de extractivos

Para la obtención de extractivos se colocó en un recipiente de plástico 2,5 gramos de muestra de suelo tamizada y se agregó 25 ml de solución extractante (Olsen modificado), después de agitó durante diez minutos a 400 rpm, se filtró y finalmente se llevó a refrigeración. A partir de los extractivos se realizan los análisis de: nitrógeno, fósforo y potasio.

3.3.4. Nitrógeno

Se tomó 2,0 ml de la solución de extractivos, se agregó 8,0 ml de fenol básico y se adicionó 10 ml de Hipoclorito de sodio (NaClO); posteriormente reposó por tres horas sin exponerlo a la luz directa, con el fin de mantener por más tiempo el color estable.

Se realizó una curva de calibración, 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 (Anexo 2).

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 en el suelo en partes por millón (ppm).

Elemento	Unidad	Región	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
Nitrógeno	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

3.3.5. Fósforo

Se tomó 1,0 ml de extractivos, posteriormente se agregó 4,0 ml de agua destilada y 5,0 ml de reactivo de color para fósforo y reposó por 1 hora.

Para hacer la curva de calibración, se utilizó las concentraciones de 0 – 30 – 60 – 90 – 120 ppm, tomando como punto más alto (120 ppm) la solución de 12 mg/ml de P y como punto más bajo (0 ppm) la solución extractante.

En el espectrofotómetro UV, se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 680 nm. Al interpretar los datos de absorbancia de las muestras, en la curva de calibración (Anexo 3), se reportó directamente el mg de P por 1 000 ml de suelo (ppm).

Tabla 5. Niveles de interpretación de valores de fósforo disponible (P_2O_5) en el suelo en unidades partes por millón (ppm)

Elemento	Unidad	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
P_2O_5	ppm	< 22.91	22.91 – 45.82	> 45.82	---

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNL

3.4. Análisis estadístico

Los datos de madera obtenidos se registraron en tablas previamente diseñadas, para facilitar el cálculo de valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Además, para mostrar posibles diferencias significativas en las propiedades químicas de la madera, se aplicó a cada una de ellas la prueba no paramétrica de comparación múltiple de medias (Kruskal-Wallis), para este análisis el nivel de significancia mínimo usado es $\alpha = 0,05$. Una vez determinado el nivel de significancia, para determinar que grupos son diferentes, este análisis estadístico permite separar en rangos las medias y de esta manera agrupa con la misma letra a los individuos cuyos valores promedio presenten similitud estadística ($P > 0,05$), individuos cuyos valores promedios presenten diferencias significativas ($P \leq 0,05$) son representados con letras distintas.

Para determinar la relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo, se utilizó la prueba no paramétrica de Spearman y con ello obtener el coeficiente de correlación con un nivel de significancia = 0,05, un coeficiente cercano a -1 y +1 indican asociaciones negativas o positivas respectivamente, valores cercanos a 0 indican que no existe correlación. Para corroborar los datos de correlación obtenidos, se realizó un análisis de componentes principales y se obtuvo un gráfica Biplot ya que estas muestran relaciones entre las variables, ángulos de 90° entre dos variables indican que ambas variables

no se encuentran correlacionadas. Valores menores o mayores a 90° implican correlación positiva o negativa respectivamente. Es decir, un ángulo cercano a cero implica que ambas variables están fuertemente correlacionadas de forma positiva y un ángulo cercano 180° muestra fuerte correlación negativa con (InfoStat, 2008). Para el desarrollo de los análisis previamente mencionados se utilizó el programa estadístico InfoSat/F.

4. RESULTADOS

4.1. Composición química de la madera de *J. neotropica*

En la Tabla 6 se muestran los resultados del promedio y desviación estándar de los porcentajes de los componentes químicos de la madera de cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid que, en promedio la madera de esta especie contiene extractivos en un 5,76 %, ceniza en 1,94 %, lignina en un 13,39 % y 79,31% holocelulosa.

De esta manera los componentes con menor y mayor proporción presentes en la madera son la ceniza y la holocelulosa respectivamente.

Tabla 6. Valores promedio (\bar{X}) y desviación estándar (\pm DS) de los porcentajes de los componentes químicos de la madera de cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid.

Árbol	Componentes químicos de la madera			
	Extractivo % / (DS)	Ceniza % / (DS)	Lignina % / (DS)	Holocelulosa % / (DS)
1	7,16 / (\pm 0,64)	1,64 / (\pm 0,21)	12,32 / (\pm 1,37)	78,88 / (\pm 0,63)
2	4,57 / (\pm 0,66)	1,99 / (\pm 0,47)	13,02 / (\pm 2,74)	80,42 / (\pm 2,38)
3	6,03 / (\pm 0,36)	2,19 / (\pm 0,03)	14,60 / (\pm 1,59)	77,18 / (\pm 1,87)
4	6,53 / (\pm 1,42)	1,81 / (\pm 0,16)	15,98 / (\pm 1,53)	75,67 / (\pm 0,47)
5	4,53 / (\pm 0,51)	2,05 / (\pm 0,03)	11,02 / (\pm 1,24)	84,41 / (\pm 0,87)
\bar{X} (%)	5,76	1,94	13,39	79,31
\pm DS	1,18	0,21	1,94	3,36

En la Figura 7, se observa que el contenido de extractivos presentes en la madera de las cinco especies analizadas, se encuentran entre 4,53 % y 7,16 %, correspondientes a los árboles 5 y 1 respectivamente. Mientras que la proporción de ceniza no supera el 2,19 %, valor correspondiente al árbol número 3. Además, se puede observar que el componente con mayor proporción en los cinco individuos es la holocelulosa, con porcentajes mayores a 75,67 %, siendo el árbol 5 el que posee mayor contenido con 84,41 %; mientras que, en relación al contenido de lignina el árbol 5 presenta el menor porcentaje con 11,02 %.

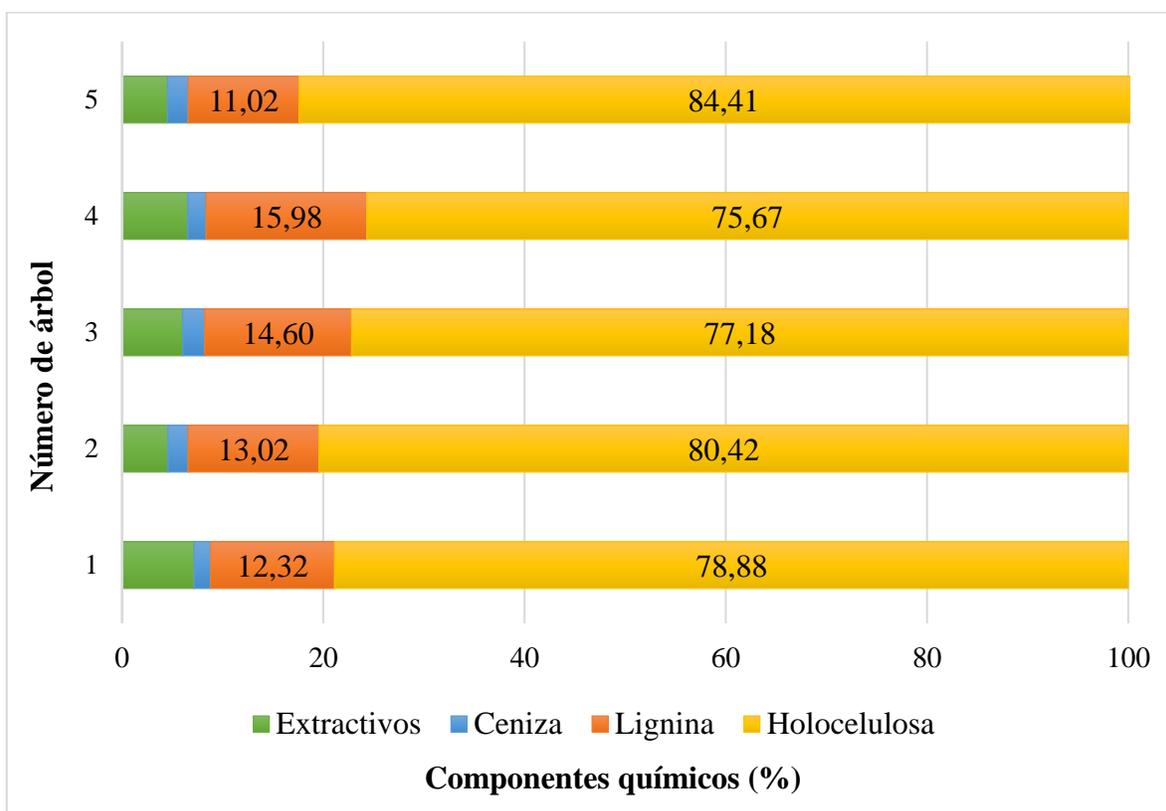


Figura 7. Porcentaje de los componentes químicos de la madera, presente en cinco individuos de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid

Los extractivos y lignina son los componentes químicos de la madera que presentan mayor variabilidad en el porcentaje de sus contenidos entre los individuos de *J. neotropica* analizados, con un coeficiente de variación de 20,47 % y 14,50 % respectivamente, por otro

lado, la ceniza y holocelulosa son los componentes que mostraron menor variabilidad entre los individuos analizados con un coeficiente de variación de 10,99 % y 4,24 % respectivamente (Figura 8).

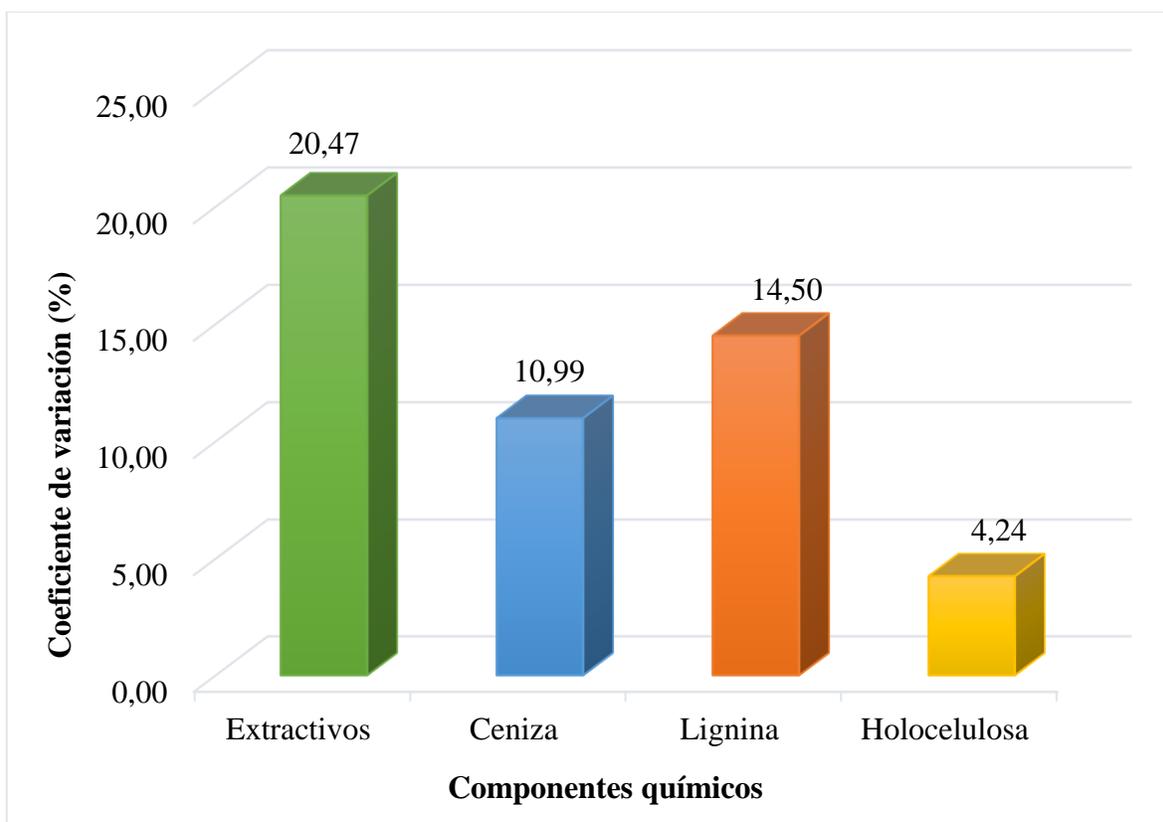


Figura 8. Coeficiente de variación de los componentes químicos de la madera de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid

Al realizar el análisis estadístico de (Kruskal-Wallis) se determinó que existen diferencias significativas ($p = 0,0248$) entre los valores promedio del contenido de extractivos de cinco árboles de *J. neotropica*, de esta forma, en la Figura 9, se indica que el contenido de este componente se encuentra entre 4,53 % (árbol 5) y 7,16 % (árbol 1). Además, se identificó tres grupos de árboles que presentan similitud de valores promedio: grupo A (árbol 2, 3 y 5), grupo B (árbol 2, 3 y 4) y grupo C (árbol 1,3,4).

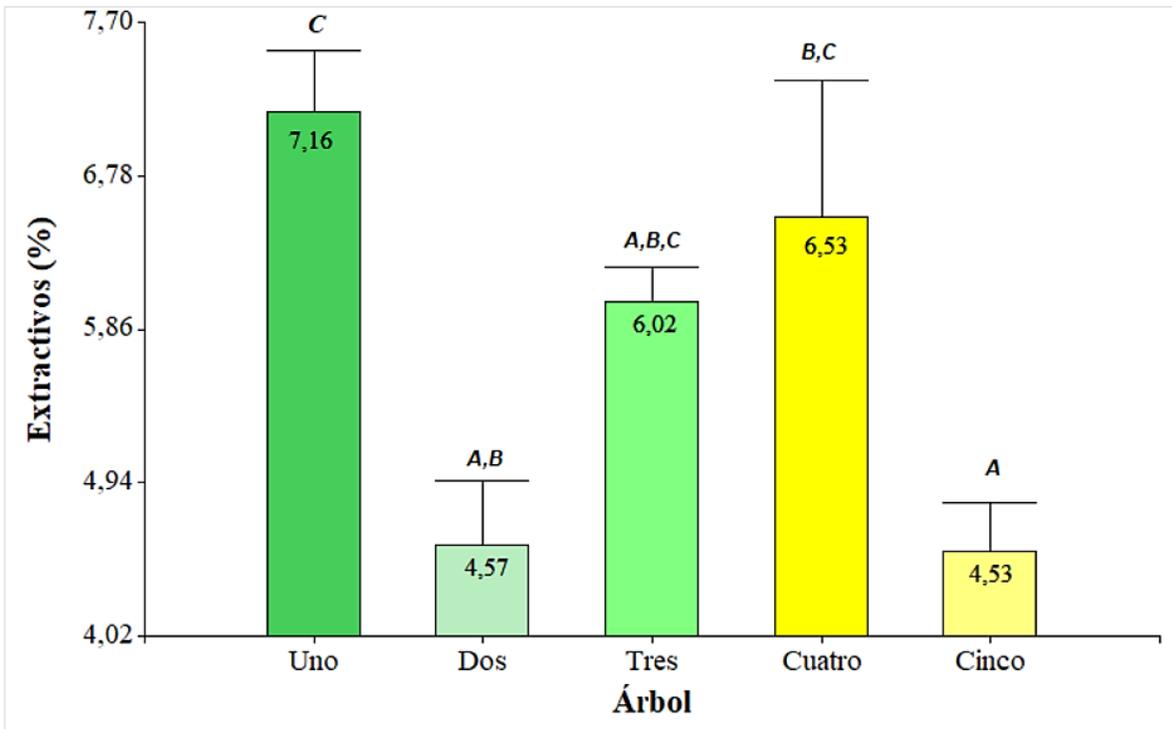


Figura 9. Valores promedio de contenido de extractivos de cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)

El contenido de ceniza presente en los individuos analizados se encuentra entre el 1,64 % (árbol 1) y 2,19 % (árbol 3). Al realizar el análisis estadístico de (Kruskal-Wallis) se determinó que no existen diferencias significativas ($p = 0,0799$) entre los valores promedios del contenido de ceniza, como se indica en la Figura 10, los árboles se designaron en dos grupos: grupo A (árbol 1, 2, 4 y 5) y grupo B (árbol 2, 3 y 5); árboles con una letra en común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) en sus valores promedio, es por ello que, el árbol tres al pertenecer solamente al grupo B presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) con los árboles uno y cuatro correspondientes al grupo A.

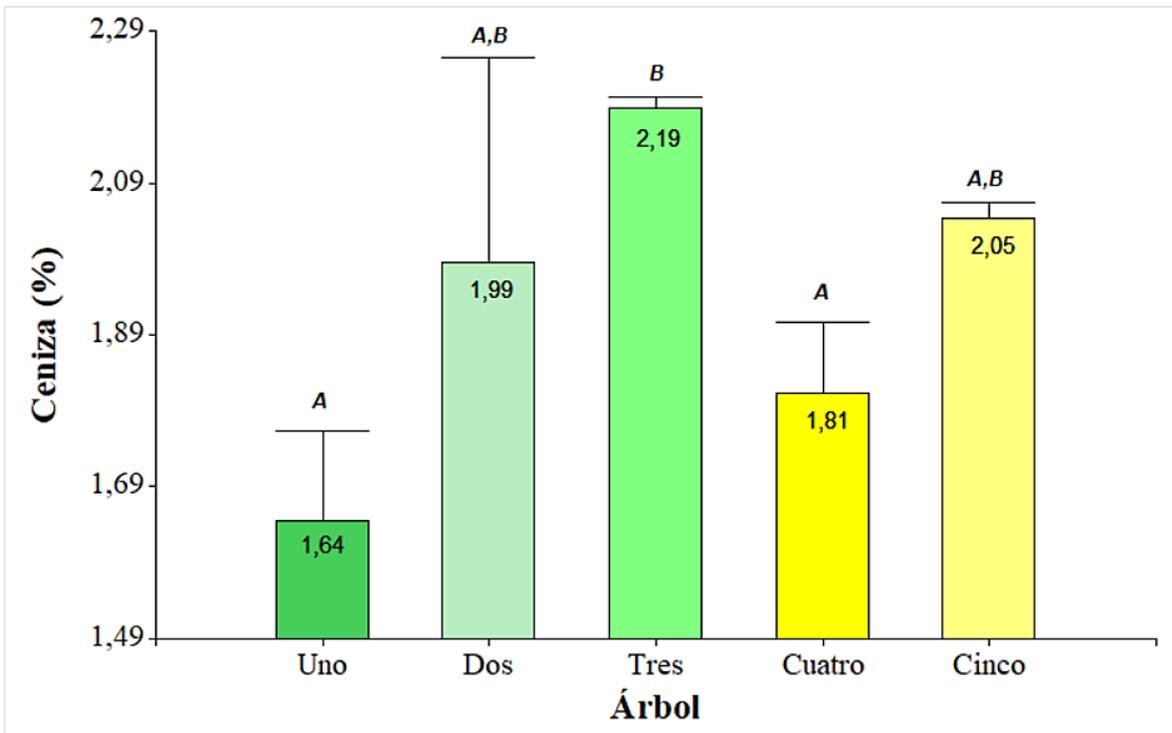


Figura 10. Valores promedio de contenido de ceniza presente en la madera de cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)

Con respecto a los porcentajes de contenido de lignina presente en la madera de los árboles de *J. neotropica* estudiados, se observa que, estos se encuentran entre 11,02 % y 15,98 %, correspondientes a los árboles cinco y cuatro respectivamente (Figura 11). Al realizar el análisis estadístico de (Kruskal-Wallis) se determinó que no existen diferencias significativas ($p = 0,0571$) entre los valores promedio del contenido de lignina; además, se obtuvieron dos grupos de árboles con similitud estadística: grupo A (árbol 1, 2 y 5) y grupo B (árbol 1, 2, 3 y 4). El árbol cinco al pertenecer solamente al grupo A, presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) con los árboles tres y cuatro pertenecientes al grupo B.

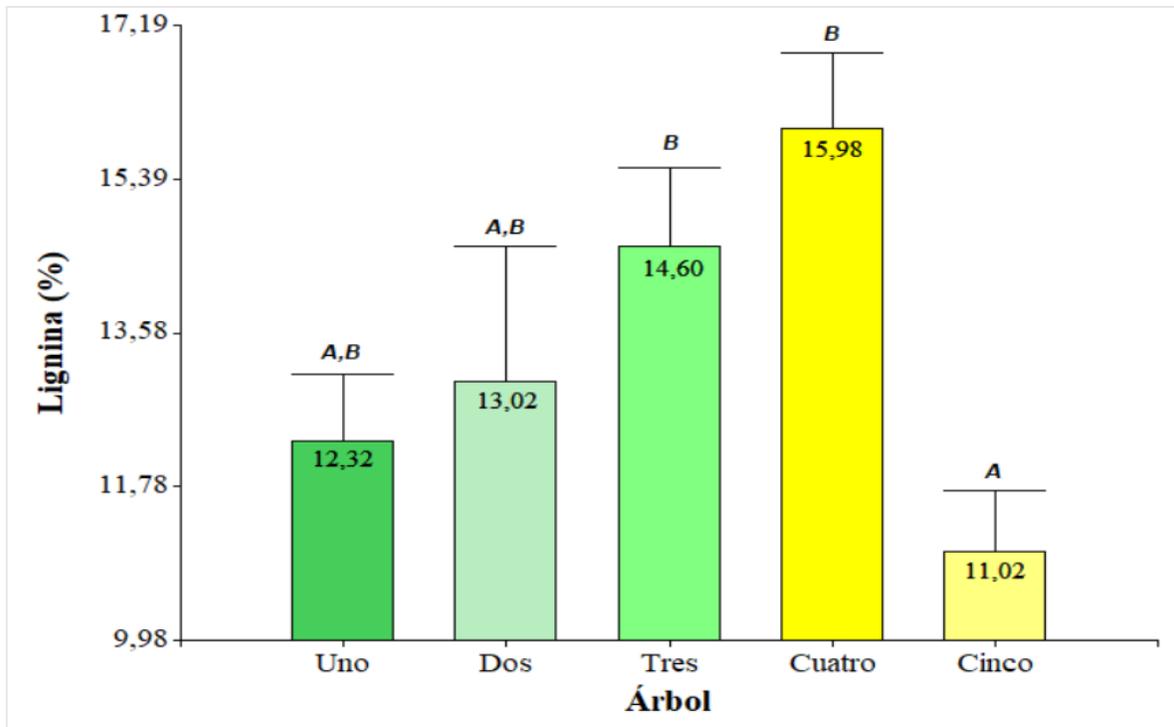


Figura 11. Valores promedio de contenido de lignina presente en la madera de cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)

El análisis estadístico (Kruskal-Wallis) realizado a cinco árboles de *J. neotropica*, evidenció que existen diferencias significativas entre los valores promedio del contenido de holocelulosa, puesto que, se obtuvo un valor de $p = 0,0337$ es decir la probabilidad es menor a 0,05. En la Figura 11, se indica que los porcentajes del contenido de holocelulosa de los árboles estudiados, se encuentran desde 75,67 % (árbol 4) hasta 82,41 % (árbol 1); además, se indica la existencia de tres grupos con similitudes estadísticas: grupo A (árbol 1, 3 y 4), grupo B (árbol 1, 2 y 3) y grupo C (árbol 1, 2 y 5).

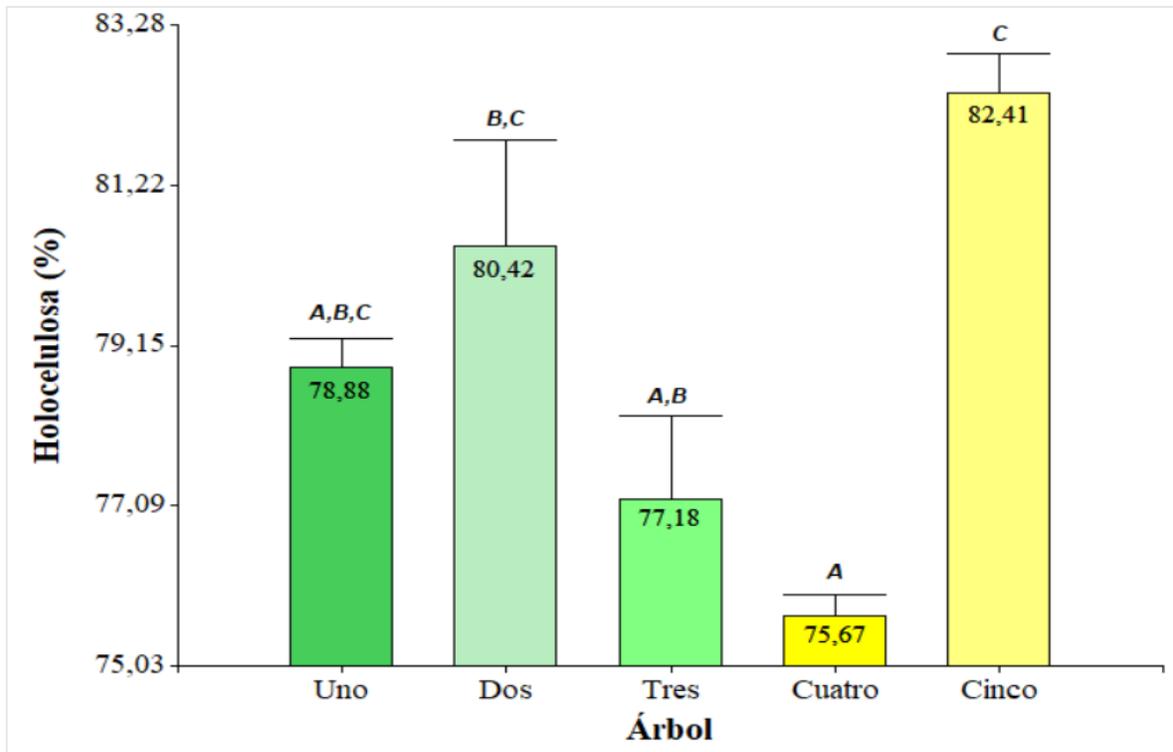


Figura 12. Valores promedio de contenido de holocelulosa presente en la madera de cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$)

4.2. Propiedades químicas del suelo

El análisis de cinco muestras de suelo obtenidas en el área de crecimiento de los árboles de *Juglans neotropica*, mostró que los mismos se desarrollan en suelos ácidos con un pH promedio de 5,2 y con niveles altos de nitrógeno y fósforo con un promedio de 159,35 pm y 57,33 ppm respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Propiedades químicas del suelo del lugar de crecimiento de cinco árboles de *J. neotropica* provenientes de la parroquia Valladolid

Muestra de suelo	Propiedades químicas del suelo					
		pH	Nitrógeno (ppm)		Fósforo (ppm)	
1	4,97	Muy ácido	151,22	Alto	46,47	Alto
2	5,20	Ácido	162,88	Alto	52,22	Alto
3	5,00	Muy ácido	166,27	Alto	54,56	Alto
4	5,50	Ácido	173,44	Alto	53,01	Alto
5	5,37	Ácido	142,95	Alto	80,41	Alto
\bar{X} (%)	5,21	Ácido	159,35	Alto	57,33	Alto
$\pm DS$	0,23		12,19		13,26	
CV (%)	4,42		7,65		23,12	

En relación al pH del suelo, en la Figura 13 se muestra que los valores promedio de esta propiedad varían desde 4,97 (muy ácido) a 5,50 (ácido). Además, se evidenció a través de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que los valores promedios no presentan diferencias significativas ($p = 0,1468$) y se aprecian dos grupos con similitud estadística: grupo A (muestra 1, 2, 3 y 5) y grupo B (muestra 2, 4 y 5).

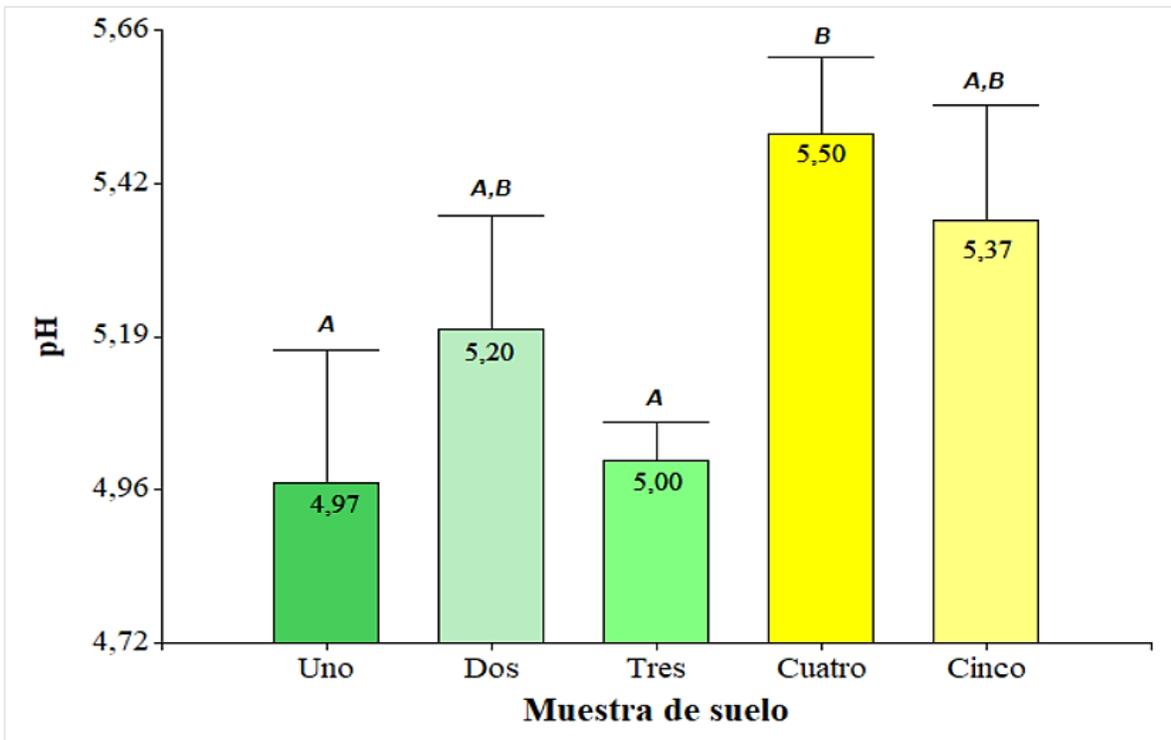


Figura 13. Valores promedio de pH de cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

En la Figura 14, se observa que las cinco muestras de suelo analizadas presentan contenidos altos de nitrógeno, con valores promedio que van desde 142,95 ppm a 173,44 ppm correspondientes a las muestras 5 y 4 respectivamente. Además, se evidenció a través de Kruskal-Wallis, que los valores promedios presentan diferencias significativas ($p = 0,0252$) y se aprecian tres grupos con similitud estadística: grupo A (muestra 1, 2 y 5), grupo B (muestra 1, 2 y 3) y grupo C (muestra 2, 3 y 4).

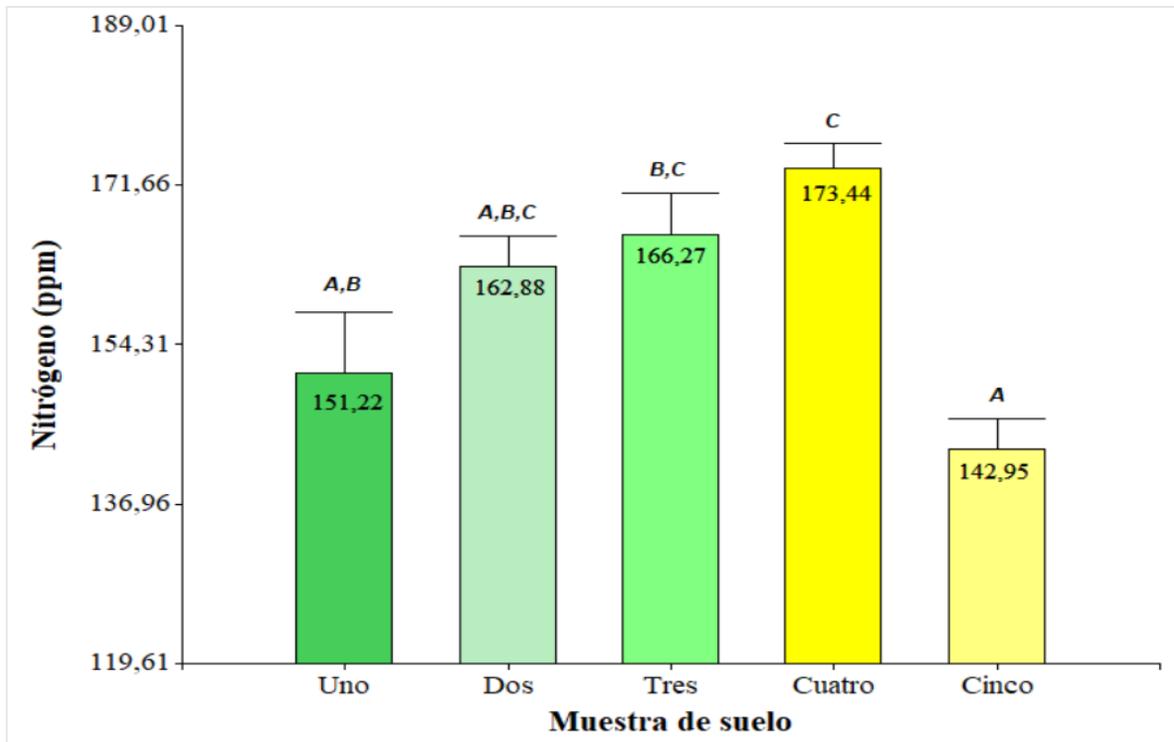


Figura 14. Valores promedio de nitrógeno (ppm) de cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Como se aprecia en la Figura 15, el contenido de fósforo disponible en el suelo de las cinco muestras de suelo analizadas presenta valores promedios que van desde 46,47 ppm (muestra 1) a 80,41 ppm (muestra 5). A través de la prueba de Kruskal-Wallis, se observa que los valores promedios presentan diferencias significativas ($p = 0,0231$) y que existen tres grupos con similitud estadística: grupo A (muestra 1, 2 y 4), grupo B (muestra 2, 3 y 4) y grupo C (muestra 3, 4 y 5).

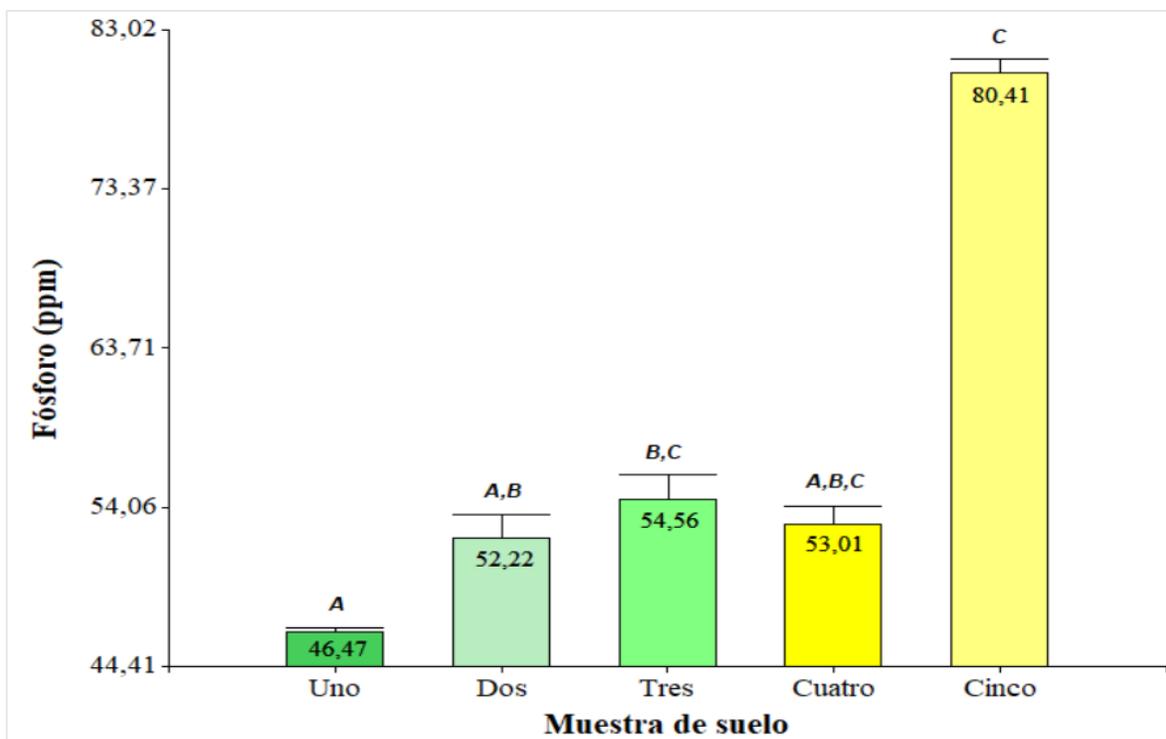


Figura 15. Valores promedio de Nitrógeno (ppm) de cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

4.3. Relación de la composición química de la madera de *J. neotropica* con las propiedades químicas del suelo

A través de la prueba no paramétrica de Spearman, se observó que no existe relación entre valor de pH de las muestras de suelo y los componentes químicos de la madera de *J. neotropica* provenientes de la parroquia Valladolid, puesto que, los coeficientes de correlación no son cercanos a 1 positivo o a 1 negativo, y los grados de significancia son mayores que 0,05.

En cuanto al nitrógeno disponible en el suelo, este presentó relación directamente proporcional con la lignina con un coeficiente de 0,73 (Sig = 0,02), e inversamente proporcional con la holocelulosa ya que se observa un coeficiente de correlación de -0.73

(Sig = 0,002) (Tabla 8). Por lo tanto, cuando mayor es la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, el porcentaje de lignina presente en la madera aumentará y la holocelulosa disminuirá.

El fósforo presenta relación negativa con el contenido de extractivos -0.61 (Sig = 0,02) es decir, el contenido de extractivos disminuye cuando la disponibilidad de fósforo en el suelo aumenta.

Tabla 8. Correlación a través de la prueba no paramétrica de Spearman entre la composición química de la madera de *J. neotropica* y las propiedades químicas de suelo

		Componentes químicos de la madera				
		Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa	
Coefficiente de correlación	Propiedades químicas del suelo	pH	-0,03	0,07	-0,03	0,002
<i>Significancia</i>			0,91	0,81	0,90	0,99
Coefficiente de correlación		Nitrógeno	0,34	-0,04	0,73	-0,73
<i>Significancia</i>			0,22	0,90	0,02	0,002
Coefficiente de correlación		Fósforo	-0,61	0,40	-0,06	0,16
<i>Significancia</i>			0,02	0,14	0,82	0,56

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

Se demostró que la holocelulosa tiene una relación negativa con los extractivos al presentar un coeficiente de correlación de -0.59 (Sig = 0,03) y con la lignina cuyo coeficiente de correlación es -0,92 (Sig = 0,0006); esto quiere decir que en la madera de *J. neotropica* cuando el contenido de holocelulosa aumenta, los contenidos de extractivos y lignina disminuyen (Anexo 8).

Los datos obtenidos a través de la prueba no paramétrica de Spearman se corroboran con el grafico Biplot (Figura 16), en donde se observa que el vector de extractivos y fósforo presentan un ángulo muy próximo a los 180° por lo que existe entre ellos una relación

negativa significativa y ocurre lo mismo entre el vector lignina y holocelulosa. El vector lignina y nitrógeno forman un ángulo muy cercano a cero por lo que poseen una relación positiva significativa. En los vectores holocelulosa – nitrógeno y holocelulosa – extractivos se observa una relación negativa al formar un ángulo mayor a 90°.

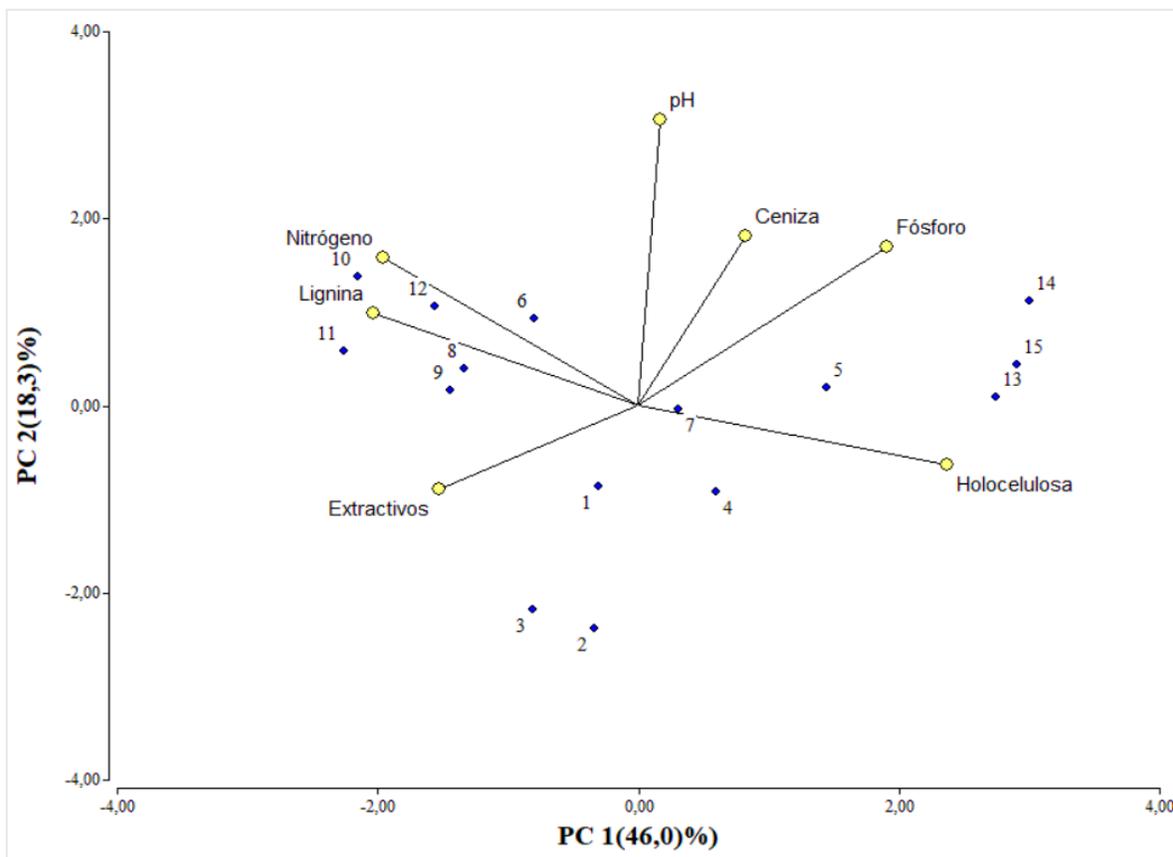


Figura 16. Biplot de relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo de cinco muestras de la parroquia Valladolid.

5. DISCUSIONES

5.1. Composición química de la madera de *J. neotropica*

El análisis de la composición química de la madera en cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid, mostró que el contenido de ceniza posee un valor promedio de 1,94 % y no presenta diferencias significativas entre los árboles estudiados ($p = 0,0799$). Este valor es el mismo obtenido por Anguisaca et al. (2019), en un estudio realizado en árboles de *J. neotropica* provenientes de la Reserva Natural el Tundo. Los resultados concuerdan con el porcentaje de cenizas en madera de latifoliadas establecido por Paz (2008) que se encuentra entre 0,1 % y 5,4 % y por Gonzales H. (2013) el mismo que indica que puede llegar hasta un 5 %. Además, se evidenció que el contenido de cenizas es el componente con el menor porcentaje, lo que concuerda con Romwell (2007), el mismo que menciona, que el contenido de ceniza es relativamente bajo en comparación al resto de componentes químicos de la madera.

El contenido de extractivos presentes en la madera de *J. neotropica* se encuentra en un rango de 4,53 % a 7,16 %, los valores promedio de los cinco árboles analizados presentan diferencias significativas ($p = 0,0248$). Estos valores concuerdan con los porcentajes de extractivos obtenidos con la misma solución (éter), en maderas latifoliadas, establecidos por Paz (2008), que van desde 0,1 % a 7,7 %; y se acercan a los resultados obtenidos por AIDER (2012) en diez especies maderables de Perú (0,90 % a 7,85 %) y con los análisis realizados por Herrera (2013) a seis especies latifoliadas (5,92 % a 8,45 %). El porcentaje promedio de contenido de extractivos de la presente investigación es 5,76 %, el mismo que difiere con Anguisaca et al. (2019) el cual obtuvo un porcentaje de extractivos de 10,43 %, cabe recalcar que este valor también difiere con los autores previamente mencionados. Según Fonseca

(2006), es importante considerar que la cantidad y composición de extractivos no solo depende de la especie, sino de la parte del árbol de donde se extraiga la muestra, época del año, condiciones de crecimiento, entre otros factores.

Sjostrom (1993) menciona que distintas partes de un mismo árbol contienen diferente cantidad y composición química de extractivos. Los extractivos le dan a la madera color, olor, sabor y en algunos casos resistencia a la putrefacción, se considera que el contenido de extractivos se encuentra por debajo de 10 %, valores que se encuentran dentro de los rangos del trabajo realizado.

En relación al contenido de lignina, los valores promedios en la investigación se encuentran entre 11,02 % a 15,98 % ($p = 0,00571$), estos valores son cercanos a los establecidos por Paz (2008), en donde los rangos de lignina para maderas latifoliadas van desde 14,0 % hasta 34,6 % y a lo obtenido por Anguisaca et al. (2019) de 12,29 %. Cabe recalcar que estos porcentajes son menores a lo establecido por Fengel y Wegener (2003), donde el intervalo de valores de lignina publicados para la madera de especies tropicales varía de 21 % a 40 %.

Según Bauer et al. (2012) los resultados de este tipo de análisis pueden variar dependiendo del método que se utilice ya que en los diferentes procesos mecánicos y/o químicos de la obtención de lignina se puede ir perdiendo debido a la naturaleza heterogénea de las materias primas (madera y pulpa); no hay ningún método disponible actualmente para el aislamiento cuantitativo de lignina natural o residual, sin el riesgo de modificar estructuralmente durante el proceso. En este mismo sentido Leal, Juárez y Terán (2011) concluyeron que el valor de lignina puede variar significativamente de acuerdo con la edad del árbol y la altura del fuste que la muestra fue tomada.

El contenido de holocelulosa en cinco árboles de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid, presenta valores promedio de 75,67 % a 82,41 %. Estos valores se encuentran dentro de los rangos establecidos Paz (2008) (71 - 89,1 %) y Fonseca (2006) (70 – 90 %). Además, se relacionan con los datos de holocelulosa obtenidos Anguisaca et.al (2019) que van desde el 70,67 % al 89,06 % y de forma específica con *J. neotropica* del Tundo el mismo que presenta 75,34 %; con los datos obtenidos por Herrera (2013) que van de 78,14 % a 82 % y con los valores obtenidos por Honorato, Colotl, Apolinar y Aburto (2015) en donde el porcentaje de holocelulosa se encuentra desde 77,73 % a 83,52 %. Según Núñez (2008) el contenido de holocelulosa presenta valores bajos porque han perdido hemicelulosas o han perdido reactivos, y presentan valores elevados porque todavía presentan lignina.

Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden variar con los autores mencionados ya que las muestras fueron obtenidas a partir de una rama principal, mientras que otros estudios utilizaron muestras obtenidas a partir del fuste y en el caso particular de Honorato, Colotl, Apolinar y Aburto (2015) a tres niveles de altura (inferior, medio y superior). Según Salazar y Pérez (1998) la composición química de la madera no puede ser definida con precisión para un grupo de especies o cierta especie, ya que ésta varía dependiendo de la parte del árbol, tipo de madera, localización geográfica y condiciones de crecimiento de los árboles influye en la cantidad de holocelulosa en la madera.

5.2. Propiedades químicas del suelo

En el análisis realizado a las cinco muestras de suelo, se observó que los árboles de *J. neotropica* del presente estudio, se han desarrollado en un suelo ácido, puesto que, el pH presenta un valor promedio de 5,21. Esto concuerda con Ospina, Hernández, Aristizabal, Patiño y Salazar (2003), los mismos que mencionan que el mejor desarrollo de *J. neotropica*

se produce cuando existen contenidos altos de materia orgánica y un pH ácido a ligeramente ácido (5,0 – 5,8); también con Palomino y Barra (2003) en donde se establece que una de las características ecológicas necesarias para el desarrollo de esta especie, es que el suelo presente un pH de ácido a neutro (4 – 7,3). Sin embargo, Cabascango (2011) expresa que *Juglans neotropica* prefiere un suelo con pH neutro a algo ácido; y no tolera suelos calcáreos ni muy ácidos.

De acuerdo con Casas (2015) y con Drossopoulos, Kouchaji y Bouranis (1996) el nogal es una especie muy exigente en nitrógeno y más moderado en cuanto a fósforo; esto concuerda con los valores promedios obtenidos en la presente investigación ya que el contenido de nitrógeno presente en el suelo es mayor con 159,39 ppm mientras que el fósforo posee 57,33 ppm, ambos macronutrientes se encuentran en contenidos altos y esto se relaciona con el estudio realizado por Amiri y Gharati (2012) en donde explican que los niveles más altos de macronutrientes mejoran la proliferación y crecimiento de *Juglans*. Además, Román (2016) señala que desde 30 ppm de nitrógeno mineral se considera como un valor adecuado para la normal absorción por la planta, menos de 20 ppm se considera bajo y deficiente para la producción y crecimiento de esta especie. En relación al fósforo disponible en el suelo, Román (2020) establece que este macronutriente debe ser mayor a 10 ppm en especies como el nogal.

5.3. Relación entre la composición química de la madera y las propiedades químicas del suelo.

De acuerdo con Bonilla (1971) y con Clark y Richardson (2002) existe una influencia de los factores edafológicos sobre el desarrollo de los árboles, siendo los macronutrientes (N y P) los que presentan mayor demanda a través del tiempo en las plantas; lo que se evidencia en

el presente estudio, en donde los componentes químicos de la madera de cinco árboles de *J. neotropica* obtenidos en la parroquia Valladolid, poseen relación con los macronutrientes disponibles en el suelo donde se han desarrollado los individuos arbóreos.

El análisis de Spearman indica que el nitrógeno posee una relación positiva con la lignina y una relación negativa con la holocelulosa con coeficientes de correlación de 0,73 y -0,73 respectivamente (Tabla 8), es decir, cuando el nitrógeno disponible en el suelo aumenta, también aumentará la lignina pero disminuirá el contenido de holocelulosa, esto se evidencia cuando el nitrógeno es menor 142,95 ppm (árbol 5), el contenido de lignina y holocelulosa del mismo árbol es de 11,02 % y 82,41 % respectivamente, mientras que, cuando el de nitrógeno es mayor 173,44 ppm (árbol 4) el contenido de lignina aumenta a 15,98 % y el contenido de holocelulosa disminuye a 75,67 % (Tabla 6 y 7). El nitrógeno es importante para la actividad fotosintética, para la formación de biomasa y el crecimiento de los árboles ya que favorece el desarrollo del tallo (Ypushima et.al, 2014). El nitrógeno es absorbido por las plantas en forma de nitrato o de amonio; siendo el tipo de especie, la intensidad lumínica y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, los factores que influyen en la mayor o menor absorción de este elemento por parte de la planta (Marschner, 1998). Sin embargo, el contenido de lignina también se ve afectado por las condiciones climáticas y la presencia de plagas en el lugar en donde se desarrolle la especie; de acuerdo con Prinsen (2013) la lignina cumple un rol importante en el sistema de defensa de la planta al protegerla de ataques físicos y químicos de agentes externos; árboles con menos lignina disminuirían los costos y desperdicios al elaborar productos, pero podrían ser menos resistentes a las plagas y a los vientos fuertes (FAO, 2003). Esto concuerda con los resultados obtenidos en *J. neotropica* puesto que el árbol que presentó mejores características dominantes sobre todo en cuanto

altura (Tabla 2) y el mejor estado fitosanitario es el árbol cuatro, mismo que presenta el contenido más alto de lignina que el resto de individuos muestreados (Figura 11).

El fósforo es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta (FAO, 2002). Según Salisbury y Ross (1992) el fósforo se encuentra relacionado con el contenido de celulosa presentes en la planta, debido que, la deficiencia de este elemento provoca que la producción de proteínas sea muy baja y, por lo tanto, la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reduzcan. Sin embargo, en el presente estudio solo se observa una relación negativa entre el fósforo disponible en el suelo y el porcentaje de extractivos de la madera con un coeficiente de correlación de $-0,61$ y $p = 0,02$, cuando el fósforo es menor $46,47$ ppm (árbol 1) el contenido de extractivos es de $7,16$ % y este disminuye a $4,53$ % cuando el fósforo alcanza $80,41$ ppm (árbol 5). De acuerdo con McLaughlin (1996) y Will (1985) los suelos en los que el fósforo resulta determinante en la variación de la productividad son normalmente ácidos; lo que concuerda con el presente estudio en donde las muestras suelo presentan un pH promedio de $5,21$ (ácido). La acidez del superficial puede servir como indicador de la fertilidad del suelo e indirectamente de la cantidad de fósforo disponible (Afif, Canga, Gorgoso y Cámara, 2008). No obstante, no se evidenció ninguna relación entre los compuestos químicos de la madera, ni los macronutrientes del suelo con el pH presente.

La holocelulosa posee una relación negativa con los extractivos con un coeficiente de $-0,59$ (Tabla 8), puesto que, cuando el porcentaje de holocelulosa es menor $75,67$ % (árbol 4), el contenido de extractivos es de $6,53$ %, sin embargo, este valor disminuye a $4,53$ %, cuando el contenido de holocelulosa aumenta a $82,41$ % (árbol 5) (Tabla 6 y 7). También, se observa que existe una relación inversamente proporcional entre la holocelulosa y la lignina con

coeficiente de $-0,92$ con $0,0006$ grados de significancia, resultados que son similares a los obtenidos por Quito (2019) en una especie latifoliada con un coeficiente de correlación $0,971$ con nivel de significancia igual a $0,001$.

6. CONCLUSIONES

- El contenido de los componentes químicos de la madera de *J. neotropica* de la parroquia Valladolid se encuentra dentro de los rangos establecidos para especies tropicales. La ceniza es el componente con menor porcentaje presente en la madera de esta especie.
- La mayor o menor concentración de los componentes químicos presentes en la madera de *J. neotropica* se ve influida por la disponibilidad de macro elementos en el suelo.
- Niveles altos de nitrógeno disponible en el suelo causan disminuciones en el contenido de holocelulosa y por lo tanto un aumento en el contenido de lignina de la madera de *J. neotropica*.
- Los extractivos de la madera y el fósforo del suelo presentaron coeficientes de variación mayores al 20 %, y al estar estadísticamente correlacionados se infiere que los extractivos de la madera son susceptibles a cambios en los niveles de fósforo del suelo, altos niveles de este elemento provocan una drástica disminución de los extractivos presentes en la madera de *J. neotropica*.
- El pH del suelo no ejerció ninguna influencia en la concentración de holocelulosa, lignina, extractivos ni ceniza presente en la madera de los individuos de *J. neotropica* procedentes de la parroquia Valladolid; sin embargo, los niveles de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos para el normal crecimiento y desarrollo de esta especie.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios sobre la composición química de la madera *J. neotropica* y su relación con las propiedades químicas del suelo; en diferentes ecosistemas, tomando muestras de árboles de diversas edades y a diferentes alturas del fuste, para de esta forma determinar la variabilidad que puede presentar los componentes de la madera, con la finalidad de establecer las condiciones óptimas para el desarrollo y mejor aprovechamiento de esta especie.
- Promover el estudio de la composición química de la madera de otras especies tropicales de gran importancia económica y ecológica para la región Sur de Ecuador y comparar los resultados porcentuales con los obtenidos en la presente investigación.
- Realizar estudios orientados a descubrir el potencial industrial y las posibles aplicaciones de los componentes de químicos de la madera de *J. neotropica*.
- Investigar nuevas técnicas y procedimientos para la determinación de la composición química de la madera, con el fin de optimizar costos, reducir el tiempo y mejorar los resultados en los estudios futuros.
- Al plantar árboles de *J. neotropica*, se recomienda tener en cuenta la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo, ya que altos valores de este elemento aumentan el contenido de lignina en la madera. En este sentido, valores altos de lignina permiten que los árboles sean más resistentes a las plagas y vientos fuertes, sin embargo, los procesos de elaboración de productos a partir de la madera serían más costosos y complicados.

8. BIBLIOGRAFÍA

Abril, M. F. (2016). *Optimización de la reacción de hidrólisis ácida de los residuos de la planta de banano, para mayor rendimiento a glucosa*. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25974/1/Tesis.pdf>

Afif, E., Canga, E., Gorgoso, J., y Cámara, M. (2008). *Relación entre las propiedades del suelo, incremento en volumen anual y el estado nutricional de Eucalytus globulus y Pinus radiata D. Don en Asturias (Noroeste de España)*.

Aguilar, J., y Guzowski, E. (2011). *Materiales y materias primas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.: Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Recuperado de <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/madera.pdf>

Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Ojeda, T., Samaniego, N., Furniss, M., y Aguirre, Z. (2017). *Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador*. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 18-29.

AIDER. (2012). *“Estudio de la composición química de la madera de diez especies maderables potenciales de bosques secundarios y primarios residuales”*. Perú. Recuperado de http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%20report%20-%20Estudio%20de%20composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica.pdf

Alegría, W. (2016). *Texto básico para profesional en Ingeniería Forestal. En el área de fisiología vegetal*. Iquitos-Perú. Recuperado de <https://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/forestales/descargas/publicaciones/FISIO-TEX.pdf>

- Amiri, M., y Gharati, S. (2012). *Influence of medium composition on multiplication of walnut (*Juglans regia L.*) growth*. Journal of Medicinal Plants Research, 6(8), 1482-1485.
- Anguisaca, F., Rey, Y., Luzón, C., Jumbo, N., Fernández, P., González, J., y Pucha-Cofrep, D. (2019). *Caracterización química de cinco especies forestales en el sur de Ecuador*. Loja: *Bosques Laitud Cero*, 9(1).
- Ardon, H. (2015). *Efecto de fuentes de potasio sobre la concentración de sólidos solubles en sandía variedad Mickey Lee*. Universidad Rafael Landívar. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/01/Ardon-Hugo.pdf>
- Armijos, A., Alvarado, J., Quito, J., León, T., Guamán, L., y Pucha, D. (2017). *Anatomía de la madera de diez especies forestales de bosque andino del sur del Ecuador*. Loja: CEDEMAZ. Recuperado de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/375/330>
- Barroso, D., Mazzei, F., Campos, R., Reis, A. y Cruz, L. (2005). *Diagnóstico de deficiência de macro nutrientes em mudas de teca*. Reviste *Árvore*. Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000500002
- Basaure, P. (2005). *Composición química de la celulosa y lignina*. Chile.
- Batres, S. (2009). *Caracterización química de la madera del primer rale de Palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) a nivel de laboratorio, proveniente del Ingenio Pantaleón, Siquinalá, Escuintla, Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1109_Q.pdf

- Bauer, S., Sorek, H., Mitchell, V., y Ibáñez, A. (2012). *Characterization of Miscanthus giganteus lignin isolated by ethanol Organosolv process under reflux condition*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60, 8203-8212.
- Bermúdez, J., Touza, M., y Sanz, F. (2014). *Manual de la madera de Eucalipto blanco*. Madrid: Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia (CIS-Madera). Recuperado de <http://www.cismadeira.es/Galego/downloads/1.eucaliptoblanco.pdf>
- Bonilla, J. (1971). *La influencia del suelo y el clima en el crecimiento de los árboles en las regiones templadas*. Recuperado de <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap05.pdf>
- Cabascango, M. (2011). *Evaluación de cuatro tipos de sustratos y tres niveles de humus en la obtención de plántulas de nogal (Juglans neotropica) en la zona de Otavalo, Provincia de Imbabura*. Recuperado de <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/128/T-UTB-FACIAG-AGR-000034.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Calvache, M. (2009). *Curso de física de suelos*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Carballo, L. (1990). *The influence of chemical composition and age of caribea pine Wood (Pinus caribea) on the physical and mechanical properties as well as on the yield of sulfite pulp*. Rep. Eslovaca: University College of Forestry and wood Technology. Faculty of wood Technology.

- Casas, M. (2015). *Producción de madera de nogal*. Cultivos forestales y micológicos . Recuperado de <http://www.cultivosforestales.com/es/preguntas-frecuentes/informacion-de-producto/produccion-de-madera-de-nogal>
- Castillo, C. (2005). *Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma- La Dalia Matagalpa*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/tnp35c352.pdf>
- Chuman, J. (2007). *Determinación de la composición química del Acrocarpus fraxinifolius (Cedro rosado), proveniente de la zona de Aguaytua*. Tingo María, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Departamento Académico de Ciencias de los Recursos Naturales Renovables. Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/699/T.FRS-77.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Clark, C., y Richardson, A. (2002). *Biomass and mineral nutrient partitioning in a developing tamarillo (Solanum betaceum) crop*. Sci. Hort. 94, 41-51. Doi: 10.1016/S0304-4238(01)00355-7.
- Cruz, J. (2011). *Consideraciones tecnológicas en las protección de la madera*. México: Transferencia de Tecnología : Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Recuperado de conafor.gob.mx/biblioteca/Consideraciones-tecnologicas-de-la-madera.pdf

- Cuervo, L. (2001). *Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol*. Centro de Investigación en Biotecnología, 13.
- Dence, C., y Lin, S. Y. (1992). *General structural features of lignin*. In: Lin, S.Y., Dence, C.W. (Eds.), *Methods in Lignin Chemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 3-6.
- Donahue, R., Miller, R., y Shickluna, J. (1981). *Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas*. Ciudad de México, México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- Drossopoulos, J., Kouchaji, G., y Bouranis, D. (1996). *Seasonal dynamics of mineral nutrients by walnut tree fruits*. Journal of Plant Nutrition 19(2): 435-455 .
- Echarri, L. (1998). *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*. España: Universidad de Navarra.
- Echeverría, M. (1997). *Propagación invitro del Nogal (Juglans Neotropica Diles)*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte Ibarra.
- Espinosa, A., y Salazar, A. (2011). *Propiedades Físico-Mecánicas de uniones clavadas y empernadas, sometidas a compresión, con madera tipo A, tipo B y tipo C. Guayacán, Eucalipto y Fernan Sánchez; para el diseño estructural de la cubierta del proyecto casa Montufar 623 (FONSAL)*. Sangolquí, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Etiégni, L., y Campbell, A. G. (1991). *Physical and chemical characteristics of wood ash*. Bioresour. Technol. 37, 173-178
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y uso*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO. (2003). *Árboles, ciclos largos y profundas interrogantes*. Recuperado de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/gmo6.htm>

- FAO. (2004). *Tendencia en los últimos años y situación actual del sector forestal del país*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/j4524s/j4524s00.htm#TopOfPage>
- FAO. (2006). *Los bosques y el cambio climático: La gestión forestal es fundamental para afrontar el cambio climático*. Recuperado de <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>
- FAO. (2011). *Propiedades químicas del suelo*. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s04.htm
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>
- FAO. (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. (2016). *Propiedades físicas del suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>. [15 Junio 2017].
- Fengel, D., y Wegener. (2003). *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Verlag Kessel, Remagen, Alemania. 613 p.
- Fernández , L., y Rojas, N. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*

- Fonseca, M. (2006). *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (Pinus maximinoi H. E. Moore) procedente de la finca río frío, tactic, alta Verapaz (Tesis de pregrado)*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Flores, L., y Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Giménez, A. M., Ríos, N., y Moglia, G. (2000). *Relación albura-duramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca*. Recuperado de https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/q8_06-Anamaria.pdf
- Gonzales, H. (2013). *Transformación química de la madera*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina. Recuperado de https://www.academia.edu/7993070/Transformaci%C3%B3n_Qu%C3%ADmica_de_la_madera
- Gonzales, M. (2005). *Determinación de la composición química de la madera del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú*. Guatemala.
- Guardiola, J., y Amparo, G. (1995). *Fisiología Vegetal, Nutrición y Transporte, Editora Síntesis, Valencia, España, .27-63 p.*
- Gutiérrez, A. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Departamento de Biotecnología Vegetal. Sevilla.

- Henríquez, C. (2015). *Efecto del uso del suelo sobre las formas de fósforo de un andisol*.
Universidad de costa rica. Revista Agronomía Costarricense, Vol. 39. p 79-85.
- Hernández, R. (2001). *Proceso de crecimiento, desarrollo y diferenciación en las plantas*.
Recuperado de http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/crecimiento_vegetal/
- Herrera, A. (2013). *Determinación de la densidad en madera, poder calorífico y composición química en corteza y madera de seis especies de latifoliadas*. Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/189/FITECMA-M-2013-1097.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Honorato, J. A., Colotl, G., Apolinar, F., y Aburto, J. (2015). *Principales componentes químicos de la madera de Ceiba pentandra, Hevea brasiliensis y Ochroma pyramidales*.
Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/309143325_Principales_componentes_quimicos_de_la_madera_de_Ceiba_pentandra_Hevea_brasiliensis_y_Ochroma_pyramidales
- Hook, D., Brown, C., y Wetmore, R. (1972). *Aeration in trees. Bot. Gaz. 133 (4): 443- 454.*
- IAWA. (1964). *Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Committee on Nomenclature*. International Association of Wood Anatomists. 186 p.
- INEFAN. (1997). *Alternativas técnicas para manejar sustentablemente los bosques andinos*. Ecuador: Proyecto Desarrollo Forestal Campesino.
- InfoStat (2008). InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina. 186-

https://www.researchgate.net/publication/283491340_Infostat_manual_del_usuario

INIA. (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología. Jornada de Puertas Abiertas*. Recuperado de

<http://inia uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/E1%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>

IPNI. (1997). *Manual Internacional de fertilidad de los suelos*. Quito, Ecuador.

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Kaiser, J. A. (2005). *A true walnut straight from the tropics. Wood of the month, 1, 34*.

Klemm, y Philipp. (2001). *Fundamentals and Analytical Methods. En Comprehensive Cellulose Chemistry*.

Koach, P. (1972). *Utilization of the southern pines. vol. 1 The raw material*. USDA Forest Service. pp. 202-203. .

Leal, L., Juárez, V., y Terán, M. (s.f.). *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/>

Lechón, M. J. (2014). *Determinación de la variabilidad en el grado de fertilidad de los suelos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha*. Quito: Universidad Central Del Ecuador. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/T-UCE-0004-18.pdf>

- López, M. A. (2016). *Determinación de la confiabilidad de los métodos de ollas isobáricas y centrífuga para la determinación de capacidad de campo y punto de marchitez permanente*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Carrera de Ingeniería Agronómica. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/T-UCE-0004-33.pdf>
- MAE y FAO. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito. Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrición mineral de plantas*. Sao Paulo, Brasil: Ceres.
- Mannig, W. E. (1978). *he classification within the Juglandaceae*. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 65(4), 1058-1087.
- Mansouri, N. E. (2006). *Despolimerización de lignina para su aprovechamiento en adhesivos para producir tableros de partículas*. Tarragona: Universitat Rovira i Virgili. Escola Tècnica Superiora d'Enginyeria Química. Departamento d'Enginyeria Química. Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8538/TesisNourEddineElMansouriTDX1.pdf?sequence=1>
- Marschner, H. (1998). *Mineral Nutrition of higher plants*. Academic Press, San Diego, 889 p.
- Martínez, J. (2015). *Aspectos del suelo para la producción de hortalizas*. Recuperado de <http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidrus/hortalizas/3suelo.pdf>

- Martinez, P. (2013). *Caracterización química y estructural de hemicelulosas de genotipos de Eucalyptus globulus contraste en densidad y rendimiento pulpable*. Concepción-Chile: Universidad de Concepción. Recuperado de http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/908/1/Tesis_Caracterizacion_Quimica_y_Estructural.Image.Marked.pdf
- Mclaughlin, M. (1996). *Phosphorus in Australian forest soil*. En: *Nutrition of Eucalyptus*. Attiwill P.M. y Adams M.A. (Eds.), CSIRO Publishing. Collingwood, Australia, pp. 1-30. .
- Medina, M. (2015). *Caracterización y Análisis de la Diversidad de Artrópodos (Clase: Insecta y Orden: Aràneae) en un Bosque Húmedo Pre Montano Occidental del Ecuador*. Guayaquil . Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/91586/D-CD88243.pdf>
- Mekonnen, K. (2006). *Performance of eight tree species in the highland Vertisols of central Ethiopia: growth, foliage nutrient concentration and effect on soil chemical properties*. *New Forest*, v.32, n.3, p.285-298.
- Miralles, I. (2006). *Calidad de suelos en ambientes calizos mediterráneos: Parque Natural de Sierra María-Los Vélez*. Granada: Universidad de Granada. Recuperado de <https://hera.ugr.es/tesisugr/1644677x.pdf>
- Moreira, F., y Siqueria, J. (2002). *Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo*. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. (EDS). *Microbiologia e bioquímica do solo*. Editora UFPA, Lavras. 626 p

- Moya, R y Perez D. (2008). *Effects oh physical chemical soil properties on physical wood characteristics og Tectona grandis plantations in Costa Rica*. Forest Research Institute Malaysia
- Moya, R., Arce, V., Gonzalez, E., Olivares, C., y Rios, V. (2010). *Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (Tectona grandis)*. Scielo. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n6/a17v34n6.pdf>
- Núñez, E. (2008). *Química de la madera*. Recuperado de <http://www.cenunez.com.ar/archivos/69-Paz>
- Ospina, C., Hernández, R., Aristizabal, F., Patiño, J., y Salazar, J. (2003). *El cedro negro: una especie promisoría de la zona cafetera*. Chinchiná, Colombia. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot025.pdf>
- Padilla, W. (2007). *Fertilización de Suelos y Nutrición Vegetal*. Quito, Ecuador. Clínica Agrícola. AGROBIOLAB. 327 p.
- Palomino, J., y Barra, M. (2003). *Especies forestales nativas con potencial para reforestación en la provincia Oxapampa y fichas técnicas de las especies de mayor prioridad*. Programa Selva Central Oxapampa. Recuperado de <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/70.pdf>
- Panshin, A. J., y De-Zeeuw. (1970). *Textbook of wood technology, vol. 1, third edition, Structure, Identification, Uses and Properties of the Commercial Woods of the United States and Ganada. Me. Graw Hill Series in Foresta Fesources. E.E.U.U. 652p.*

- Paz. (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. Guatemala.*
- PDOT Valladolid. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Valladolid 2015-2019.* Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160034300001_ACTUALIZACION%20DEL%20PLAN%20DE%20DESARROLLO%20Y%20ORDENAMIENTO%20TERRITORIAL%20DE%20LA%20PARROQUIA%20VALLADOLID%20_13-10-2015_11-49-36.pdf
- Pérez, G. (1996). *Introducción a la filosofía vegetal.* Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Presa, J. M. (2015). *Estructura, composición y clasificación de la madera.* CEDRIA. Recuperado de <http://blog.cedria.es/wp-content/uploads/2015/04/ALBURA-N1-ESTRUCTURA-COMPOSICION-Y-CLASIFICACION-DE-LA-MADERA.pdf>
- Pretell, J. (1985). *Apuntes sobre algunas especies forestales nativas de la sierra nativa peruana. Lima.*
- Prinsen, P. (2013). *Caracterización química y estructural de lignina y lípidos de materiales lignocelulósicos de interés industrial.* Sevilla: Universidad de Sevilla. Recuperado de file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/I_T-PROV34.pdf
- Quito, J. (2019). *Composición química de la madera de Schizolobium papyba (Velle) S.F. Blake (Pachaco) de una plantación de la Quinta Experimental El Padmi, Provincia de Zamora Chinchipe.*

Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Bogotá.

Recuperado de
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

Raven, P., Evert, R., y Eichhorn, S. (1992). *Biología de las plantas*. REVERTÉ.S.A.

Recuperado de
https://books.google.com.ec/books?id=xvNd3udrh1YC&pg=PA470&lpg=PA470&dq=que+es+el+cambium+vegetal+libro&source=bl&ots=jne5QJHAYI&sig=ACfU3U2KhK6b0fabY42eNwvWzSVGRLIjvA&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjVv82up_XmAhVoqlkKHUgXDA0Q6AEwFH0ECAsQAQ#v=onepage&q=que%20es

Rigatto, P., Dedecek, R., y Monteiro de Matos, L. (2004). *Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de Pinus taeda para produção de celulose kraft*. Revista Árvore v.28, n.2, p.267-273.

Rivera, P. (2016). *Morfoanatomía Vegetal*. Trujillo: Universidad de los Andes. Recuperado de file:///C:/Users/Usuario%20iTC/Downloads/morfoanatomia_vegetal.pdf

Rodríguez. (1988). *Caracterización anatómica de las maderas latifoliadas y claves macro y microscópicas para la identificación de 120 especies*. Francisco Jose de Caldas.

Rojas, F., y Torres, G. (2008). *Áboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción*. KURÚ, 1-3.

Román , S. (2020). *Diagnóstico y Acondicionamiento de Suelos para la Plantación de Huertos Frutales*. Recuperado de <https://www.agrovitra.com/acondicionamiento-de-suelos>

- Román, S. (2016). *Diagnóstico del suelo, agua y planta para la fertilización y riego del Nogal. Dinámica Nutricional*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/309137895/Analisis-de-asdNitrogeno-en-Nogal>
- Romero, H. (2015). *Hidrólisis enzimática de biomasa celulosa obtenida de la cáscara de banana maduro mediante Trichoderma sp. para la obtención de bioetanol*. Universidad Técnica de Machala. Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2824/3/CD0000-22-TRABAJO%20COMPLETO.pdf>
- Romwell, R. M. (2007). *Composite materials from forest biomass: A review of current practices, science, and technology*. In: D.S. Argyropoulos, ed. *Materials, chemicals, and energy from forest biomass, ACS Symposium series 954*. American Chemical Society. EUA, p:76-92.
- Rubio, J. (2012). *Las propiedades químicas del suelo*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/jhonjairorubio/las-propiedades-quimicas-del-sueloH>
- Salazar , A., y Pérez, J. (1998). *Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla*. Rev. Madera y Bosque. 4 (2), 79-93.
- Salisbury, F., y Ross., C. (1992). *Plant physiology*. (4th. ed.), Wadsworth Publishing, Belmont, 662p.
- Sandoval, J., Muñoz, S., Alvarez, E., Moreno, R., & Quintero, W. (2013). *Materiales de construcción: Madera*. Cúcuta, Colombia: Universidad Francisco de Paulla Santander.

- Sandoval, L., y Venegas, O. (2009). *Elaboración de turrón duro con quinua (Chenopodium quinoa L.) y almendra de nogal (Juglans neotropical)*. Ecuador: Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Técnica del Norte.
- SEMARNAT. (2009). *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=xjjxf_Cwx0sC&pg=PA34&lpg=PA34&dq=Los+efectos+del+cambio+clim%C3%A1tico+sobre+la+vida+pueden+observarse+a+distintos+niveles,+que+incluyen+respuestas+de+los+organismos+a+nivel+individual,+en+las+interacciones+con+otras+e
- Silva, S., y Correa, F. (2009). *Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica*. Universidad de Medellín. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1650/165013122001.pdf>
- Sjostrom. (1993). *Wood chemistry fundamentals and applications*. New York, Academic Press. 98-103, 223p.
- Someshwar, A. V. (1996). *Wood and combination wood-fired boiler ash characterisation*. *J. Environ. Qual.* 25, 962-972.
- Sousa, F. D., y Martínez, G. (2010). *Perspectivas biotecnológicas de hemicelulosas vegetales*. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 7.
- Stanley, R. G. (1969). *Extractives of wood, bark, and needles of the southern pines*. *Forest Products Journal*. vol 19 (11). pp 50-56 .
- Stevenson, F. J. (1982). *Origin and distribution of nitrogen in soil*. Madison. ASA. Agronomy Monograph. 22: 142.

- Suñer, L. G. (2015). *Formas de fósforo edáfico como indicadores del efecto de las prácticas de manejo en la región Pampeana Argentina*. La Coruña. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/61916554.pdf>
- Thirakul, S. (1998). *Manual de dendrología para 146 especies forestales del litoral atlántico de Honduras*. Republica de Honduras. Recuperado de [http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2017/Technical/pd8-92-4%20rev2\(F\)%20s%20pg1-169_Manual%20de%20Dendrolog%C3%ADa_S.pdf](http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2017/Technical/pd8-92-4%20rev2(F)%20s%20pg1-169_Manual%20de%20Dendrolog%C3%ADa_S.pdf)
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). (2015). Normativa de la Asociación técnica de la industria de la pulpa y el papel. Recuperado de https://www.tappi.org/content/pdf/standards/numeric_index_tms.pdf
- Tisdale, S., Nelson, W., y Beaton, J. (1985). *Soil and fertilizer phosphorus*. In *Soil Fertility and Fertilizer*. Nueva York, Estados Unidos de América, McMillan Publishing Company. p. 189-248.
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras*. Tegucigalpa, Honduras: IICA. Recuperado de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=F0236B9593CBE010DCD13AD9CBD5B452?sequence=1>
- Toro, E., y Roldán, I. (2018). *Estado del arte, propagación y conservación de Juglans neotropica Diels., en zonas andinas*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322531210_Estado_del_arte_propagacion_y_conservacion_de_Juglans_neotropica_Diels_en_zonas_andinas

Torres Romero. (1983). *Contribucion al conocimiento de las plantas tintoreas en Colombia*. INICIATUR Y COLCIENCIAS, 200.

Urrelo, D., Leal, L., y Bozo, C. (2016). *Composición química de la madera de Tabebuia impetiginosa (Mart. Ex DC) Standley proveniente de la comunidad rural Ocho Hermanos, Municipalidad El Carmen Rivero Torrez, Departamento de Santa Cruz*. La Paz, Bolivia: Revista Boliviana de Química, vol. 33, núm. 3. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4263/426347540001.pdf>

Urrelo, D., Leal, L., y Bozo, Z. (2016). *Composición química de la madera de Tabebuia impetiginosa (Max. Ex DC)Standeley proveniente de la comunidad rural Ocho hermanos, Municipalidad El Carmen Rivero Rorrez, Departamento de Santa Cruz*. La Paz, Bolivia: Revista Boliviana de Química, vol 33, núm. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4263/426347540001.pdf>

Vásquez, G. (1996). *Análisis de sobrevivencia y crecimiento inicial del nogal (Juglans Neotropica Diels) en dos sistemas de plantación con fertilización empleando dos tipos de plantas*. Tesis de grado.Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador. Página 36-40.

Will, G. (1985). Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. F.R.I. bulletin nº 97, Rotorua, New Zealand. .

Ypushima, A., Salcedo, E., Manríquez , E., Silva, J., Zamora, J., y Hernández, E. (2014). *Propiedades de la madera y relación nutrimental con el crecimiento en Teca*.

Zea, O. (2015). *Estudio y análisis del fruto seco Tocte (Juglans neotrópica) y su aplicación en la pastelería*. Universidad de Guayaquil. Recuperado de

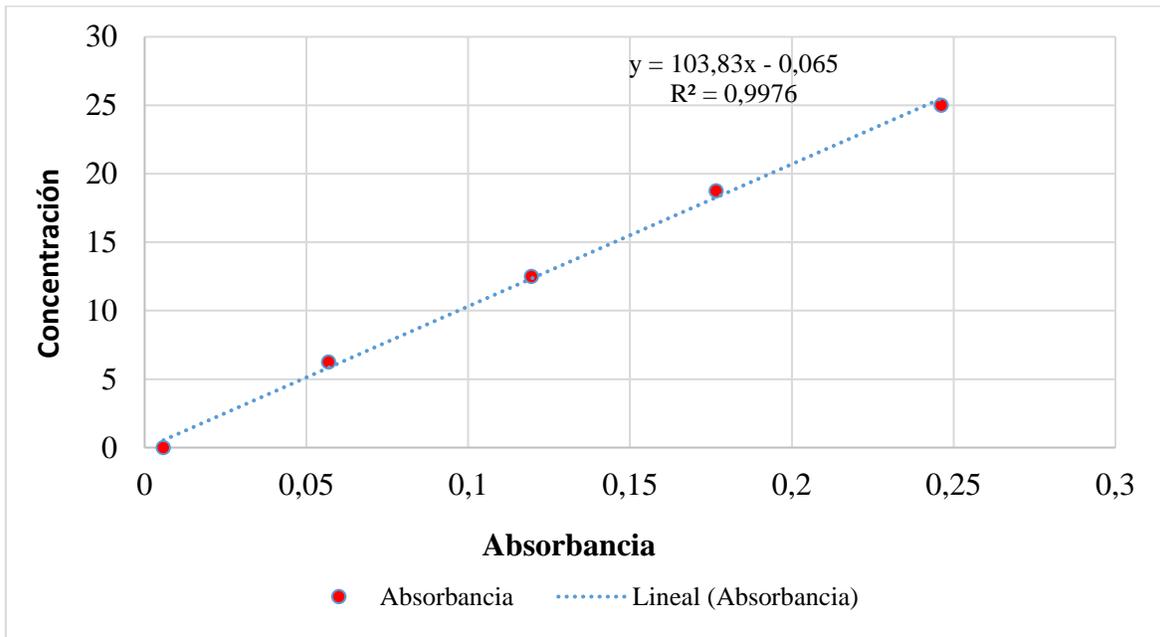
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14184/1/TESIS%20Gs.%2011%20-%20tesis%20final%20tocte.pdf>

9. ANEXOS

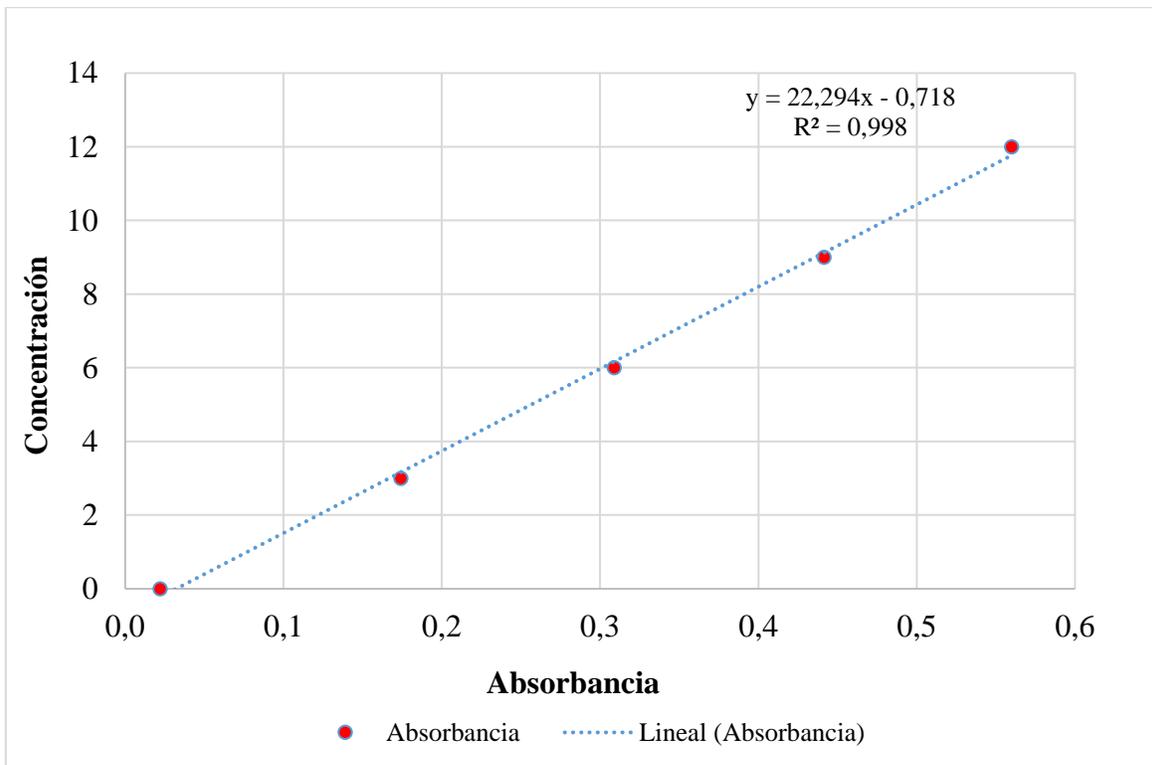
Anexo 1. Datos de la composición química de la madera de cinco individuos de Juglans neotropica

Muestra de árbol		Extractivos (%)	Ceniza (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)
Árbol 1	1	7,79	1,83	39,35	51,03
	2	7,18	1,42	37,56	53,84
	3	6,51	1,68	36,59	55,22
Promedio (%)		7,16	1,64	37,83	53,37
±DS		0,64	0,21	1,40	2,14
Árbol 2	1	3,89	1,69	34,71	59,70
	2	5,21	2,53	39,96	52,30
	3	4,60	1,74	37,50	56,15
Promedio (%)		4,57	1,99	37,39	56,05
±DS		0,66	0,47	2,63	3,70
Árbol 3	1	5,73	2,22	34,39	57,66
	2	5,91	2,19	34,97	56,93
	3	6,43	2,17	36,30	55,10
Promedio (%)		6,03	2,19	35,22	56,56
±DS		0,36	0,03	0,98	1,32
Árbol 4	1	8,10	2,00	36,25	53,65
	2	6,17	1,70	40,77	51,35
	3	5,32	1,74	37,61	55,33
Promedio (%)		6,53	1,81	38,21	53,44
±DS		1,42	0,16	2,32	2,00
Árbol 5	1	4,08	2,08	33,59	60,25
	2	5,08	2,01	36,35	56,55
	3	4,42	2,05	34,29	59,24
Promedio (%)		4,53	2,05	34,75	58,68
±DS		0,51	0,03	1,44	1,91

Anexo 2. Curva de calibración de nitrógeno disponible



Anexo 3. Curva de calibración de fósforo disponible



Anexo 4. Datos de absorbancia, concentración y nitrógeno disponible en cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid

Muestra de suelo	Sub muestra	Absorbancia	Concentración	N (ppm)
1	1	0,1538	15,904	159,04
	2	0,1336	13,807	138,07
	3	0,1514	15,655	156,55
2	1	0,1615	16,704	167,04
	2	0,1514	15,655	156,55
	3	0,1596	16,506	165,06
3	1	0,1526	15,779	157,79
	2	0,1676	17,337	173,37
	3	0,1621	16,766	167,66
4	1	0,1724	17,835	178,35
	2	0,1677	17,347	173,47
	3	0,1629	16,849	168,49
5	1	0,1321	13,651	136,51
	2	0,1399	14,461	144,61
	3	0,1429	14,772	147,72

Anexo 5. Datos de absorbancia, concentración y fósforo disponible en cinco muestras de suelo de la parroquia Valladolid

Muestra de suelo	Sub muestra	Absorbancia	Concentración	P (ppm)	P2O5 (ppm)
1	1	0,1239	2,044	20,44	46,84
	2	0,122	2,002	20,02	45,87
	3	0,1236	2,038	20,38	46,69
2	1	0,1339	2,267	22,67	51,95
	2	0,1299	2,178	21,78	49,91
	3	0,1395	2,392	23,92	54,81
3	1	0,1388	2,376	23,76	54,46
	2	0,1341	2,272	22,72	52,05
	3	0,1441	2,495	24,95	57,16
4	1	0,1321	2,227	22,27	51,03
	2	0,1362	2,318	23,18	53,13
	3	0,1396	2,394	23,94	54,86
5	1	0,1896	3,509	35,09	80,41
	2	0,1925	3,574	35,74	81,89
	3	0,1867	3,444	34,44	78,93

Anexo 6. Valores e interpretación de las propiedades químicas del suelo (pH, N, P) de cinco muestras obtenidas en la parroquia Valladolid.

Muestra	Sub muestra	Propiedades químicas del suelo					
		pH		Nitrógeno (ppm)		Fósforo (ppm)	
1	1	5,3		159,04		46,84	
	2	5,00		138,07		45,87	
	3	4,60		156,55		46,69	
Promedio		4,97	Muy ácido	151,22	Alto	46,47	Alto
2	1	4,9		167,04		51,95	
	2	5,2		156,55		49,91	
	3	5,5		165,06		54,81	
Promedio		5,20	Ácido	162,88	Alto	52,22	Alto
3	1	5,1		157,79		54,46	
	2	5		173,37		52,05	
	3	4,9		167,66		57,16	
Promedio		5,00	Muy ácido	166,27	Alto	54,56	Alto
4	1	5,7		178,35		51,03	
	2	5,3		173,47		53,13	
	3	5,5		168,49		54,86	
Promedio		5,50	Ácido	173,44	Alto	53,01	Alto
5	1	5,1		136,51		80,41	
	2	5,7		144,61		81,89	
	3	5,3		147,72		78,93	
Promedio		5,37	Ácido	142,95	Alto	80,41	Alto

Anexo 7. Cuadro resumen de valores e interpretación de la composición química de la madera de cinco árboles de Juglans neotropica y las propiedades químicas del suelo en donde los individuos muestreados se desarrollaron.

Árbol	Composición química de la madera				Propiedades químicas del suelo					
	Extractivos %	Ceniza %	Lignina %	Holocelulosa %	pH		Nitrógeno (ppm)		Fósforo (ppm)	
1	7,16	1,64	12,32	78,88	4,97	Muy ácido	151,22	Alto	46,47	Alto
2	4,57	1,99	13,02	80,42	5,20	Ácido	162,88	Alto	52,22	Alto
3	6,03	2,19	14,60	77,18	5,00	Muy ácido	166,27	Alto	54,56	Alto
4	6,53	1,81	15,98	75,67	5,50	Ácido	173,44	Alto	53,01	Alto
5	4,53	2,05	11,02	82,41	5,37	Ácido	142,95	Alto	80,41	Alto
\bar{X} (%)	5,76	1,94	13,39	78,91	5,21	Ácido	159,35	Alto	57,33	Alto
$\pm DS$	1,18	0,21	1,94	2,65	0,23		12,19		13,26	
CV (%)	20,47	10,99	14,50	3,35	4,42		7,65		23,12	

Anexo 8. Coeficientes de correlación de Spearman, entre las propiedades químicas del suelo y los componentes químicos de la madera de cinco muestras de Juglans neotropica de la parroquia Valladolid.

			Componentes químicos de la madera				Propiedades químicas del suelo		
			Extractivos	Ceniza	Lignina	Holocelulosa	pH	Nitrógeno	Fósforo
Coeficiente de correlación	Componentes químicos de la madera	Extractivos	1	-0,19	0,30	-0,59	-0,03	0,34	-0,61
Significancia				0,49	0,26	0,03	0,91	0,22	0,02
N			15	15	15	15	15	15	15
Coeficiente de correlación		Ceniza		1	-0,26	0,16	0,07	-0,04	0,40
Significancia					0,35	0,56	0,81	0,90	0,14
N				15	15	15	15	15	15
Coeficiente de correlación		Lignina			1	-0,92	-0,03	0,73	-0,06
Significancia						0,0006	0,90	0,02	0,82
N					15	15	15	15	15
Coeficiente de correlación		Holocelulosa				1	0,002	-0,73	0,16
Significancia							0,99	0,002	0,56
N						15	15	15	15
Coeficiente de correlación	Propiedades químicas del suelo	pH				1	0,16	0,33	
Significancia							0,56	0,23	
N						15	15	15	
Coeficiente de correlación		Nitrógeno					1	-0,13	
Significancia								0,66	
N							15	15	
Coeficiente de correlación		Fósforo						1	
Significancia									
N								15	

Anexo 9. Fotografías del análisis de la composición química de la madera de Juglans neotropica y las propiedades químicas del suelo de cinco muestras obtenidas en la parroquia Valladolid



9.1. Selección de árboles y obtención de ramas



9.2. Recolección de muestras de suelo



9.3. Pesaje de polvo de madera



9.4. Obtención de ceniza



9.5. Obtención de extractivos



9.6. Obtención de lignina



9.7. Obtención de holocelulosa



9.8. Obtención de extractantes del suelo