



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química**

**DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA
MADERA DEL PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex
Schltdl*) PROCEDENTE DE PLANTACIÓN EN CUCANJÁ,
TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**

Mario Roberto González Pimentel

**Asesorado por Inga. Telma Maricela Cano Morales
Coasesorado por Ing. José Mario Saravia Molina**

Guatemala, Octubre de 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA
MADERA DEL PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex
Schltdl*) PROCEDENTE DE PLANTACIÓN EN CUCANJÁ,
TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO ROBERTO GONZÁLEZ PIMENTEL

ASESORADO POR INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
COASESORADO POR ING. JOSÉ MARIO SARAVIA MOLINA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL
PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Determinación de la composición química de la madera del Pino Ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 6 de Julio de 2005.

Mario Roberto González Pimentel

DEDICATORIA

A:

DIOS

Porque sin El nada de esto hubiese sido, por estar conmigo en todo momento guiando mi camino y por permitirme compartirlo con la gente que más quiero

MIS PADRES

Maximiliano Arnulfo González Ramírez y Aldina Gloribel Pimentel de González, por su inmenso amor, por el apoyo durante toda mi vida y por sobre todo por ser un gran ejemplo de unión y superación

MIS HERMANOS

Ronald, Jorge, Ana Lucía y Karen González Pimentel por el cariño, comprensión y el apoyo incondicional que me han dado siempre

MIS CUÑADOS

Y SOBRINOS

Biana, Amparo, José Manuel, Andresito y los dos retoños que vendrán, por brindarme su cariño y apoyo, y por llenar mi vida de felicidad

TODA MI FAMILIA

Por estar pendientes de mí, en especial a las familias González Ramírez, Calderón Fernández, Meléndez Monterroso, Pimentel Arriola, Chupina Pimentel, Pineda Pimentel,

Zúñiga Pimentel y Pinzón De León. Muchas gracias

AGRADECIMIENTOS

A:

Inga. Telma Cano

Por su asesoría, orientación y amistad durante la realización del presente trabajo

Ing. Cesar García

Por su paciencia, atención y dedicación en la revisión del presente trabajo

Mis amigos

Pablo Pinzón, Luis Chupina, Estuardo Chupina, Sergio Valle, Francisco Arriola, Julio Melgar, Adrián Soberanis, Mario Mérida, Luis Gamboa, Andrés Penados, Fernando Toje, Jorge González, Rocío Brooks, Gabriela Hernández, Ingrid Calix y en especial a José Pablo Anzueto (Q.P.D.). Por brindarme su apoyo y su amistad

Mis compañeros de Química Industrial

Cinthy, Manolo, Francisco, Ariel, Mario, Anibal, Ericsson y Liz, por su motivación y amistad

Ing. José Saravia

Por su orientación durante la realización del presente trabajo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
HIPÓTESIS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Anatomía de la madera	1
1.1.1. Clasificación de las maderas	1
1.1.1.1. Estructura del tallo	2
1.1.1.2. Componentes del tallo	2
1.1.2. Características naturales de la madera	5
1.1.2.1. Composición química	5
1.1.2.1.1. Comp. de la pared celular	7
A. Carbohidratos de la pared celular	7
a. Celulosa	7
b. Hemicelulosa	8
c. Holocelulosa	9
d. Aprov. Industrial	10
B. Lignina	12
a. Estr. química de la lignina	13
b. Comp. Elemental	13

c.	Base estructural	13
d.	Propiedades	16
1.1.2.1.2.	C. extraños. de la madera	17
A.	Extractivos	19
B.	Taninos	31
	B.1 Clasificación	31
C.	Cenizas	32
D.	Efectos de los c. químicos en las propiedades de la madera y usos	34
1.2.	Fundamentación teórica de la especie	36
1.2.1.	Información general del árbol	36
1.2.1.1.	Características	36
1.2.1.2.	Taxonomía de la planta	36
1.2.1.3.	Descripción botánica	37
1.2.1.4.	Características de la madera	38
1.2.1.5.	Usos principales	39
1.3.	Fundamentación teórica de la metodología para análisis químico	40
1.3.1.	Lixiviación	40
1.3.2.	Preparación del sólido	43
1.3.3.	Secado	45
1.3.4.	Determinación gravimétrica	46
1.3.5.	Calcinación	48
1.3.6.	Determinación volumétrica	50

2. METODOLOGÍA	
2.1. Localización	53
2.2. Recursos	55
2.3. Metodología Experimental	60
2.4. Manejo Experimental	61
2.5. Diseño Experimental	75
2.6. Análisis Estadístico	75
RESULTADOS	79
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS	93
BIBLIOGRAFÍA	97
APÉNDICES	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama esquemático del tallo en sección transversal	2
2.	Esquema de la sección a analizar	3
3.	Estructura de α -celulosa	7
4.	Esquema de separación de la Holocelulosa	10
5.	Precusores de la lignina	14
6.	Tropolones	22
7.	Forma de enlace en oligosacáridos	23
8.	Inositoles	24
9.	Alcaloides	24
10.	Equipo 1	56
11.	Equipo 2	57
12.	Equipo 3	57
13.	Equipo 4	58
14.	Cristalería	59
15.	Contenido Promedio de α -Celulosa asilada en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ANSI/ASTM D-1103-60	80
16.	Contenido Promedio de Lignina en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ANSI/ASTM D-1106-56	80
17.	Resultado Promedio de Extraíbles en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ASTM D-1105-56	81
18.	Resultado de cantidad promedio de Cenizas en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ANSI/ASTM D-1102-56	81
19.	Contenido Promedio de α -Celulosa en madera, Pino ocote	84
20.	Contenido Promedio de Lignina en madera, Pino ocote	85

21.	Contenido Promedio de Componentes Extraíbles en madera, Pino ocote	86
22.	Contenido Promedio de Cenizas en madera, Pino ocote	87
23.	Muestra anhidra de madera antes de calcinar, Pino ocote	108
24.	Muestra preparada para calcinar, Pino ocote	108
25.	Muestra calcinada, Pino ocote	109
26.	Secuencia en la determinación de Lignina en madera de Pino ocote	109
27.	Determinación de α -Celulosa, ataque con NaOH	110
28.	<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltdl	110

TABLAS

I.	Clasificación de los terpenoides	22
II.	Datos requeridos para un experimento, con a tratamientos n repeticiones. Por ejemplo cuando Y = ceniza.	76
III.	Análisis de varianza	77
IV.	Caracterización de componentes químicos en madera de Pino ocote a diferentes alturas.	79
V.	Datos calculados para α -Celulosa	99
VI.	Datos calculados para Lignina	99
VII.	Datos calculados para Extraíbles	100
VIII.	Datos calculados para Cenizas	100
IX.	Datos calculados para Humedad	101
X.	Análisis de varianza para α -Celulosa	102
XI.	Análisis de varianza para Lignina	102
XII.	Análisis de varianza para Extraíbles	103
XIII.	Análisis de varianza para Cenizas	103
XIV.	Análisis de varianza para Humedad	104
XV.	Datos originales para Componentes Extraíbles	105
XVI.	Datos originales para Lignina y Humedad	106
XVII.	Datos originales para Cenizas y α -Celulosa	107

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Número de tratamientos
ASTM	American Society for Testing and Materials
b	Número de bloques
cm	Centímetros
Ft, F_{1-α}	Fisher Tabulada
Fo	Fisher observada
g	Gramos
Ho	Hipótesis nula
Ha	Hipótesis alternativa
Hp	Horse Power, unidad de potencia
Hz	Hertz, unidad de frecuencia
in Hg	Pulgada de Mercurio, unidad de presión
m	Metros
mm	Milímetros
MSSB	Media cuadrática por bloques
MSSE	Media cuadrática por error
MSST	Media cuadrática por tratamientos
N	Normalidad, unidad de concentración
P.C.	Peso neto de ceniza

P.F.	Peso final, el crisol más la muestra de madera seca
P.I.	Peso inicial, solo el crisol
P.L.E.	Peso de madera libre de extraíbles
P.L	Peso de lignina obtenido para la muestra
P.M.	Peso anhidro de la muestra tarada
P.T.M.	Peso de madera total, antes de la extracción de Extraíbles
P.M.S	Peso de madera seca
RPM	Revoluciones Por Minuto
SSB	Suma de cuadrados para bloques
SSE	Suma de cuadrados por error
SST	Suma de cuadrados para tratamientos
ST	Suma de cuadrados total
V	Voltios, unidad de voltaje
W	Watts, unidad de potencia
y_i	Total de las observaciones bajo i-ésimo tratamiento
\bar{y}_i	Promedio de las observaciones bajo i-ésimo tratamiento
Y	Sumatoria de todas las observaciones
\bar{y}	Media general de las observaciones
y .j	Total de todas las observaciones en el bloque j

$y..$	Gran total de todas las observaciones
$(1-\alpha)$	Nivel de confianza
%	Porcentaje
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
μ	Media
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Ácidos grasos	Compuestos químico orgánicos comprendidos dentro de los conocidos ácidos carboxílicos. Se encuentran presentes en aceites y grasas como mezclas de ésteres grasos y glicerina.
Albura	Capa blanda de color blanquecino que se halla, inmediatamente, debajo de la corteza en los tallos leñosos o troncos de los vegetales gimnospermos y angiospermos dicotiledóneos, formada por los anillos anuales más jóvenes.
Alcaloides	Componentes heterocíclicos, contienen nitrógeno, están extensamente distribuidos en la planta.
α-celulosa	Polisacárido que forma la pared de las células vegetales. Es el componente fundamental del papel.
Altura comercial	Altura medida desde la base del árbol hasta que el diámetro sea de 6 cm.
Análisis gravimétrico	Análisis cuantitativo de una sustancia por medio de la pesada.

Análisis

Volumétrico	Procedimiento de análisis cuantitativo, basado en la medición del volumen de reactivo que hay que gastar hasta que se produce determinado fenómeno en el líquido analizado.
Calcinación	Someter al calor cuerpos de cualquier clase para eliminar las sustancias volátiles.
Cambium	Estrato celular de las plantas leñosas, responsable del engrosamiento de tallos y raíces.
Cerno	Corazón de algunas maderas duras, como el roble.
Colofonia	Resina sólida, producto de la destilación de la trementina, empleada en farmacia y para otros usos.
Copa	Conjunto de ramas y hojas que forma la parte superior de un árbol.
Corteza	Parte exterior dura de árboles, de ciertos frutos y algunos alimentos.
Extractivos	Extractivos son los compuestos de composición química variada, como gomas, grasas, resinas, azúcares, aceites, almidones, alcaloides, y taninos.
Fuste	Vástago, parte sólida de los árboles, conjunto del tallo y las hojas.
Inositol	Es un alcohol típico que tiene anillo de seis carbonos con muchos isómeros.

Hemicelulosa	Porción de celulosa que puede ser extraída de madera con álcalis diluidos, sustancia amorfa compuesta de polisacáridos tales como: manosa, galactosa, arabinosa, xilosa y, en algunos casos, ramnosa.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
Holocelulosa	Fracción total hidrocarbonada, celulosa y hemicelulosa, de la madera. El contenido de holocelulosa en la madera abarca del 70 al 90 por ciento del total de las sustancias de la pared celular libre de extractivos o material extraño.
Lignina	Polímero de naturaleza aromática con alto peso molecular, probablemente, está ligada a los polisacáridos de la madera.
Lixiviación	Tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles.
Médula	O duramen, parte interior de las raíces y tallos de las plantas fanerógamas, constituida, principalmente, por tejido parenquimatoso y rodeada por haces de vasos leñosos y cribosos. Parte más seca, compacta y de color más oscuro, por lo general, del tronco y ramas gruesas de un árbol.

Oleorresina	Líquido o casi líquido, procedente de varias plantas, formado por resina disuelta en aceite volátil.
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales.
Serpentina	Piedra de color verdoso, con manchas o venas más o menos oscuras, casi tan dura como el mármol, que admite hermoso pulimento y tiene mucha aplicación en las artes decorativas. Es un silicato de magnesia teñido por óxidos de hierro.
Silviquímicos	Compuestos químicos similares a los extractivos de la madera.
Taninos	Sustancia astringente contenida en la nuez de agallas, en las cortezas de la encina, olmo, sauce y otros árboles y en la raspa y hollejo de la uva y otros frutos. Se emplea para curtir las pieles y para otros usos.
Tropolones	Polifenoles que están contenidos en el material extraño de la madera.
Turpentina	Aceite esencial volátil obtenido del árbol de las especies Pinus.

Vainas

Cáscara tierna y larga en que están encerradas las semillas de algunas plantas.

RESUMEN

En la investigación se determinaron los componentes químicos, Lignina, α -Celulosa, Componentes Extraíbles y Cenizas, en la madera del Pino ocote, (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz, utilizando metodología establecida por normas ASTM.

Las muestras se obtuvieron a través de la finca de reforestación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz bajo el proyecto PINFOR.

Posteriormente se caracterizó químicamente la materia prima, determinando el porcentaje de taninos, lignina, α -celulosa, extraíbles y cenizas utilizando en algunos casos la metodología de normas ASTM D1105-56, D-1106-56, D-1103-60, D1102-56 y finalmente los componentes obtenidos se colocaron en frascos pequeños de color ámbar debidamente identificados.

Los valores obtenidos fueron: α -Celulosa esta en el rango entre 47.48% y 51.90%, Lignina entre 28.14% y 30.42%, las Sustancias Extraíbles entre 10.70% y 11.48%, cenizas entre 0.2% y 0.6%. Para el caso de taninos no se obtuvieron valores cuantificables debido a su bajo contenido en la madera, contrastando con la cantidad presente en corteza que está en un rango entre 20% y 40%, el método que se utilizó no detectó cantidades menores al 0.05%.

Se determinó que los datos obtenidos tienen similitud con los datos que reporta Tsoumis en referencia al tipo de madera gimnospermas, entre las cuales se encuentra el Pino ocote con excepción de las sustancias extraíbles. Los datos registrados son los siguientes, para α -celulosa un rango entre 40% y 60%, para lignina entre 10% y 35%, sustancias extraíbles entre 1% y 10% y cenizas entre 0.2% y 1%.

Los resultados de la hipótesis, sobre la existencia de diferencias en rendimiento de compuestos químicos seleccionados en función de la altura del árbol del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltl*) especie forestal nativa de Guatemala, fueron los siguientes:

Para los componentes α -Celulosa, Lignina y Cenizas no presentaron diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento a diferentes alturas. Mientras que en los componentes Extraíbles si existió diferencia significativa.

OBJETIVOS

General

1. Determinar la composición química de la madera del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz.

Específicos

1. Determinar la composición química de la madera del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*), aislando y cuantificando sus componentes; taninos, lignina, α -celulosa, extraíbles y cenizas.

2. Determinar la existencia de diferencias en composición de compuestos químicos en función de la altura del árbol del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*).

3. Determinar el porcentaje de humedad de muestra de la madera del árbol del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*).

HIPÓTESIS

Existen diferencias en rendimiento de compuestos químicos seleccionados en función de la altura del árbol del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl*) especie forestal nativa de Guatemala.

Hipótesis Estadística

Hipótesis nula (Ho): no existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de compuestos químicos seleccionados a diferentes alturas, de una especie forestal de Guatemala.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

Hipótesis alternativa (Ha): si existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de compuestos químicos seleccionados a diferentes alturas, de una especie forestal de Guatemala.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación; tiene como objetivo principal determinar los componentes químicos, taninos, lignina, celulosa, extraíbles y cenizas, en la madera del Pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) utilizando metodología establecida por normas ASTM.

En Guatemala, existen plantaciones de árboles en donde a cierta edad se realiza el raleo o corte de árboles con el fin de crear condiciones óptimas de crecimiento a los mejores ejemplares. La madera que resulta del raleo se utiliza como material combustible.

En la presente investigación se busca generar información acerca de la caracterización química de la especie mencionada, la investigación es parte del proyecto del CONCYT No.03-03, dicho proyecto trata de la caracterización de las propiedades físicas, anatómicas, químicas y mecánicas de cuatro especies de pino con fines industriales, una de las especies es el Pino Ocote.

En muchos países desarrollados, la madera es utilizada ampliamente en diversos productos de alto valor agregado. En Guatemala, los árboles son fuentes de energía y materia prima para productos maderables.

Por medio de la información que se generó a través de éste documento conjuntamente con los otros componentes, físico, mecánico y anatómico se realizará una posterior evaluación del uso industrial de la madera de dicha especie y se podría de esta manera ampliar la cobertura de utilización.

Para conocer los componentes químicos que tiene el Pino ocote, es necesario realizar una caracterización química. Los componentes químicos se pueden clasificar en dos grandes grupos: primeramente los comunes a todos los vegetales, la celulosa y las ligninas. Este grupo integra la mayor parte del vegetal. El segundo grupo lo forman los secundarios y menos abundantes, resinas, grasas, ceras, taninos, colorantes, azúcares, materiales minerales, entre otros. Los componentes químicos a determinar son los siguientes: taninos, lignina, celulosa, extraíbles y cenizas.

En dicho trabajo, también, se verificará si existe diferencia significativa en compuestos químicos a diferentes alturas del árbol.

1. MARCO TEÓRICO

*“Es tu enseña pedazo de cielo
en que prende una nube su **albura**,*

*y ¡hay de aquel que con ciega locura
sus colores pretenda manchar!”*

Himno Nacional de Guatemala

1.1 Anatomía de la madera

“Anatomía de la madera es la rama de la ciencia botánica que procura conocer la constitución y el arreglo estructural u organización de los diversos elementos que constituyen el tallo de los árboles.

1.1.1 Clasificación de las maderas

Las maderas pueden ser clasificadas taxonómicamente en dos categorías:

- Maderas Gimnospermas
- Maderas Angiospermas

Las primeras, también llamadas coníferas, resinosas, no porosas o maderas suaves, son producidas por especies del orden de las coníferas. El término no porosas se refiere a la ausencia de vasos o poros en su estructura. Las maderas de angiospermas son también llamadas follosas, porosas o maderas duras.

1.1.1.1 Estructura del tallo

En el estudio anatómico de la madera se pretende conocer principalmente la estructura del tallo, puesto que corresponde a la parte de mayor interés del vegetal.

En plantas que viven más de un año su tallo va creciendo en grosor, llegando en bastantes casos a formar un verdadero tronco.

1.1.1.2 Componentes del tallo

En la sección transversal del centro a la periferia del tallo se localizan las siguientes regiones: médula, corno, albura y corteza.

Fig.1 Diagrama esquemático del tallo en sección transversal.

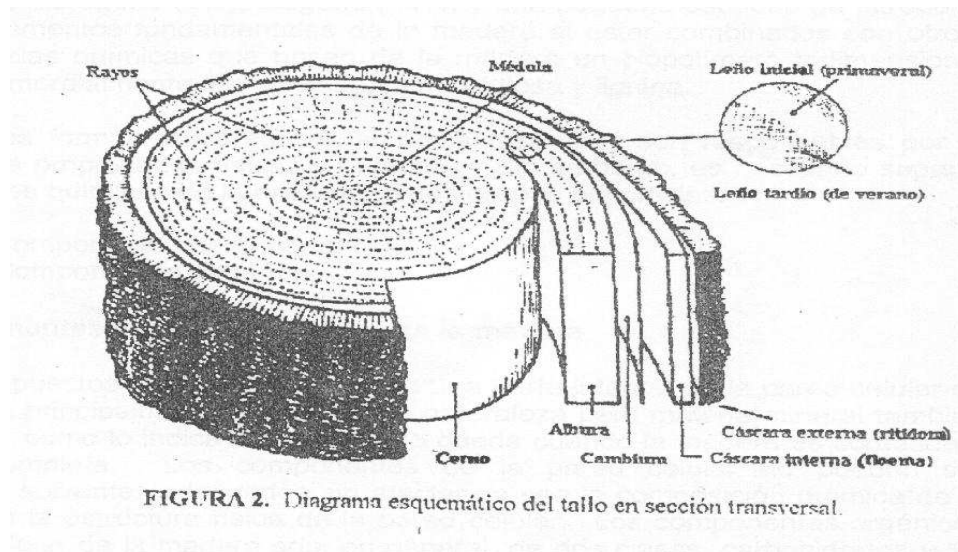
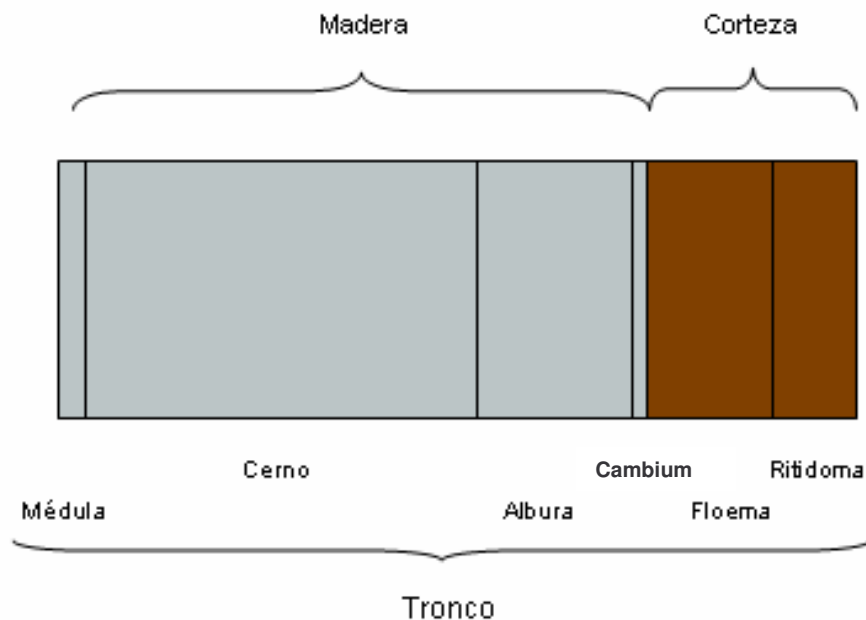


FIGURA 2. Diagrama esquemático del tallo en sección transversal.

Fuente: (http://fai.unne.edu.ar/biologia/maderas.htm#comparativo_del_leño, 05 2005)

- **Médula o duramen**, es el tejido primario, continuo, localizado en la región central del tallo. Su función es almacenar sustancias nutritivas para la planta. El tamaño, coloración y forma son muy variables, principalmente en las Angiospermas. Es un tejido muy susceptible al ataque de microorganismos.

Fig.2 Esquema del tallo



- **Cerno y albura**, el tallo de una planta joven está constituido enteramente de células vivas y funcionales, responsables por la conducción de la savia bruta (agua y sales minerales) y otras actividades vitales asociadas con el almacenamiento de sustancias nutritivas. El conjunto de dichas células recibe el nombre de albura. La albura constituye la región permeable del tallo y presenta mayor importancia desde el punto de vista de tratabilidad de la madera. En esta región se encuentran almacenados materiales nutritivos para insectos, hongos y otros microorganismos que la deterioran con facilidad.

A partir de un determinado período de tiempo, que varía con la especie del vegetal y con las condiciones de su crecimiento, ocurre la muerte del protoplasma de las células centrales que forman la albura, esto conduce a la pérdida de actividad fisiológica dando origen a la formación del corno en estratos consecutivos.

- **Cambium**, Estrato celular de las plantas leñosas, responsable del engrosamiento y desarrollo de tallos y raíces, formando en la parte interna del árbol, la albura y en la externa el floema.
- **Corteza**, La corteza está constituida de dos estratos denominados: Corteza interna, líber o floema y corteza externa o ritidoma.

La corteza interna es fisiológicamente activa, de color claro y conduce a la savia elaborada. La corteza externa, compuesta de tejido muerto, protege los tejidos vivos del árbol contra el desecamiento, ataque de microorganismos e insectos, daños mecánicos y variaciones climáticas.”

(http://fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/maderas.htm#comparativo_del_leño, 05 2005)

1.1.2 Características naturales de la madera

1.1.2.1 Composición química

“Con respecto a la composición química elemental, no hay ninguna diferencia importante entre los bosques. Los elementos químicos principales de madera son carbono, hidrógeno y oxígenos; las cantidades pequeñas de nitrógeno también están presentes.

El análisis químico de varias especies, incluso maderas Gimnospermas o blandas y Angiospermas o maderas duras, muestra la proporción de elementos, en porcentaje en peso de madera, como se muestra a continuación: carbono 49-50%, hidrógeno 6%, oxígeno 44-45%, y nitrógeno sólo 0.1-1%.

El carbono, hidrógeno, y la combinación de oxígeno sirven para formar los componentes orgánicos principales de sustancia de madera, α -celulosa, hemicelulosa, y lignina; cantidades pequeñas de sustancias pépticas también están presentes.

Estos componentes orgánicos de madera no son entidades químicas que pueden identificarse fácilmente. Los términos (α -celulosa, hemicelulosa y lignina) son genéricos, y cada uno incluye varios compuestos químicamente relacionados. La separación y la determinación cuantitativa de cada componente son llevadas a cabo en el laboratorio a través del uso de solventes y las técnicas específicas.

Las diferencias en procedimiento analítico mostrarán variación de composición química en la misma muestra de madera. Como resultado, los informes de la literatura no siempre están en acuerdo, y las dudas existen si las preparaciones del laboratorio son cuantitativamente y cualitativamente representativas de los componentes cuando éstos existen en madera en el estado natural. "(Tsoumis george, 34)

“Estos componentes forman la pared celular de madera y son responsables por la mayoría de sus propiedades físicas y químicas. Sin embargo, es necesario separar los componentes químicos de la madera en dos grupos principales:

1.1.2.1.1 Componentes de la pared celular

Estos son compuestos químicos que forman una parte integral de la pared celular de la madera; son principalmente orgánicos en naturaleza pero materia mineral también está presente, como lo indica el residuo que queda cuando la madera es sometida a combustión completa. Los componentes de la pared celular no pueden ser removidos con solventes adecuados sin afectar ya sea la composición química de la madera, o bien la estructura física de la pared celular. Los componentes orgánicos de la pared celular de la madera son, en general, de dos clases, carbohidratos y los compuestos conocidos colectivamente como lignina.

A. Carbohidratos de la pared celular

Los carbohidratos son los componentes más importantes de la pared celular puesto que forman la armazón que soporta los tejidos de la planta. Además, están presentes como materiales de reserva en las células de la planta y por lo tanto constituyen una fuente de energía.

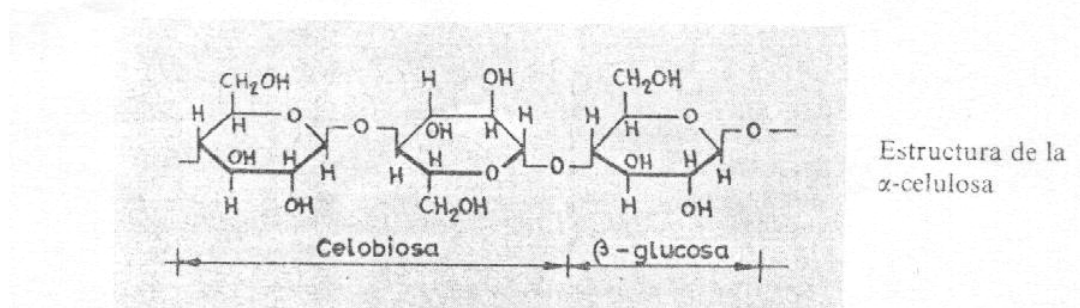
a. Celulosa

Es reconocida como una de las sustancias orgánicas probablemente más abundantes en la naturaleza, en la madera constituye el principal carbohidrato, más específicamente un carbohidrato conocido como un polisacárido insoluble en agua, en solventes orgánicos y en ácidos y álcalis diluidos. Está presente en un 40-60 por ciento del contenido de la pared celular.

La celulosa está compuesta de moléculas de glucosa como un monosacárido que se formó a través de la fotosíntesis del dióxido del carbono atmosférico. Se unen moléculas de glucosa para formar cadenas largas de biopolímeros de 4-(Glucosa)_n-β1.



Fig.3 Estructura de α-celulosa.



Fuente: (Vian, A., 454)

La unión de cualquiera de dos moléculas de glucosa es acompañada por la eliminación de una molécula de agua, y cada molécula de glucosa agregada a la cadena gira 180°. Este proceso de repetición y agregación indefinida de unidades de glucosa (monómeros) se llama polimerización.”(Tsoumis George, 34, 35)

“La α -celulosa es la fibra resistente de la madera, por ser la de mayor longitud molecular. Su tamaño está en relación directa con su resistencia a los agentes químicos, siendo más débil cuanto más corta es.” (Vian, A., 454)

b. Hemicelulosa

“Se ha definido como la porción de celulosa que puede ser extraída de madera con álcalis diluidos, calientes o fríos, e hidrolizada en ácidos o componentes del azúcar utilizando ácidos diluidos. Es una sustancia amorfa compuesta de polisacáridos tales como manosa, galactosa, arabinosa, xilosa y, en algunos casos, ramnosa.

El contenido total de hemicelulosa se cree que comprende entre 15 y 30 por ciento de la sustancia de la pared celular. Ningún método analítico o esquema de preparación ha permitido realizar una separación neta en celulosa verdadera y hemicelulosa.

La hemicelulosa y la celulosa como se mencionó están relacionadas químicamente debido a que ambos son carbohidratos. Los hidratos de carbono son sustancias químicas compuestas de carbono, hidrógeno y oxígeno en los que los últimos dos elementos están presentes en las mismas proporciones cuando ellos están en agua.

La separación de celulosa y hemicelulosa esta basada en su solubilidad respectiva en álcali; la celulosa no es soluble en solución al 17.5% de NaOH, considerando que las hemicelulosas son solubles. Las moléculas de hemicelulosas también son cadenas, como en celulosa, pero el grado de polimerización es mucho más pequeño (en el promedio aproximadamente 150).

c. Holocelulosa

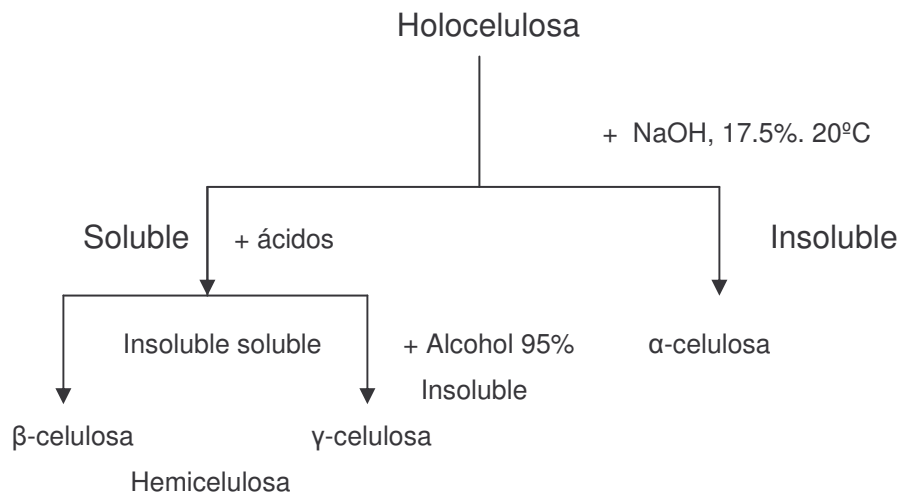
Así ha sido denominada la fracción total hidratable (celulosa y hemicelulosa) de la madera. El contenido de holocelulosa en la madera abarca del 70 al 90 por ciento del total de las sustancias de la pared celular libre de extractivos o material extraño. La presencia de holocelulosa es, generalmente, mucho más elevado en maderas duras que en maderas blandas.

Las sustancias pécticas también son carbohidratos o compuestos relacionados. Según algunos informes, las sustancias pécticas están ausentes en madera más vieja, sin embargo, la opinión prevaleciente es que ellos están presentes, aunque en proporciones pequeñas, principalmente en el lámela medio y la pared primaria.

Todos los carbohidratos a veces se llaman, holocelulosa. En base a la solubilidad en 17.5% NaOH, la holocelulosa se subdivide en α -celulosa insoluble, y la β y γ -celulosas solubles. "(Tsoumis George, 34, 35)

“La fracción celulósica de la madera, u holocelulosa, está constituida por una mezcla de polisacáridos bastante análogos, pero diferentes. Así una vez aislada toda la fracción celulósica se la trata con disolución de sosa cáustica al 17.5% a 20 °C, se solubiliza parcialmente, quedando un resto insoluble, que es la α -celulosa, llamada también celulosa noble. Al acidular la disolución resultante se separa la β -celulosa, manteniéndose disuelta la γ -celulosa, que precipita al agregar alcohol de 95 por 100. El conjunto de β - y γ -celulosa constituye la hemicelulosa.

Fig.4 Esquema de separación de la Holocelulosa



d. Aprovechamiento industrial de la madera

“Prescindiendo de las aplicaciones para la construcción, el mayor interés industrial radica en la celulosa que contiene la madera, ya que, aunque también pueden aprovecharse los demás constituyentes, su importancia es despreciable respecto a la celulosa, que industrialmente es el componente más deseado.

La celulosa puede utilizarse de tres formas distintas:

I. Por su estructura fibrosa, aglomerándola para formar láminas (papel, cartón, etc.)

II. Por su naturaleza química, aprovechando la reactividad de los grupos funcionales de su macromolécula para dar directamente productos de interés industrial (caso de los ésteres celulósicos y la nitrocelulosa) o como paso intermedio para otras transformaciones (caso de las fibras artificiales, plásticos, etc.)

III. Por los productos de su degradación hidrolítica; constituidos por azúcares de distintos tipos, aprovechables como tales, o susceptibles de transformación en alcoholes, ácidos, etc.

Cualquiera de los tres tipos de aplicaciones industriales implica la separación entre la celulosa y la lignina, lo que se consigue por solubilización de una u otra.

Las industrias de los tipos I y II, al aprovechar la celulosa como fibra o macromolécula, precisan de la solubilización de la lignina, aunque el grado de exigencia en esta operación varía. Así, mientras la fabricación de cartones solo necesita fibras sueltas, sin importar la coloración que proporciona la lignina (lo que hace que baste con romper las uniones lignina-celulosa) la de papeles precisa de una eliminación casi total por razón de la obligada blancura de sus productos. Los aprovechamientos químicos necesitan una celulosa totalmente pura (noble).

La estrecha relación existente entre todos los procesos de obtención de pastas (término eminentemente papelerero, designa el material fibroso que se obtiene al final de los proceso de solubilización de la lignina) de celulosa en mayor o menor grado de pureza.

El aprovechamiento III por el contrario, supone la disolución de la celulosa por el proceso de hidrólisis, por lo que en este caso es la lignina el residuo insoluble. Aún existe otra aplicación directa de la madera, que es su pirogenación o destilación seca. Esta operación, que tuvo su importancia en tiempos pasados, está hoy práctica y precariamente restringida a los residuos forestales o de carpintería, tales como ramas, astillas, aserrín, entre otros.” (Vian, A., 457-458)

B. Lignina

“La lignina es uno de los componentes esenciales de la madera que alcanza cantidades de 10 a 35 %. La lignina es encontrada en muchas plantas del reino vegetal, no obstante, su constitución no es la misma en todas ellas. Por tal razón no debe ser considerada como una sustancia única, sino como una clase de materiales correlacionados.

En un sentido más amplio, el término lignina se refiere a un componente de varias plantas, que difieren una de otra según la especie y localización de la planta toda vez que para separar la lignina de su asociación natural en la pared celular hay por lo menos la ruptura de las ligaciones lignina-polisacáridos y una reducción en el peso molecular. (S. Hon., 113-117)

a. Estructura química de la lignina

“La estructura química de la lignina no es totalmente conocida principalmente por el hecho de las alteraciones que sufre durante las prácticas drásticas que se utilizan para su aislamiento de la madera.

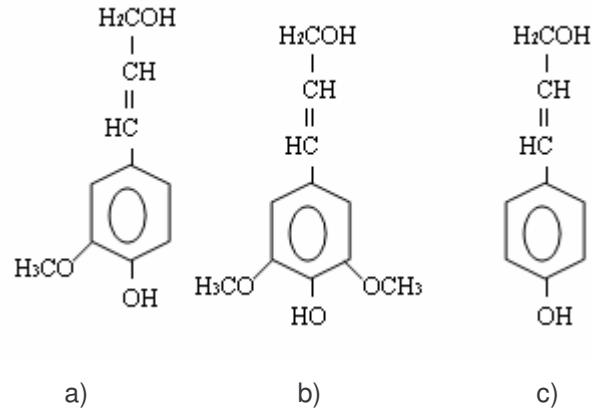
b. Composición elemental

Está comprobado que en la composición química elemental de la lignina ocurren única y exclusivamente carbono, hidrógeno y oxígeno. La composición elemental porcentual varía principalmente si la lignina es obtenida de coníferas o latifoliadas, así como en función del método de aislamiento aplicado.

c. Base estructural

La base estructural es el fenil propano, teniendo ligado al anillo bencénico un número variable de grupos hidroxílicos y metoxílicos. Esos grupos hacen que el fenilpropano tome la forma de radicales químicos bien definidos. Así, la lignina que ocurre en las maderas de las coníferas predominan los radicales guayacil-propano (metoxi-3-hidroxi-4fenil propano) y en las angiospermas además del guayacil-propano predominan los radicales de siringil-propano (dimetoxi-3-5-hidroxi-fenil propano) unidades derivadas del alcohol trans-coniferil a) y trans-sinapil b). La lignina contiene unidades de p-hidroxifenil derivadas del alcohol trans-p-cumaril. Estrictamente hablando las plantas consisten, en su mayoría, de tres unidades llamadas, guayacil, siringil y p-hidroxifenil.” (Saravia Jorge M. 011-2002)

Fig.5 Precursores de la lignina.



Fuente: (S. Hon, 113)

“La lignina un polímero formado por la deshidrogenación enzimática de fenil propanos seguido por el acoplamiento del radical. La lignina de madera blanda está principalmente compuesta de unidades del guayacil que se originan del precursor del predominante, alcohol del trans-coniferyl, mientras la lignina de madera dura está compuesto de guayacil y unidades del siringil derivados de los trans-coniferil y alcoholes del trans-sinafil, respectivamente.

Lignina no tiene alguna actividad óptica, en contraste con otros compuestos naturales, debido a que los radicales formados por dehidrogenación enzimática se acoplan entre si al azar para dar el polímero del lignina.

La lignina es el polímero más complejo entre los materiales del alto peso molecular. La presencia de muchas cadenas complejas de carbono-carbono entre las uniones hace difícil la degradación del polímero para formar fragmentos de peso molecular bajos.

No ha sido todavía posible aislar todas las partes de la lignina completamente de los tejidos de la planta sin producir cambios estructurales. Estas características hacen difícil de elucidar su estructura química.” (S. Hon, 113-117)

c.1 Grupos funcionales

c.1.1 Grupos metoxilos (OCH₃)

“Es el grupo funcional más característico de la lignina, a pesar de aparecer también en las poliosas, cerca del 90% de los grupos metoxílicos de la madera son lignina.

De manera general, la lignina de las coníferas presenta en torno al 16% de OCH₃ (0.95 / unidad de fenil propano) y de las latifoliadas cerca del 22%(1.40 / unidad de fenil propano).

c.1.2 Grupos hidroxílicos (OH)

Los grupos hidroxílicos que ocurren en la lignina representan cerca del 10% de su peso tanto para coníferas como para latifoliadas. Estos grupos en general son de naturaleza fenólica o alcohólica (alcoholes primarios, secundarios o terciarios).

c.1.3 Otros grupos funcionales

En la lignina ocurren otros grupos funcionales entre los cuales destacan los grupos carboxílicos (COOH) en torno de 0.05 / unidades de fenil propano, y grupos carbonilos (CO), 0.1 a 0.2 / unidad de fenil propano.

d. Propiedades de la lignina

La masa molecular de los derivados solubles de la lignina se sitúa en una amplia gama. Los valores oscilan en valores desde 10^3 hasta 10^6 , tanto para los lignosulfonatos como para las ligninas alcalinas. La molécula de lignina puede ser reducida a un tamaño suficientemente pequeño para ser considerada un compuesto químico que exhibe comportamiento de compuestos solubles o suficientemente grandes para tener el comportamiento de un alto polímero o de un coloide. La variación de los valores de masa molecular para ligninas aisladas se debe a la intensidad de la degradación química y / o de la condensación ocurrida durante su aislamiento.” (Saravia Jorge M., 012-2002)

“Hoy en día, la lignina constituye uno de los desperdicios industriales más grandes del mundo, cuando es desechada en la forma de derivados de lignina en el licor de sulfito empleado en el proceso industrial de transformación de madera en pasta. También se ha considerado responsable por la contaminación del agua, originada por descargar dicho desperdicio en ríos y lagos.” (S. Hon, 113-117)

“Lignina es el componente de la pared celular que diferencia la madera de otros materiales celulósicos producidos por la naturaleza. La lignificación, llamada deposición de lignina, constituye la última fase del desarrollo de la pared celular. La lignina sólo es producida por células vivas. La realización de la lignificación coincide prácticamente con el consumo del protoplasma y muerte de la célula. Es interesante notar que la lignina siempre ocurre en asociación con la celulosa, considerando que puede encontrarse celulosa casi pura en la naturaleza.

La lignina no es un carbohidrato, es predominantemente un aromático natural. Sin embargo, el tipo de estructura química y la reactividad de la lignina no se conocen completamente, y su aislamiento todavía es un problema. “(Tsoumis George, 35,36)

1.1.2.1.2 Componentes extraños de la madera

“En adición a sus componentes mayoritarios (α -celulosa, hemicelulosa y lignina), la madera contiene productos de tipo orgánico llamados componentes extraños (numerosas proteínas y sustancias pécticas) que son bastante insolubles, además de los productos que pueden ser removidos por extracción con solventes neutros tales como agua, alcohol, benzol, éter y cloroformo, o por volatilización con vapor y son conocidos como extractivos.

La importancia de estos compuestos se advierte por la influencia que tienen sobre algunas propiedades de madera tal como la durabilidad natural que esta estrechamente relacionada con la toxicidad de sus extractivos, por la relación con sus propiedades mecánicas y

características de acabado donde la presencia de gomas y resinas puede ser perjudicial.

La madera como ya se mencionó puede contener varias inclusiones (principalmente orgánicas) esos se llaman materiales extraños o extractivos colectivamente. Ellos no son parte de la sustancia de madera, pero se deposita en la lúmina de la célula y paredes de la célula.

Extractivos son los compuestos de composición química variada, como gomas, grasas, resinas, azúcares, aceites, almidones, alcaloides, y taninos. El término esta basado en la posibilidad (por lo menos parcial) de extracción de la madera con agua fría o caliente o solventes orgánicos neutros, como alcohol, benceno, acetona o éter.

La proporción de extractivos varía de menos de 1% a más de 10% en peso seco de madera. Sin embargo, en algunos de los extractivos de las especies tropicales pueden sumar a aproximadamente 20%. Las variaciones no sólo existen entre las especies, sino también dentro de un solo árbol, principalmente entre la savia-madera y corazón-madera.

Ciertos materiales inorgánicos, como las sales del calcio e inclusiones de sílice, no son solubles en los solventes mencionados, pero a veces es considerado como extractivos aquellos que no son componentes de la pared celular. Bajo este concepto, todos los materiales inorgánicos (ceniza) pueden ser considerados como extractivos. Son aquellos que residen en las paredes de la célula que no son componentes estructurales de las paredes, aunque estos estén dispersos en ellos.” (Tsoumis George, 36)

A. Extractivos

La α -celulosa, lignina, y las hemicelulosas son componentes macromoleculares y componentes principales que construyen la pared de la célula de madera. Además de estos componentes principales, la madera contiene componentes menores solubles en agua o los solventes orgánicos que se nombran como "extractivos."

Los componentes principales celulosa y lignina contribuyen a las propiedades como color, olor, durabilidad, y así sucesivamente. Adicionalmente, los extractivos pueden influir en la adherencia, recubrimiento, secado, cortado, pulpage y blanqueado de madera.

a. Diferencia entre las especies

Los extractivos aislados de los bosques están distribuidos en una amplia gama de compuestos orgánicos. Sin embargo, todos los tipos de extractivos no ocurren en ciertas especies de madera. El tipo de extractivos normalmente difiere entre las especies diferentes de madera; en otras palabras, se observa frecuentemente que un compuesto característico de extractivos ocurre exclusivamente en una familia, un género, o una especie.

b. Clasificación

Se han aislado varios tipos de extractivos de la madera de diferentes especies. Estos extractivos generalmente son clasificados en base a la similitud de la propiedad química o estructura química.

Por otro lado, ellos son clasificados de vez en cuando en tres grupos: 1 polifenoles, 2 terpenoides y 3 otros compuestos en base a las estructuras químicas.

b.1 Polifenoles y sus compuestos relacionados

En cuanto a su distribución en madera, es característico que los polifenoles son abundantemente acumulados en el corazón-madera de muchas especies.

b.1.1 Ligninas y sus compuestos relacionados

Las ligninas son polifenoles en los cuales dos moléculas de propanoides biosintetizados vía shikimic ácida se combinan entre sí a la posición beta lateral de la cadena. Las ligninas son ampliamente distribuidas en los bosques de gimnospermas y angiospermas.

b.1.2 Taninos condensados

Las sustancias que tienen astringencia alta, formando precipitados proteínas o alcaloides insolubles en agua y mostrando un colorido azul o verde con cloruro férrico, se llaman "taninos." Los taninos son ampliamente distribuidos en la madera, corteza, hojas, y semillas de muchas plantas.

b.1.3 Taninos de Hidrolizables

Los taninos hidrolizables son ésteres de un azúcar con uno o más ácido polifenólico carboxílico. El azúcar normalmente es glucosa, pero los taninos hidrolizables con núcleo polisacárido son comunes. Las uniones del éster en estos taninos son rápidamente hidrolizados por la reacción ácida o alcali, o por acción enzimática de tanasa o tacadiastasa.

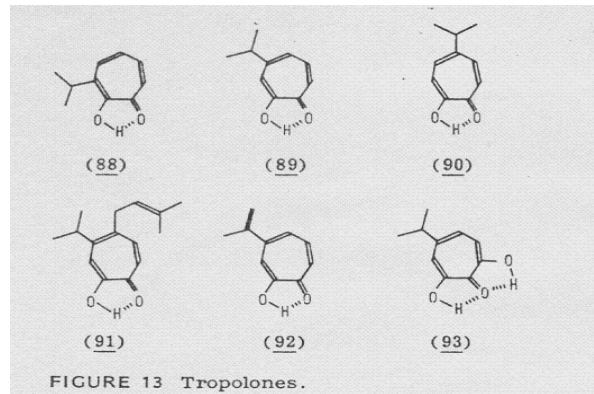
b.1.4 Estilbenos

Los estilbenos tienen alfas y beta-difeniletieno en el esqueleto de su molécula. Ellos se producen por la combinación acetato-malonato vía shikimic ácida.

b.1.5 Tropolones

Los tropolones son los denominados 2 hidroxí-2,4,6-cicloheptatrieno-1. En la figura siguiente se muestran tropolones como el α -thujaplicin (88), β - thujaplicin (89), γ - thujaplicin (90), nootkatin (91), β -dolabrin (92), y el thujaplicinol (93), dichos compuestos han sido aislados de la madera de las especies *Chamaecyparis*, *cupressus*, *juniperus*, y *thuja*.

Fig.6 Tropolones.



Fuente: (S. Hon, 230)

b.2 Terpenoides y sus compuestos relacionados

Los Terpenoides están compuestos de una unidad estructural de isopreno y biosintetizados vía mevalonato. Terpenoides son clasificados como monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos y tetraterpenos.

Tabla I: Clasificación de los terpenoides

Terpenoides	Número de isoprenos	Número de átomos de carbono	Presencia
Monoterpeno	2	10	Aceite esencial
Sesquiterpeno	3	15	Aceite esencial
Diterpeno	4	20	Resina
Triterpeno	6	30	Resina o saponina
Tetraterpeno	8	40	Carotenoide

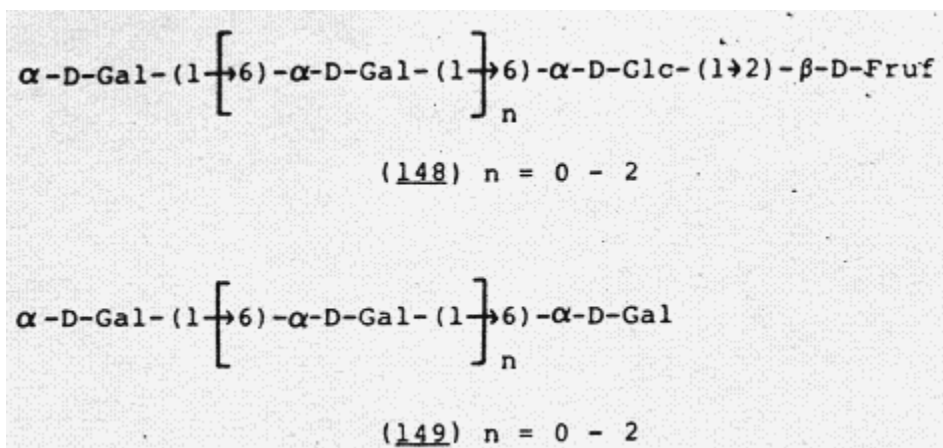
Fuente: (S. Hon, 231)

b.3 Otros compuestos

b.3.1 Azúcar

Los monosacáridos contenidos en madera son D-glucosa, D-manosa, D-galactosa, D-fructosa, L-arabinosa, D-xilosa, L-ramnosa, y D-fucosa. Los oligosacáridos contenidos en madera son, la sucrosa, rafinosa (148), y melibiosa (149) que están formadas de rafinosa homóloga por medio de la eliminación enzimática de D-fructosa. Éste modo de enlace se muestra en la figura 7.

Fig.7 Forma de enlace en oligosacáridos, Gal: Galactosa, Glc: Glucosa, Fruf: Fructosa.

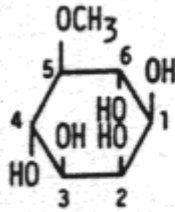


Fuente: (S. Hon, 238)

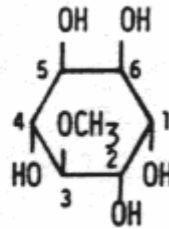
b.3.2 Ciclitoles

El inositol que es un alcohol típico que tiene anillo de seis carbonos, y sus derivados se aíslan de los distintos bosques. Entre los nueve isómeros de inositoles se encuentran el metil derivado del meso-inositol (150) y del D-Inositol (151).

Fig.8 Inositoles principales aislados de la madera.



(150)



(151)

Fuente: (S. Hon, 238)

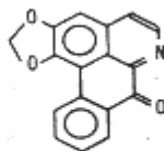
b.3.3 Ésteres de ácidos grasos

Una gran parte de los ácidos grasos que ocurren en madera está presente como su ésteres combinados con glicerina.

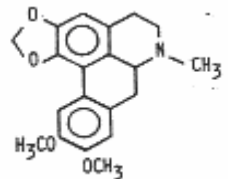
b.3.4 Alcaloides

Llamados también, componentes heterocíclicos, contienen nitrógeno, están extensamente distribuidos en la planta, solo algunos alcaloides se han aislado de bosques. La lirodenina (152) y sus derivados ocurren en los árboles de Manoliaceae como la *Liriodendron tulipifera* y *Magnolia obovata*. La dicentrina (153) y su dimero ocurren en la madera del Lauraceae como en las especies *Ocotea*

Fig. 9 Alcaloides.



(152)



(153)

Fuente: (S. Hon, 239)

c. La contribución de extractivos a las propiedades de madera

La Influencia extractiva del valor de madera como mercancía y a veces la causa de varios problemas en proceso de madera. En esta sección, los siguientes cinco artículos son: 1 color de madera, 2 olor de madera, 3 durabilidad de madera, 4 daños a la salud humana y 5 la influencia de los extractivos en el pulpaje.

Además de los artículos anteriores, los extractivos influyen en también la interferencia de adherencia en producción de contrachapado, la interferencia de capa con pintura, la interferencia de polimerización en plástico de WPC (Complejo plástico de madera), la permeabilidad de un antiséptico o insecticida, entre otros.

c.1 Color de la madera

Los bosques de especies diferentes tienen una amplia gama de color. El color de la parte savia-madera es común entre todas las especies de madera. Al contrario, el color de la parte corazón-madera es único.

c.2 Olor de la madera

Después del cortado, muchos bosques tienen un olor característico que normalmente se marchita en el proceso de secado, hay bosques preciosos que retienen un olor agradable para un periodo largo de tiempo sin embargo, por otro lado, durante el almacenamiento en agua, muchos bosques son invadidos a veces por microorganismos que generan pérdida de constituyentes odorizantes.

c.3 Durabilidad de madera

Se ha sabido bien de tiempos antiguos que los extractivos influyen en la durabilidad de madera. Recientemente, la polución del ambiente y la toxicidad de antisépticos sintéticos o insecticidas han propuesto problemas serios para la madera.

Por consiguiente, se enfoca gran interés ahora en extractivos de madera como productos naturales que proporcionan durabilidad. Estos compuestos pueden dar pistas a estructuras que podrían servir como preservantes de madera.

c.3.4 Extractivos de madera dañinos para la salud humana

Es conocido que los extractivos presentes en ciertos bosques causan síntomas como lloriqueo, sangrado de nariz, estornudos, irritación de ojos o garganta, y dermatitis.

c.3.5 Influencia de extractivos en el pulpaje

Los extractivos causan varios problemas en el pulpaje. En cocción de maderas de especies de pinos para producir pulpa de sulfito, la parte madera-corazón es resistente a la deslignificación debido al pinosilvin. El pinosilvin se combina con la lignina durante la cocción para obstruir la sulfonación de la lignina.

d. Utilización de extractivos

Algunos extractivos provenientes de bosques tienen potencial para el uso comercial, pero los extractivos usados para éste propósito se restringen dentro de los límites estrechos porque el aislamiento de los extractivos de madera o de corteza tiene sus propias dificultades económicas y / o técnicas.

La mayoría de los silviquímicos obtenidos de los árboles, corteza, las semillas, hojas, o tocones contienen químicos similares a los extractivos de madera. Los silviquímicos han sido materiales importantes a lo largo de la historia humana y han sido usados ampliamente hasta los años cincuenta. Después de eso, la importancia se ve disminuida desde que la industria petroquímica se empezó a desarrollar. Sin embargo, hay interés recientemente en uso de árboles de nuevo como un recurso renovable en la industria orgánica-química.

d.1 Turpentina

La turpentina es el aceite esencial volátil obtenido del árbol de las especies Pinus. También es llamado como aceite de turpentina. Es producido mayormente como un subproducto del proceso de cocción de pulpa de sulfato. También puede ser producido por la destilación de astillas de los troncos, tocones y ramas de las especies Pinus. Para distinguir entre estos dos tipos de turpentininas, el anterior se nombra turpentina del sulfato y el último turpentina de madera.

d.2 Aceite de altura

El licor negro obtenido por el pulpaje del sulfato de la madera de especies Pinus, contiene las sales de sodio de ácidos de la resina y los ácidos grasos como resultado de la saponificación de resinas o grasas en la madera. Cuando el licor negro se condensa y se permite estar en el tanque, la sustancia que sube a la superficie se recoge mecánicamente y se trata con ácido para dar un aceite de altura crudo.

Se ha usado aceite de altura históricamente para la manufactura de materiales de revestimiento. Los ácidos grasos puros o colofonias obtenidos por destilación fraccionaria es mandada para la utilización de aceite de altura como material crudo básico en la industria química. El residuo de destilación fraccionaria y alquitrán también son usados como combustible.

d.3 Colofonia

En la actualidad, el volumen de producción de la colofonia ocurre por la destilación fraccionaria de aceite de altura. Un porcentaje pequeño de colofonia de madera es obtenido por la destilación fraccionaria de turpeninas de madera producida de los tocones de las especies Pinus.

La colofonia se usa como un material crudo sintético en medicinas, agentes viscosos para hacer papel, adhesivo y revestimiento.

d.4 Ácidos grasos

Los componentes principales del aceite de altura por destilación fraccionada son los ácidos grasos insaturados como ácido oleico y ácido linoleico. Los ácidos grasos de aceite de altura son ampliamente usados en revestimiento y como materiales crudos para la síntesis de medicinas, jabones y los limpiadores industriales.

d.5 Taninos

Los taninos están divididos en el tipo condensado y el tipo hidrolizable. Los taninos condensados son ampliamente usados como agentes para la fabricación de cueros y para la preservación de redes para pesca. Más recientemente, se han usado taninos de algunas plantas ampliamente como adhesivos para madera, floculantes y para revestimiento.

El valor comercial de los taninos hidrolizables es más bajo en comparación con los de taninos condensados.

d.6 Exudantes

A menudo, una lesión a la corteza de los árboles resulta en un fluido de exudación de la vecindad del cambium en los tejidos dañados. En ciertos casos, estos exudantes se recogen y se venden.

d.6.1 Látex

Es un líquido lácteo que exuda de la superficie cortada del árbol de caucho tropical tal como el *hevea brasiliensis*. En la sustancia sólida de látex, el polímero isoprenoide llamado también goma carbonatada, constituye más del 90%. El caucho crudo obtenido de látex por coagulación se transforma en el caucho comercial natural por vulcanización.

d.6.2 Oleorresina

Llamado también bálsamo, es una resina de aceite esencial que se obtiene de las coníferas y varios tipos de angiospermas. La oleorresina se usa como material crudo en medicina y perfumería, y como adhesivo para las lentes.

d.6.3 Goma

Es una sustancia coloidal, normalmente polisacárido, exudada por ciertas plantas angiospermas. Es característico que los polisacáridos de la goma contengan azúcares ácidos. Se utiliza como un aditivo comestible, tabletas medicinales y materiales adhesivos, y como base para algunos cosméticos. "(S. Hon, 215-251)

B. Taninos

“Los taninos son polihidroxifenoles. Se consideran como tales las sustancias que tienen peso molecular entre 500 y 3000. Tienen la capacidad de transformar la piel de los animales en cuero mediante el Curtido. El curtido permite producir suelas y cueros.

Los taninos son astringentes, es decir contrae los tejidos orgánicos. Algunas hojas y cortezas se usan medicinalmente como cicatrizantes, adicionalmente, precipitan las proteínas, esa propiedad se aprovecha en el curtido de pieles. Los taninos, reaccionan con algunas sales metálicas de hierro y de cromo.

Además de la industria de curtiembre, los taninos se usan para obtener adhesivos fenólicos y plásticos. Otro uso de los taninos, es regular la viscosidad de los barros en las explotaciones petroleras.

Antiguamente se usaban los taninos para proteger las redes de pesca cuando eran de algodón o fibra natural. Se impregnaban de tanino para evitar su biodeterioro. Los taninos también pueden utilizarse como antioxidante para proteger metales.

B.1 Clasificación de los taninos

Químicamente los taninos se clasifican según sus características y su reacción en medio ácido:

- Hidrólisis (T. Hidrolizables), ácido carboxílico (ácido gálico y ácido elágico), Azúcares o alcohol polihídrico.

- Condensación (T.Condesables), se polimerizan y forman un precipitado rojo. Los taninos condensables estructuralmente están constituidos de flavonoides, especialmente de Flavan-3-OL, Flavan -3-4-DIOL y Estilbenos (en menor cantidad).

Los taninos son extraídos con; agua, alcanfor, álcalis diluidos en solución acuosa, ya sea solo o mezclado entre sí, a temperaturas entre 80 y 120 °C.” (Saravia Jorge M. 012-2002)

C. Cenizas

“Pequeñas cantidades de elementos minerales, como calcio, potasio y magnesio, se encuentran en ceniza de madera. Normalmente, el volumen de la ceniza raramente es más bajo que 0.2% o más alto que el 1% del porcentaje en peso de madera.

La ceniza puede contener cantidades diminutas de una lista larga de otros elementos, como fósforo (P), azufre (S), sodio (Na), aluminio (Al), titanio (Ti), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), plata (Ag), bario (Ba), plomo (Pb), y oro (Au). En algunas especies tropicales, la mayoría de la ceniza está compuesta de sílice (SiO₂)”.
“(Tsoumis George, 34, 54)

Ampliando la información en resultados obtenidos para la determinación de los componentes de la ceniza de leña de encino se determinó que, el compuesto con mayor presencia fue el CaO (óxido de calcio), seguido de éste el K₂O (óxido de potasio) y por último SiO₂ (óxido de sílice). (Miranda, Alvaro 43)

“Una cantidad justa de información está disponible sobre los constituyentes inorgánicos de madera y corteza. En bosques de las zonas templadas, además de los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno existen otros que integran entre 0.1 y 0.5% del peso de madera, considerando que aquéllos de las regiones tropicales integran el 5%. Esta proporción, aunque pequeña, contiene una gran variedad de elementos. Por ejemplo, el análisis espectrográfico del árbol abeto sueco reveló tanto como 32 elementos.

En muchos casos, elementos de tierra álcali como Ca, Mg y K hacen aproximadamente 80% de los constituyentes inorgánicos totales. Estos elementos probablemente ocurren en madera como sales, los oxalatos, carbonatos y sulfatos.

Algunos de los elementos inorgánicos presentes en madera son esenciales para el crecimiento de la madera, considerando que otros necesariamente no se requieren. Los elementos metálicos están a menudo absorbidos en el árbol a través del sistema de la raíz y se transportan a todas las áreas dentro del árbol creciente. Para siete especies, se ha determinado la distribución de 12 elementos inorgánicos en varias áreas del tejido de un árbol como las raíces, corteza, madera y hojas.

Los resultados indicaron que el volumen de la ceniza total y la concentración de cada elemento varían significativamente entre las especies. El contenido de los constituyentes inorgánicos varía en gran parte con las condiciones de ambiente bajo las que el árbol ha crecido.

Poco se ha publicado con respecto a la distribución morfológica de elementos en la célula. Por micro incineración, Lange (113) encontró que los componentes del abeto sueco se depositan predominantemente en el lámela medio.” (S. Hon, 81-83)

D. Efectos de los componentes químicos en las propiedades de la madera y usos

“Importante al concepto de madera como material crudo es la contribución de los componentes químicos de madera a sus propiedades y utilización. Como se mencionó, la celulosa es el contribuyente principal en la utilización química de la madera haciendo un valioso material a la madera para la pulpa, papel y una variedad de otros productos.

La resistencia es proveída a la madera por todos sus componentes químicos. La celulosa es principalmente responsable para la resistencia muy alta de la madera en tensión axial, debido al arreglo axial de las microfibras. La hemicelulosa y lignina ligan a las células a estar juntas y apoyan el armazón celulósico, contribuyendo así a la elasticidad deseable y la fuerza de compresión.

La lignina también imparte estabilidad dimensional a la madera, porque ocupa espacios en paredes de la célula que serían ocupados por el agua. Los extractivos tienen efectos profundos, y es muy responsable para las diferencias de propiedades entre las especies. Ellos influyen en color, olor, sabor, fluorescencia, durabilidad, inflamabilidad, relaciones de madera-humedad, encolado, pulpaje y otras propiedades. Por ejemplo, los extractivos tóxicos imparten durabilidad.

Los bosques con menos extractivos comparativamente pueden sostener más agua en su pared celular que en los bosques con un volumen de extractivo más alto; remoción de extractivos aumenta la capacidad de las paredes celulares para el agua, por lo tanto, la magnitud de encogimiento y expansión, y otras relaciones de madera-humedad.

Ciertos extractivos causan el deterioro y corrosión de herramientas de corte (debido a la constitución ácida). Los procesos y la economía de pulpaje son también influenciados grandemente por la cantidad y tipo de extractivos (los extractivos influyen en reacciones químicas, incrementan el consumo de lejía y agua, y puede crear problemas en el equipo del proceso (resina de pino).

El polvo producido por procesar ciertos bosques, principalmente el tropical, debido a la naturaleza de su extractivos, puede ser dañino a salud y se sospecha que puede causar cáncer. Algunos extractivos, como resinas y taninos, obtenidos de la madera y corteza, son valiosos productos.” (Tsoumis George, 49, 50)

1.2 Fundamentación teórica de la especie Pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex Schltldl*)

1.2.1 Información general del árbol.

1.2.1.1 Características

Entre la gran variedad de pinos presentes en la región Centroamericana, el Pino ocote tiene el más amplio rango de distribución Norte-Sur, por ser una especie que se adapta a diferentes condiciones ecológicas. (Revista Forestal Centroamericana, 1995).

1.2.1.2 Taxonomía de la planta

- **Reino,** Vegetal
 - **Sub-reino,** Embryobionta
 - **División,** Pinophyta
 - **Clase,** Pinopsida
 - **Orden,** Pinales
 - **Familia,** Pinaceae
 - **Genero,** Pinus
 - **Especie,** Oocarpa
-
- **Nombre Común,** Pino colorado o Pino ocote, Ocote chino, Ocote macho, Pino cerdón, Pino prieto, Pino resinoso, Pino trompillo, Planta de ocote. ” (Ficha técnica INAB)
 - **Nombre Científico,** “Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl (<http://www.es.wikipedia.org/wiki/Pino>)

1.2.1.3 Descripción botánica

- **Dimensiones**, “altura de 14 a 45 m de 50 cm en su base a 90 cm de diámetro.
- **Corteza**, fuertemente fisurada, de 5 a 10 cm de grueso; se descortezan en largas bandas irregulares, escamosas color rojizo oscuro a grisáceo.
- **Hojas**, de dos a tres años, formando penacho en la cúspide de las ramitas, notablemente ralo y corto en las colonias que vegetan en terrenos áridos o talpetatosos progresivamente denso y largo a medida que se adentran en terrenos más viables y húmedos. Fascículos ordinariamente de 5 agujas raras veces de 3 a 4, agujas de sección triangular de 12 cm a 29 cm de longitud, por 0.7 Mm a 1.5 Mm de espesor, siendo las del extremo del ramo desde erguidas hasta ascendentes, luego tendidas y por último hasta colgantes, color verde brillantes hasta amarillento, de 3 a 8 canales resiníferos, normalmente separables, con los bordes finamente aserrados unidas en grupos de cinco.
- **Vainas**, de los fascículos, persistentes, color variable entre el moreno amarillento en las más recientes hasta el bruno oscuro grisáceo en las más antiguas, de 1 a 3 cm de longitud, por 1.2 a 1.8 Mm de espesor, pedúnculos caedizos hasta de 3 cm de longitud, leñoso, fuertes, casi siempre brevemente encorvados.

- **Frutos**, son conos ovoides, color café oscuro, lustrosos, con escamas leñosas, al caer, arrastran consigo el peciolo, numerosísimos, persisten o tardíamente caedizos, solitarios o en grupo de a 3, de forma ovalo cortante oval, y que al abrirse resultan de mayor diámetro que longitud, de 4 a 10 cm de longitud de escamas leñoso-fibrosas, fuertes poco flexibles, las mayores de 2 a 3.6 cm de longitud por 1.1 a 1.6 de anchura, de cúspide angulosa, mas o menos romboidea de aristas, tan pronto brevemente arqueadas, casi siempre colgantes o inclinado hacia abajo.
- **Fuste**, recto y cilíndrico.
- **Copa**, ordinariamente amplia, redondeada en árboles adultos, en ejemplares jóvenes un tanto más reducida y más alargada, cónica, simétrica o asimétrica, desde poco densa hasta muy densa.
- **Semillas**, pequeñas, triangulares, color café oscuro, de 4 a 7 Mm de longitud; con alas de 10 a 15 Mm de largo, articulares y engrosadas en la base, donde se unen a la semilla; poseen de 5 a 7 cotiledones.

1.2.1.4 Características de la madera

- **Color del duramen**, medio café
- **Color de albura**, amarillo cremoso
- **Textura**, fina
- **Brillo o lustre**, rayado
- **Olor**, aromático
- **Sabor**, ausente

- **Información General**, la madera es moderadamente resinosa. La madera presenta una ligera diferencia entre albura y duramen.
- **La Albura**, es de color amarillo cremoso gris, blanco amarillento en ejemplares jóvenes. Resulta hasta notablemente rojiza en las haces centrales del tronco de árboles adultos, debido a la acumulación de resina.
- **El Duramen**, varía de color pálido a medio café y está más o menos definido de la albura de color pálido, cuyo ancho puede variar entre 1 y 3 1/2 pulgadas. Existe un contraste marcado entre la madera de un árbol joven y la de un árbol viejo. Ocupando la albura en este último menos de la tercera parte de los anillos de crecimiento.” (Aguilar Cumes, 95-96)

1.2.1.5 Usos principales

“Artículos deportivos, Aserrío, Ataúdes, Cajas, Cajones, Chapas, Cubiertas, Decoración, Embalajes, Juguetes, Entarimados, Barcos.

- **Combustible**, el tallo y ramas se usan como combustible o para la elaboración de carbón.
- **Industrial**, su abundante resina se usa para producir aguarrás y brea.

- **Medicinal**, su corteza se utiliza para el tratamiento de ansias, asma bronquial y en sahumero para curar el mal de aire. La resina hervida con hojas de eucalipto se usa en el tratamiento de la tos. La resina aplicada en forma directa se usa para el tratamiento de torceduras. La resina en píldoras se usa para tratar la temperatura alta. Las hojas en agua de tiempo se usan para el tratamiento contra disentería roja y disentería amarilla. El tallo se usa para cerrar el cordón umbilical al quemarse con ocote en aceite de oliva y parafina. “
(<http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/PinusOocarpa.html>)

1.3 Fundamentación teórica de la metodología para análisis químico

1.3.1 Lixiviación

“Es la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido.

La lixiviación es la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido. Esta operación unitaria, una de las más antiguas en la industria química, ha recibido muchos nombres, según la técnica más o menos compleja utilizada para llevarla a cabo.

La colada se refería originalmente a la percolación del líquido a través de un lecho fijo del sólido, pero en la actualidad se utiliza para describir la operación en forma general, sin importar la forma en que se realice.

Lixiviación se utiliza con menos frecuencia como sinónimo para colada, aunque al principio se refería específicamente a la colada de álcali a partir de cenizas de madera. El término extracción también se emplea por lo común para describir esta operación particular, aunque también se aplica a todas las operaciones de separación, que utilicen métodos de transferencia de masa o mecánicos. La decocción se refiere específicamente al uso del disolvente a su temperatura de ebullición.

Cuando el material soluble está sobre todo en la superficie de un sólido insoluble y simplemente se lava con el disolvente, la operación algunas veces recibe el nombre de elución.

Tal vez las industrias metalúrgicas son las que más utilizan las operaciones de lixiviación. La mayoría de los minerales útiles se encuentran en forma de mezclas, con grandes proporciones de componentes indeseables; por eso, la lixiviación del material valioso es un método de separación que se aplica con frecuencia. Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación.

La operación unitaria se puede considerar como una extracción, aunque el término también se refiere a la extracción líquido-líquido. Cuando la lixiviación tiene por objeto eliminar con agua un componente indeseable de un sólido, el proceso recibe el nombre de lavado.

Muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales mediante lixiviación. Por ejemplo, el azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente; los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como las de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos; el tanino se disuelve a partir de diferentes cortezas arbóreas mediante lixiviación con agua; en forma similar, muchos productos farmacéuticos se recuperan a partir de raíces y hojas de plantas.

El té y el café se preparan doméstica e industrialmente por operaciones de lixiviación. Además, los precipitados químicos con frecuencia se lavan de sus aguas madres adheridas mediante técnicas y equipo muy similares a los utilizados en las verdaderas operaciones de lixiviación, como en el lavado del licor de sosa cáustica del carbonato de calcio precipitado después de la reacción entre óxido de calcio y carbonato de sodio.

1.3.1.1 Temperatura de lixiviación

Por lo general se desea realizar la lixiviación a temperaturas lo más elevadas posible. Las temperaturas elevadas producen la mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, concentraciones finales mayores en el licor de lixiviación.

A temperaturas elevadas la viscosidad del líquido es menor y mayores las difusividades; esto incrementa la rapidez de lixiviación. En el caso de algunos productos naturales, como las remolachas, las temperaturas muy elevadas pueden producir la lixiviación de cantidades

excesivas de solutos indeseables o de deterioro químico del sólido.”
(Treybal, 797, 798)

1.3.2 Preparación del sólido

El éxito de una lixiviación y la técnica que se va a utilizar dependen con mucha frecuencia de cualquier tratamiento anterior que se le pueda dar al sólido.

En algunos casos, las pequeñas partículas del material soluble están completamente rodeadas de una matriz de materia insoluble. Entonces, el disolvente se debe difundir en la masa y la solución resultante se debe difundir hacia el exterior antes de poder lograr una separación. Esto es lo que sucede con muchos materiales metalúrgicos. La trituración y molienda de estos sólidos acelerará bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente.

Cuando la sustancia soluble está distribuida más o menos uniformemente en todo el sólido o aun en solución del sólido, la acción de lixiviación puede proporcionar canales para el paso del disolvente fresco y tal vez no sea necesaria una molienda muy fina.

1.3.2.1 Materiales inorgánicos y orgánicos

“El método de preparación del sólido depende en alto grado de la proporción del constituyente soluble presente, de su distribución en el material sólido original, de la naturaleza del sólido, que puede estar constituido por células vegetales o el material soluble estar totalmente

rodeado por una matriz de materia insoluble, y del tamaño de partícula original.

Si la materia soluble está rodeada de una matriz de materia insoluble, el disolvente se debe difundir hacia el interior para ponerse en contacto y disolver el material soluble, y después difundirse hacia afuera.

Esto ocurre en muchos procesos hidrometalúrgicos, en los que se lixivian sales metálicas de minerales metálicos.

1.3.2.1.2 Materiales animales y vegetales

Los materiales biológicos tienen estructura celular y los constituyentes solubles suelen estar dentro de las células. En ocasiones, la velocidad de lixiviación es bastante baja, debido a que las paredes celulares constituyen una resistencia adicional a la difusión.

No obstante, es poco práctico moler los materiales biológicos a tamaño suficientemente pequeño para exponer el contenido de las células individuales. Las remolachas de azúcar se cortan en rebanadas delgadas cuneiformes para que durante la lixiviación sea más pequeña la distancia necesaria para que el disolvente acuoso se difunda y llegue a las células individuales.

Las células de la remolacha se mantienen esencialmente intactas, por lo que el azúcar se difunde a través de las paredes celulares semipermeables, mientras los componentes albuminosos y coloidales indeseables no pueden pasar a través de ellas. Para lixiviar productos farmacéuticos de hojas, tallos y raíces, el secado del material antes de la

extracción ayuda a romper las paredes celulares. De esta manera, el disolvente ataca directamente al soluto.

Las paredes celulares de las semillas de soya y de otros vegetales sufren bastantes rupturas cuando la materia se reduce a un tamaño de aproximadamente 0.1 Mm. a 0.5 Mm., por medio de un proceso de laminación para formar pequeñas escamas. Las células son de tamaño más pequeño, pero sus paredes se rompen y el aceite vegetal queda más accesible a la acción del disolvente.” (Geankoplis, 817)

1.3.3 Secado

“Se refiere a la eliminación de agua de los materiales de proceso y de otras sustancias. El término secado se usa también con referencia a la eliminación de otros líquidos orgánicos, como benceno o disolventes orgánicos, de los materiales sólidos. Muchos de los equipos y métodos de cálculo que se estudiaran para la eliminación de agua, también pueden aplicarse para la eliminación de los líquidos orgánicos.

En general, el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. La evaporación se refiere a la eliminación de cantidades de agua bastante grandes; además, ahí el agua se elimina en forma de vapor a su punto de ebullición. En el secado, el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire. ” (Geankoplis 594)

1.3.3.1 Métodos generales de secado

“los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de lotes, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo; o continuos, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo.

Los procesos de secado se clasifican también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua: (1) en la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire; (2) en el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación (también pueden usarse bajas temperaturas con vacío para ciertos materiales que se decoloran o se descomponen a temperaturas altas); (3) en la liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado.” (Geankoplis 595)

1.3.4 Determinación gravimétrica

“Se denomina análisis gravimétrico al método de análisis cuantitativo basado en la determinación de la composición cuantitativa de la sustancia problema midiendo directamente la masa por medio de la pesada.

Las mediciones de la masa en la determinación gravimétrica deben ser muy precisas, y por lo tanto éstas se llevan a cabo con ayuda de un instrumento de medición muy exacto, la balanza analítica.

Las determinaciones gravimétricas pueden ser divididas en tres tipos:

- **Al primer tipo**, pertenecen las determinaciones gravimétricas en la realización de las cuales el componente a determinar se separa cuantitativamente de la sustancia y se pesa. Como ejemplo se tiene la determinación de ceniza en la hulla.
- **Al segundo tipo**, pertenecen aquellas, en realización de las cuales el componente a determinar se elimina por completo, y el residuo se pesa. Como ejemplo se tiene la determinación de la humedad de los materiales.
- **Al tercer tipo**, para las determinaciones gravimétricas de este tipo, el componente a determinar se convierte cuantitativamente en tal compuesto químico, en forma del cual puede ser separado y pesado. Como ejemplo de dicho tipo se tiene la determinación de azufre en hulla.“ (Kreshkov 11-13)

1.3.5 Calcinación

“Una vez que un precipitado se ha separado, filtrado y lavado, debe experimentar dos operaciones finales:

- Debe secarse o calcinarse hasta llegar a ser un compuesto de composición constante y conocida.
- El residuo secado o calcinado debe dejarse en condiciones adecuadas y luego pesarse en forma exacta.

Solo se considerará la primera de estas etapas finales del proceso de análisis por métodos gravimétricos. Se supondrá que se halla libre de toda contaminación.

Muchos precipitados pueden secarse, y eliminar su contenido de agua, por calentamiento en una estufa a temperaturas entre 100 a 150°C. Esto requiere que el agua esté retenida débilmente y no como agua fuertemente absorbida y ocluida. Requiere también que si el agua contiene algún electrolito antipeptizante, éste debe resultar completamente volátil a temperatura de secado. Cuando se cumplen estas condiciones, la forma pesada resulta generalmente idéntica a la forma precipitada.

Tal vez resulte más común hallar técnicas en las que el precipitado lavado se calcine a alguna temperatura elevada y se convierta de alguna otra forma que implique una composición conocida y constante. Estos procedimientos de calcinación se emplean por diversas razones, entre ellas la imposibilidad de asegurar una forma de composición constante

del precipitado por simple secado, el empleo de un electrolito antiptizante volátil a alta temperatura, y la necesidad de asegurar la eliminación de agua retenida por oclusión o por fuerte adsorción. A continuación algunos factores importantes a tomar en cuenta durante la calcinación de precipitados.

- Tras muchos años de experiencia, se han determinado valores óptimos de temperatura de calcinación para la conversión de precipitado a alguna composición deseable y constante, mediante el proceso de ensayo y error. En años recientes, el empleo de la termobalanza ha permitido investigar estas temperaturas empíricas de calcinación y, en muchos casos, determinar la temperatura requerida para un proceso dado de calcinación, así como el intervalo de temperatura en el que se puede esperarse que dicho proceso tenga lugar. Mediante este instrumento puede medirse con exactitud la masa de un precipitado conforme aumenta la temperatura, desde aquella del medio ambiente hasta alcanzar la temperatura elevada por encima de los 1000°C.
- Cuando se planea un procedimiento de calcinación, podrá resultar necesario, en ciertas circunstancias, emplear un método de filtración diferente al del papel filtro.
- La temperatura de calcinación debe mantenerse en su valor óptimo. El empleo de una temperatura mayor no necesariamente implica una conversión más rápida a la forma deseada. De hecho, una mayor temperatura que la recomendada puede ocasionar una pérdida de precipitado por volatilización, sublimación o descomposición.

- Muchos residuos de calcinación no muestra una marcada tendencia a absorber humedad atmosférica o dióxido de carbono durante el ciclo de enfriado que precede a la operación de pesado. Sin embargo, esto ocurre con muchos residuos y el caso más común es la absorción de humedad. Estos residuos deben enfriarse siempre en un desecador que contenga un eficiente material desecante, capaz de evitar una significativa adsorción de agua durante el período de enfriamiento. Cuando el residuo calcinado reacciona con dióxido de carbono, deben emplearse durante el enfriamiento, desecadores con atmósfera libre de dióxido de carbono.” (Dick, 476-478)

1.3.6 Determinación volumétrica

“Es el método de análisis cuantitativo en que la medición de la masa se efectúa por medio de la medición de los volúmenes.

La esencia del análisis volumétrico consiste en lo siguiente. A una disolución preparada a partir de una muestra pesada de una sustancia que se somete al análisis se añade paulatinamente la disolución de concentración exactamente conocida hasta que las sustancias que interaccionan se combinen completamente. Entonces, a base de la medición exacta del volumen del reactivo se calcula el contenido del componente a determinar en la muestra que se analiza.

El momento en que la reacción llega al final, o sea, cuando las sustancias interaccionantes se consumen por completo, se denomina punto de equivalencia, ya que en este momento las cantidades de sustancias que entraron en la reacción son estrictamente equivalentes.

1.3.6.1 Criterio de aplicabilidad de las reacciones químicas en el análisis volumétrico

Para una determinación analítica volumétrica, al igual que en el método gravimétrico, no puede ser empleada toda reacción química.

Las reacciones que se utilizan en el método volumétrico, deben satisfacer las exigencias siguientes:

- La reacción debe ser prácticamente irreversible.
- El momento final de la reacción (punto de equivalencia) debe ser fácilmente perceptible.
- La reacción debe verificarse rápidamente, instantáneamente.

La variación de las condiciones exteriores en que se realiza la reacción, no debe influir en su marcha y en las propiedades de los productos finales.

1.3.6.2 Clasificación de los métodos volumétricos

El análisis volumétrico, en función del tipo de las reacciones químicas utilizadas, se divide en tres métodos principales.

- Método de oxidación-reducción (redoximetría), basado en la utilización de las reacciones de oxidación-reducción.

- Método de neutralización, alcalina y ácida, en que se emplean las reacciones de neutralización.
- Método de precipitación, basado en la aplicación de las reacciones que se acompañan de la sedimentación de los precipitados.
- Método de complejometría, basado en la formación de los compuestos complejos.” (Kreshkov 100-102)

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN:

La recolección de muestras se llevó a cabo en la finca de reforestación Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz. El acceso se facilitó mediante la coordinación con el INAB (Instituto Nacional de Bosques). Dicha finca según el Atlas del Ministerio de Comunicaciones y Obras públicas se encuentra en una zona con las siguientes características:

- **Ubicación**

“Tukurú, Alta Verapaz; Longitud: 15°17'35”, Latitud: 90°07'35”,
Altura Sobre el Nivel del Mar: 476 m. (1971).

- **Clima**

Según la codificación ubicada en la región de Alta Verapaz, el mapa climático de la República de Guatemala, B´b´Ar se muestra su interpretación se muestra a continuación:

Jerarquías de temperatura

Símbolo	Carácter del clima
B´	Semi-cálido (18.7º - 23.9ºC) de 650 a 1400 m.

Tipo de variación de la temperatura

%	Símbolo	Carácter del clima
35 a 49	b´	Con invierno benigno

Jerarquías de humedad

Símbolo	Carácter del clima	Vegetación natural característica
A	Muy Húmedo	Selva

Tipos de distribución de la lluvia

Símbolo	Carácter de la lluvia
r	Sin estación, seca bien definida

Fuente: Instituto Geográfico Nacional 1966.

• **Génesis de los suelos**

Son suelos desarrollados sobre serpentinita y rocas asociadas a elevaciones medianas como la riolita amorfa y la roca calcárea son relativamente extensas en Guatemala. Parecen ser el resultado de la serpentización de rocas riáficas; son poco profundas, arcillosas de color café o café rojizo, y en general, se consideran de baja productividad. La vegetación natural es el pino.

- **Clasificación de los suelos**

Es un suelo franco de 25 a 49 cm de profundidad. La zona de vida vegetal es: Montano bajo, Húmedo.” (Atlas Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas)

- Las extracciones y análisis químicos se realizaron en el laboratorio de la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.
- La determinación de la humedad se realizó en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

2.2 RECURSOS

2.2.1 Humanos

Investigador: Mario Roberto González Pimentel.
Asesor: Inga. Telma Maricela Cano Morales.
Coasesor: Ing. Forestal MSc. en Tecnología e industrias de la Madera José Mario Saravia.

2.2.2 Físicos

2.2.2.1 Equipo

- Horno eléctrico con recirculación (marca Cole Parmer, modelo 05015-54, 128 V, 800W, 1 Phase 50/60 Hz)

- Tamices No. 40 y 60 en escala de Tyler (Tyler Screen Scale Equivalent, U.S.A. Standard Testing sieve, Soltest, inc.)
- Planchas de calentamiento con agitación (marca Corning, modelo Pc-400, 120V/100V, rango 0-480°C, 0-1100 RPM)
- Termómetros (mercurio, con escala de 0-100°C, del tipo inmersión Total)
- Balanza digital (marca Adventure OHAUS, precisión de 0.001g, percibe hasta 150g.)
- Desecadoras
- Horno Mufla (marca Thermolyne 1400 Furnace, calienta hasta 1100 °C)
- Bomba de vacío (marca Gast, modelo 0523-V4F-6588DX, vacío hasta 30 in Hg, manómetros analíticos)
- Campana de extracción de gases (marca Serproma, de motor con capacidad de 3/4Hp)

Fig.10 Equipo 1. Desecadora, Plancha de calentamiento y agitación; y bomba de vacío



Fig.11 Equipo 2. Balanza digital y Horno mufla



Fig.12 Equipo 3. Campana de extracción de vapores y horno eléctrico con recirculación



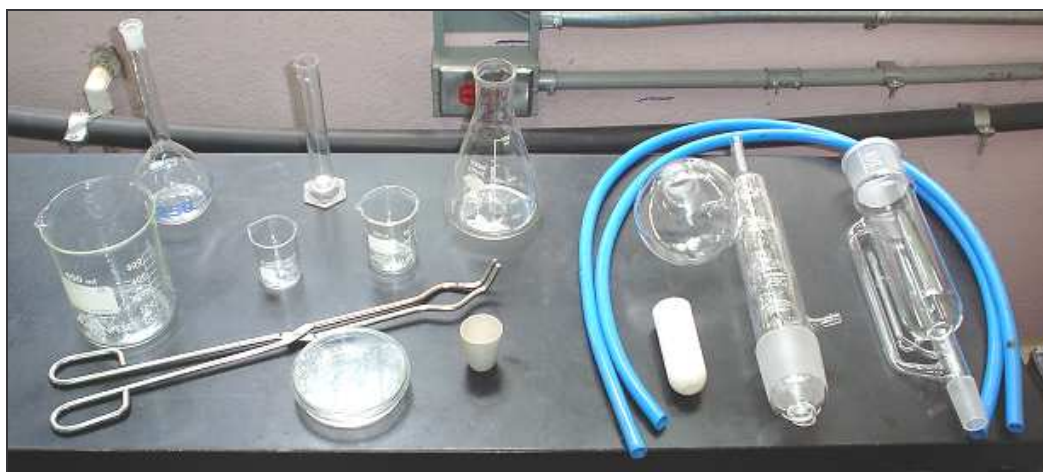
Fig.13 Equipo 4. Tamiz No. 40 Escala Tyler. Frasco ámbar



2.2.2.2 Cristalería

- Equipo de extracción (Soxhlet marca Corning-Pirex con condensador, balones esmerilados con capacidad de 500 mL., dedales marca Whatman de 33mm, diámetro interno, por 94mm de longitud externa, No.2800339)
- Beakers, con capacidad de 50, 100, 600 y 1000 mL.
- Erlenmeyers, con capacidad de 250, 500 y 1000 mL.
- Balones aforados, con capacidad de 250, 500 y 1000 mL.
- Probetas, con 25, 50, 100 y 500 mL.
- Pinzas
- Cajas de petrí

Fig.14 Cristalería. Beackers, balón aforado, caja de petrí, probeta, pinzas, crisol, erlenmeyer, mangueras, dedal, balón de fondo redondo, condensador y Soxhlet



2.2.2.3 Reactivos

- Agua Desmineralizada Salvavidas.
- Alcohol etílico (95%), etanol absoluto, 100983 Merck KGaA.
- n- Hexano, pureza 95%, 104368 Merck KGaA.
- Hidróxido de Sodio en lentejas puro, 106462 Merck KGaA.
- Ácido sulfúrico al 72%.
- Sulfito de Sodio, Sodio sulfito anhidro, 106657 Merck KGaA.
- Índigo carmín, 104724 Merck KGaA.
- Permanganato de Potasio en solución 0.1 N Titrisol, 109935 Merck KGaA.
- Ácido acético anhidro 108450 Merck KGaA.

2.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.3.1 Obtención y preparación de las muestras

Las muestras se obtuvieron a través del INAB en la finca de reforestación Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz bajo el proyecto PINFOR a través del INAB.

Luego se procedió a realizar el muestreo de acuerdo a la metodología establecida. Los árboles se seleccionaron aproximadamente de la misma edad, a distintas alturas, se tomaron muestras de corteza y madera a 1.30 m del suelo, a un medio de la altura comercial, y en el extremo superior de la altura comercial del fuste.

Cada sección conservó la corteza; además, inmediatamente después de seccionada, con motosierra, se aplicó pintura de aluminio en los cortes para evitar evaporación y ataque de cualquier tipo. Las muestras se limpiaron de impurezas como polvo, musgo, entre otros.

La madera se seccionó en probetas de 10 cm. para posteriormente molerlas, la molienda se llevó a cabo en un molino de martillo, de la carpintería del área de prefabricados CII/USAC, para transformar la probeta de madera en aserrín.

Luego se procedió a secar las muestras mediante secado a la sombra hasta que el peso de las muestras se mantuvo constante. Terminado el secado se procedió a tamizar fracciones que pasen por un tamiz No.40 (escala Tyler), de 250 micrones, que posteriormente se colocaron en bolsas plásticas para evitar humidificación.

Posteriormente se caracterizó químicamente la materia prima, determinando el porcentaje de taninos, lignina, α -celulosa, extraíbles y cenizas utilizando en algunos casos la metodología de normas ASTM D1105-56, D-1106-56, D-1103-60, D1102-56 y finalmente los componentes obtenidos se colocaron en frascos pequeños de color ámbar debidamente identificados.

2.4 MANEJO EXPERIMENTAL

2.4.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MADERA

El análisis químico se realizó en base a las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y la combinación de las normas ANSI, con su la adaptación correspondiente, las cuales se mencionan a continuación:

2.4.1.1 PREPARACIÓN DE LA MADERA LIBRE DE EXTRAÍBLES (ASTM D-1105-56, REAPROBADO EN 1977)

ALCANCE

Este método abarca la preparación de madera libre de extraíbles y la aplicación a los bosques de Norte América. Extractivos en madera consiste en materiales que son solubles en solventes neutros y que no son parte de la madera.

APARATOS

Aparato de extracción Soxhlet, aparato de extracción Soxhlet de vidrio con un adecuado tamaño para contener la muestra, también dedales de porosidad media serán requeridos. Balanza analítica, sensible a 0.1 mg. Horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C. Desecadora.

REACTIVOS

- Alcohol etílico (95%), etanol absoluto, 100983 Merck KGaA.
- n- Hexano, pureza 95%, 104368 Merck KGaA.

MUESTRA

La muestra consistirá en aserrín seco que ha sido reducido por medio de molino y después pasado a través de tamiz No. 60 (250µm).

PROCEDIMIENTO

- Colocar en un dedal 7.5 g. de la muestra de madera con humedad determinada, previamente.
- Colocar el dedal en el sistema de extracción (Soxlet con el condensador a reflujo) manteniendo una relación de $\frac{3}{4}$ de solvente con respecto al balón. Primero se realiza una extracción con Hexano durante 12 horas.
- Luego se realiza la extracción con Etanol durante 12 horas.
- Secar el contenido del dedal (libre de extraíbles) a la sombra a temperatura ambiente. Luego se procede a pesar. Se anota el peso y se le resta el peso del dedal previamente tarado para obtener el peso real. Luego se seca en un horno eléctrico con recirculación a 105 ± 3 °C durante 12 horas. Pesar y secar hasta peso constante. (2 horas al horno, luego 20 min. En desecadora, pesar, 1 hora al horno y luego 20 min. En desecadora, así sucesivamente hasta peso constante). Lo que se obtiene se llamará muestra A, que es la muestra de madera libre de extraíbles.

2.4.1.2 DETERMINACIÓN DE LIGNINA EN MADERA (ANSI/ASTM D-1106-56)

ALCANCE

Este método abarca la determinación del contenido de lignina en madera.

PRINCIPIO DEL MÉTODO

Cuando la madera es tratada con ácidos fuertes, los carbohidratos son hidrolizados, dejando un residuo insoluble el cual es determinado como lignina. Desde que algunos extractivos de la madera (aceites, resinas, grasas, ceras, taninos, gomas y almidón) podrían permanecer insolubles en la lignina, esos son los primeros en ser removidos por el solvente adecuado.

El método de ácido sulfúrico al 72% para la lignina contiene dos y algunas veces tres tratamientos preliminares de extractivos, llamados 1) con alcohol, para remover los taninos catecol; 2) con mezcla benceno alcohol, para remover las resinas, aceites, grasas y ceras; y 3) con agua caliente, para remover los materiales que permanezcan como solubles en agua.

APARATOS

Aparato de extracción, una forma compacta del equipo de extracción Soxhlet, con juntas de vidrio esmerilado, preferiblemente. El sistema que se utilizará será el de balón de fondo plano con refrigeración. Balanza analítica, sensible a 0.1 mg. Horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C. Desecadora.

REACTIVOS

- Hidróxido de Sodio en lentejas puro, 106462 Merck KGaA.

- Ácido sulfúrico al 72%. Preparación a partir de ácido sulfúrico 95-97%, 100732 Merck KGaA : verter 665 mL del ácido dentro de 300 mL de agua destilada, con agitación, ESTA OPERACIÓN DEBE REALIZARSE EN BAÑO DE AGUA FRÍA DEBIDO AL CALOR QUE LIBERA LA REACCIÓN, diluir a un litro. Estandarice contra una solución estándar de Hidróxido de Sodio NaOH, utilizando indicador naranja de metilo. Ajuste el ácido sulfúrico al 72 % +/- 0.1 adicionando agua o ácido.

Si fuera deseado, se puede verificar la determinación exacta de la solución por la determinación de la gravedad específica a 20/4 °C es de 1.6338.

- Alcohol etílico (95%), etanol absoluto, 100983 Merck KGaA.

MUESTRA

La muestra a ser tratada en éste proceso será libre de extraíbles (método para la preparación de la madera libre de extraíbles).

PROCEDIMIENTO

- Colocar en un beacker de 100 mL 1 g de la muestra (ver Muestra).
- Agitar durante 2 horas en baño de maría a 20 °C (se necesita plancha con agitación).
- Transferir a un matraz de 1000 mL conteniendo 560 mL de Agua destilada, lo cual dará una solución al 3%.

- Hervir a reflujo 4 horas (balón con condensador).
- Decantar hasta dejar una diferencia mínima entre las dos fases.
- Filtrar la solución obtenida con crisol de Gooch de porosidad fina.
- Lavar con agua caliente.
- Secar a 105 +/- 3°C hasta peso constante.

$$\%Lignina = 100 * \frac{\text{Peso g. Lignina}}{\text{Peso g. de Muestra}}$$

2.4.1.3 DETERMINACIÓN DE TANINOS EN MADERA (Adaptado del método de la A.O.A.C, 30.018, pag. 564 Edición 14-1984)

ALCANCE

Este método abarca la determinación de taninos en madera.

APARATOS

La cristalería que se utilizará en dicha determinación corresponde a, beakers, erlenmeyers, planchas con agitación, termómetros, así como del equipo de determinación volumétrica (equipo para titulación). Balanza analítica, sensible a 0.1 mg. Horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C. Desecadora.

REACTIVOS

- Sulfito de Sodio, Sodio sulfito anhidro, 106657 Merck KGaA.
- Índigo carmín, 104724 Merck KGaA.
- Permanganato de Potasio en solución 0.1 N Titrisol, 109935 Merck KGaA.

MUESTRA

La muestra consistirá en aserrín seco que ha sido reducido por medio de molino y después pasado a través de tamiz No. 60 (250 μ m).

PROCEDIMIENTO

- Colocar 4 g de madera seca, tamizada y con humedad determinada en un beacker adecuado (50mL).
- Preparar una solución de Sulfito de Sodio al 4%, luego agregar un volumen adecuado de solución acuosa de Sulfito de Sodio al 4 % con una relación entre 7:1 a 8:1, puede variar por lo que se agrega hasta que la muestra quede homogénea.
- Calentar la mezcla a 70 °C y agitar durante 45 min. NO SOBREPASAR 70 °C.
- El filtrado (Extracto tánico) se seca en el secador eléctrico y se pesa hasta peso constante.

$$\% \text{Ext. Tánico} = \text{peso extracto tánico} / \text{peso original muestra} * 100$$

- Luego se pesan 2 g del Extracto tánico y se colocan en un erlenmeyer de 1000mL con 200 mL de Agua destilada, agitando para disolver la muestra.
- Colocar la muestra en la estufa o plancha hasta ebullición por 4 horas. Luego entibiar la muestra.
- Se toman 25 mL de la solución líquida y se adicionan 20 mL de Indicador de índigo de Carmín y 750 mL de Agua destilada.
- Titular con Permanganato de Potasio hasta observar cambio de color a Amarillo.
- Preparar un blanco con agua, adicionada de los reactivos en las mismas condiciones. Luego se calcula con la siguiente relación:

$$4.2\text{mg de Taninos} = 1\text{ml} * 0.1\text{N de Permanganato de potasio.}$$

2.4.1.4 DETERMINACIÓN DE α -CELULOSA (ANSI/ ASTM D-1103-60, REAPROBADO EN 1977)

ALCANCE

Este método abarca trata sobre la determinación de celulosa en madera.

APARATOS

La cristalería que se utilizará en dicha determinación corresponde a, beakers, erlenmeyers, cronómetro, balanza analítica sensible a 0.01 g. y horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C. Desecadora.

REACTIVOS

- Hidróxido de Sodio en lentejas puro 106462 Merck KGaA.
- Ácido acético anhidro 108450 Merck KGaA.

MUESTRA

La muestra será libre de extraíbles, por lo que dicha muestra deberá llevar dicho proceso (método para la preparación de la madera libre de extraíbles).

PROCEDIMIENTO

- Pesar 1 g de madera libre de extraíbles y transferir a un matraz de 100 mL.
- Preparar una solución de Hidróxido de Sodio al 17.5 %. Mantener el recipiente de la solución de Hidróxido de sodio al 17.5% en baño María al igual que el beacker con la muestra.

- Agregar 10 mL de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar 2 min., luego agitar de nuevo y dejar reposar 3 min.
- Agregar 5 mL de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar 5 min.
- Agregar 5 mL de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar 5 min.
- Agregar 5 mL de NaOH al 17.5%, agitar y dejar reposar 30 min.
- Añadir 30 mL de agua destilada, agitar y dejar reposar una hora en baño de María a $25 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$.
- Filtrar al vacío con papel filtro, previamente tarado, lavando con una solución de 30 mL de agua y 25 mL de Hidróxido de sodio al 17.5%.
- Lavar con 30 mL de agua destilada con la ayuda de una varilla de agitación para un mejor lavado, con precaución de no romper el papel filtro.
- Preparar una solución de ácido acético al 10% en volumen, agregar 15 mL sin aplicar vacío hasta cumplir 3 minutos en reposo. Luego se lava con 50 mL de agua destilada aplicando vacío.
- Transferir el material insoluble a una caja Petrí previamente tarada, de modo que el material quede disperso. Pesar, secar la muestra contenida en pesa-muestra de aluminio, previamente tarado, en el horno entre $60-85^{\circ}\text{C}$ durante dos horas. Introducir la muestra dentro de la desecadora durante 20 minutos. Pesar. Introducir una hora dentro del horno la muestra y luego introducirla de nuevo a la desecadora durante

20 minutos, pesar. De la misma manera hasta que el peso se mantenga constante.

El porcentaje de α -Celulosa se determina de la siguiente forma:

$$\% \text{Celulosa} = \frac{(P.M - PL) * (P.L.E.) * 100}{P.M.}$$

Donde:

P.M. = Peso anhidro de la muestra tarada.

P.L. = Peso de lignina obtenido para la muestra.

P.L.E. = Peso de madera libre de extraíbles.

P.T.M. = Peso de madera total, antes de la extracción de Extraíbles.

2.4.1.5 DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN MADERA (ANSI/ASTM D-1102-56, REAPROBADO EN 1978)

ALCANCE

Este método cubre la determinación de cenizas, expresado como el porcentaje de residuo presente después de la oxidación de 580 a 600° C de madera o de productos de madera.

APARATOS

Crisoles, con capacidad de 30 mL o más. Los crisoles de platino son preferibles aunque los de sílica o porcelana se pueden usar.

Horno Mufla, un horno eléctrico es recomendado para la ignición de la muestra de madera. Un horno ajustado con un pirómetro como indicador, de esa manera la temperatura puede ser mantenida. Balanza analítica, sensible a 0.1 mg. Horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C. Desecadora.

MUESTRA

La muestra consistirá en aserrín seco que ha sido reducido por medio de molino y después pasado a través de tamiz No. 60 (250µm).

PROCEDIMIENTO

- Calcinar los crisoles a 600°C por 1 hora en la mufla.
- Luego retirarlos e introducirlos en una desecadora por 15 min. , para luego ser pesados. Bajar la temperatura de la mufla a 0°C (sin importar que esta no llegue a tal temperatura).
- Agregar 1g de madera seca previamente tamizada a cada crisol identificando el número de muestra.
- Agregar las muestras a la mufla y elevar la temperatura a 580-600° C (sin pasar del rango) por 1 hora y media o hasta que las muestras tengan ceniza.

- Retirar los crisoles con la muestra y agregarlos a una desecadora por 15 min., para luego ser pesados. Se recomienda el empleo de pesa-muestra de aluminio y una balanza con 0.001g de exactitud.

El porcentaje de ceniza se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{Ceniza} = \frac{\text{P.C.}}{\text{P.M.S.}} * 100$$

Donde,

P.C. = Peso neto de ceniza

P.M.S = Peso de madera seca.

2.4.1.6 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN MADERA

ALCANCE

Este método abarca la determinación del contenido de humedad en madera.

APARATOS

Balanza analítica, sensible a 0.1 mg. Horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C. Desecadora.

MUESTRA

La muestra consistirá en aserrín seco pasado a través de tamiz No. 60 (250µm).

PROCEDIMIENTO

- Preparación del crisol colocar, un crisol con la capacidad adecuada para la cantidad de muestra de aserrín, colorarlo dentro del horno a 105 °C +/- 0.5 durante 2 horas, luego trasladarlo hacia la desecadora donde se espera a que se enfríe durante 20 min. y se anota el peso. Introducir el crisol de nuevo al horno durante 1 hora y luego dentro de la desecadora durante 20 min. de esta manera hasta que el peso sea constante.
- Pesar 2 g de la muestra y colocarlos dentro del crisol preparado en el paso 6.1 y luego introducirlo dentro del horno a 105 °C +/- 0.5 durante 2 horas, luego trasladarlo hacia la desecadora donde se espera a que se enfríe durante 20 min. y se anota el peso. Introducir el crisol de nuevo al horno durante 1 hora, luego dentro de la desecadora durante 20 min. repetir dichos pasos hasta que el peso sea constante. La humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{P.I.} - \text{P.F.}}{\text{P.I.}} * 100$$

Donde,

P.I. = Peso inicial, solo el crisol.

P.F. = Peso final, el crisol más la muestra de madera seca.

2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento realizado es unifactorial con tres niveles, siendo la altura cada nivel, de nueve repeticiones cada uno. Se tiene solo una especie de Pino, con un solo factor, en este caso una procedencia, siendo un total de 27 tratamientos para la especie.

La variable independiente fue la altura del Palo ocote y la variable respuesta la cantidad de tanino, lignina, α -celulosa, extraíbles y ceniza que se determinó para cada árbol.

2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el análisis de varianza para cada componente químico determinado, por ser un método apropiado para probar la igualdad o diferencias de varias medidas. Se analizó un factor con tres tratamientos con nueve corridas cada uno, para tener un arreglo matricial de veintisiete observaciones para cada componente a determinar.

Fue un factor debido a que es única la procedencia, nueve tratamientos que representan los nueve árboles y tres bloques que representan las alturas. Los datos aparecen en la siguiente tabla.

Tabla II Datos requeridos para un experimento, con a tratamientos y n repeticiones. Por ejemplo cuando Y = ceniza.

Tratamientos	Bloques			Total	Promedio
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	Y_1	\bar{Y}_1
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	Y_2	\bar{Y}_2
3	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	Y_3	\bar{Y}_3
a	$Y_{a,1}$	$Y_{a,2}$	$Y_{a,3}$	Y_a	\bar{Y}_4
				Y_i	\bar{Y}

Donde

Y_i = es el total de las observaciones bajo i -ésimo tratamiento

\bar{Y}_i = es el promedio de las observaciones bajo i -ésimo tratamiento, similarmente sea Y la suma de todas las observaciones y \bar{Y} la media general de las observaciones.

En la tabla III, se presentan los cálculos que se realizaron durante el análisis de varianza y se ilustra el área de rechazo y aceptación.

Tabla III, Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo
Tratamientos	SST	a-1	$\frac{SST}{(a-1)}$	$\frac{MSST}{MSSE}$
Bloques	SSB	b-1	$\frac{SSB}{(b-1)}$	$\frac{MSSB}{MSSE}$
Error	SSE (Por sustracción)	(a-1)(b-1)	$\frac{SSE}{(a-1)(b-1)}$	
Total	ST	ab - 1		

Fuente: (Montgomery Douglas, 437)

Donde

$$SST = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i.}^2}{b} - \frac{y_{..}^2}{ab}$$

$$SST = \sum_{j=1}^b \frac{y_{.j}^2}{a} - \frac{y_{..}^2}{ab}$$

$$ST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{ab}$$

Para un nivel de confianza $(1-\alpha) = 0.95$ o $\alpha = 0.05$, con 2 grados de libertad por bloques y 16 grados de libertad por error, se encuentra un valor de $F_{1-\alpha} = 3.63$.

RESULTADOS

Tabla IV, Caracterización de componentes químicos en madera de Pino ocote a diferentes alturas.

Árbol	Altura*	Humedad %	Extraíbles %	Lignina %	Cenizas %	α-Celulosa %
1	1	10,54	13,16	27,13	0,30	48,98
	2	10,79	12,00	24,01	0,20	52,89
	3	10,70	12,67	29,12	0,40	48,12
2	1	10,52	13,44	25,65	0,20	45,70
	2	11,00	11,08	24,70	0,30	48,82
	3	10,42	11,36	25,74	0,30	48,84
3	1	11,05	11,75	27,91	0,40	42,89
	2	10,43	11,55	26,52	0,30	48,38
	3	10,63	9,76	30,77	0,40	47,11
4	1	11,33	10,43	26,69	0,40	56,43
	2	10,57	10,09	26,95	0,30	60,60
	3	10,54	9,17	27,91	0,30	54,04
5	1	10,84	10,25	30,77	0,30	47,39
	2	10,78	9,35	28,95	0,40	63,19
	3	10,58	9,25	29,99	0,50	47,46
6	1	10,57	10,95	26,00	0,40	51,29
	2	10,39	9,88	27,56	0,40	52,45
	3	10,28	10,36	33,71	0,60	44,01
7	1	10,71	10,44	29,29	0,60	52,03
	2	10,94	9,83	40,56	0,40	37,33
	3	11,05	9,91	30,42	0,50	47,75
8	1	10,72	10,39	33,80	0,50	44,36
	2	10,63	10,20	31,72	0,60	48,04
	3	10,43	9,44	39,26	0,20	39,76
9	1	11,00	12,52	26,00	0,20	59,05
	2	10,54	12,36	26,87	0,60	55,39
	3	10,63	12,52	26,87	0,50	50,21

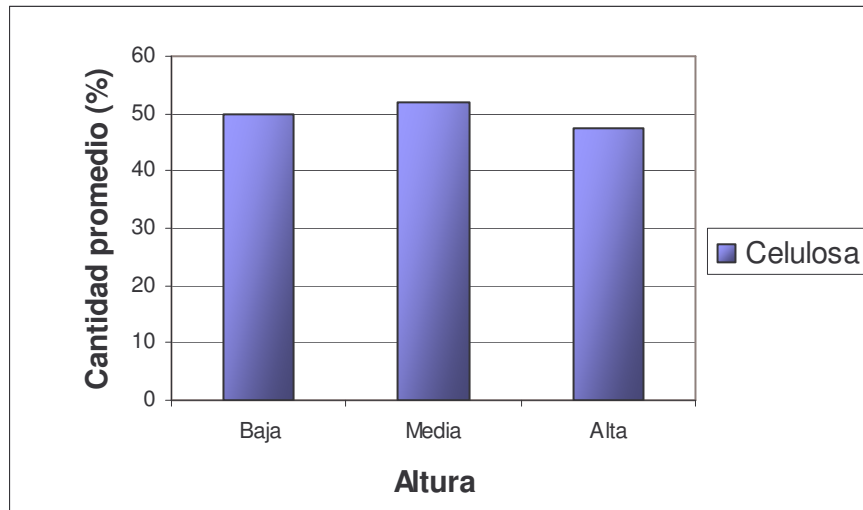
Fuente: Datos Calculados

* 1 = Diámetro a la altura del pecho (1.30 m) BAJA

2 = Altura comercial media MEDIA

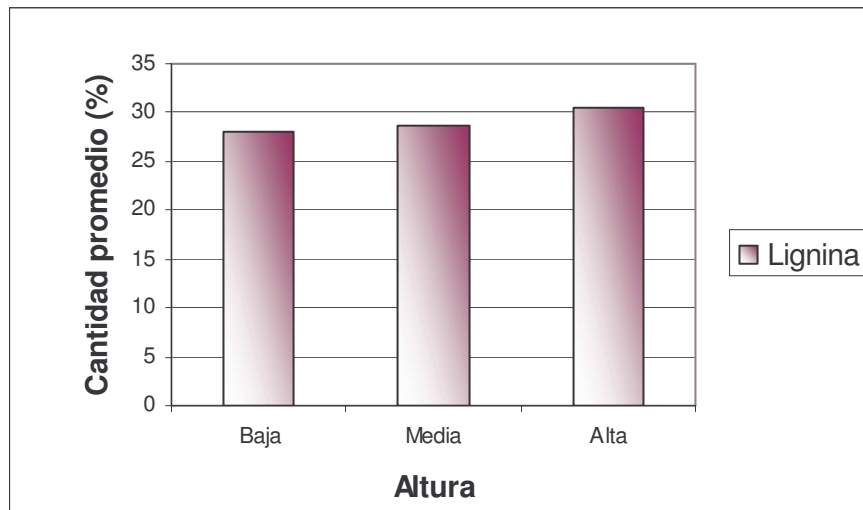
3 = Altura apical (punta) ALTA

Figura 15 Contenido Promedio de α -Celulosa aislada en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ANSI/ASTM D-1103-60



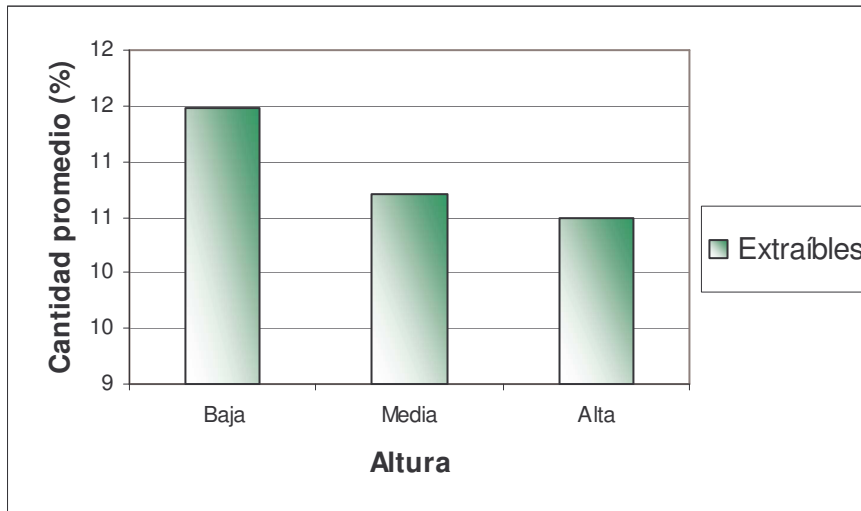
Fuente: Análisis Estadístico

Figura 16 Contenido Promedio de Lignina en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ANSI/ASTM D-1106-56



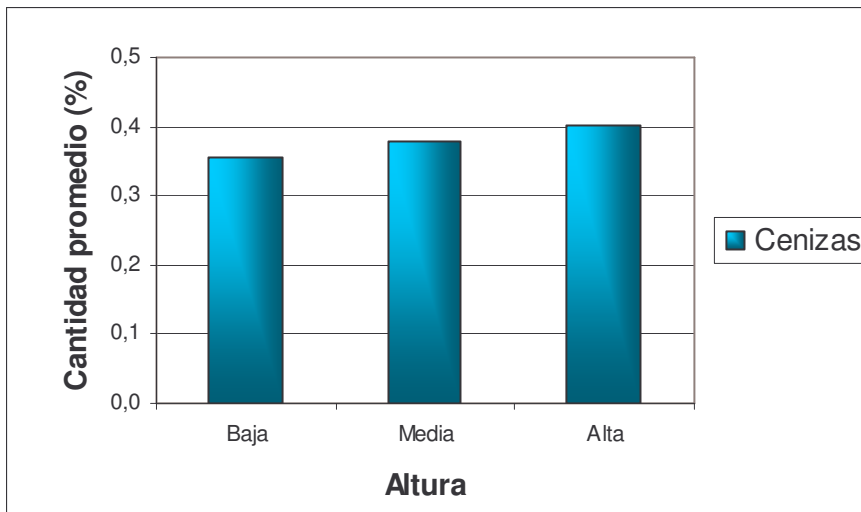
Fuente: Análisis Estadístico

Figura 17 Resultado Promedio de Extraíbles en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ASTM D-1105-56



Fuente: Análisis Estadístico

Figura 18 Resultado de cantidad promedio de Cenizas en madera de Pino ocote a distintas alturas por Método ANSI/ASTM D-1102-56



Fuente: Análisis Estadístico

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente trabajo de investigación se determinaron los siguientes componentes químicos, α -Celulosa, Lignina, Taninos, Cenizas y componentes Extraíbles en madera de *Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl* mejor conocido como Palo ocote, procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz.

En la sección de resultados se muestra los valores obtenidos, así como del contenido de humedad de cada prueba. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la tabla IV.

La determinación de los componentes químicos descritos se realizó a través de la metodología establecida en normas ASTM, siendo un total de veintisiete muestras divididas de la siguiente manera; se analizaron nueve árboles y para cada árbol se realizaron tres determinaciones a las tres diferentes alturas. Cada altura se identifica de la siguiente forma: Diámetro a la altura del pecho denominada con fines prácticos como altura baja o altura 1, Altura comercial media denominada también con fines prácticos como altura media o altura 2 y Altura apical o punta denominada como altura alta o altura 3. Los contenidos reportados como porcentaje se refieren a porcentaje en peso.

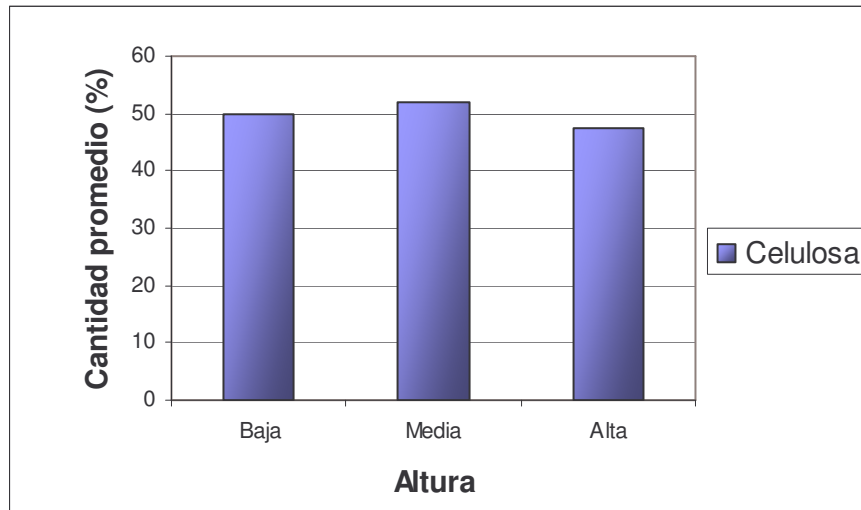
Como se puede observar en la tabla IV, el valor de α -Celulosa esta en el rango entre 47.48% y 51.90%, Lignina entre 28.14% y 30.42%, las sustancias extraíbles entre 10.70% y 11.48%, cenizas entre 0.2% y 0.6% y en el caso de taninos no se obtuvo valores cuantificables debido a su bajo contenido en la madera, contrastando con la cantidad

en corteza que está en el rango entre 20% y 40%, el método utilizado no detectó cantidades menores al 0.05%.(conclusión 5)

Se determinó que los datos obtenidos tienen similitud con los datos reportados por Tsoumis con referencia al tipo de madera gimnospermas o mejor conocidas como coníferas entre las cuales se encuentra el Pino ocote, con excepción de las sustancias extraíbles. Los datos registrados en la literatura son los siguientes, para α -celulosa un rango de 40% y 60%, para lignina entre 10% y 35%, sustancias extraíbles entre 1% y 10% y cenizas entre 0.2% y 1%.

Para cada componente químico se aplicó análisis de varianza, en el caso de α -Celulosa se concluyó que no hay diferencia significativa entre alturas como lo indica la Tabla X, debido a que el valor teórico para la prueba de Fisher fue mayor que el valor calculado con lo que se determina que *no existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de α -Celulosa a diferentes alturas para Pinus oocarpa Schiede ex Schltd.* Lo cual era esperado debido a que α -Celulosa es uno de los componentes más importantes y abundantes en la planta, además está presente como material de reserva en las células de la planta por lo que constituyen una fuente de energía y está presente a lo largo de la planta. (conclusión 1)

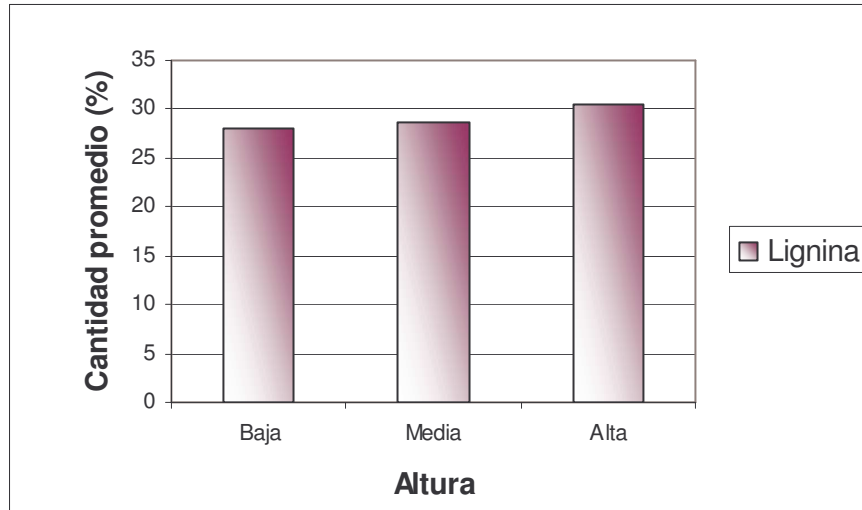
Figura 19 Contenido Promedio de α -Celulosa en madera, Pino ocote



Fuente: Análisis Estadístico

Para el análisis de varianza en el caso de la Lignina se observó que es similar al caso de α -Celulosa donde se concluyó que *no existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de Lignina a diferentes alturas para Pinus oocarpa Schiede ex Schltd*, aplicando el mismo criterio de la prueba de Fisher como se observa en la tabla XI. La Lignina es un compuesto que su estructura no está establecida ya que se encuentra en muchas plantas pero su constitución varía en todas ellas, por tal razón no se debe considerar como una sustancia única, sino como una clase de materiales correlacionados que varían a lo largo de la estructura de la planta. (conclusión 2)

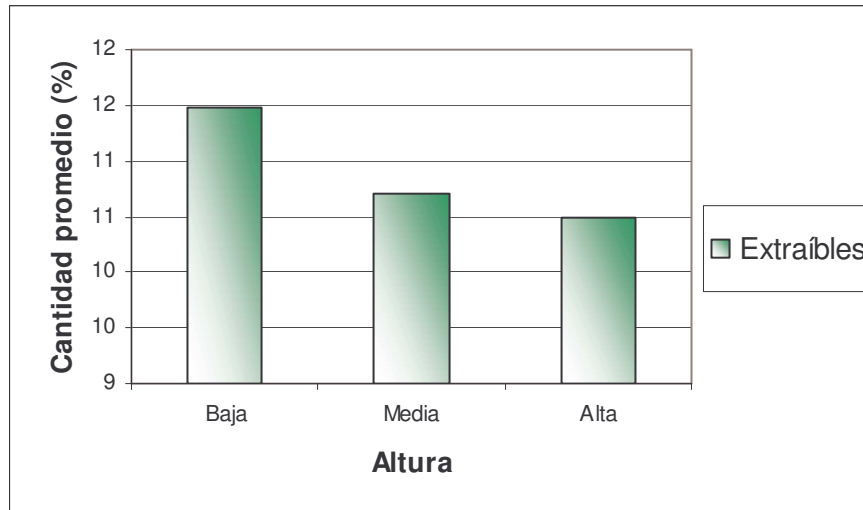
Figura 20 Contenido Promedio de Lignina en madera, Pino ocote



Fuente: Análisis Estadístico

En el análisis de varianza realizado para Extraíbles se puede apreciar que según la prueba de Fisher el valor calculado sobrepasa al valor teórico, dicho valor se puede observar en la tabla XII, con lo cual se concluye que, *si existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de Extraíbles a diferentes alturas para Pinus oocarpa Schiede ex Schltd.* La variación en los componentes o sustancias Extraíbles se debe a factores genéticos y ecológicos ya que como se mencionó los componentes son diversos y difieren al compararlos entre especies. (conclusión 3)

Figura 21 Contenido Promedio de C. Extraíbles en madera, Pino ocote



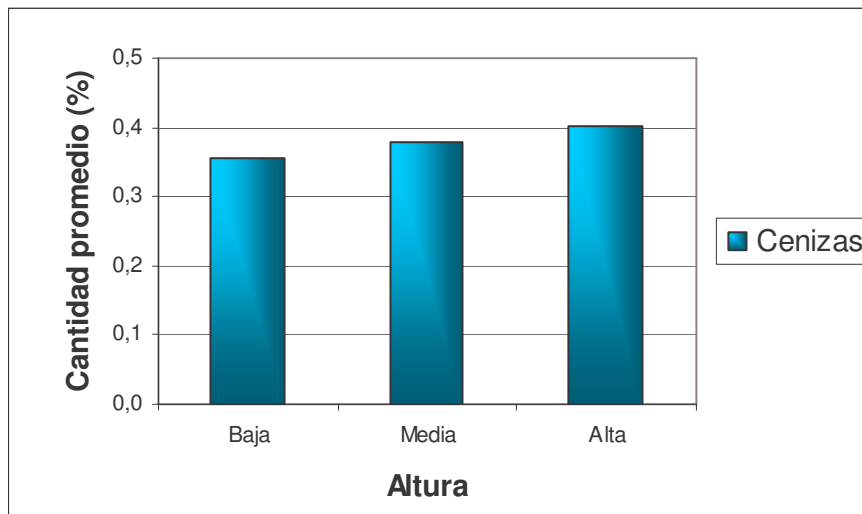
Fuente: Análisis Estadístico

En el caso de Extraíbles, el promedio fue de 10.89% que se encuentra por encima del rango establecido en la literatura, por Tsoumis, y por lo que se puede inferir que dicha variación se deba a que el Pino ocote es una especie forestal rica en resinas, con lo cual se recomienda realizar una prueba específica para determinar que componentes son los que se encuentran los componentes extraíbles de dicha especie y en que cantidad.

En el análisis de varianza para la determinación de cenizas se determinó que, *no existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de Ceniza a diferentes alturas para Pinus oocarpa Schiede ex Schlttd*, por medio del análisis estadístico con la prueba de Fisher como se puede apreciar en la tabla XIII, cabe mencionar que el resultado presentado obedece a un resultado global de cenizas por lo que no se

puede decir que minerales se encuentran, se recomienda que se realice una caracterización de los minerales presentes en la especie *Pinus oocarpa Schiede ex Schld*, para determinar el porcentaje de los minerales presentes. (conclusión 4)

Figura 22 Contenido Promedio de Cenizas en madera, Pino ocote



Fuente: Análisis Estadístico

Según S. Hon algunos de los elementos inorgánicos presentes en madera son esenciales para el crecimiento de la madera. Los elementos metálicos están a menudo absorbidos en el árbol a través del sistema de la raíz y se transportan a todas las áreas dentro del árbol creciente. De esta manera se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo del árbol

Se determinó la cantidad de humedad de cada muestra que se trabajó, con el fin de determinar el contenido de agua de las mismas.

CONCLUSIONES

1. El componente α -Celulosa no presentó diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento a diferentes alturas para *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltd.
2. No existió diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de Lignina a diferentes alturas para *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltd,
3. En los componentes extraíbles si existió diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento a diferentes alturas para *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltd.
4. No existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimiento de Ceniza a diferentes alturas para *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltd
5. Para la determinación de taninos no se obtuvo valores cuantificables debido a su bajo contenido en la madera, el método que se utilizó no detectó cantidades menores al 0.05%.

RECOMENDACIONES

1. Profundizar en la determinación de los componentes extraíbles en la especie *Pinus oocarpa Schiede ex Schltd.*
2. Realizar una caracterización de los elementos químicos presentes en la ceniza de la especie *Pinus oocarpa Schiede ex Schltd.*, para determinar el porcentaje de los mismos.
3. Realizar caracterización química de otras especies forestales para comparar cantidades de los distintos componentes químicos.
4. Realizar caracterización de la misma especie con distinta procedencia para comparar cantidades.
5. Evaluar la rentabilidad para el proceso de separación de los compuestos químicos determinados para su posterior comercialización con el fin de optimizar el uso de la madera.

REFERENCIAS

1. Tsoumis, George, **Science and technology of wood**, emeritus professor, Aristotelian university, Thessaloniki, Greece: Editorial van nostrand reinhold, New York (S.A.P.). 494 pp.
2. S. Hon David N., Shiraishi Nobuo, **Wood and Cellulosic Chemistry**, Marcel Dekker, Inc. New York and Basel. United States of America: Printed in the United States of America, 1991 by Marcel Dekker, Inc. 1018 pp.
3. Saravia, Jorge M., **Documento Docente Extraíbles**, Texto: 012-2002, Facultad de Agronomía 2002.(S.D.E.)
4. Saravia, Jorge M., **Documento Docente Lignina**, Texto: 011-2002, Facultad de Agronomía 2002.(S.D.E.)
5. Aguilar Cumes, J.M. **Código oficial para las especies arbóreas de Guatemala**, Guatemala, Instituto de Capacitación y Productividad – Instituto Nacional Forestal (INTECAP – INAFOR), (S.D.E.) 1980. 105 pp.
6. Aguilar Cumes, J.M. **Guía para la identificación de las coníferas de Guatemala**, sector Público Agrícola. Instituto Nacional Forestal, Unidad Manejo Forestal, Departamento de Reforestación. Guatemala C.A. (S.D.E.) 1976.
7. “Pino de ocote **Ficha técnica de especies**, INAB. (S.L.P Y S.A.P)

8. Treybal, Robert E., **Operaciones de transferencia de masa**, 2^a ed. México: Editorial McGraw Hill, 2000. 862 pp.

9. Kreshkov, A.P., **Curso de química analítica, análisis cuantitativo**, Mir Moscú, traducido del ruso por S.G. Kará-Murzá, impreso en la URSS. traducción al español, editorial Mir, 1985. 335 pp.

10. Aguilar Girón, J.I. **Relación de unos aspectos de la flora útil en guatemala**, 2da. edición Guatemala: tipografía nacional de Guatemala, 1998, 383 pp.

11. Dick, J.G., **Química analítica** traducido por Beatriz S. Hill de V., (Tomo II) México: Editorial el Manual Moderno S.A., 1979. 797 pp.

12. **Revista forestal centroamericana**, (S.D.E). 1995.

13. SEMARNAT, **Especies con Usos No Maderables en Bosques de Encino, Pino y Pino Encino**, <http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/PinusOocarpa.html> (02/2005)

14. FAI, **Componentes de la leña y árbol** http://www.fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/maderas.htm#comparativo_d_el_leño (05/2005)

15. WIKIPEDIA, **Pinus oocarpa** <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Pino> (05/2005)

16. Vian, A., **Curso de introducción a la Química Industrial**, 1ª ed. España: Editorial Alambra S.A., 1976; Reimpresión 1979. 505 pp.

17. Meltzer, Robert L., **1979 Annual Book of ASTM Standards**, (Madera y adhesivos vol 22), United States of America: Printed in the United States of America, 1979.

18. Miranda, Alvaro, **Estudio de la saponificación de la cera del arrayán (*Myrica Cerífera L*) evaluando el álcali alternativo ceniza de leña de encino respecto al carbonato de potasio (K_2CO_3)**, Tesis de Ing. Química, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2004, 64 pp.

19. Montgomery, douglas, **Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración**, 3ª ed. México: Editorial continental, 1994. 834pp.

BIBLIOGRAFÍA

1. Geankoplis, C. J., **Procesos de transporte y operaciones unitarias**, 3ª ed. México: Editorial CECSA, 1999. 1024 pp.
2. McCabe Warren L, Smith Julian C. y Harriott Meter, **Operaciones unitarias en Ingeniería Química**, 4ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 2000. 1114 pp.
3. Kirk, r., **Enciclopedia de tecnología química**, edición en español. México: unión tipográfica editorial hispano americana, 1961.
4. Perry Robert, Green Don W., **Manual del ingeniero químico**, 7ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1999.

APÉNDICE A

DATOS CALCULADOS

Tabla V, Datos calculados para α -Celulosa

Árbol	Altura			Totales	Promedios
	Baja	Media	Alta	yi.	yi. Prom.
1	48,98	52,89	48,12	149,99	50,00
2	45,70	48,82	48,84	143,36	47,79
3	42,89	48,38	47,11	138,38	46,13
4	56,43	60,60	54,04	171,07	57,02
5	47,39	63,19	47,46	158,03	52,68
6	51,29	52,45	44,01	147,76	49,25
7	52,03	37,33	47,75	137,12	45,71
8	44,36	48,04	39,76	132,16	44,05
9	59,05	55,39	50,21	164,65	54,88
Totales y.j	448,13	467,08	427,30	1342,51	447,50
Promedio y.j	49,79	51,90	47,48	149,17	49,72

Fuente: Datos Originales

Tabla VI, Datos calculados para Lignina

Árbol	Altura			Totales	Promedios
	Baja	Media	Alta	yi.	yi. Prom.
1	27,13	24,01	29,12	80,25	26,75
2	25,65	24,70	25,74	76,09	25,36
3	27,91	26,52	30,77	85,19	28,40
4	26,69	26,95	27,91	81,55	27,18
5	30,77	28,95	29,99	89,70	29,90
6	26,00	27,56	33,71	87,27	29,09
7	29,29	40,56	30,42	100,27	33,42
8	33,80	31,72	39,26	104,78	34,93
9	26,00	26,87	26,87	79,73	26,58
Totales y.j	253,24	257,83	273,78	784,85	261,62
Promedio y.j	28,14	28,65	30,42	87,21	29,07

Fuente: Datos Originales

Tabla VII, Datos calculados para Extraíbles

Árbol	Altura			Totales	Promedios
	Baja	Media	Alta	yi.	yi. Prom.
1	13,16	12,00	12,67	37,83	12,61
2	13,44	11,08	11,36	35,88	11,96
3	11,75	11,55	9,76	33,05	11,02
4	10,43	10,09	9,17	29,69	9,90
5	10,25	9,35	9,25	28,85	9,62
6	10,95	9,88	10,36	31,19	10,40
7	10,44	9,83	9,91	30,17	10,06
8	10,39	10,20	9,44	30,03	10,01
9	12,52	12,36	12,52	37,40	12,47
Totales y.j	103,32	96,33	94,44	294,09	98,03
Promedio y.j	11,48	10,70	10,49	32,68	10,89

Fuente: Datos Originales

Tabla VIII, Datos calculados para Cenizas

Árbol	Altura			Totales	Promedios
	Baja	Media	Alta	yi.	yi. Prom.
1	0,3	0,2	0,4	0,9	0,3
2	0,2	0,3	0,3	0,8	0,3
3	0,4	0,3	0,4	1,1	0,4
4	0,4	0,3	0,3	1,0	0,3
5	0,3	0,4	0,5	1,2	0,4
6	0,4	0,4	0,6	1,4	0,5
7	0,6	0,4	0,5	1,5	0,5
8	0,5	0,6	0,2	1,3	0,4
9	0,2	0,6	0,5	1,3	0,4
Totales y.j	3,3	3,5	3,7	10,5	3,5
Promedio y.j	0,4	0,4	0,4	1,2	0,4

Fuente: Datos Originales

Tabla IX, Datos calculados para Humedad

Árbol	Altura			Totales	Promedios
	Baja	Media	Alta	yi.	yi. Prom.
1	10,54	10,79	10,70	32,03	10,68
2	10,52	11,00	10,42	31,94	10,65
3	11,05	10,43	10,63	32,11	10,70
4	11,33	10,57	10,54	32,44	10,81
5	10,84	10,78	10,58	32,20	10,73
6	10,57	10,39	10,28	31,24	10,41
7	10,71	10,94	11,05	32,70	10,90
8	10,72	10,63	10,43	31,78	10,59
9	11,00	10,54	10,63	32,17	10,72
Totales y.j	97,28	96,07	95,26	288,61	96,20
Promedio y.j	10,81	10,67	10,58	32,07	10,69

Fuente: Datos Originales

APÉNDICE B

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla X, Análisis de varianza para α -Celulosa

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Ft
Repeticiones	461,79	8	57,72		
Altura	87,99	2	44,00	1.93	3.63
Error	365,69	16	22,86		
Total	915,47	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XI, Análisis de varianza para Lignina

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Ft
Repeticiones	249,83	8	31,23		
Altura	25,83	2	12,91	1.46	3.63
Error	141,09	16	8,82		
Total	416,75	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XII, Análisis de varianza para Extraíbles

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Ft
Repeticiones	32,75	8	4,09		
Altura	4,86	2	2,43	9.04	3.63
Error	4,30	16	0,27		
Total	41,92	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XIII, Análisis de varianza para Cenizas

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Ft
Repeticiones	0,15	8	0,018		
Altura	0,01	2	0,004	0.26	3.63
Error	0,27	16	0,017		
Total	0,43	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XIV, Análisis de varianza para Humedad

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Ft
Repeticiones	0,45	8	0,06		
Altura	0,23	2	0,11	2.04	3.63
Error	0,90	16	0,06		
Total	1,58	26			

Fuente: Análisis Estadístico

APÉNDICE C

DATOS ORIGINALES

Tabla XV, Datos originales para Componentes Extraíbles

Árbol	Altura	Extraíbles					
		P.Tara (g)	Peso 1	Peso2	Peso3	Diferencia	%Extraíbles
1	1	41,29	48,63	47,81	47,80	6,51	13,16
	2	42,05	49,49	48,67	48,65	6,60	12,00
	3	43,54	50,92	50,59	50,09	6,55	12,67
2	1	40,43	47,76	46,93	46,93	6,49	13,44
	2	42,07	49,51	49,01	48,74	6,67	11,08
	3	40,44	47,84	47,13	47,09	6,65	11,36
3	1	39,69	47,08	46,40	46,31	6,62	11,75
	2	41,34	48,71	48,62	47,98	6,63	11,55
	3	41,32	48,75	48,52	48,09	6,77	9,76
4	1	39,69	47,04	46,92	46,41	6,72	10,43
	2	42,06	49,46	49,30	48,81	6,74	10,09
	3	40,45	47,87	47,60	47,26	6,81	9,17
5	1	41,02	48,30	48,02	47,75	6,73	10,25
	2	39,12	46,51	46,34	45,91	6,80	9,35
	3	40,70	48,12	47,98	47,51	6,81	9,25
6	1	41,24	48,49	48,10	47,92	6,68	10,95
	2	40,49	47,85	47,39	47,25	6,76	9,88
	3	42,31	49,67	49,22	49,03	6,72	10,36
7	1	40,76	48,10	47,87	47,48	6,72	10,44
	2	43,04	50,47	50,20	49,80	6,76	9,83
	3	101,02	108,19	108,01	107,78	6,76	9,91
8	1	40,46	47,59	47,36	47,18	6,72	10,39
	2	40,37	47,40	47,30	47,11	6,74	10,20
	3	40,51	47,60	47,46	47,30	6,79	9,44
9	1	40,45	48,02	47,89	47,01	6,56	12,52
	2	40,82	48,24	47,79	47,39	6,57	12,36
	3	39,21	46,77	46,29	45,77	6,56	12,52

Tabla XVI, Datos originales para Lignina y Humedad

Árbol	Altura	Lignina				Humedad %
		P. P. Filtro (g)	Peso cte.	Diferencia	%Lignina	
1	1	1,15	1,46	0,31	27,13	10,54
	2	1,21	1,49	0,28	24,01	10,79
	3	1,19	1,52	0,34	29,12	10,70
2	1	1,14	1,43	0,30	25,65	10,52
	2	1,17	1,46	0,29	24,70	11,00
	3	1,20	1,50	0,30	25,74	10,42
3	1	1,20	1,52	0,32	27,91	11,05
	2	1,18	1,49	0,31	26,52	10,43
	3	0,98	1,33	0,36	30,77	10,63
4	1	0,52	0,83	0,31	26,69	11,33
	2	0,51	0,82	0,31	26,95	10,57
	3	0,51	0,83	0,32	27,91	10,54
5	1	0,53	0,89	0,36	30,77	10,84
	2	0,53	0,86	0,33	28,95	10,78
	3	0,52	0,87	0,35	29,99	10,58
6	1	0,53	0,83	0,30	26,00	10,57
	2	0,52	0,84	0,32	27,56	10,39
	3	0,51	0,90	0,39	33,71	10,28
7	1	0,51	0,84	0,34	29,29	10,71
	2	0,51	0,98	0,47	40,56	10,94
	3	0,53	0,88	0,35	30,42	11,05
8	1	0,51	0,90	0,39	33,80	10,72
	2	0,52	0,88	0,37	31,72	10,63
	3	0,52	0,97	0,45	39,26	10,43
9	1	0,51	0,81	0,30	26,00	11,00
	2	0,52	0,83	0,31	26,87	10,54
	3	0,53	0,84	0,31	26,87	10,63

Tabla XVII, Datos originales para Cenizas y α -Celulosa

Árbol	Altura	Cenizas			Celulosa			
		P.crisol	P.Cte	% Cenizas	P.Filtro(g)	P. Cte.	Diferencia	% α -Celulosa
1	1	10,89	10,89	0,30	1,20	2,08	0,88	48,98
	2	22,01	22,02	0,20	1,22	2,09	0,88	52,89
	3	22,01	22,02	0,40	1,20	2,09	0,89	48,12
2	1	25,03	25,04	0,20	1,23	2,05	0,82	45,70
	2	22,01	22,02	0,30	1,22	2,06	0,83	48,82
	3	17,31	17,31	0,30	1,21	2,06	0,85	48,84
3	1	17,31	17,31	0,40	1,20	2,00	0,81	42,89
	2	19,87	19,88	0,30	1,20	2,05	0,85	48,38
	3	10,34	10,34	0,40	0,52	1,40	0,88	47,11
4	1	25,03	25,04	0,40	0,53	1,47	0,94	56,43
	2	19,87	19,88	0,30	0,52	1,50	0,99	60,60
	3	10,34	10,34	0,30	0,50	1,42	0,92	54,04
5	1	25,03	25,04	0,30	0,54	1,42	0,88	47,39
	2	19,87	19,88	0,40	0,51	1,54	1,03	63,19
	3	22,01	22,02	0,50	0,36	1,23	0,87	47,46
6	1	10,34	10,34	0,40	0,52	1,39	0,88	51,29
	2	17,31	17,32	0,40	0,52	1,42	0,90	52,45
	3	25,03	25,04	0,60	0,50	1,38	0,88	44,01
7	1	17,31	17,32	0,60	0,51	1,43	0,92	52,03
	2	10,34	10,34	0,40	0,51	1,40	0,88	37,33
	3	22,01	22,02	0,50	0,52	1,40	0,88	47,75
8	1	19,87	19,88	0,50	0,53	1,42	0,89	44,36
	2	25,03	25,04	0,60	0,51	1,41	0,90	48,04
	3	10,34	10,34	0,20	0,51	1,40	0,89	39,76
9	1	22,01	22,01	0,20	0,51	1,49	0,98	59,05
	2	19,87	19,88	0,60	0,50	1,45	0,94	55,39
	3	17,31	17,32	0,50	0,54	1,42	0,88	50,21

APÉNDICE D

Figura 23 Muestra anhidra de madera antes de calcinar, Pino ocote



Figura 24 Muestra preparada para calcinar, Pino ocote



Figura 25 Muestra calcinada, Pino ocote



Figura 26 Secuencia en la determinación de Lignina en madera de Pino ocote



Figura 27 Determinación de α -Celulosa, ataque con NaOH



Figura 28 *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl



