



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DEL PRIMER RALEO DE
PALO BLANCO (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) A NIVEL LABORATORIO,
PROVENIENTE DEL INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA,
GUATEMALA**

Sylvia Mercedes Batres España

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

Guatemala, junio de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DEL PRIMER RALEO DE
PALO BLANCO (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) A NIVEL LABORATORIO,
PROVENIENTE DEL INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA,
GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SYLVIA MERCEDES BATRES ESPAÑA

ASESORADO POR LA INGA. QCA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne 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:

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DEL PRIMER RALEO DE PALO BLANCO (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DEL INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA, GUATEMALA,

tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha de enero de 2009.


Sylvia Mercedes Batres España



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 19 de Marzo de 2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Respetable Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado "Caracterización química de la madera del primer raleo de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) a nivel laboratorio, proveniente del ingenio Pantaleón, Siquinalá, Escuintla, Guatemala" desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Sylvia Mercedes Batres España, carné No. 2003-12797.

Por lo cual, después de haber realizado la revisión del respectivo informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Colegiado 433
Asesora del Trabajo de Graduación
Directora / CII / USAC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 25 de Mayo de 2009
Ref. EIQ.302.2009

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-031-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **SYLVIA MERCEDES BATRES ESPAÑA**, identificada con carné No. 2003-12797, titulado: "CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DEL PRIMER RALEO DE PALO BLANCO (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DEL INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA, GUATEMALA" el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Batres España** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga  Teresa Eisel de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación de la estudiante **Sylvia Mercedes Batres España** titulado: **“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DEL PRIMER RALEO DE PALO BLANCO (Tabebuia donnell-smithii, Rose) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DEL INGENIO PATALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA, GUATEMALA”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

— Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

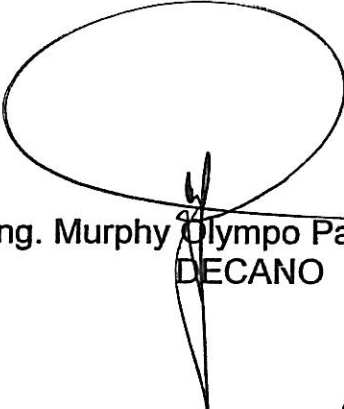


Guatemala, junio de 2,009



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DEL PRIMER RALEO DE PALO BLANCO (Tabebuía Donnell-smithii, Rose) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DEL INGENIO PANTALEÓN, SIQUINALÁ, ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Sylvia Mercedes Batres España**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, junio de 2009



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios y la Virgen María** Por ser mi guía y darme la sabiduría para realizar este trabajo.
- Mi mamá** Sylvia España de Batres, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.
- Mi papá** Julio Conrado Batres Hernández
- Mis hermanas** Ingrid Jessenia Batres España, Claudia Lucía Batres España, por su apoyo y cariño.
- Mis abuelitos** Rubén España Rodas, Zoila Hermila Pinzón de España y Benjamín Batres Álvarez, por su cariño y admiración que les tengo.
- Mis tíos** Rubén España Pinzón, Sandra España Pinzón, Rolando España Pinzón, por su apoyo y cariño.
- Mis primos** Por su cariño.
- Mis amigos** Por todos los momentos que compartimos.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Facultad de Ingeniería

La Inga. Telma Cano Morales

El Ing. César Alfonso García

El Ing. Francisco Paz Fong

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
HIPÓTESIS	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Estructura y propiedades de la madera	2
1.1.1 Estructura macroscópica	2
1.1.2 Estructura microscópica	5
1.1.3 Dureza de la madera	6
1.1.4 Propiedades fisicoquímicas de la madera	8
1.1.5 Propiedades físicas de la madera	9
1.2 Composición química de la madera	11
1.2.1 Componentes orgánicos estructurales	14
1.2.1.1 Lignina	14
1.2.1.2 Holocelulosa	17
1.2.1.3 Hemicelulosa	17
1.2.1.4 Celulosa	19
1.2.1.5 Sustancias pécticas	23
1.2.2 Componentes orgánicos no estructurales	24
1.2.2.1 Sustancias extraíbles	24

1.2.2.2 Taninos	28
1.2.2.2.1 Características	31
1.2.2.2.2 Clasificación	31
1.2.2.2.3 Funciones	34
1.2.2.2.4 Aplicaciones	36
1.2.3 Componentes inorgánicos	37
1.2.3.1 Cenizas	37
1.3 Palo Blanco (<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose)	40
1.3.1 Descripción	40
1.3.2 Clasificación taxonómica	41
1.3.3 Descripción botánica	42
1.3.4 Características	42
1.3.5 Requerimientos Edafoclimáticos	42
1.3.6 Usos y manejo de finca	43
1.3.6.1 Sistemas de finca	43
1.3.7 Distribución	44
1.3.7.1 Ecología	44
1.3.7.2 Natural	44
1.3.7.3 Plantada	44
1.3.8 Servicultura	45
1.3.8.1 Semilla	45
1.3.8.2 Propagación	45
1.3.8.3 Plantación	46
1.3.8.4 Manejo	46
1.3.8.5 Turno y crecimiento	46
1.4 Fundamentos teóricos con base a la metodología	47
1.4.1 Gravimetría	47
1.4.2 Volumetría	48
1.4.3 Secado	49

1.4.4 Calcinación	51
1.4.5 Lixiviación	52
2. METODOLOGÍA	55
2.1 Localización	55
2.2 Recursos	55
2.3 Obtención y preparación de las muestras	58
2.4 Metodología experimental	59
2.4.1 Determinación de Humedad	59
2.4.2 Determinación de Extraíbles	60
2.4.3 Determinación de Taninos	62
2.4.4 Determinación de Lignina	65
2.4.5 Determinación de Celulosa	68
2.4.6 Determinación de Cenizas	70
2.5 Diseño Experimental	72
2.5.1 Diseño de tratamientos	72
2.5.2 Análisis Estadístico	74
3. RESULTADOS	77
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	95
BIBLIOGRAFÍA	97
APÉNDICES	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Partes macroscópicas de la madera	3
2. Porción de la estructura de la lignina	15
3. Porción de la estructura de la cadena de celulosa	20
4. Estructura de las fibras de celulosa en pared celular de plantas	22
5. Estructura del ácido gálico	29
6. Origen de las muestras a tres diferentes alturas del tronco	73
7. Distribución de los datos de celulosa en función de las diferentes secciones del tronco	
8. Distribución de los datos de lignina en función de las diferentes secciones del tronco	81
9. Distribución de los datos de extraíbles en función de las diferentes secciones del tronco	82
10. Distribución de los datos de taninos en función de las diferentes secciones del tronco	83
11. Distribución de los datos de cenizas en función de las diferentes secciones del tronco	84
12. Muestra de la madera de Palo Blanco	105
13. Equipo para condensar	105
14. Equipo para condensar	105
15. Requisitos académicos para la elaboración del Trabajo de Graduación de Ingeniería Química de caracterización química de Palo Blanco	107
16. Diagrama de Ishikawa para el proceso de obtención de madera libre de extraíbles del Palo Blanco, mediante lixiviación	109

TABLAS

I.	Composición química de la madera (% en peso)	12
II.	Variables para el diseño unifactorial	74
III.	Análisis de varianza para el diseño unifactorial	76
IV.	Resultados generales de la composición química de la madera de Palo Blanco (<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose)	77
V.	Diferencia entre la concentración promedio en función de las alturas	79
VI.	Valores obtenidos de F para cada componente	79
VII.	Datos calculados para celulosa	99
VIII.	Datos calculados para lignina	99
IX.	Datos calculados para extraíbles	99
X.	Datos calculados para taninos	100
XI.	Datos calculados para cenizas	100
XII.	Resultados del análisis de varianza para celulosa	101
XIII.	Resultados del análisis de varianza para lignina	101
XIV.	Resultados del análisis de varianza para extraíbles	101
XV.	Resultados del análisis de varianza para taninos	102
XVI.	Resultados del análisis de varianza para cenizas	102
XVII.	Concentración promedio de celulosa	102
XVIII.	Concentración promedio de lignina	103
XIX.	Concentración promedio de extraíbles	103
XX.	Concentración promedio de taninos	103
XXI.	Concentración promedio de cenizas	104

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Nivel de confianza estadística
ASTM	American Society for Testing and Materials
cm	Centímetro
DAP	Diámetro a la altura del pecho
D6	Altura comercial del fuste
F _o	Fisher observada
F	Fisher tabulada
g	Gramo
H _i	Hipótesis alternativa

Ho	Hipótesis nula
msnm	Metros sobre el nivel del mar
INAB	Instituto Nacional de Bosques
kg	Kilogramo
L	Litro
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
°C	Grado Celsius

GLOSARIO

Aceites esenciales	Mezcla de sustancias volátiles, en donde predominan los terpenos y terpenoides oxigenados (alcoholes y ácidos).
Análisis gravimétrico	Consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra.
Análisis volumétrico	Análisis cuantitativo que consta de la medición del volumen de reactivo que hay que gastar, hasta que ocurre una reacción en el líquido analizado.
Calcinación	Proceso en donde un cuerpo se somete al calor para eliminar las sustancias volátiles.
Celulosa	Es un homopolisacárido rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa.
Extraíbles	Se entienden aquellas sustancias que se extraen de diferentes partes de los árboles de coníferas y latifoliadas, mediante agua, disolventes orgánicos, vapor de agua y mediante un exprimido mecánico.
Higroscópico	Que tiene la propiedad de ceder o ganar humedad en intercambio con la humedad existente en el medio ambiente que la rodea, hasta alcanzarse un estado

de equilibrio entre el valor de la humedad relativa del aire y el contenido de humedad de la madera.

Lignina

Es un grupo de compuestos químicos usados en las paredes celulares de las plantas para crear madera.

Taninos

Los taninos son polímeros polifenólicos producidos en las plantas como compuestos secundarios, y que tienen la habilidad de formar complejos desempeñando en las plantas una acción defensiva frente a los insectos.

RESUMEN

En el presente estudio se caracterizó químicamente la madera de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose), proveniente del Ingenio Pantaleón, Siquinalá, Escuintla, Guatemala.

Las muestras utilizadas se obtuvieron de nueve diferentes árboles a tres alturas diferentes; siendo éstas la altura basal (DAP = diámetro a la altura del pecho = 1.3 m), altura comercial media y alta o apical.

Se realizaron los siguientes ensayos basados en las normas especificadas: determinación de celulosa en madera, según norma ANSI/ASTM D1103 – 60, lignina en madera, según norma ANSI/ASTM D1106 – 56, madera libre de sustancias extraíbles, según norma ANSI/ASTM D1105 – 56, taninos según método tara en vaina y cenizas en madera, según norma ANSI/ASTM D1103 – 60.

De los ensayos anteriores se obtuvo los siguientes resultados: Celulosa 42-62 % en peso, lignina entre 22-33 %, extraíbles entre 6-11 %, taninos entre 0.72-1.1 % y cenizas entre 0.6-0.96 %.

La caracterización química de la madera de Palo Blanco no demostró variación significativa en la concentración de extraíbles, taninos y cenizas en función de la altura, por lo tanto se aprobó la hipótesis nula, H_0 , para estos componentes; mientras que para la concentración de celulosa y lignina sí existe variación significativa en función de la altura, por lo que la hipótesis nula se rechaza.

HIPÓTESIS

Es factible determinar la composición química según las normas ASTM en función de diferentes alturas seleccionadas del árbol de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose), especie forestal nativa de Guatemala.

Hipótesis Estadística

Hipótesis Nula (H₀)

No existe diferencia significativa en la concentración, como porcentaje en masa, de los componentes químicos seleccionados a diferentes alturas del árbol de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose).

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

Hipótesis alternativa (H_i)

Existe diferencia significativa en la concentración, como porcentaje en masa, de los componentes químicos seleccionados a diferentes alturas o para alguna de las alturas del árbol de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose).

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

OBJETIVOS

General:

Determinar la composición química de la madera en función de tres alturas seleccionadas del árbol de la especie forestal Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) con base a las normas ASTM.

Específicos:

1. Determinar la composición química a la altura basal de la madera del Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose).
2. Determinar la composición química a la altura media de la madera del Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose).
3. Determinar la composición química a la altura apical de la madera del Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose).
4. Evaluar el efecto que tiene la altura a la cual se toma la muestra sobre la composición química para el árbol de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose).

INTRODUCCIÓN

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa y ligninas, que están presente en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad, y las sustancias minerales.

La celulosa es el polisacárido que se encuentra en mayor proporción en la madera, es una estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo, siendo el principal componente de la pared celular. La lignina es un polímero fenólico de gran estructura y peso molecular, constituye el segundo componente más abundante de la madera.

Los extraíbles son numerosos compuestos que pueden tener gran influencia en las propiedades y calidad de la madera, aunque ellos contribuyan sólo en algún porcentaje en la masa total de la madera. Los extraíbles son constituidos por resinas, polifenoles, gomas, azúcares entre otros. Los taninos, que pertenecen al grupo de polifenoles, son los componentes extraíbles de la madera más importantes.

Las cenizas se encuentran en mínimas cantidades y están constituidos por componentes inorgánicos o sustancias minerales, tales como magnesio, sílice, calcio, entre otros.

La humedad de la madera es la cantidad de agua que ésta contiene. La madera contiene en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.

El presente trabajo de investigación busca generar información de la especie Palo Blanco en cuanto a su caracterización química. Los resultados que se obtengan por medio de este trabajo servirán para realizar una posterior evaluación del uso industrial del Palo Blanco, y así poder ampliar sus potenciales industriales dándole el uso adecuado.

1. MARCO TEÓRICO

La madera es el conjunto de tejidos orgánicos que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de corteza y hojas. Las propiedades de la madera dependen de muchos factores tales como: tipo y edad del árbol, condiciones de crecimiento como el terreno, el clima, etc.

La estructura de la madera determina en gran medida las propiedades y características de ésta. En el caso de las maderas, la estructura viene dada por los elementos anatómicos que la forman: células, vasos leñosos, fibras, canales de resina, etc. Así, la composición celular, el grosor, la simetría, etc., de estos elementos determinan las características de la madera, y junto a las otras propiedades físicas y mecánicas, sus posibles usos.

Una vez cortada y seca, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones. Una de ellas es la fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos o artísticos. La madera es también un material de construcción muy importante desde los comienzos de las construcciones humanas y continúa siéndolo hoy.

En la actualidad y desde principios de la revolución industrial muchos de los usos de la madera fueron cubiertos por metales o plásticos, sin embargo, es un material apreciado por su belleza y porque puede reunir características que difícilmente se conjuntan en materiales artificiales.

1.1 Estructura y propiedades de la madera

La madera es una sustancia fibrosa, organizada, esencialmente heterogénea, producida por un organismo vivo que es el árbol. Sus propiedades y posibilidades de empleo son, en definitiva, la consecuencia de los caracteres, organización y composición química de las células que la constituyen.

1.1.1 Estructura macroscópica

El tronco del árbol está estructurado en capas superpuestas. Esta organización se debe a la capa generatriz, llamada cambium, que se ubica entre la madera y la corteza. Esta capa produce madera hacia el interior y corteza hacia el exterior.

Este fenómeno es similar en toda la superficie, produciéndose en cada período vegetativo una nueva capa de madera que cubre la anterior. En cada capa se distinguen dos zonas bien diferenciadas, la que se forma al principio con células de paredes delgadas y grandes lúmenes que se denomina madera de primavera y se caracteriza porque los tejidos son más porosos, y la otra de células gruesas y lúmenes pequeños que se denomina madera de verano y se caracteriza por tejidos más densos.

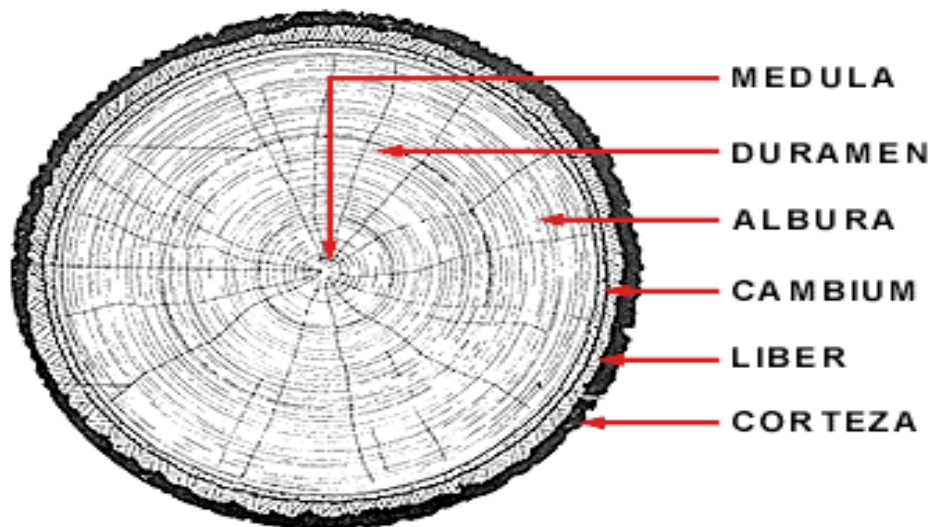
Esta diferencia entre las dos zonas, hace fácilmente distinguible en la sección transversal, una serie de anillos de crecimiento, cada uno de los cuales corresponde a un período vegetativo de la vida del árbol, representando el crecimiento anual, por lo que su número indica la edad del árbol.

En el corte se distingue una zona exterior más clara, albura, la zona de madera mas reciente. Es la zona viva del árbol y está en condiciones óptimas para sufrir alteraciones. Por esta zona circula la savia.

La zona oscura, llamada duramen, es más duradera y resistente a los ataques biológicos. Es la madera de mayor resistencia y durabilidad. Las capas internas de la albura se van convirtiendo en duramen.

La zona central, médula, es un tejido flojo y esponjoso. Tiene un diámetro muy pequeño. Madera vieja y normalmente agrietada. La diferente relación entre el desarrollo de estas capas tienen que ver con la resistencia mecánica. La médula se suele desechar en los procesos de elaboración de la madera.

Figura 1. Partes macroscópicas de la madera.



Fuente: Ref. Electrónica 1

El cambium es la capa existente entre la albura y la corteza, constituye la base del crecimiento en especial del tronco, generando dos tipos de células: hacia el interior: Madera (albura) y hacia el exterior: Liber.

La capa exterior de protección del tronco, es la corteza. Está constituida por células muertas. Su cara interior, formada por tejido vivo, contra el cambium, es el líber. El líber es la parte interna de la corteza. Es filamentosa y poco resistente.

También son distinguibles los radios medulares, que son los que aseguran la solidaridad entre los componentes de los tejidos, otorgando flexibilidad. Son componentes más débiles y la madera se rompe por ellos.

Los anillos de crecimiento nos indican muchas cosas:

- La edad del árbol: si se cuentan los anillos que hay al aplicarle un corte transversal; dirá los años que tiene el árbol, ya que esos anillos se forman por el crecimiento de una nueva capa de xilema.
- Sí es madera dura o blanda, ya que la madera dura tiene los anillos más cercanos que los de la madera blanda.
- Algunos períodos climáticos, si están muy juntos indican un período de sequía y en el cual el xilema no ha podido crecer demasiado y si por lo contrario ha llovido, los anillos estarán más separados.

Los "anillos" de la madera se producen por el "cambium" y el "felógeno" que forman el/la "felodermis" y el "corcho".

1.1.2 Estructura microscópica

Si se analiza la madera a nivel microscópico se comprueba que, al igual que cualquier ser vivo, está constituido por células en general alargadas dispuestas en su mayoría en dirección del eje del árbol, y sin contenido protoplasmático. Sólo un pequeño porcentaje de células tienen formas más o menos rectangulares y están orientadas transversalmente al eje del árbol en una dirección radial y tienen contenido protoplasmático.

Las células en la madera están unidas entre sí por una sustancia llamada materia intercelular o laminilla media, y a su vez trabadas por otro tipo de células, colocadas perpendicularmente a las anteriores y en el sentido radial del tronco, formando los llamados radios leñosos.

Los radios leñosos son bandas o láminas delgadas de un tejido, cuyas células se desarrollan en dirección radial, o sea, perpendicular a los anillos de crecimiento. Almacenan y difunden las materias nutritivas que aporta la savia descendente (igual que las células de parénquima). Contribuyen a que la deformación de la madera sea menor en dirección radial que en la tangencial. Son más blandos que el resto de la masa leñosa.

Las paredes de los tubos están formadas por una serie de capas compuestas por microfibrillas de celulosa enrolladas helicoidalmente alrededor del eje con inclinación diferente en cada capa, y todas ellas, embebidas en un material amorfo, prácticamente insoluble, que es la lignina.

En el sentido axial se distingue:

- a) Fibras alargadas, de pared gruesa formadas por células que se han prolongado afinándose en las puntas, constituyendo los tejidos de sostén, es decir, la estructura y la parte resistente de la madera (tejido fibroso). En las coníferas estas células son las mismas que sirven para permitir la circulación de los fluidos.
- b) Vasos y poros de pared delgada (tejido vascular), formando los órganos de conducción o vehículo de la savia ascendente o bruta; los poros de la madera aparecen en sección transversal (pequeños agujeros), y en sección longitudinal (pequeñas estrías).
- c) Células de parénquima, son cortas y poco abundantes. Difunden y almacenan en todo el espesor del árbol la savia descendente o elaborada.

El parénquima constituye una especie de tejido conjuntivo (tegumental o de defensa), que vincula entre sí a los otros tejidos y que está formado por células poliédricas de paredes celulósicas delgadas y esponjosas.

1.1.3 Dureza de la madera

Según su dureza, la madera se clasifica en madera blanda y madera dura.

- Maderas duras: las maderas duras son aquellas que proceden de árboles de un crecimiento lento, por lo que son más densas y soportan

mejor las inclemencias del tiempo, si se encuentran a la intemperie, que las blandas. Estas maderas proceden de árboles de hoja caduca, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas unifamiliares. Son más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son más atractivas para construir muebles con ellas. También son muy empleadas para realizar tallas de madera.

- Maderas blandas: el término madera blanda es una denominación genérica que sirve para englobar a la madera de los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, procedentes de especies de hoja caduca con un período de crecimiento más largo, es su ligereza y su precio, menor. Este tipo de madera no tiene una vida tan larga como las duras, pero puede ser empleada para trabajos específicos. Por ejemplo, la madera de cedro rojo tiene repelentes naturales contra plagas de insectos y hongos, de modo que es casi inmune a la putrefacción y a la descomposición, por lo que es muy utilizada en exteriores. La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas. Además, la carencia de veteado de esta madera le resta atractivo, por lo que casi siempre es necesario pintarla, barnizarla o teñirla.

1.1.4 Propiedades fisicoquímicas de la madera

Los tres componentes principales de la madera son celulosa, hemicelulosa y lignina. Las propiedades químicas de estos tres componentes son muy diferentes, al igual que su comportamiento ante agentes químicos y procesos mecánicos.

El comportamiento frente al agua es muy diferente, la celulosa es altamente hidrofílica, debido a la presencia de grupos polares (grupo hidroxilo); cuando las cadenas de celulosa se ponen en contacto con el agua, las fibras absorben moléculas de agua (se hidratan) y se hinchan, mejorando simultáneamente su flexibilidad y la capacidad de enlace con otras fibras adyacentes. La absorción de agua es más eficiente en las zonas amorfas de la celulosa que las zonas cristalinas, por lo que es beneficioso intentar destruir las estructuras cristalinas (usualmente por procedimientos mecánicos).

Las hemicelulosas presentan cualidades mecánicas más débiles que la celulosa, y durante el procesado de la pulpa, ven modificadas drásticamente sus propiedades. Además son fácilmente solubles en gran cantidad de disolventes, pues su estructura no les confiere marcadas características hidrofílicas o hidrófobas.

La lignina es un compuesto básicamente hidrófobo, característica frecuente en los compuestos aromáticos. Por ello, no puede ser disuelto en un medio acuoso, a no ser que se introduzcan en su estructura grupos sustituyentes polares mediante reacciones químicas, los cuales sean capaces de estabilizar las disoluciones de lignina en agua. Éste procedimiento se lleva a cabo en ocasiones, haciendo reaccionar la lignina con compuestos derivados

del azufre, que introducen sustituyentes sulfonados en la estructura de la lignina, haciéndola entonces soluble.

1.1.5 Propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas de la madera dependen del crecimiento, edad, contenido de humedad, clases de terreno y distintas partes del tronco. Estas propiedades determinan el comportamiento frente a los distintos factores que intervienen en el medio natural, sin producir ninguna modificación mecánica o química.

Entre las propiedades de la madera está la resistencia, dureza, rigidez y densidad. La humedad es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás propiedades físicas y mecánicas.

La humedad de madera es la parte de agua en las células de la madera en relación a la masa seca de la madera. La humedad de la madera se señala en %. Es una magnitud de estado decisiva de la madera para sus cualidades tecnológicas y mecánicas.

La madera tiene la característica que cuando está seca absorbe humedad del aire que la rodea, y cuando está mojada, cede la humedad. Por eso, si la madera tiene el tiempo suficiente adquiere el nivel de humedad correspondiente al aire que la rodea, es decir la humedad de equilibrio.

La madera es un material higroscópico, es decir, intercambia humedad con el ambiente en función del contenido de humedad y la temperatura de ambos. En condiciones estables de temperatura y humedad relativa del aire, la

madera cederá o absorberá humedad hasta alcanzar un equilibrio en el cual su contenido de humedad no variará. El valor del contenido de humedad de la madera en ese momento se llama Humedad de Equilibrio Higroscópico (HEH). Hay una cierta inercia en el intercambio de humedad con el ambiente y es un proceso lento, pero en maderas de baja densidad suele ser más rápido que en maderas de densidad mayores.

El agua en la madera se encuentra en tres formas:

- Agua libre: Se encuentra en las cavidades celulares. Es la primera en eliminarse en el proceso de secado. Su eliminación no provoca contracciones, pero puede provocar colapso celular (aplastamiento de las paredes). Una vez que se elimina el agua libre de la madera, no es posible recuperarla salvo por inmersión o mojado directo. Para fines prácticos se considera la presencia de agua libre en contenidos de humedad mayores a 30%.
- Agua de imbibición: Es el agua que está embebida en las paredes celulares, entre las fibras de celulosa. Su eliminación implica la contracción de las paredes celulares, y por ende de la madera.
- Agua de constitución: Agua que está formando parte de la materia celular. No puede ser eliminada por los métodos tradicionales de secado. Su eliminación implica la destrucción parcial de la madera como material. No es tenida en cuenta para el proceso de secado.

1.2 Composición química de la madera

La madera es un biopolímero tridimensional cuya composición química general es la siguiente:

- Compuestos esenciales o primarios: holocelulosa (celulosa y hemicelulosa) y lignina.
- Compuestos extraños o secundarios: extractos (en agua, en solventes, volatilizados en vapor) y no extraíbles (compuestos inorgánicos, proteínas y sustancias pépticas).

Los principales elementos químicos de la madera son carbono (C=49-50%), hidrógeno (H=6%) y oxígeno (O=44-45%); pequeñas cantidades de nitrógeno (N=0.1-1%) también están presentes. Algunos minerales, en pequeña cantidad, que se encuentran en la madera son calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg), encontrados en las cenizas; también se cuenta con fósforo (P), azufre (S) y sodio (Na).

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.

Estos componentes forman la pared celular de madera y son responsables por la mayoría de sus propiedades físicas y químicas.

Según Tsoumis, tabla 4-1 “Composición Química de Maderas”, la proporción de los componentes de la madera en base a 153 especies botánicas a temperatura ambiente es la siguiente:

Tabla I. Composición química de la madera (% en peso)

Componentes	Coníferas	Latifoliadas
Holocelulosa	59.8-80.9	71.0-89.1
Celulosa	30.1-60.7	31.1-64.4
Poliosas	12.5-29.1	18.0-41.2
Pentosas	4.5-17.5	12.6-32.3
Lignina	21.7-37.0	14.0-34.6
Extractivos, (agua caliente)	0.2-14.4	0.3-11.0
Extractivos, (agua fría)	0.5-10.6	0.2-8.9
Extractivos, (éter)	0.2-8.5	0.1-7.7
Cenizas	0.02-1.1	0.1-5.4

Fuente: Ref.6

La celulosa está formada por celobiosa, es blanca, inodora e insípida y es la materia prima principal para la fabricación de pastas de disolución y paneles para construcción.

Las hemicelulosas son carbohidratos no celulósicos de bajo peso molecular que ayudan en los procesos de refinación de fibras debido a que son moléculas más reactivas y se hidratan más fácilmente.

La lignina es un polímero natural cuyas unidades estructurales se derivan del fenilpropano; es subproducto de los pulpeos químicos de la madera y se utiliza a nivel industrial en la producción de poliuretano.

Los extractos son compuestos solubles en diferentes solventes, por ejemplo: en alcoholbenceno se solubilizan ceras, grasas y resinas; en agua fría, taninos, gomas, azúcares, materiales colorantes y en agua caliente los almidones. Pueden clasificarse en ácidos volátiles, aceites esenciales, ácidos resinosos y polifenoles. El caucho y los taninos usados en la curtición del cuero, son ejemplos de extractos provenientes de maderas de amplio uso comercial a nivel mundial.

Entre los contenidos inorgánicos de la madera se encuentran los cristales y el sílice. Los cristales son depósitos en su gran mayoría de sales de calcio, que se encuentran principalmente en células parenquemáticas. El sílice es un material cuya fórmula química y grado de dureza se asemejan al diamante, pueden encontrarse en el interior de las células en forma de partículas o granos. Los cristales y depósitos de sílice tienen gran importancia cuando se trabaja la madera y se conocen popularmente como cenizas.

1.2.1 Componentes orgánicos estructurales

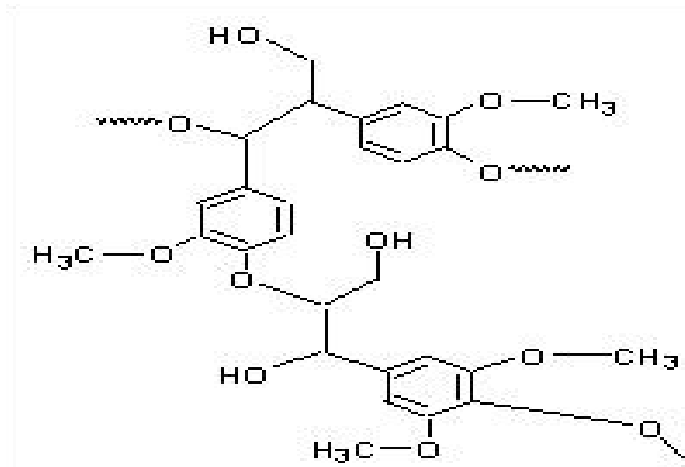
1.2.1.1 Lignina

La lignina es el componente de la pared celular, producida solamente por células vivas. Es interesante que la lignina ocurre en asociación con la celulosa, en cambio la celulosa se puede encontrar casi pura en la naturaleza. Está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos. Los polímeros de lignina son estructuras transconectadas con un peso molecular de 10 000 uma.

Se caracteriza por ser un complejo aromático (no carbohidrato) del que existen muchos polímeros estructurales (ligninas). Resulta conveniente utilizar el término lignina en un sentido colectivo para señalar la fracción lignina de la fibra. Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal. Es importante destacar que es la única fibra no polisacárido que se conoce.

Este componente de la madera realiza múltiples funciones que son esenciales para la vida de las plantas. Por ejemplo, posee un importante papel en el transporte interno de agua, nutrientes y metabolitos. Proporciona rigidez a la pared celular y actúa como puente de unión entre las células de la madera, creando un material que es notablemente resistente a los impactos, compresiones y flexiones. Realmente, los tejidos lignificados resisten el ataque de los microorganismos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular.

Figura 2. Porción de la estructura de la lignina.



Fuente: Ref. Electrónica 3

La estructura y reactividad de la lignina no son completamente conocidas, y su aislamiento es un problema, ya que ambas características cambian al momento de su determinación por el tipo de método empleado, y las condiciones no siempre son las mismas.

La lignina es una macromolécula componente de la madera, de naturaleza polímera especial, formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes parahidroxicinámicos (alcohol p-cumarílico, alcohol coniferílico y alcohol sinapílico), en reacción catalizada por enzimas vía radicales libres. Las unidades de fenil propano (C₉) se unen por enlaces C-O-C y C-C, presentando en su estructura grupos hidroxilos, carbonilos, metoxilos y carboxilos.

Las ligninas son fracciones no carbohidratadas de la madera libre de extraíbles, extremadamente complejas y difíciles de caracterizar. Constituyen un polímero aromático, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna

unidad repetida definidamente. Las ligninas de la madera se clasifican en lignina de madera de coníferas y lignina de madera de latifoliadas.

Poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén. Su composición depende de muchos factores, entre ellos, el método utilizado para aislarlas, la especie que se estudie, la edad, parte del árbol, condiciones ambientales en que se ha desarrollado el árbol, etc.

La separación de la lignina conlleva una degradación de su estructura por lo que resulta difícil obtener una lignina idéntica a la que se encuentra en la madera (lignina nativa) aunque la separación cuidadosa de la lignina se considera representativa de la lignina total en la madera.

La lignina no puede ser descrita como una simple combinación de uno o varios monómeros o uno o varios tipos de cadenas como es el caso de la celulosa. Su estructura es rígida como modelo material.

Las ligninas son polímeros insolubles en ácidos y solubles en álcalis fuertes como el hidróxido de sodio, que no se digieren ni se absorben y tampoco son atacados por la microflora del colon. Pueden ligarse a los ácidos biliares y otros compuestos orgánicos (por ejemplo, colesterol), retrasando o disminuyendo la absorción en el intestino delgado de dichos componentes.

El grado de lignificación afecta notablemente a la digestibilidad de la fibra. La lignina, que aumenta de manera ostensible en la pared celular de la planta con el curso de la maduración, es resistente a la degradación bacteriana, y su contenido en fibra reduce la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos.

1.2.1.2 Holocelulosa

La holocelulosa es un polisacárido conocida como sustancia de sostén. Es la fracción total hidrocarbonada de la madera, la cual contiene celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas.

Los minerales, la lignina y la holocelulosa forman la estructura de la madera, constituyendo la holocelulosa alrededor del 70% de la pared celular libre de extraíbles.

1.2.1.3 Hemicelulosa

Las poliosas o hemicelulosas son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero) de alta masa molar, que se encuentran constituidos por diferentes unidades de monosacáridos: pentosas, hexosas y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas. Pueden ser clasificadas como pentosanos y hexosanos, aunque también se clasifican en dependencia de su origen, su composición estructural y solubilidad en álcalis.

Las maderas están conformadas por azúcares neutros de seis átomos de carbono: glucosa, manosa, galactosa y de cinco átomos de carbono: la xilosa y arabinosa. Algunas poliosas contienen adicionalmente ácido urónico. Se pueden encontrar los mananos, glucomananos, glucanos, xiloglucanos, ramnogalactouronanos, y en los xilanos encontramos los arabinoxilanos y O-acetil- 4- O- metilglucuronoxilano. Las hemicelulosas se encuentran asociadas con la celulosa mediante fuertes interacciones polisacárido - polisacárido. El

contenido de poliosas varía radialmente en la madera aumentando hacia el centro y variado en su composición de azúcares.

El tipo y contenido de hemicelulosas presentes en la madera varía con la especie, la edad, parte del árbol, y en muchas especies su regularidad está relacionada con criterios taxonómicos.

Las hemicelulosas de las coníferas no son las mismas que las de las latifolias, siendo las coníferas más complejas. También existen diferencias entre las hemicelulosas del tronco, de las ramas, de las raíces y de la corteza del propio árbol, así como diferencias en cuanto a contenido y composición entre la madera de compresión, tensión y normal.

Las hemicelulosas son importantes en la madera y su localización cobra singular significación, pues todas las células contienen de 50-60% de carbohidratos a excepción de las células del parénquima de las latifolias que pueden llegar a poseer hasta 80% de O-acetil-4-O-metilglucuronoxilano.

La función de las hemicelulosas en la madera es ser de intermediario entre la celulosa y la lignina, facilitando la incrustación de las microfibrillas. Probablemente no exista enlace químico alguno entre las hemicelulosas y la celulosa, solamente suficiente adhesión mutua que es fortalecida por los puentes de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals. Si son muy ricas en ácidos urónicos se llaman hemicelulosas ácidas; si no lo son, se denominan hemicelulosas neutras.

1.2.1.4 Celulosa

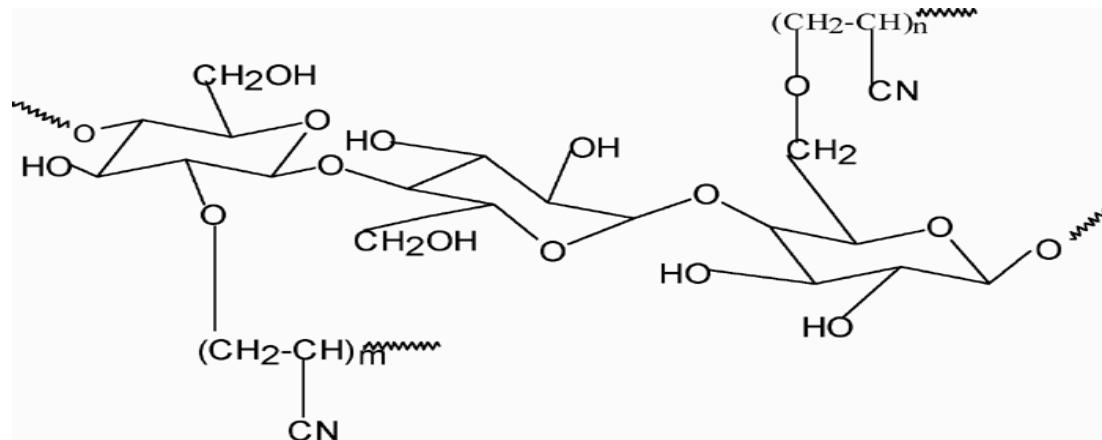
La celulosa es el homopolisacárido (compuesto de un único tipo de monómero) rígido, insoluble, que contiene desde varios cientos hasta varios miles de unidades de glucosa. Se encuentra en mayor proporción en la madera, es una estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo, siendo el principal componente de la pared celular.

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, donde se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que hace que sea insoluble en agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales.

La celulosa es un polisacárido estructural en las plantas, ya que forma parte de los tejidos de sostén. La cepa de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40% de celulosa; la madera un 50 %, mientras que el ejemplo más puro de celulosa es el algodón con un porcentaje mayor al 90%.

La celulosa consiste en unidades de anhidro- β - D(+) glucopiranososa en conformación C_1 , unidos por enlaces glicosídicos β -1-4, por lo que se puede describir como un polímero lineal de glucanos. La unidad estructural de la celulosa es la celobiosa (disacárido) con una longitud de 1.03 nm.

Figura 3. Porción de la estructura de la cadena de celulosa.



Fuente: Ref. Electrónica 2

El grado de polimerización es del orden de los 15,000, lo que equivale a una masa molar en el orden de los 2.3 millones. Debido al tipo de enlace (β -1-4) la molécula de celulosa tiene una forma lineal, estabilizada por la formación de numerosos puentes de hidrógeno intracadenales e intercadenales. Entre 40 y 70 moléculas se encuentran agrupadas en fibrillas elementales de un espesor de 3.5 y 7.5 nm y una longitud de varios μ m.

Las moléculas de celulosa están orientadas longitudinalmente formando un agregado cristalino fuertemente ordenado, en el que todas las moléculas presentan la misma polaridad, lo que indica que tienen su extremo reductor orientado hacia el mismo extremo de la microfibrilla.

En estos agregados las moléculas de celulosa no están unidas covalentemente, estabilizándose su estructura solamente por puentes de hidrógeno (C_3 - C_6) y (C_2 - C_5), que aunque muy débiles individualmente, su elevado número hace de la fibra de celulosa una estructura muy firme y poco sensible a la degradación.

La estructura cristalina de la celulosa de la madera fue estudiada por análisis de Difracción de Rayos X y métodos basados en absorción de luz Infrarroja polarizada. Mediante los espectros Infrarrojo de la celulosa se puede obtener información sobre los cambios estructurales de la celulosa oxidada, u obtenida por diferentes métodos.

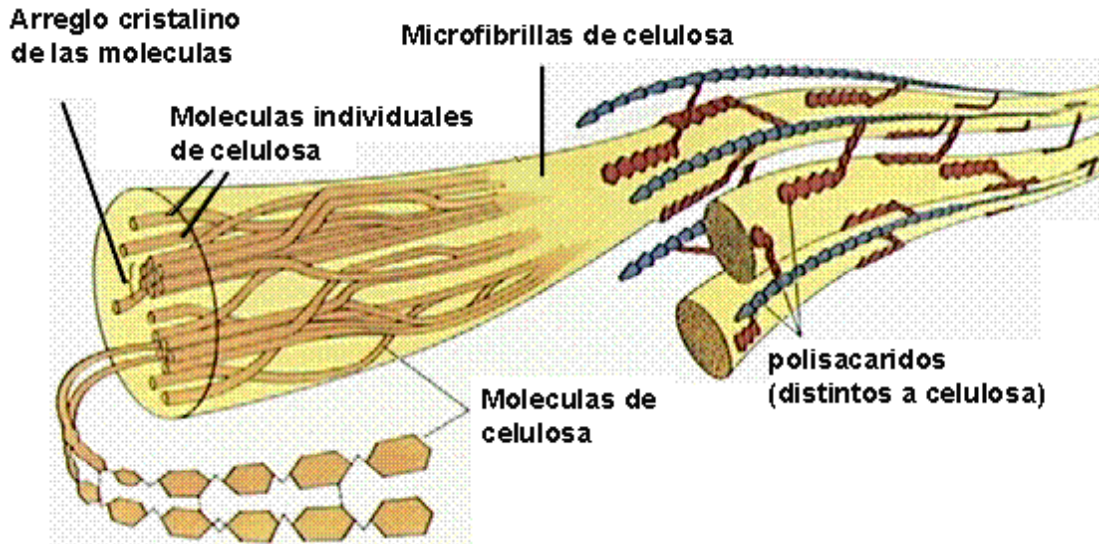
La celulosa presenta un alto grado de cristalinidad, pero no es 100% cristalina, dependiendo de la materia prima de donde proviene. La presencia de hemicelulosas en la celulosa de las maderas parece causar disturbios en la cristalinidad. Cuanto más cristalina es la celulosa mayor es su densidad.

La cristalinidad de la celulosa se encuentra en función de la gran cantidad de puentes de hidrógeno, hecho que además explica por qué la celulosa no es soluble en los sistemas de solventes usuales. Ella es la responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las maderas por constituir el material de sostén del árbol, dándole resistencia y tenacidad.

Debido a la estructura macromolecular de la celulosa el comportamiento químico se produce mediante reacciones complejas, que ocurren por la presencia en su estructura de grupos funcionales (grupos hidroxilos).

La celulosa es un compuesto macromolecular insoluble en los solventes usuales. Para el estudio de sus propiedades, es necesario disolverlas. La disolución de la celulosa consiste en la ruptura de la estructura fibrilar lo que resulta una desintegración de las fibras y microfibrillas originando las cadenas de celulosa sin cambiar la longitud de la cadena.

Figura 4. Estructura de las fibras de celulosa en pared celular de plantas.



Fuente: Ref. Electrónica 2

La degradación de la celulosa incluye no solo la ruptura de la estructura supramolecular sino que ocurre el hinchamiento e inserción de los grupos químicos, los cuales rompen los enlaces intermoleculares y solvatan las moléculas simples.

La celulosa exhibe determinado grado de cristalinidad siendo insoluble en los solventes usuales, además es difícil encontrar un solvente apropiado que la disuelva sin degradarla.

Según el tratamiento que se le de a la celulosa puede presentarse en dos variedades: la celulosa ordinaria que es la natural, y la celulosa mercerizada que resulta de tratar la celulosa ordinaria por álcali concentrados eliminando luego por loción el álcali fijado.

La celulosa es el principal componente en la manufactura de papeles y cartones y también, en pequeñas cantidades, se encuentra en productos como el rayón, películas fotográficas, celofanes, explosivos, etc. Del proceso de manufactura de la celulosa se extraen, además, otros derivados como la trementina y el “tall oil” que son usados como insumos en la industria química para la producción de aromas, diluyentes, jabones y alimentos.

La celulosa es la sustancia que más frecuentemente se encuentra en la pared de las células vegetales, y fue descubierta en 1838. La celulosa es la biomolécula más abundante de los seres vivos.

1.2.1.5 Sustancias pécticas

Son una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30% del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. En presencia de aguas forman geles. Determinan la porosidad de la pared, y por tanto el grado de disponibilidad de los sustratos de los enzimas implicados en las modificaciones de la misma. Las pectinas también proporcionan superficies cargadas que regulan el pH y el balance iónico.

Esta sustancia se asocia con la celulosa y le otorga a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua. La celulosa tiene un importante rol en la estructura ya que le da rigidez a las células, mientras que la pectina contribuye a su textura.

Sustancias de estructura muy compleja, se modifican por procedimientos de extracción, por lo que no se conoce su estructura exacta. Se dividen en dos grupos: ácidos pécticos y pectinas.

1.2.2 Componentes orgánicos no estructurales

1.2.2.1 Sustancias extraíbles

Existen numerosos compuestos que pueden tener gran influencia en las propiedades y calidad de la madera, aunque ellos contribuyan sólo en algún porcentaje en la masa total de la madera. A este grupo de compuestos se les denomina comúnmente sustancias extraíbles de la madera. Los componentes químicos aquí presentes son de diferentes clases y pueden ser divididos a su vez, y de forma más simple en componentes orgánicos y componentes inorgánicos, siendo estos últimos en los que se puede encontrar ciertos iones metálicos que son esenciales para el normal desarrollo del árbol.

Por sustancias extraíbles de la madera se entienden aquellas sustancias que se extraen de diferentes partes de los árboles de coníferas y latifoliadas mediante agua, disolventes orgánicos, vapor de agua y mediante un exprimido mecánico.

Entre los compuestos orgánicos se pueden encontrar hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos, y compuestos nitrogenados.

Los extraíbles no forman parte de la estructura de la madera, pero le confieren propiedades especiales como olor, color, gusto o resistencia a la pudrición.

Existe una considerable variación en la distribución de los extraíbles en un árbol, se encuentran distribuidos en follaje, madera, corteza y raíces. La

corteza y las raíces son las partes donde se encuentran en mayor concentración los extraíbles.

El follaje contiene considerable cantidad (hasta 30 %) de sustancias solubles en agua, los cuales pertenecen a diferentes clases de compuestos, que se clasifican de la siguiente forma: Vitaminas (C, B1, B2, B6, H, ácido fólico), compuestos nitrogenados (proteicos y no proteicos), ácidos, sustancias fenólicas, azúcares (mono y oligosacáridos) y cenizas (macro y microelementos).

La composición química de las sustancias solubles en disolventes orgánicos es muy variada. En disolventes orgánicos fundamentalmente se extraen grasas, resinas y ácidos grasos, ésteres de estos ácidos, cera, fitoesterinas. Tanto la cantidad como la composición de estas sustancias dependen del disolvente en que son extraídos. En la literatura aparecen bajo diferentes formas de nombrar: lípidos, sustancias solubles en grasas, sustancias resinosas, grasa bruta y otros.

Según las ideas actuales, las sustancias que forman los organismos vivos, insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos (cloroformo, éter, benceno y otros) y que contienen en sus moléculas radicales alquílicos superiores, se denominan lípidos. Estas sustancias son hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, derivados de ácidos grasos (glicéridos, ceras, fosfo, glico, sulfolípidos), vitaminas solubles en grasas (A, D, E, K) y sus derivados, clorofila, carotenoides, esterinas, etc.

La inclusión de estas sustancias en la composición de los lípidos se explica porque ellos con frecuencia se encuentran en las membranas y

aparecen junto a los fosfolípidos y en los extractos con disolventes utilizados para la extracción de las grasas.

Los aceites esenciales son productos de la actividad vital de las plantas formadas por mezclas complejas de diferentes sustancias, líquidas incoloras o ligeramente coloreadas de amarillo, con olor específico y sabor ardiente. Constituyen una mezcla de sustancias volátiles que pertenecen a diferentes clases de compuestos orgánicos. Predominan los terpenos y terpenoides oxigenados (alcoholes y ácidos), algunos fenoles, éteres, aldehídos, cetonas y lactonas.

A los azúcares, el almidón y algunos compuestos nitrogenados se les encuentran en la albura. Las sustancias fenólicas se encuentran normalmente en el duramen.

Existe una variación en la concentración de los extraíbles a lo largo del tronco del árbol y entre este y las ramas. Estos constituyentes son responsables de algunas características de las plantas como resistencia natural a la pudrición, sabor y propiedades abrasivas.

La producción de sustancias extraíbles de la madera se divide en dos grupos fundamentales:

- Producción de colofonia y trementina a partir de la resina, por destilación. Colofonia. Es una sustancia frágil, de aspecto vítreo, color que va del amarillo claro al pardo, soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos. Está constituida por una mezcla amorfa de hasta 98 % de ácidos resinosos y sustancias neutrales no saponificables. La colofonia de resina de pino está constituida por 92 % de una mezcla de ácidos

resinosos; 0,4 - 1,6 % de productos grasos y 6,4 % de productos neutrales (Ref. 5).

Trementina. Constituye la fracción volátil de la resina. Está formada por una mezcla de hidrocarburos terpénicos (fórmula general: $C_{10}H_{16}$). Casi todos estos hidrocarburos tienen tendencia a la isomerización mediante la acción de ácidos, elevada temperatura, luz, catalizador y otros factores.

- Obtención de productos derivados de colofonia y trementina

Derivados de colofonia. Se denominan con más frecuencia colofonias modificadas. Son productos de diversas reacciones como polimerización, cloración, hidrogenación, oxidación, etc.; ácidos resinosos (abiético, levopimárico, dextropimárico); resinas sintéticas; resinatos (de Ca, Zn, Mn, Pb, Cu), emulsionadores, etc.

Derivados de trementina. Se destacan los pinenos (a y b), camfeno, alcanfor y otros.

Todas las especies de madera y la mayoría de los vegetales contienen cantidades variables de algunas sustancias químicas diferentes a los carbohidratos y a la lignina que constituyen la pared celular. De acuerdo con el punto de vista con el que se estén tratando, reciben diversos nombres:

- Componentes extraños de la madera, porque son diferentes a los compuestos que constituyen la pared celular
- Sustancias extraíbles o solubles.
- Extractivos
- Sustancias volátiles, porque muchas de estas sustancias son volátiles o imparten características de olor a la madera.
- Constituyentes menores

Los extraíbles que se encuentran en los tejidos vegetales son sustancias tales como terpenos, fenoles, taninos, minerales, azúcares, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, ácidos alifáticos y aromáticos, esterinas, aceites esenciales, ácidos grasos y resinosos, resinas, grasas y otros.

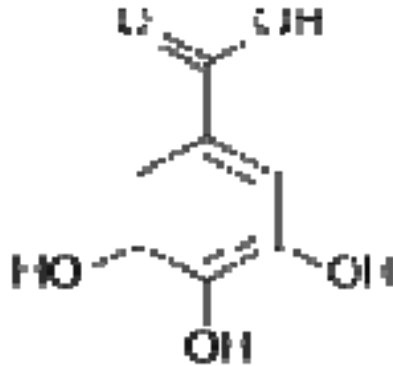
1.2.2.2 Taninos

El término tanino fue originalmente utilizado para describir ciertas sustancias orgánicas que servían para convertir a las pieles crudas de animales en cuero, proceso conocido en inglés como tanning ("curtido" en español). Se extraen de las plantas con agua o con una mezcla de agua y alcohol, que luego se decanta y se deja evaporar a baja temperatura hasta obtener el producto final. Los taninos tienen un ligero olor característico, sabor amargo y astringente, y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro. Expuestos al aire se tornan oscuros y pierden su efectividad para el curtido.

Los taninos son sustancias que se producen en diversas partes de las plantas, como son: corteza, frutos, hojas, raíces y semillas. A pesar de tener un origen común, la especificidad de las plantas le da a los taninos diferencias en color, calidad y concentración.

Son polímeros polifenólicos producidos en las plantas como compuestos secundarios y que tienen la habilidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, alcaloides y saponinas.

Figura 5. Estructura del ácido gálico.



Fuente: Ref. Electrónica 4

El tanino es un compuesto que se oxida al contacto con el aire, es inodoro y de sabor agrio, soluble en agua, alcohol y acetona; reacciona con el cloruro férrico y otras sales; es combustible con un punto de inflamación de 199° C, una temperatura de auto ignición de 528.5° C; poco tóxico por ingestión o inhalación.

Desde el punto de vista biológico, los taninos son sustancias complejas producidas por las especies vegetales que cumplen funciones antisépticas o de conservación.

Los taninos son ácidos muy astringentes, propiedad que los ha identificado como ingredientes útiles en la medicina tradicional, también se utilizan en la preparación de alimentos, maduración de frutas, ingredientes de bebidas como la cocoa, el té y el vino tinto.

Cuando los taninos se mezclan con sales de hierro se produce un colorante de color azul-verdoso, mismo que es la base para la producción de tintas.

A estos compuestos se les atribuye también una acción antioxidante, ya que son capaces de atrapar los radicales libres. Un exceso de radicales libres, puede provocar la aparición de enfermedades degenerativas, así como producir el envejecimiento prematuro de la piel como consecuencia de una excesiva exposición al sol.

Sin embargo, a pesar de todas las propiedades que presentan, hay que tener en cuenta que los taninos son considerados sustancias antinutritivas. Esto se debe a que una concentración elevada de los mismos, puede provocar que la absorción de algunos nutrientes, como las proteínas o el hierro, se vea disminuida.

En el caso de las proteínas, su absorción se ve impedida debido a que los taninos son capaces de combinarse con ellas dificultando dicha absorción. En cuanto al hierro, ocurre algo parecido. Los taninos en elevadas concentraciones forman con este mineral complejos insolubles en agua, que no pueden ser absorbidos en el epitelio intestinal, por lo que la absorción de hierro puede verse bloqueada.

Los taninos se presentan en especies de familias vegetales de todo el mundo, se han identificado aproximadamente 500 especies de plantas que contienen varias cantidades de taninos.

1.2.2.2.1 Características

Son las siguientes:

- Compuestos químicos no cristalizables cuyas soluciones acuosas son coloidales, de reacción ácida y sabor astringente.
- Precipitan con gelatina, albúmina y alcaloides en solución.
- Con sales férricas dan coloraciones negro azuladas o verdosas.
- Producen un color rojo intenso con ferricianuro de potasio y amoníaco.
- Precipitan a las proteínas en solución y se combinan con ellas, haciéndolas resistentes a las enzimas proteolíticas. Ésta propiedad, denominada astringencia, fue mencionada anteriormente.

1.2.2.2.2 Clasificación

Dado que estos compuestos se han investigado durante más de 100 años, se diseñaron diferentes clasificaciones de acuerdo con el nivel del conocimiento que de éstos se tenía en los diferentes periodos de tiempo.

La clasificación de Freudenberg, que actualmente es empleada, tiene su fundamento en el tipo de estructura base del tanino. Es así que los agrupa en dos grandes clases: taninos hidrolizables y taninos condensados, con las siguientes características:

a. Taninos hidrolizables o pirogálicos

Son ésteres fácilmente hidrolizables formados por una molécula de azúcar (en general glucosa) unida a un número variable de moléculas de ácidos fenólicos (ácido gálico o su dímero, el ácido elágico). Son comunes de observar en plantas dicotiledóneas. Cuando se destilan en seco producen pirogalol.

- Se hidrolizan con facilidad por la acción de los ácidos, bases o enzimas, en un azúcar, un polialcohol y un ácido fenolcarboxílico. Dependiendo del tipo de ácido que produce por la reacción se subdividen en: galotaninos (ácido gálico) y elagitaninos (ácido elágico o dilactona estable del ácido hexahidroxidifénico)
- Los nucleos bencénicos están unidos por medio de átomos de oxígeno
- Dan coloración azul con FeCl_3 .
- No precipitan con soluciones de bromo.

Como ejemplos de taninos hidrolizables, del subgrupo de galotaninos se puede mencionar al que se obtiene de los frutos de *Caesalpinia Spinosa* (nombre común: tara). Este tanino es fácilmente hidrolizable por la acción de la enzima tanasa. Esto permitió asignar la estructura de un éster poligaloílico del ácido químico a dicho tanino, con un peso molecular aproximado de 800. Es común, también en las agallas del encino y en la raíz del zumaque.

Dentro de los elagitaninos, se puede poner como ejemplo al corilagin, primer tanino aislado de este tipo, de *Caesalpinia coriarea* (nombre común: divi-divi) y *Terminalia chebula* (nombre común: mirabolano). El isorugosin B, aislado de *Liquidambar*, es otro ejemplo.

b. Taninos condensados

Los taninos condensados son polímeros de flavan-3,4-dioles. Los taninos condensados presentes en leguminosas tropicales se encuentran en tres formas principales: (a) extractables (reactivos con proteína), (b) ligados a proteína, y (c) ligados a fibra. Existen leguminosas donde todos los taninos son extractables (e.g. *Acacia boliviana*) y en otras donde todos son ligados (e.g. *Gliricidia sepium*).

Por otra parte, se ha demostrado que el secado de una muestra puede afectar la distribución de taninos en el tejido de una planta. Por ejemplo, se ha observado que en varias leguminosas secadas al horno (60 °C) hubo una reducción de taninos extractables y un aumento de taninos ligados en comparación con muestras liofilizadas.

- Son derivados de unidades de flavan-3,4-dioles (leucoantocianidinas o proantocianidinas monómeras), conocidos actualmente también como proantocianidinas condensadas.
- Al ser tratados con ácidos en caliente, se origina una polimerización progresiva hasta dar taninos amorfos, llamados flobafenos o taninos rojos.
- En ellos, los núcleos bencénicos están unidos por átomos de carbono (por ejemplo C-4 a C-8, C-4 a C-6).
- Dan coloración verde con FeCl_3 .
- Precipitan con soluciones de bromo.

Ejemplo de este tipo de taninos los encontramos en la corteza de mimosa (*Acacia mollissima* Willd), en la madera de quebracho (*Schinopsis lorenzii*, Engl.), en la corteza de mangle (*Rhizophora mangle*), en las hojas de

lentisco (*Pistacia lentiscus*), en la madera del castaño (*Castanea sativa*), entre otros.

1.2.2.2.3 Funciones

En las plantas cumplen funciones de defensa ante el herbivorismo. Los taninos en general son toxinas que reducen significativamente el crecimiento y la supervivencia de muchos herbívoros cuando se adicionan a su dieta. Además, tienen potencial de producir rechazo al alimento ("antifeedants" o "feeding repellents") en una gran diversidad de animales. Los mamíferos como la vaca, el ciervo y el simio característicamente evitan a las plantas o partes de las plantas con alto contenido de taninos. Las frutas no maduras, por ejemplo, con frecuencia tienen altos contenidos de taninos, que pueden estar concentrados en las capas celulares más externas de la fruta.

Es interesante el dato de que los humanos usualmente prefieren un cierto nivel de astringencia en las comidas que contienen taninos, como las manzanas, las zarzamoras y el vino tinto. Recientemente, son los taninos del vino tinto los que mostraron poseer propiedades de bloquear la formación de endotelina-1, una molécula señal ("signaling molecule") que produce la constricción de los vasos sanguíneos lo cual disminuiría el riesgo de enfermedades cardíacas a aquellos que consuman vino tinto en forma moderada.

Si bien hay taninos específicos que pueden ser inocuos para el hombre, en general son tóxicos, debido a las mismas propiedades que los hace buenos para la curtiembre: su capacidad de unir entre sí proteínas de forma no específica. Durante mucho tiempo se pensó que los taninos formaban

complejos con las proteínas del intestino de los herbívoros formando puentes de hidrógeno entre sus grupos hidroxilo y los sitios electronegativos de la proteína, pero evidencia más reciente también avala una unión covalente entre los taninos (y otros compuestos fenólicos provenientes de las plantas) y las proteínas de los herbívoros que los consumen. El follaje de muchas plantas contiene enzimas que oxidan los fenoles a sus formas quinona en los intestinos de los herbívoros. Las quinonas son altamente reactivas, electrofílicas, y reaccionan con los grupos de proteínas nucleofílicos $-NH_2$ y $-SH$. Cualquiera sea el mecanismo por el que ocurra la unión proteína-tanino, este proceso tiene un impacto negativo en la nutrición de los herbívoros. Los taninos pueden inactivar las enzimas digestivas de los herbívoros y crear complejos agregados de taninos y proteínas de plantas que son difíciles de digerir.

Los herbívoros que habitualmente se alimentan de material rico en taninos parecen poseer algunas interesantes adaptaciones para eliminar los taninos de sus sistemas digestivos. Por ejemplo, algunos mamíferos como los ratones y los conejos, producen proteínas en la saliva que tienen un alto contenido de prolina (25-45%), que tiene una gran afinidad por los taninos. La secreción de estas proteínas es inducida por la ingestión de comida con un alto contenido de taninos, y su efecto es la disminución en una medida importante de los efectos adversos de la ingestión de taninos (Butler 1989). La alta cantidad de residuos de prolina le otorga a estas proteínas una conformación muy flexible y abierta, y un alto grado de hidrofobia que facilita su unión con los taninos.

Los taninos de las plantas también funcionan como defensas contra los microorganismos. Por ejemplo, el corazón de madera muerta de muchos árboles contiene altas concentraciones de taninos que ayudan a prevenir el desmoronamiento por ataques de hongos y bacterias patógenos.

1.2.2.2.4 Aplicaciones

Ambos tipos de taninos, hidrolizables y condensados, se emplean en la industria del cuero, por su gran poder curtiente, permitiendo obtener una amplia variedad de cueros, que se diferencian en flexibilidad y resistencia.

Los taninos condensados se usan principalmente en la fabricación de adhesivos y resinas. Por ejemplo, aquéllos que han sido aislados de especies de Acacia, han servido para desarrollar adhesivos en frío y termofraguados, por tratamiento con úrea-formaldehído, o con copolímeros fenol-formaldehído, estos últimos usados en la fabricación de enchapes de madera a prueba de agua. También se menciona su empleo como precipitantes para suspensión de arcilla.

Los taninos hidrolizables encuentran amplia aplicación debido a sus propiedades antioxidantes y su habilidad para formar complejos solubles e insolubles con las proteínas. Por ello se emplea en la industria de alimentos, farmacéutica y en cervecería. En este último campo, por ejemplo, se usan como estabilizadores de la cerveza: en el producto que no a sido recientemente preparado, las proteínas se combinan con los polifenoles para formar complejos que son responsables de la presencia de turbidez. Al agregar los taninos, el nivel de proteínas es disminuido a un valor apropiado y se aumenta así el tiempo de almacenamiento de la cerveza. En la industria farmacéutica, se emplean para contraatacar el efecto de los alcaloides y el envenenamiento por sales de metales, inactivándose éstos por precipitación. En la industria de alimentos se puede por ejemplo, remover impurezas proteínicas por precipitación con taninos; emplearlo en la preservación y maduración de alimentos, aprovechando sus propiedades antisépticas y antioxidantes; así como en la clarificación del vino. Su aplicación en otros campos está orientada, por ejemplo, a la extracción de Pb, Fe, Ca, Ba, y Ra presentes en soluciones, por coprecipitación con gelatina y taninos; al efecto anticorrosivo en superficies

de Fe, expuestos al medio ambiente; al empleo en la elaboración de tintas; como recubrimiento protector de Cinc y aleaciones del mismo metal.

1.2.3 Componentes inorgánicos

Los componentes inorgánicos o sustancias minerales varían en el árbol en dependencia de la parte que se estudie: altos contenidos pueden encontrarse en las hojas, ramas, corteza, raíces, por lo que es común encontrar diferencias entre las maderas de latifoliadas y las de coníferas; existen diferencias entre la madera joven y la tardía. Las condiciones del suelo y la edad influyen en los contenidos de sustancias minerales.

Los principales cationes de la madera son calcio, potasio y magnesio, mientras que los aniones más comunes son carbonatos, fosfatos, silicatos y sulfatos.

Cuando la madera está seca y calentada alrededor de 280° C, comienza espontáneamente a fraccionarse, produciendo carbón más vapor de agua, ácido acético y compuestos químicos más complejos, fundamentalmente en la forma de alquitranes, monóxido y bióxido de carbono.

1.2.3.1 Cenizas

La ceniza de la madera es el residuo sólido de la combustión. Si la combustión ha sido completa, la ceniza es exclusivamente inorgánica. Por lo general, la ceniza de la madera consiste principalmente en carbonato de sodio y carbonato de potasio.

La composición de ceniza en el carbón puede variar mucho que determina el punto de fusión, es decir, la temperatura a la que forma escoria. Las temperaturas de fusión más bajas son generalmente las del carbón con alto contenido de sílice.

A todos los componentes inorgánicos de la madera se les llama cenizas, aunque algunos de ellos se volatilizan al quemar la madera.

Usualmente se lleva a cabo la producción de cenizas en un rango de 580° a 600° C según las normas para su determinación. El contenido de cenizas en el carbón es de alrededor del 30% en peso, y el balance es carbono fijo, alrededor del 67-70%.

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).

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).

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 crecimiento de 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.

1.3 Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) (Ref. 8)

Esta especie estuvo distribuida en forma natural en los departamentos de Chiquimula, Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y San Marcos, sin embargo su distribución fue disminuyendo por la extracción de su madera para exportación hacia los Estados Unidos.

Actualmente puede encontrarse dispersamente en los departamentos de Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu, y según observaciones realizadas en el campo por el equipo recolector de semillas forestales del banco de semillas forestales del INAB, se le encuentra comúnmente en la orilla de las carreteras y como cerco vivo en potreros.

1.3.1 Descripción

Árbol deciduo mediano a grande que alcanza 28-37 metros de altura, con DAP de 50 cm. hojas compuestas, opuestas, con cinco pequeñas hojuelas. Flores amarillas brillantes, de 2.0-2.5 cm de ancho, que se agrupan al final de las ramillas. El fruto es una cápsula cilíndrica rugosa de color verde-amarillento cuando está madura. Las semillas son delgadas, planas y rodeadas de un ala ligera.

Es un importante árbol maderable que alcanza un elevado precio. La madera es color crema, amarilla o marrón pálido, a menudo con bandas, sin una transición clara entre la albura y el duramen. El grano es recto y la textura media a gruesa. El peso específico es de 0.44 g/cm³. La madera seca al aire rápidamente, con pérdida mínima de calidad. Se puede serrar y trabajar con facilidad y se obtienen buenos acabados.

1.3.2 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae.

Subreino: Embryobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida.

Subclase: Asteridae

Orden: Schophulariales

Familia: Bignoniaceae

Género: *Cybistax*

Especie: *Cybistax donell-smithii* (Rose) Seibert

Sinónimos: *Cybistax donnell-smithii* (Rose) Seibert; *C. millsii* Miranda; *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda; *R. millsii* (Miranda) Miranda; *Tabebuia millsii* (Miranda) A.H. Gentry

Nombres comunes: cortez blanco (ES); guayape (Ho); palo blanco (GU); primavera; san Juan (HO); san Juan guayapeño (HO)

1.3.3 Descripción botánica

Árbol de 35 metros de altura, con un diámetro de 60 a 100 cm, su corteza es blanca. Sus hojas son deciduas, palmaticompuestas, regularmente de 5 a 7 folios, éstos son membranosos con largos peciolulos y el margen es aserrado irregular. Posee largas inflorescencias paniculadas, el cáliz es membranoso. La corola es amarilla, de 4.5 a 6 cm. Su fruto es una cápsula de 30 a 45 cm de largo y de 2 a 3 cm de ancho.

1.3.4 Características

La madera del Palo Blanco es amarilla pálida, en algunos casos se torna blanca o café clara. No tiene ningún olor o sabor distintivo. Posee una gravedad específica de 0.44, aunque es fácilmente trabajable, no es muy durable. Su uso principal es para hacer muebles, aunque puede usarse también en construcción.

1.3.5 Requerimientos Edafoclimáticos

A. Requerimientos climáticos

El Palo Blanco necesita un clima tropical húmedo o semihúmedo, el rango altitudinal va de 0 - 600 msnm, precipitación media anual 1,000 a 2500 mm. Temperaturas máxima promedio de 23 a 31° C y mínima promedio de 17 a 23° C. No tolera sequías muy largas (2 a 3 meses).

B. Requerimientos de suelos

Esta especie requiere de suelos arenosos o franco arenosos, con pH neutro o ácido, profundos y bien drenados, aunque se adapta a suelos arcillosos con la condición que posea un buen drenaje.

C. Experiencias del Cultivo en el Área

Es una especie nativa que se encuentra en bosques naturales, se considera una madera con buenas características para la carpintería por su trabajabilidad y es muy aceptada por el consumidor.

D. Producción

El Palo Blanco es de crecimiento bastante rápido, obteniéndose un rendimiento en volumen de 1.7 m³ / árbol al aprovechamiento final.

1.3.6 Usos y manejo en finca

La especie produce una madera valiosa y duradera usada para muebles y chapa y a veces como madera estructural y leña.

1.3.6.1 Sistemas de finca

Se ha aprovechado tradicionalmente del bosque natural. Ha sido establecida también como ornamental, debido a su impresionante despliegue de flores amarillas. A veces se usa como sombra para las orillas de carreteras, parques y hogares.

1.3.7 Distribución

1.3.7.1 Ecología

En Chiapas, México, la especie se encuentra creciendo en pendientes elevadas entre 150 800 msnm en bosques denominados por *Terminalia oblonga* o *Virola guatemalensis*. También se puede encontrar en bosques semidecíduos en terrazas aluviales y pendientes coluviales bajas de la costa del Pacífico de México, Guatemala, El Salvador y Honduras.

1.3.7.2 Natural

El rango nativo de esta especie se extiende desde México a través de Guatemala, El Salvador y el norte y centro de Honduras. Fuera de este rango la especie fue evaluada como carbol maderable en Costa Rica, Hawai, Puerto Rico y Ecuador.

1.3.7.3 Plantada

Aunque su abundancia se ha reducido en bosques naturales por talas extremas, varios programas de plantación en América Central prometen incrementar la cantidad de madera disponible de esta especie

1.3.8 Silvicultura

1.3.8.1 Semilla

Las vainas pueden recolectarse cuando su color cambia de verde a marrón amarillento. Es preferible recolectarlas del árbol, pero también se pueden recoger pequeñas cantidades del suelo. Las vainas deben transportarse a un patio de secado y ser extendidas a secar al sol por 2-3 días. A continuación, las semillas pueden extraerse de las vainas y secar al sol por 1-2 semanas para reducir su contenido de humedad al 5-6%. Cada kg contiene aproximadamente 170 000 semillas. Una vez secas pueden almacenarse en contenedores herméticos y mantenerse a temperatura ambiente hasta por un año sin excesiva pérdida de viabilidad.

1.3.8.2 Propagación

Las semillas germinan en 12-18 días sin necesidad de ser pretratadas. Se establece por siembra en vivero y se llevan al campo cuando tienen unos 40 cm de altura (4 meses de edad).

Las plantas cultivadas para pseudoestacas deben dejarse crecer hasta un metro de altura. Esto debe ocurrir de 7-9 meses después del trasplante. Se corta la parte superior a 10 cm desde el suelo antes de extraer las plántulas. Las raíces se cortan ligeramente y se insertan en tierra húmeda para ser transportadas al campo.

1.3.8.3 Plantación

Se ha probado en ensayos a 3x3 m por el proyecto PROECEN (Honduras) con excelentes resultados de crecimiento, pero se considera que requiere un espaciamiento ligeramente amplio en plantaciones (5x5 m) debido a que la especie requiere máxima iluminación y tiene un rápido crecimiento.

1.3.8.4 Manejo

Se deben hacer deshierbes regularmente durante posprimeros 4 años de crecimiento, seguidos de raleos en los años 7, 12 y 17 (el primer raleo puede ser antes ya que este va a estar en función del espaciamiento inicial y el objetivo de la plantación). A veces se producen bifurcaciones en los tallos, pero se pueden evitar mediante la deshija en cuanto se forman en los primeros años.

1.3.8.5 Turno y crecimiento

En buenos sitios es posible lograr crecimientos en altura de 1.5 a 2 m/año durante los primeros 10 años. Después, el crecimiento anual disminuye hasta que se alcanza una altura máxima de 25-35 m. El crecimiento en diámetro varía de 1-3 cm al año. Se estima un turno final de corta de 25-30 años.

1.4 Fundamentos teóricos con base a la metodología (Ref. 4)

1.4.1 Gravimetría

El análisis gravimétrico consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida, que sea susceptible de pesarse.

Los cálculos se realizan con base en los pesos atómicos y moleculares, y se fundamentan en una constancia en la composición de sustancias puras y en las relaciones ponderales (estequiometría) de las reacciones químicas.

Según los métodos propuestos, la determinación gravimétrica cubre la mayoría de los procedimientos para la caracterización química de la madera. Los procedimientos que aplican gravimetría son la determinación de celulosa, lignina, extraíbles, humedad y cenizas.

Método por precipitación: En este el analito es convertido en un precipitado poco soluble, luego se filtra, se purifica, es convertido en un producto de composición química conocida y se pesa. Para que este método pueda aplicarse se requiere que el analito cumpla ciertas propiedades:

- Baja solubilidad
- Alta pureza al precipitar
- Alta filtrabilidad
- Composición química definida al precipitar

Método por volatilización: En este método se miden los componentes de la muestra que son o pueden ser volátiles. El método será directo si evaporamos el analito y se hace pasar a través de una sustancia absorbente que ha sido previamente pesada así la ganancia de peso corresponderá al analito buscado; el método será indirecto si volatilizamos el analito y pesamos el residuo posterior a la volatilización así pues la pérdida de peso sufrida corresponde al analito que ha sido volatilizado. El método por volatilización solamente puede utilizarse si el analito es la única sustancia volátil o si el absorbente es selectivo para el analito.

1.4.2 Volumetría

La volumetría es un método de análisis químico cuantitativo que se utiliza para determinar la concentración de una solución en estudio. Para ello se utiliza una solución valorada, la cual interacciona completamente con la solución sometida a análisis.

La solución valorada es una solución de concentración exactamente conocida, que contiene una masa conocida de soluto en un volumen definido de solución o de solvente. Por medio de la titulación se determina la concentración de una solución mediante el agregado de una solución valorada en la cantidad adecuada para que la reacción entre ambos reactivos sea total.

El momento en el cual las sustancias que interaccionan se consumen completamente, se denomina el punto de equivalencia. El punto final es la etapa en que se finaliza la titulación, idealmente debería coincidir con el punto de equivalencia. En la práctica la coincidencia se da, o se aproxima a ella,

cuando se utiliza un instrumento para detectar el punto final. En cambio cuando se utiliza un reactivo indicador puede haber diferencia entre ambos puntos, en muchos casos la diferencia es menor a una gota de solución del titulante.

En la determinación volumétrica se utilizan indicadores, los cuales son sustancias orgánicas que producen un cambio visualmente nítido, cambio de color o enturbiamiento, en la solución que se titula cuando se llega al punto final de la titulación.

Los métodos de análisis volumétrico se dividen habitualmente en cuatro grupos: de neutralización, de oxidación-reducción, de precipitación y de formación de complejos.

Según el procedimiento de determinación de taninos el método volumétrico será el adecuado, siendo de oxido-reducción por el efecto del permanganato de potasio en una solución de extracto tánico.

1.4.3 Secado

El secado consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es por lo común la etapa final de una serie de operaciones.

El agua u otros líquidos pueden separarse de los sólidos de manera mecánica mediante prensas o centrífugas, o bien de modo térmico mediante evaporación.

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace de la humedad con el material, cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico- mecánico.

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado.

Durante el secado se elimina, como regla, sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares. Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la adsorción de la misma en el medio ambiente. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino que también empleando métodos mecánicos.

El enlace físico-químico une dos tipos de humedad que difieren por la solidez del enlace con el material: la humedad ligada osmóticamente y por adsorción. La primera llamada también humedad de hinchamiento, se encuentra dentro de las células del material y se retiene por las fuerzas osmóticas. La segunda se retiene sólidamente sobre la superficie y en los poros del material. La humedad de adsorción requiere para su eliminación un gas con

una energía considerablemente mayor que la utilizada para eliminar la humedad de hinchamiento. La existencia de estos tipos de humedad especialmente se manifiesta en materiales coloidales y poliméricos.

El secado es vital para obtener resultados confiables, debido a que el agua es el principal componente que altera las propiedades de la madera; se empleará para secar el aserrín de la madera a tratar.

1.4.4 Calcinación

Es el proceso de calentar una sustancia a temperatura elevada, pero por debajo de su entalpía o punto de fusión, para provocar la descomposición térmica o un cambio de estado en su constitución física o química. El proceso, que suele llevarse a cabo en largos hornos cilíndricos, tiene a menudo el efecto de volver frágiles las sustancias.

Los objetivos de la calcinación suelen ser:

- eliminar el agua, presente como humedad absorbida, agua de cristalización (como en la conversión del hidróxido férrico en óxido férrico);
- eliminar el dióxido de carbono (como en la calcinación de la piedra caliza en cal en un horno de cal), el dióxido de azufre u otro compuesto orgánico volátil;
- para oxidar (calcinación oxidante) una parte o toda la sustancia (usado comúnmente para convertir menas sulfurosas a óxidos en el

primer paso de recuperación de metales como el zinc, el plomo y el cobre);

- para reducir (calcinación reductora) metales a partir de sus menas (fundición).

La calcinación permite eliminar sustancias volátiles fuertemente absorbidas por un cuerpo, en donde se necesita que el mismo esté libre de componentes ajenos. Por medio de la calcinación se obtiene un producto de composición definida y constante.

El material que contenga el cuerpo analizado debe soportar las temperaturas de calcinación, como ejemplo el uso de crisoles en lugar de papel filtro. El valor de la temperatura debe ser óptimo, debido a que a mayor temperatura el precipitado puede tener pérdida por sublimación, volatilización o por descomposición.

El caso más común de alteración al precipitado es la adsorción de humedad, que se presentan en la mayoría de precipitados recién secados, así como adsorción de dióxido de carbono de la atmósfera, que se evita con desecadoras con atmósfera libre del gas. Por ello se debe agregar los precipitados a desecadoras con suficiente material desecante, como sílica gel, para evitar que el agua altere los resultados.

1.4.5 Lixiviación

Es un proceso en el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase

líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. Recibe el nombre de colada cuando se separa un álcali a partir de cenizas de madera.

Se puede determinar taninos en madera por lixiviación con soluciones acuosas de sulfito de sodio como solvente. El material debe tratarse previamente para un buen proceso de lixiviación, esto con lavados previos para retirar sustancias indeseadas que son insolubles en el solvente. Para acelerar y optimizar dicho proceso se muele y tritura el material permitiendo mayor accesibilidad de contacto solvente-soluto por el aumento del área superficial.

Para preparar el sólido se debe tomar en cuenta la proporción de constituyente y solvente adecuada, la distribución del material, tamaño y naturaleza de las partículas y material. Si el material es biológico, las paredes celulares presentan gran resistencia en el proceso, ya que el material contenido forma parte de la composición de dicho material. Por ello se recomienda moler los materiales biológicos.

Algunos ejemplos son:

- El azúcar se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente.
- Los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como los de soya y de algodón mediante la lixiviación con disolventes orgánicos.
- La extracción de colorantes se realiza a partir de materias sólidas por lixiviación con alcohol o soda.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

La parte experimental de la investigación se realizó en el Laboratorio de Química de la Escuela de Ingeniería Química, así como en el Laboratorio de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.2 Recursos

Humanos:

Investigadora: Br. Sylvia Mercedes Batres España
Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales

Físicos:

REACTIVOS:

- Agua desmineralizada. marca Salvavidas.
- Alcohol etílico (C_2H_5OH) al 95 % grado reactivo. Densidad: 0.75 kg/L. Peso molecular 46.07 g/mol. Envase de 2.5 L. Casa proveedora MERCK KGaA.
- n-hexano (C_6H_{14}) grado reactivo. Peso molecular 86.18 g/mol.

- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 96 % grado reactivo. Densidad: 1.84 kg/L. Masa molecular 98.08 g/mol. Envase de 2.5 L. Casa proveedora MERCK KGaA.
- Ácido acético glacial (CH_3COOH). Envase 2.5 L. Casa proveedora MERCK KGaA.
- Sulfito de sodio (Na_2SO_3) grado analítico. Masa molecular 126 g/mol. Envase 500 g. Casa proveedora MERCK KGaA.
- Hidróxido de sodio (NaOH) grado analítico. Masa molecular 40 g/mol. Envase 1 kg. Casa proveedora MERCK KGaA.
- Sílice. Casa proveedora MERCK KGaA.
- Permanganato de potasio (KMnO_4) grado analítico. Envase 25 g. Casa proveedora MERCK KGaA.
- Índigo de Carmín grado analítico. ($\text{C}_{16}\text{H}_8\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{S}_2$). Masa molecular 466.36 g/mol.

EQUIPO:

- Horno eléctrico de flujo convectivo por gravedad marca Termolyne.
- Medidor de humedad OHAUS con capacidad máxima de 200 g y precisión 0.001 g.
- Horno Cole Parmer de 120 V y 800 W. 50/60 Hz.
- Planchas de calentamiento con agitación, marca Corning, modelo Pc-400, 120V/100V, rango 0-480 °C, 0-1100 rpm.
- Bomba de vacío, marca Gast, modelo 05323-V4F-6588DX, vacío hasta 30 in HG, manómetros analíticos.
- Medidor de humedad OHAUS con capacidad máxima de 200 g y exactitud de 4 decimales.
- Mufla Termolyne de hasta 1100 °C.

- Campana de extracción con tiro forzado de 110 V y 900 W, marca Serproma, de motor con capacidad de $\frac{3}{4}$ Hp.

MATERIALES

Cristalería:

- Equipos Soxhlet, balón esmerilado 24/40 de 500 ml y condensador, marca Cornin-Pirex.
- Pipetas de 50 ml, de 10 ml, de 5 ml y de 1 ml.
- Beakers de 1000 ml, de 500 ml, de 250 ml, de 100 ml y de 50 ml marca Pirex.
- Matraces de 1000 ml, de 500 ml y de 250 ml.
- Balones de 1000 ml, de 500 ml, de 250 ml y de 100 ml marca Kimax.
- Condensadores para balón de 1000 ml, 24/40.
- Varillas de agitación.
- Probeta de 500 ml, de 250 ml, de 100 ml, de 50 ml y de 10 ml.
- Buretas de 25 ml y de 10 ml, escala 0.1 ml.
- Desecadora marca Fisherbtand.
- Crisoles de Porcelana.
- Cajas Petri, diámetro 10 cm.
- Kitasato de 1000 ml.
- Filtro de porcelana.
- Viales color ámbar de 8 ml.

Otros accesorios:

- Dedales de extracción de celulosa marca Whatman de 35 mm de diámetro externo, 33 mm de diámetro interno, 94 mm de longitud
- Pinzas de metal larga y corta
- Caja de Papel Filtro Whatman No. 4.
- Perillas de succión de émbolo
- Embudo.
- Termómetros (Mercurio, con escala de 0 – 100 °C, del tipo inmersión total y parcial)
- Manta de algodón para filtrar, apertura de 0.25 mm² aproximadamente.
- Mangueras de hule, diámetro 1/3”.
- Papel Parafilm “M” rollo de 4” x 1.25”

2.3 Obtención y preparación de las muestras

La recolección de muestras se llevó a cabo en el Ingenio Pantaleón, localizado en la costa sur de Guatemala en el departamento de Escuintla a 14.20.04 grados norte y 90.59.31 grados oeste, a 86.5 kilómetros de la ciudad de Guatemala.

El Ingenio Pantaleón está localizado a 400 msnm, con una precipitación media anual de 3,500 mm en el período de lluvias que se inicia en el mes de mayo y termina en el mes de octubre, la temperatura varía entre 15 y 36 grados centígrados, siendo los meses más calientes marzo y abril y los más fríos diciembre y enero, la humedad relativa varía entre 40% y 97%.

Las muestras de madera se tomaron de 9 árboles de la misma especie a tres diferentes alturas. Las muestras se limpiaron de polvo y otras impurezas, eliminando la corteza de las mismas. Después de secar la madera al ambiente, ésta se molió, haciendo esto en un molino de martillos trifásico de 5 caballos de fuerza en la carpintería del área de prefabricados CII/USAC. El aserrín obtenido se secó primero al ambiente y luego en el horno eléctrico ubicado en la planta piloto hasta obtener una humedad inferior a 5%, para luego ser tamizado con un tamiz con secciones de apertura en retenido No. 40, de secciones de 0.42 mm por 0.42 mm. Se almacenaron las muestras en bolsas herméticas debidamente identificadas por árbol y altura.

La caracterización química de la materia prima, para obtener el porcentaje de celulosa, lignina, extraíbles, taninos, cenizas y humedad, se realizó utilizando metodología de normas ASTM D1105-06, D1106-56, D1103-60, D1102-56, y finalmente los componentes obtenidos se colocaron en viales color ámbar debidamente identificados.

2.4 Metodología experimental

2.4.1 Determinación de humedad

Para ello se siguió el método de balanza analítica.

Alcance

El método cubre la determinación del contenido de humedad en madera.

Aparatos

Medidor de humedad OHAUS con capacidad máxima de 200 g y precisión de 0.001 g.

Muestra

Aserrín reducido por molino y tamizado por medio de un tamiz No. 40.

Procedimiento

1. Programar la balanza de humedad a una temperatura de 105°C y un tiempo de 15 minutos.
2. Tarar el plato destinado para colocar la muestra.
3. Abrir la balanza y pesar 2 gramos de la muestra.
4. Cerrar la balanza.
5. Esperar los 15 minutos programados.
6. Tomar nota del % de humedad.

2.4.2 Determinación de extraíbles

Se siguió la designación ANSI/ASTM D1105-56, llamada “Preparación de madera libre de extraíbles”. (Ref. 2)

Alcance

El método abarca el trato previo de madera para aplicarla como libre de extraíbles.

Principio

Son sustancias que no son parte de la madera en si, solubles en solventes neutros.

Aparatos

Equipo de extracción Soxhlet, dedales de porosidad media, balanza analítica sensible de 0.1 mg., horno con temperatura controlada entre 100 y 105° C y desecadora. Pinzas de metal largas, papel Parafilm, teflón y grasa para cristalería.

Reactivos

Alcohol etílico al 95 %, etanol absoluto, n-Hexano al 95 %.

Muestra

Aserrín seco, reducido por molino y tamizado por un tamiz No. 40.

Procedimiento

1. Colocar en un dedal 7.5 g de la muestra de madera previamente tamizada, seca y con humedad determinada.
2. Colocar el dedal en el sistema de extracción soxhlet, manteniendo una relación en volumen de 3/5 de solvente en el balón. Primero extraer con hexano durante 12 horas.
3. Luego extraer con etanol durante 12 horas. Apagar el equipo y esperar a que se enfríe el sistema.
4. Secar el contenido del dedal (libre de extraíbles) por 48 horas a temperatura ambiente. Luego transferir el material a una caja de Petri previamente tarada y se pesa.
5. Secar en un secador eléctrico con recirculación a 80° C +/- 5° C durante 4 horas. Sacar la muestra y transferirla a una desecadora, esperar 15 min., secar y pesar hasta peso constante.
6. El porcentaje de extraíbles se determinó por:

$$\% \text{ extraíbles} = (7.5 - P.M)/7.5 * 100 \% \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

P.M. = Peso de la muestra libre de extraíbles, en gramos.

2.4.3 Determinación de taninos

Consta de extracción con maceración mecánica y análisis volumétrico.

Alcance

El método abarca la determinación de taninos en madera.

Principio

La estructura del tanino posee grupos hidroxilo, por ser polifenoles, que a su vez reaccionan con el ion sodio del sulfito, permitiendo así solubilizar a los taninos en solución acuosa con el sulfito de sodio.

Aparatos

Beackers, bureta, probeta, earlenmeyers, planchas con agitación, termómetros. Balanza analítica, sensible a 0.1 mg., horno con temperatura controlada entre 100 y 105° C y desecadora.

Reactivos

Sulfito de sodio, sulfito de sodio anhidro al 4 % en solución acuosa. Índigo de carmín. Permanganato de potasio en solución 0.1 N Titrisol.

Muestra

Aserrín seco, reducido por molino y tamizado por un tamiz No. 40.

Procedimiento

1. Preparar una solución acuosa al 4 % en peso de sulfito de sodio.
2. Tomar 4 g de madera seca y tamizada, colocarlos en un beacker de 100 ml.
3. Agregar un volumen adecuado de la solución de sulfito de sodio, hasta cumplir una relación de 3:1 a 4:1.

4. Calentar la mezcla durante 45 minutos con agitación a 70° C, sin pasarse de dicha temperatura.
5. Filtrar la muestra con una manta. Llevar el material soluble a un beacker de 50 ml y evaporar en un secador eléctrico. Transferir el material sólido a una pesa muestra y secar hasta peso constante.

Porcentaje de taninos por el método de tara en Vaina

1. Tomar un g del extracto obtenido (extracto tánico) y colocarlo en un earlenmeyer de 250 ml, agregar 100 ml de agua destilada y agitar hasta disolver.
2. Colocar la muestra en una plancha de calentamiento y llevar a ebullición por 4 horas a reflujo. Luego enfriar la muestra a temperatura ambiente.
3. Tomar 12.5 ml de la solución líquida y adicionar 10 ml de indicador índigo de carmín, luego adicionar 375 ml de agua destilada.
4. Titular con permanganato de potasio 0.1 N hasta observar un color amarillo.
5. Preparar un blanco con agua, adicionando todos los reactivos en las mismas condiciones y titular sin la muestra.
6. El porcentaje de taninos se determinó por:

$$\%Tanino = \frac{0.1N(mlo - mlb) \left(\frac{Pfg}{\#e'} \right) \left(\frac{1eq}{1000meq} \right)}{4g} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

mlo = mililitros utilizados de permanganato de potasio

mlb = mililitros del blanco obtenidos

Pfg = Peso fórmula en gramos del tanino

#e' = Número de electrones intercambiados (2e')

En el punto de equivalencia los miliequivalentes de permanganato de potasio son iguales a los miliequivalentes de taninos, por lo tanto:

$$1meqKMnO_4 = 1meq \text{ tanino}$$

$$0.1N(mlo - mlb) = \frac{4.2g \text{ tanino}}{1000} \times \frac{\#e'}{Pfg} \times \frac{1000meq}{1eq} \times \frac{12.5ml}{100ml} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$Pfg = \frac{4.2g \text{ tanino}(2e')(12.5ml)}{0.1N(mlo - mlb)100ml}$$

*Nota: La ecuación se obtuvo en base a los 4 g de muestra iniciales y a la siguiente relación: 4.2 mg de tanino = 1 ml * 0.1 N Permanganato de potasio.

2.4.4 Determinación de lignina

Para ello se siguió la norma ANSI/ASTM D 1106-56, llamada "Lignina en madera". Antes de determinar el porcentaje en celulosa se debe determinar el contenido de lignina en la madera, ya que el método para determinar celulosa es indirecto y el dato de lignina permite obtener contenido de celulosa en material libre de extraíbles. (Ref.2)

Alcance

El método abarca la determinación directa de lignina, por gravimetría, en madera.

Principio

La lignina es el residuo insoluble que queda al hidrolizar los carbohidratos por medio del trato con ácidos fuertes. Por ello se trabaja madera libre de extraíbles, ya que algunos extraíbles pueden permanecer insolubles al ataque ácido.

Los tratamientos preliminares para eliminar extraíbles que aún permanecen son ataque de alcohol, para remover taninos catecol; mezcla benceno-alcohol o hexano, para remover resinas, ceras, grasas y aceites; y en algunos casos con agua caliente para remover materiales solubles en agua.

Aparatos

Sistema a reflujo de balón de fondo plano con condensador, mangueras, plancha de calentamiento para ebullición, teflón, cronómetro, pipetas, perillas de succión, plancha con agitación, bomba de vacío. Balanza analítica, sensible a 0.1 mg, horno para secar con temperatura controlada de 80 y 120° C y desecadora. Guantes y lentes protectores.

Reactivos

Ácido sulfúrico al 72 %, preparado a partir de ácido sulfúrico al 95-97 %, gravedad específica a 20/4° C: verter 184 ml del ácido en 66 ml de agua desmineralizada, con agitación lenta, en baño con agua fría (CUIDADO, LIBERA MUCHO CALOR). Estandarizar la solución con una de NaOH, con el indicador naranja de metilo.

Muestra

La muestra es obtenida de madera libre de extraíbles (revisar el método anterior de madera libre de extraíbles).

Procedimiento

1. Colocar en un beacker de 100 ml 1 g de madera libre de extraíbles. Agregar 15 ml de ácido sulfúrico al 72 %.
2. Agitar durante 2 horas en baño María a 20° C, esto en una plancha con agitación.
3. Transferir a un matraz de 1000 ml conteniendo 560 ml de agua destilada, para dar una solución de ácido aproximadamente al 3%.
4. Hervir a reflujo por 4 horas en un balón con condensador.
5. Decantar hasta dejar una diferencia mínima entre las dos fases.
6. Filtrar la solución obtenida con papel filtro Wathman No. 4 tarado.
7. Lavar con agua caliente y secar hasta peso constante a 80° C +/- 5° C.
8. El porcentaje de lignina se determinó por la siguiente ecuación, que es válida solo para la utilización de 1 g de muestra:

$$\% \text{ lignina} = (\text{Peso Bruto} - \text{Peso Tara}) * 100 \% \quad (\text{Ecuación 4})$$

2.4.5 Determinación de celulosa

Para ello se siguió la norma ANSI/ASTM D 1103-60, llamada "Alfacelulosa en madera". Por diferencia con el dato de lignina anterior se obtuvo la celulosa presente en la madera. (Ref.2)

Alcance

El método abarca la determinación indirecta de celulosa de la madera.

Principio

La celulosa es un polisacárido, formado principalmente por glucosa, de modo que por su gran estructura resiste el ataque alcalino, en cambio la hemicelulosa no.

Aparatos

Se necesitan beakers, cronómetro, pipetas, perillas de succión, varilla de agitación, balde para baño María, balones aforados, bomba de vacío, balanza analítica, sensible a 0.1 mg., horno para secar con temperatura controlada de 100 y 150° C y desecadora. Guantes y lentes protectores.

Reactivos

Hidróxido de sodio en lentejas puro, ácido acético.

Muestra

La muestra es obtenida de madera libre de extraíbles (revisar el método anterior de madera libre de extraíbles).

Procedimiento

1. Tomar 1 g de madera libre de extraíbles y transferir a un beacker de 100 ml.
2. Agregar 10 ml de NaOH al 17.5 %, agitar y dejar reposar por 2 min. Luego agitar nuevamente y dejar reposar 3 min.
3. Agregar de nuevo 5 ml de NaOH al 17.5 %, agitar y dejar reposar 5 min.
4. Repetir el paso 3.
5. Agregar de nuevo 5 ml de NaOH al 17.5 %, agitar y dejar reposar 30 min. En baño María a 20° C +/- 3° C.
6. Agregar 30 ml de agua destilada, agitar y dejar reposar por 1 hora.
7. Filtrar al vacío con papel filtro Wathman No. 4 previamente tarado, lavando con una solución preparada de 33 ml de agua destilada y 25 ml de la solución de NaOH al 17.5 %.
8. Luego lavar con 30 ml de agua destilada, y dejar de aplicar vacío. Agregar 15 ml de una solución al 10 % de ácido acético y después de 3 min. aplicar vacío. Luego lavar con 50 ml de agua destilada aplicando vacío.
9. Llevar la muestra a un secador eléctrico contenida en una caja Petri, a una temperatura de 80° C +/- 5° C por 4 horas. Luego transferir a una desecadora y esperar 15 min. para luego pesar. Repetir el secado hasta peso constante.

10. El porcentaje de celulosa se determinó por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ celulosa} = \frac{[P.B. - (P.T. + P.L.)] * P.M.L.}{P.M.T.} * 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

P.B. = Peso bruto de la muestra

P.T. = Peso tara del papel filtro

P.L. = Peso de lignina en 1 g de madera (procedimiento anterior)

P.M.L = Peso de madera libre de extraíbles (base de 7.5 g)

P.M.T = Peso de madera antes de la extracción, 7.5 g.

2.4.6 Determinación de cenizas

Para ello se siguió la norma ANSI/ASTM D 1102-56, llamada "Cenizas en madera". (Ref.2)

Alcance

El método abarca la determinación de cenizas en madera, residuo presente como % en masa después de la oxidación de 585 a 600° C.

Principio

Los materiales no volátiles de la madera se resisten a la oxidación a alta temperatura, por lo tanto la calcinación elimina estos materiales volátiles de un cuerpo determinado.

Aparatos

Crisoles de porcelana o sílica con capacidad de 30 ml (preferible) o más, horno mufla con pirómetro para mantener la temperatura, balanza analítica sensible a 0.1 mg, horno para secar, desecadora y pinzas de metal largas.

Muestra

Aserrín seco, reducido por molino y tamizado por medio de un tamiz No. 40.

Procedimiento

1. Calcinar 1 crisol, adecuado para 1 g de muestra de madera, a 600° C en una mufla durante 1 hora.
2. Retirar el crisol e introducirlo en una desecadora durante 15 min., para después tararlo. Bajar la temperatura de la mufla por seguridad.
3. Agregar 1 g de muestra de madera en el crisol, previamente tamizada y seca.
4. Agregar la muestra de la mufla aplicando 100° C y luego aumentar de modo que no haya ignición en la muestra. Debe llegarse a 600° C o un poco menos, pero no pasarse de dicha temperatura.

5. Luego de hora y media revisar la muestra, extrayendo el crisol con una pinza, de modo que el material sea solamente cenizas (color grisáceo blancuzco); de lo contrario mantener la muestra más tiempo en la mufla.
6. Llevar la muestra a una desecadora, esperar 15 min. y pesar rápidamente. Repetir hasta peso constante.
7. Se obtuvo el porcentaje de cenizas por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas} = (\text{P.B.} - \text{P.T.}) * 100\% \quad (\text{Ecuación 6})^*$$

Donde:

P.B. = Peso bruto

P.T. = Peso tara

*Nota: La ecuación es válida si la muestra de madera utilizada es de 1 gramo.

2.5 Diseño experimental

2.5.1 Diseño de tratamientos

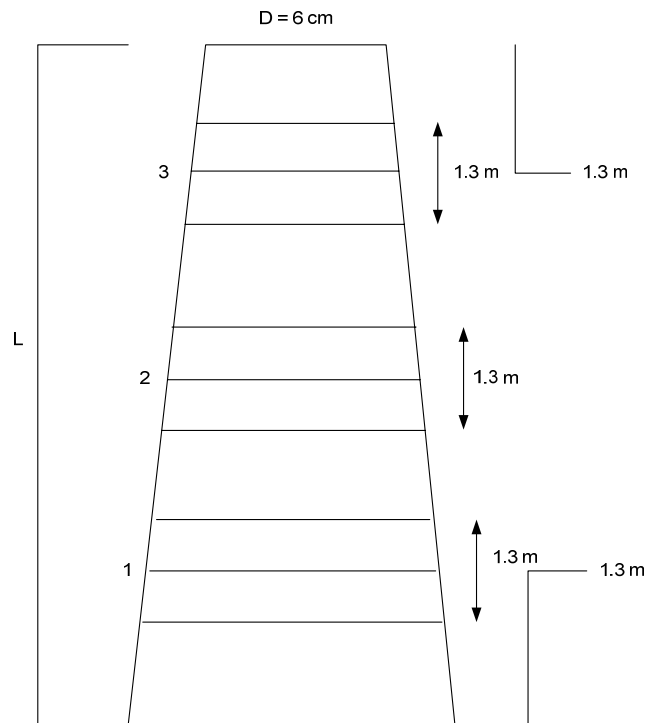
El experimento se desarrolló utilizando una variable independiente (unifactorial), en este caso la altura del árbol Palo Blanco. El arreglo es en un solo sentido. Para la variable de altura de toma de muestra se utilizó madera del árbol Palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) tomada a lo largo del árbol a 1.3 m del suelo (DAP = diámetro a la altura del pecho) o basal, a la altura comercial del fuste (D6) o apical y a una altura media entre el DAP y el D6.

El número de tratamientos realizados se determinan de la siguiente manera:

3 alturas para la muestra = 3 niveles o tratamientos

Para cada tratamiento se llevaron a cabo 9 repeticiones para la determinación de las 5 variables de respuesta: taninos, extraíbles, lignina, celulosa y ceniza. Las corridas que se realizaron son 27 (9×3) para la especie a estudiar. Se utilizó el método unifactorial en un solo sentido por ser concreto y sencillo.

Figura 6. Origen de las muestras a tres diferentes alturas del tronco



Fuente: Ref. 3

donde 1, 2, y 3 son las alturas de las muestras tomadas, cada una de un tamaño de 1.3 m .

2.5.2 Análisis Estadístico

Para cada componente químico a determinar se utilizó un análisis de varianza por medio de un diseño unifactorial en un solo sentido completamente aleatorio con la distribución de Fisher, esto debido a que se tratan más de dos niveles. Siendo unifactorial por ser solo la especie, se tienen tres tratamientos o niveles, en este caso alturas, y nueve repeticiones, en este caso árboles de la misma especie. El arreglo matricial es de veintisiete series para cada componente a determinar. Los datos se arreglaron como sigue:

Tabla II. Variables para el diseño unifactorial

Tratamientos	No. de observaciones			Total	Promedio
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	Y_1	y_1
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	Y_2	y_2
3	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	Y_3	y_3
A	$Y_{a,1}$	$Y_{a,2}$	$Y_{a,3}$	Y_a	y_a
				Y_i	y

Fuente: Ref. 12

Donde:

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

y = es el promedio de las observaciones bajo el i-ésimo tratamiento

Y_i = es la suma de todas las observaciones

El procedimiento para el diseño consiste en seleccionar una repetición completa del experimento, con un solo factor con a niveles. Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a ; j = 1, 2, \dots, N$$

Donde:

y_{ij} = observación

μ = media general

τ_i = efecto del tratamiento i ésimo

ε_{ij} = error aleatorio

Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados.

Los tratamientos o alturas serán 3, adoptando la variable a ; las repeticiones o árboles de la misma especie serán 9, adoptando la variable N .

Tabla III. Análisis de varianza para el diseño unifactorial

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F _o
Tratamientos	$\sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{N} - \frac{y^2}{aN}$	$a - 1$	$\frac{(SS_{tratamientos})}{(a - 1)}$	$\frac{(MS_{tratamientos})}{(MS_E)}$
Error	SS_E (por sustracción)	$N - a$	$\frac{(SS_E)}{(N - a)}$	
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^N y_{ij}^2 - \frac{y^2}{aN}$	$N - 1$		

Fuente: Ref. 12

La hipótesis nula de ningún efecto de tratamiento se probó mediante la razón de Fisher, que se define como:

$$F = \frac{MS_{tratamientos}}{MS_E} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

donde: $MS_{tratamientos}$ es la media cuadrática de los tratamientos y MS_E es la media cuadrática del error; y que para un nivel de confianza $\alpha = 0.05$ y con 2 grados de libertad para tratamientos (3-1) y 24 para el error (27-3) se tiene un valor de F de 3.40, el cual será comparado con los valores de F_o menores a F comprueba la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa.

3. RESULTADOS

Tabla IV. Resultados generales de la composición química de la madera de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) en función de cada sección del tronco estudiada y su estimación global

- **Altura basal**

Árbol	Celulosa	Lignina	Extraíbles	Taninos	Cenizas
1	44.06	32.4	8.4	1.113	0.87
2	42.99	27.9	8.13	0.903	0.88
3	47.54	26.5	6.97	0.861	0.8
4	50.56	29.9	6.55	0.882	0.62
5	52.75	26.4	6.13	0.787	0.88
6	44.07	28.4	7.21	0.735	0.83
7	43.24	29.1	10.09	0.745	0.76
8	48.21	27.2	9.15	0.924	0.82
9	49.73	28.2	8.41	0.966	0.61
Promedio	47.02	28.44	7.89	0.88	0.79
Desviación estándar +/-	3.58	1.87	1.29	1.12	0.1

- **Altura media**

Árbol	Celulosa	Lignina	Extraíbles	Taninos	Cenizas
1	48.27	27.3	9.06	0.861	0.75
2	47.18	26.7	7.13	0.987	0.86
3	49.68	25.9	7.49	1.061	0.95
4	45.64	28.8	9.44	0.892	0.76
5	48.92	24.7	6.64	0.84	0.64
6	48.98	27.6	8.79	0.892	0.83
7	47.16	28.3	7.89	0.724	0.86
8	48.69	28.4	6.55	0.892	0.81
9	50.56	26.9	7.4	0.924	0.64
Promedio	48.34	27.18	7.82	0.89	0.79
Desviación estándar +/-	1.48	1.31	1.05	0.09	0.1

- **Altura apical**

Árbol	Celulosa	Lignina	Extraíbles	Taninos	Cenizas
1	55.97	22.9	9.86	0.745	0.7
2	44.44	26.4	10.93	0.851	0.83
3	47.1	24.7	8.89	1.145	0.93
4	59.15	27.2	9.41	1.018	0.84
5	53.11	25.6	9.67	0.861	0.92
6	61.66	29.4	6.43	0.871	0.85
7	60.7	25.3	7.2	0.871	0.76
8	51.32	26.5	6.85	0.861	0.83
9	55.31	25.4	7.36	0.882	0.63
Promedio	54.31	25.93	8.51	0.9	0.81
Desviación estándar +/-	5.94	1.79	1.59	0.11	0.09

- **Concentración promedio de composición química en función de la altura**

Posición en el árbol	Celulosa	Lignina	Extraíbles	Taninos	Cenizas
Basal	47.0167	28.4444	7.8211	0.8796	0.7856
Media	48.3422	27.1778	7.8933	0.8970	0.7889
Apical	54.3067	25.9333	8.5111	0.9006	0.8100

- **Promedios globales**

	Parámetro		
	% Extraíbles	% Taninos	% Cenizas
Promedio	8.08	0.89	0.79
Desviación estándar +/-	1.31	0.11	0.01

Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales

Tabla V. Diferencia entre la concentración promedio en función de las alturas

	Parámetro	
	% Celulosa	% Lignina
$(\bar{X}_{basal} - \bar{X}_{apical})$	7.29	2.51
$(\bar{X}_{basal} - \bar{X}_{media})$	1.32	1.26
$(\bar{X}_{media} - \bar{X}_{apical})$	5.97	1.25

Fuente: Elaboración propia a partir de datos experimentales

Tabla VI. Valores obtenidos de F para cada componente

Componente	Fo
Celulosa	8.106
Lignina	5.052
Extraíbles	0.736
Taninos	0.095
Cenizas	0.152

Fuente: Análisis Estadístico

Figura 7. Distribución de los datos de celulosa en función de las diferentes secciones del tronco de los árboles de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose)

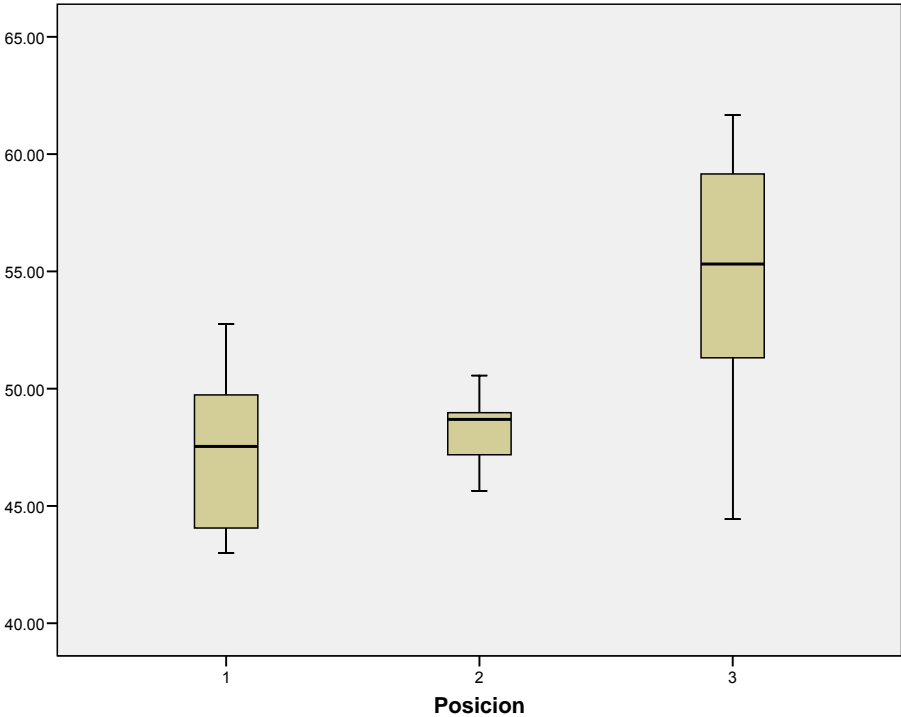


Figura 8. Distribución de los datos de lignina en función de las diferentes secciones del tronco de los árboles de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose)

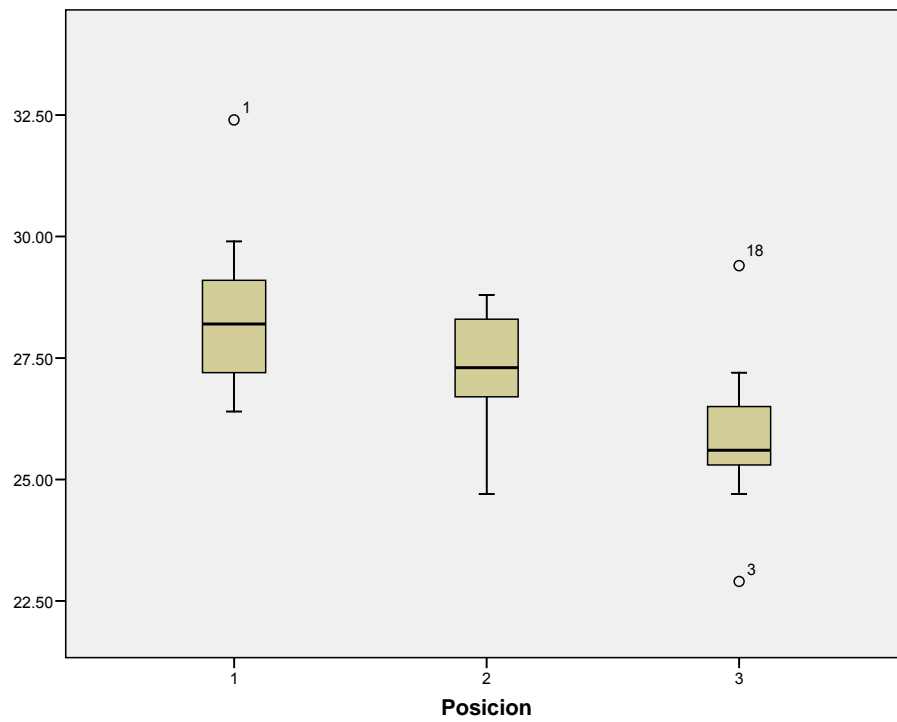


Figura 9. Distribución de los datos de extraíbles en función de las diferentes secciones del tronco de los árboles de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose)

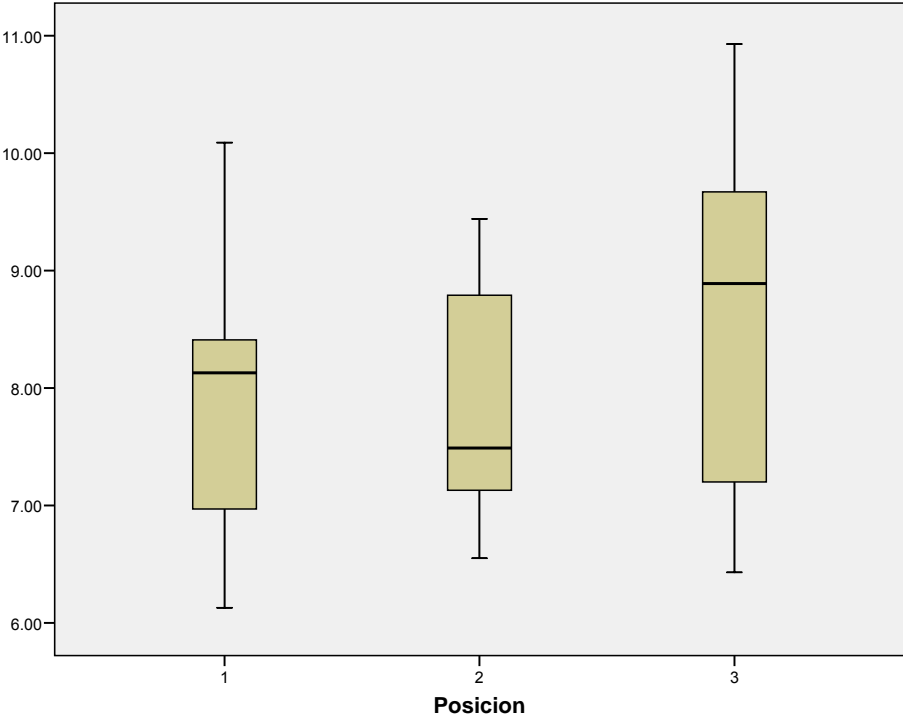


Figura 10. Distribución de los datos de taninos en función de las diferentes secciones del tronco de los árboles de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose)

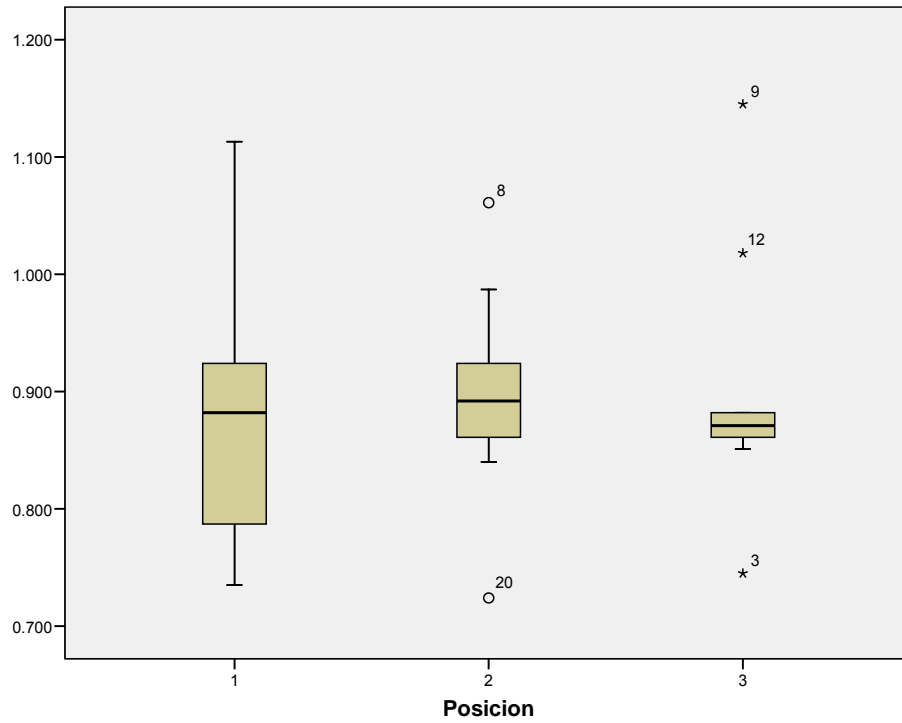
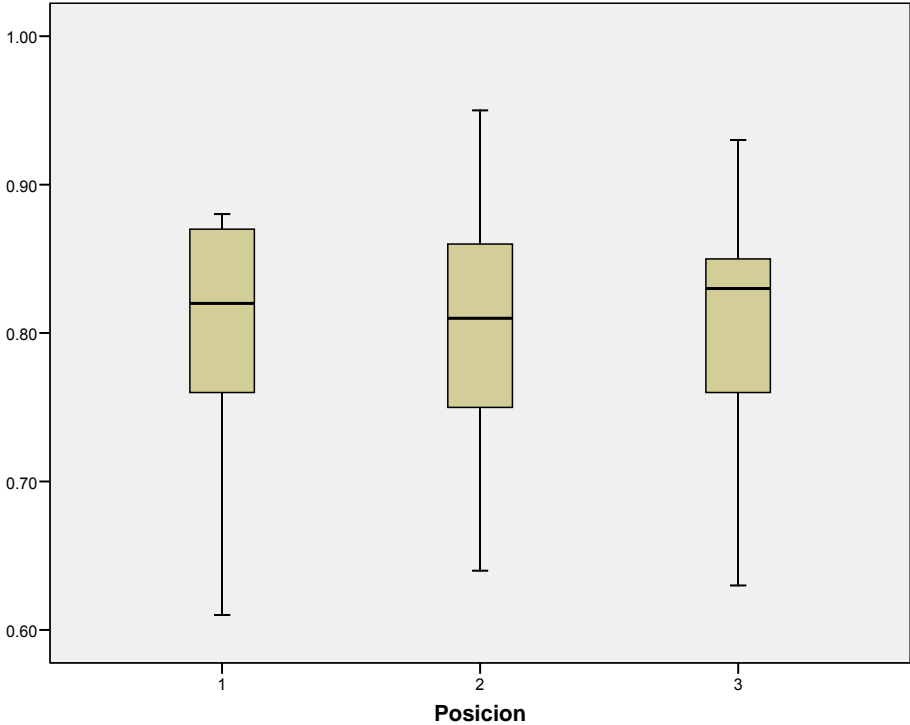


Figura 11. Distribución de los datos de cenizas en función de las diferentes secciones del tronco de los árboles de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose)



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se discutirán los resultados obtenidos en la caracterización química de la madera de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose), en donde se determinaron las concentraciones como porcentaje en peso de los siguientes componentes: celulosa, lignina, extraíbles, taninos y cenizas.

Las muestras de madera se obtuvieron en una plantación del Ingenio Pantaleón, ubicada en el municipio de Siquinalá, del departamento de Escuintla. Éstas se molieron, tamizaron y luego secaron para obtener un porcentaje de humedad menor a 5, para evitar alteraciones en los resultados de los ensayos practicados a cada una de las muestras.

Se trataron veintisiete muestras, nueve árboles de cada cual se tomaron tres muestras a diferentes alturas, siendo éstas la basal o de diámetro a la altura del pecho (DAP), media y apical o de punta. Las alturas se denominan como 1, 2 y 3 o basal, media y apical.

La tabla IV de la sección de resultados presenta los datos generales para los cinco componentes químicos determinados de la especie tratada. Según se observa en esta tabla la concentración de celulosa se encuentra entre el rango de 42-62 % en peso, la lignina se encuentra entre 22-33 %, las sustancias extraíbles se encuentran entre 6-11 %, los taninos se encuentran entre 0.72-1.1 % y las cenizas se encuentran entre 0.6-0.96 %.

Los resultados obtenidos concuerdan con los rangos registrados en la literatura para coníferas o maderas blandas, figurando el Palo Blanco entre ellas. Los datos de la tabla I de la sección de Marco Teórico son los siguientes: Celulosa entre 30.1-60.7 %, lignina entre 21.7-37.0 %, sustancias extraíbles entre 0.2-14.4 % y cenizas entre 0.02-1.1 % (Ref. 5)

Se analizaron las muestras y se determinaron los porcentajes de cada componente para cada una de las muestras. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza para un sistema unifactorial en un solo sentido completamente aleatorio por medio de la distribución de Fisher (Ref.12).

Con los datos que se obtuvo para la celulosa se concluye que si hay diferencia significativa en la concentración de celulosa con respecto a la altura muestreada del árbol, como se puede observar en la tabla VI y figura 7. El porcentaje de concentración de celulosa aumenta conforme aumenta la altura, en la parte más joven hay menor concentración de este componente.

Esto se respalda con los datos de la tabla XII del apéndice B, donde se muestran los resultados del análisis de varianza, en donde se tiene que el valor observado para la prueba de Fisher es de 8.106 con una significancia de 0.002. La hipótesis debe ser rechazada para valores de significancia ≤ 0.05 , por lo tanto se rechaza la H_0 y se determina que la concentración de celulosa si varía significativamente en las tres posiciones que se evaluaron del árbol.

La tabla VI y figura 8 muestran los resultados obtenidos para la lignina, con los que se determina que si existe diferencia significativa entre la concentración de lignina y la altura del árbol. La cantidad de lignina disminuye a

medida que aumenta la altura, en la parte más joven hay mayor concentración de este componente.

Los resultados del análisis de varianza para la lignina se encuentran en la tabla XIII, el valor observado para la prueba de Fisher es de 5.052 con una significancia de 0.015. Al igual que para la celulosa la hipótesis debe ser rechazada y se determina que la concentración de lignina si varía significativamente en las tres posiciones que se evaluaron del árbol.

La tabla VI y figura 9 muestran los resultados obtenidos para las sustancias extraíbles, estos muestran que no existe variación significativa en función de las diferentes secciones del árbol.

Los resultados del análisis de varianza para los extraíbles se encuentran en la tabla XIV, el valor observado para la prueba de Fisher es de 0.736 con una significancia de 0.489, la cual es mayor de 0.05, con lo que se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto, se puede determinar que en cualquier parte del árbol se tiene la misma cantidad de sustancias extraíbles.

La tabla VI y figura 10 presentan los resultados obtenidos para los taninos, estos muestran que no existe diferencia significativa en función de la altura del árbol.

Los resultados del análisis de varianza para los taninos se encuentran en la tabla XV, el valor observado para la prueba de Fisher es de 0.095 con una significancia de 0.910, la cual es mayor de 0.05, con lo que se acepta la hipótesis nula, determinando así, que la concentración de los taninos no varía de forma significativa según la altura del árbol.

La tabla VI y figura 11 presentan los resultados obtenidos para las cenizas, estos muestran que no existe variación significativa en función de las diferentes alturas del árbol.

Los resultados del análisis de varianza para las cenizas se encuentran en la tabla XVI, el valor observado para la prueba de Fisher es de 0.152 con una significancia de 0.859, la cual es mayor de 0.05, con lo que se acepta la hipótesis nula. Por lo que se determina que en cualquier parte del árbol se tiene la misma cantidad de cenizas sin variaciones significativas.

En general se puede decir que al aplicar el método estadístico de análisis de varianza para poder determinar si las diferencias obtenidas entre las medias de cada variable con respecto a la posición de la parte del árbol de donde fueron extraídas las muestras, son significativas o no, se ha encontrado que en la celulosa y lignina, si existen diferencias significativas de la concentración de estos componentes en función de la altura, mientras que para los extraíbles, taninos, y cenizas, la parte del árbol de donde se extraiga la corteza, no mostró diferencias significativas, debido a que los valores obtenidos de la distribución de Fisher son menores al valor teórico 3.4.

CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa en la concentración de celulosa y lignina, en función de las diferentes secciones del tronco evaluadas.
2. La concentración promedio de celulosa en la madera es directamente proporcional a la altura; existe mayor concentración de este componente en la parte apical.
3. La concentración promedio de lignina en la madera es inversamente proporcional a la altura; existe mayor concentración de este componente en la parte basal.
4. No existe diferencia significativa en la concentración de extraíbles, taninos y cenizas, en las diferentes secciones del tronco evaluadas.
5. La aplicación de las normas de análisis utilizadas es efectiva, y los valores promedio con su desviación estándar se encuentran dentro de los valores referidos en la literatura.
6. Las sustancias que se encuentran en menor cantidad en la madera de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii*, Rose) son los extraíbles 8.08 ± 1.31 %, los taninos 0.89 ± 0.11 % y las cenizas 0.79 ± 0.01 %

RECOMENDACIONES

1. Hacer estudios sobre este tipo de madera en función de diferentes edades y regiones de cultivo del árbol, incluyendo aspectos económicos sobre las posibilidades de aprovechamiento industrial.
2. Realizar la caracterización química de otras especies forestales de Guatemala, para evaluar y comparar las concentraciones de los componentes químicos.
3. Buscar métodos alternativos utilizados para determinar los componentes químicos en la madera, para lograr ahorrar recursos y tiempo en futuras investigaciones.
4. Realizar un estudio económico que analice la factibilidad a escala piloto de la determinación de componentes químicos de la madera, con el fin de evaluar algún uso industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Escobar Toledo, Erickson Roberto. Caracterización Química de la madera del primer raleo de Pino Caribe (*Pinus caribaea* (Morelet) var. *Hondurensis* (Barret y Golfar)) a nivel laboratorio, proveniente de la finca, semuc 6, El Estor, Izabal. Trabajo de Graduación Ing. Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005.
2. Meltzer, Robert L. **1979 Annual Book of ASTM Standards.** Parte 22- Madera y Adhesivos. Estados Unidos de América: Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, 1979. pp. D 1109-60, D 1103-60, D 1105-56, D 1106-56.
3. Montgomery, Douglas C. y William W. Hines. **Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración.** Tercera edición. Editorial Continental. México 1994. pp. 412, 417.
4. Perry, Robert H. Green Don W. **Manual del Ingeniero Químico.** Séptima edición. México: Editorial McGraw Hill, 1999. pp. 18-44 a 18-48, 18-68 a 18-70, 18-74 a 18-76 y 18-92 a 18-100.
5. Tamchuk, R. I. y Tamchuk, G. N. **El follaje y su utilización en la agricultura.** Edit. Lesnaya Prom, 1973. pp. 360.

6. Tsoumis, George. Science and Technology of Wood. Primera Edición. Estados Unidos de América: Editorial Van Nostrand Reinhold New York, 1982. pp. 34-38.

7. Aguilar, José María. **Catálogo Ilustrado de los Árboles de Guatemala**. Primera parte. Editorial Universitaria. Colección “Mario Dary Rivera” Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala C. A. 1982.

8. Instituto Nacional de Bosques –INAB-. “Ficha Técnica de Especies: Palo Blanco” **Revista del INAB**. Guatemala, 2008.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Bland, D.E., 1985. Emilianova, H., 1995. **Cenizas en madera.**
http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/x5595s/X5595s05.htm. Diciembre de 2007.
2. Catalan, R., Neira, A. y Rivas, B. L. **Estudio de la copolimerización por injerto de acrilonitrilo en fibra celulósica secundaria.** *Bol. Soc. Chil. Quím.* Marzo 2002, p.39-47.
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036616442002000100008&Ing=es&nrm=iso. Junio 2008
3. Guardiola, J.L., 1967. Fengel, D., 1984. Carballo, L.R., 1989.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Lignina>. Junio 2008.
4. Marx - Figini, 1972. Browing, B.L., 1967. Jolkin, F., 1982. Tamchuk, 1973. Tancredi, N., 1995. **Componentes químicos de la madera.**
<http://www.comaco.com.mx/boletines/ImportanconocerCH2.pdf#search=humedad%20en%20madera>. Noviembre de 2007.
5. **Estructura de la madera.**
www.encarta.com. Junio de 2008.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dick, J.G. **Química Analítica**. Traducido por Beatriz S., Hill de V. Tomo II México: Editorial el Manual Moderno. 1979. 797 pp.
2. Kirk, R. **Enciclopedia de tecnología química**. Edición en Español. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. 1961.
3. Kreshkov, A. P. **Curso de química analítica, análisis cuantitativo**. Moscú, traducido del ruso por S. G. Kará-Murzá, impreso en la URSS. Traducción en español. Editorial Mir. 1985. 335 pp.
4. McCabe, Warren L., Julian Smith C. y Harriot Meter. **Operaciones unitarias en Ingeniería Química**. Cuarta edición. México: Editorial McGraw Hill. 2000. 1114 pp.
5. S. Hon, Davis 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.
6. Treybal, Robert E. **Operaciones de transferencia de masa**. Segunda edición. México: Editorial McGraw Hill. 2000. 862 pp.

APÉNDICE A

DATOS CALCULADOS

Tabla VII. Datos calculados para celulosa

Altura	Observaciones									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	44.06	42.99	47.54	50.56	52.75	44.07	43.24	48.21	49.73	423.15	47.02
2	48.27	47.18	49.68	45.64	48.92	48.98	47.16	48.69	50.56	435.08	48.34
3	55.97	44.44	47.1	59.15	53.11	61.66	60.7	51.32	55.31	488.76	54.31
										1346.99	49.89

Fuente: datos originales

Tabla VIII. Datos calculados para lignina

Altura	Observaciones									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	32.4	27.9	26.5	29.9	26.4	28.4	29.1	27.2	28.2	256	28.44
2	27.3	26.7	25.9	28.8	24.7	27.6	28.3	28.4	26.9	244.6	27.18
3	22.9	26.4	24.7	27.2	25.6	29.4	25.3	26.5	25.4	233.4	25.93
										734	27.19

Fuente: datos originales

Tabla IX. Datos calculados para extraíbles

Altura	Observaciones									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	8.4	8.13	6.97	6.55	6.13	7.21	10.09	9.15	8.41	71.04	7.89
2	9.06	7.13	7.49	9.44	6.64	8.79	7.89	6.55	7.4	70.39	7.82
3	9.86	10.93	8.89	9.41	9.67	6.43	7.2	6.85	7.36	76.6	8.51
										218.03	8.08

Fuente: datos originales

Tabla X. Datos calculados para taninos

Altura	Observaciones									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	1.113	0.903	0.861	0.882	0.787	0.735	0.745	0.924	0.966	7.916	0.88
2	0.861	0.987	1.061	0.892	0.84	0.892	0.724	0.892	0.924	8.073	0.89
3	0.745	0.851	1.145	1.018	0.861	0.871	0.871	0.861	0.882	8.105	0.9
										24.094	0.89

Fuente: datos originales

Tabla XI. Datos calculados para cenizas

Altura	Observaciones									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	0.87	0.88	0.8	0.62	0.88	0.83	0.76	0.82	0.61	7.07	0.79
2	0.75	0.86	0.95	0.76	0.64	0.83	0.86	0.81	0.64	7.1	0.79
3	0.7	0.83	0.93	0.84	0.92	0.85	0.76	0.83	0.63	7.29	0.81
										21.46	0.79

Fuente: datos originales

APÉNDICE B

DATOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla XII. Resultados del análisis de varianza para celulosa

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Posición En el árbol	271.427	2	135.714	8.106	.002
Error	401.831	24	16.742		
Total	673.258	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XIII. Resultados del análisis de varianza de lignina

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Posición En el árbol	28.376	2	14.188	5.052	0.015
Error	67.398	24	2.808		
Total	95.774	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XIV. Resultados del análisis de varianza de extraíbles

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Posición En el árbol	2.589	2	1.294	0.736	0.489
Error	42.192	24	1.758		
Total	44.780	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XV. Resultados del análisis de varianza de taninos

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Posición En el árbol	0.002	2	0.001	0.095	0.910
Error	0.288	24	0.012		
Total	0.290	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XVI. Resultados del análisis de varianza de cenizas

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Posición En el árbol	0.003	2	0.002	0.152	0.859
Error	0.249	24	0.010		
Total	0.252	26			

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XVII. Concentración promedio de celulosa

Posición	celulosa	celulosa
Basal	47.0167	
Media	48.3422	
Apical		54.3067
Sig.	0.773	1

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XVIII. Concentración promedio de lignina

Posición	lignina	lignina
Basal	25.9333	
Media	27.1778	27.1778
Apical		28.4444
Sig.	0.275	0.264

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XIX. Concentración promedio de extraíbles

Posición	extraíbles
Basal	7.8211
Media	7.8933
Apical	8.5111
Sig.	0.521

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XX. Concentración promedio de taninos

Posición	taninos
Basal	0.8796
Media	0.8970
Apical	0.9006
Sig.	0.913

Fuente: Análisis Estadístico

Tabla XXI. Concentración promedio de cenizas

Posición	cenizas
Basal	0.7856
Media	0.7889
Apical	0.8100
Sig.	0.868

Fuente: Análisis Estadístico

APÉNDICE C

Figura 12. Muestra de la madera de Palo Blanco



Fuente: Sylvia Batres

Figura 13. Equipo para condensar



Fuente: Sylvia Batres

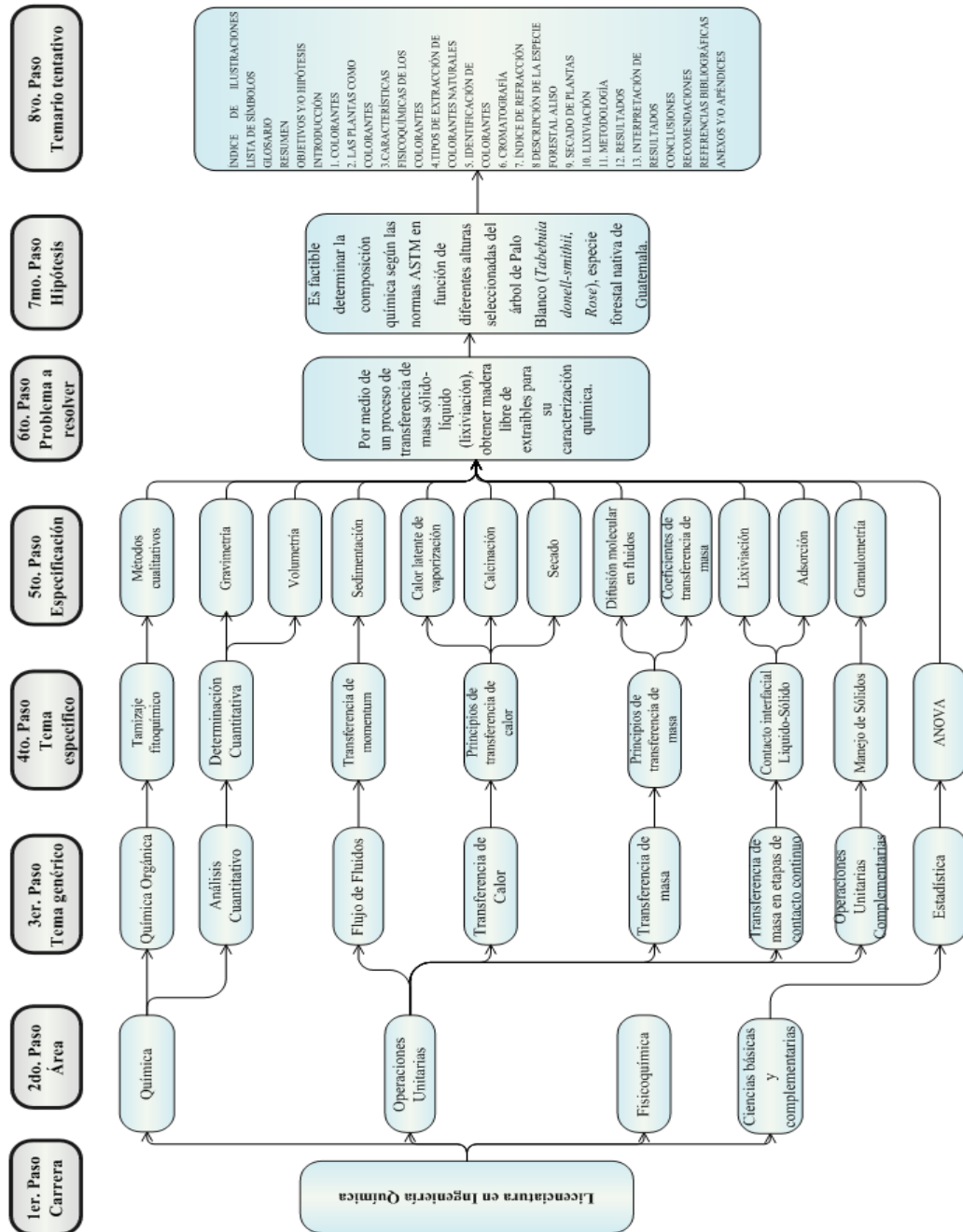
Figura 14. Equipo para condensar



Fuente: Sylvia Batres

APÉNDICE D

Figura 15. Requisitos académicos para la elaboración del Trabajo de Graduación de Ingeniería Química de caracterización química de Palo Blanco



APÉNDICE E

Figura 16. Diagrama de Ishikawa para el proceso de obtención de madera libre de extraíbles del Palo Blanco, mediante lixiviación

