

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CIPRÉS  
(*CUPRESSUS LUSITANICA MILL.*) A NIVEL LABORATORIO,  
PROVENIENTE DE LA ALDEA CHICHOY, MUNICIPIO DE TECPÁN,  
CHIMALTENANGO DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR:

**DEIFY MANCILLA BARAHONA**

ASESORADO POR LA INGA. QCA. TELMA MARICELA CANO MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2009

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



08  
T(1125) @

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. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

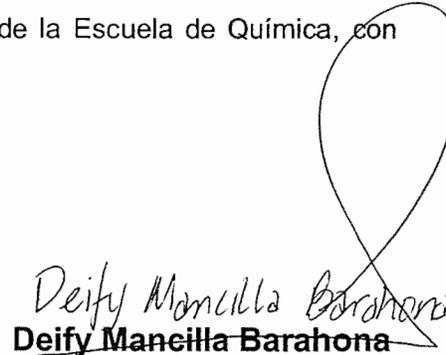


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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 DE CIPRÉS  
(*CUPRESSUS LUSITANICA MILL.*) A NIVEL LABORATORIO,  
PROVENIENTE DE LA ALDEA CHICHOY, MUNICIPIO DE  
TECPÁN, CHIMALTENANGO DEPARTAMENTO DE  
GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Química, con fecha 5 de mayo del 2009.

  
**Deify Mancilla Barahona**





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



Nº 001674

Guatemala, junio 2 de 2009.

Ingeniero

Williams Guillermo Álvarez Mejía

Director

Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final de trabajo de graduación titulado "Caracterización Química de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) a nivel laboratorio proveniente de la aldea Chichoy, municipio de Tecpán, Chimaltenango departamento de Guatemala" desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Deify Mancilla Barahona, carné No. 2003-12684.

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

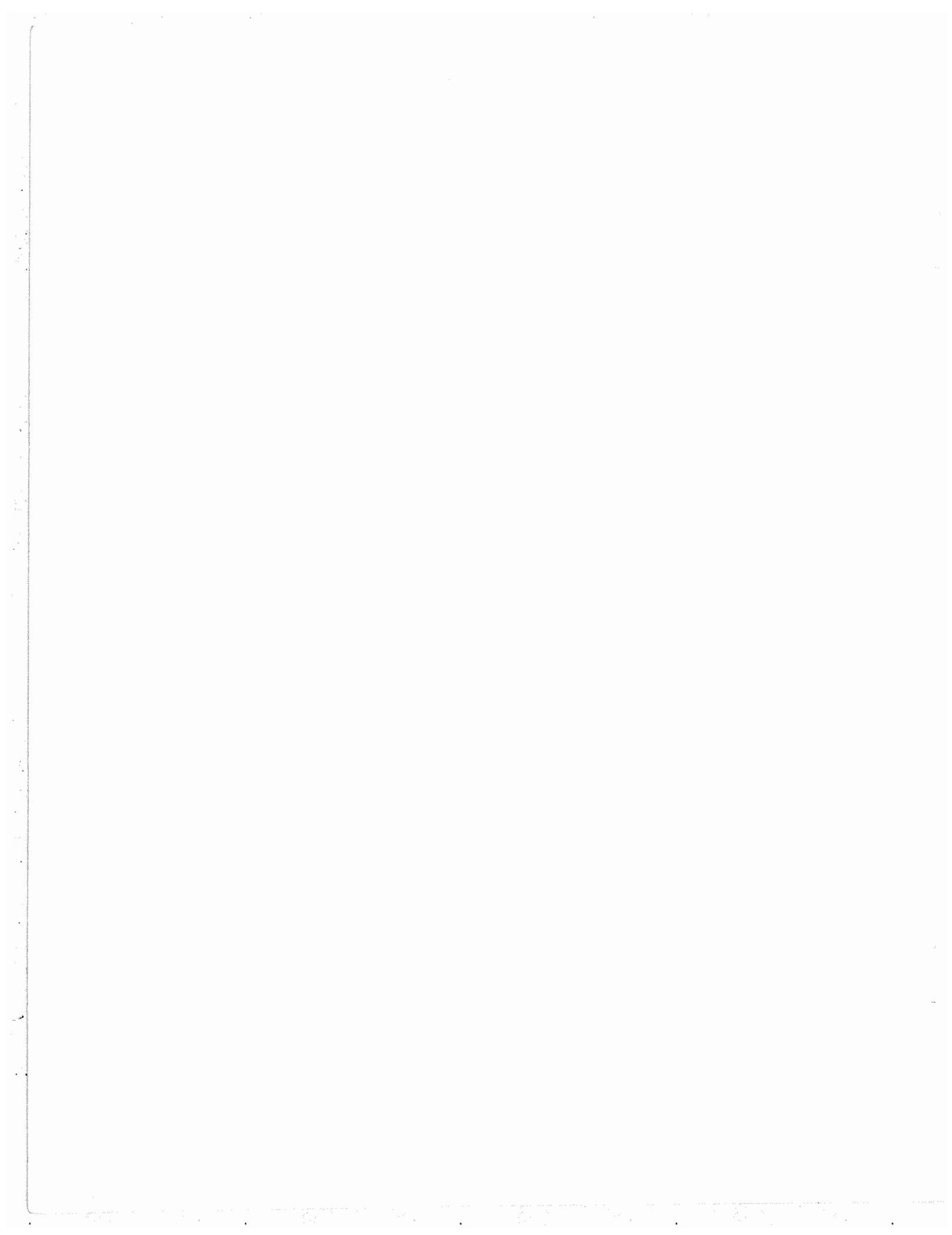


Colegiado 433

ASESORA

Directora

Centro de Investigaciones de Ingeniería /CII





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

Guatemala, 31 de Julio de 2009  
Ref. EI.Q.423.2009

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-079-09-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 **DEIFY MANCILLA BARAHONA**, identificada con carné No. 2003-12684, titulado: "CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CIPRES (CUPRESSUS LUSITANICA MILL.) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DE LA ALDEA CHICHOY, MUNICIPIO DE TECPÁN, CHIMALTENANGO DEPARTAMENTO DE 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 **Mancilla Barahona** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

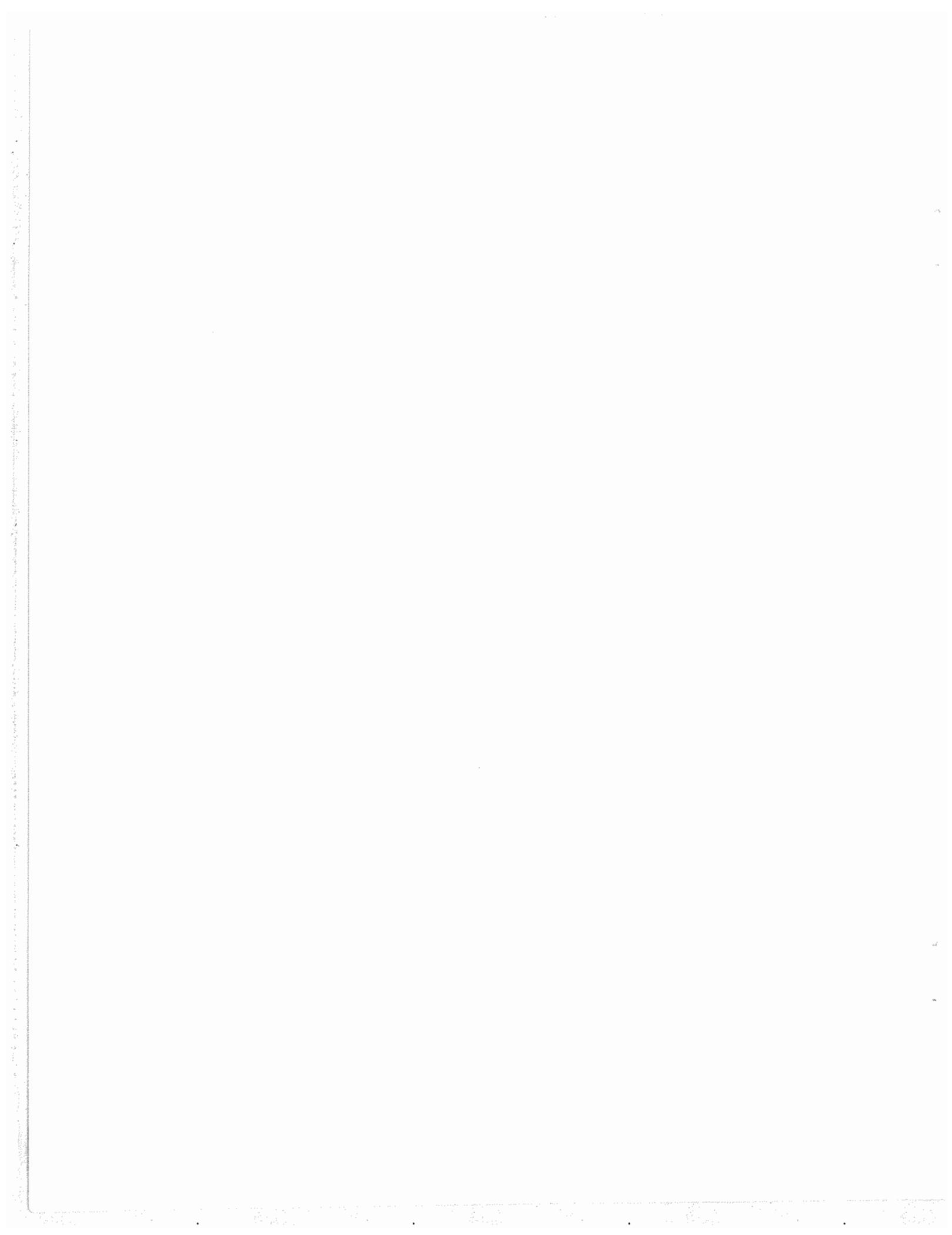
Inga. **Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.**

COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo  
sa

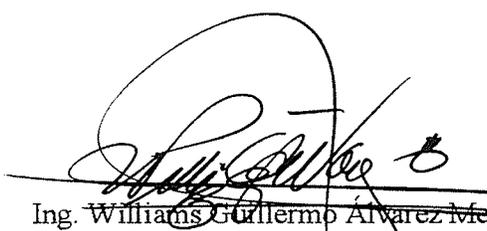




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

---

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 **Deify Mancilla Barahona** titulado: **“CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CIPRÉS (*CUPRESSUS LUSITANICA MILL.*) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DE LA ALDEA CHICHOY, MUNICIPIO DE TECPÁN, CHIMALTENANGO DEPARTAMENTO DE 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, agosto de 2009



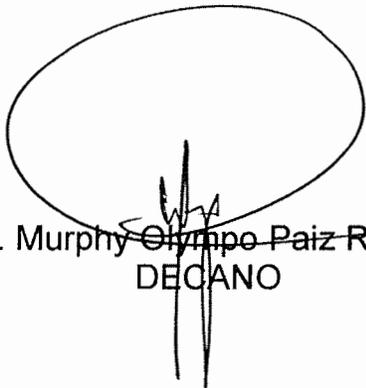


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.301.2009

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 DE CIPRÉS (CUPRESSUS LUSITANICA MILL) A NIVEL LABORATORIO, PROVENIENTE DE LA ALDEA CHICHOY, MUNICIPIO DE TECPÁN, CHIMALTENANGO DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Deify Mancilla Barahona**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

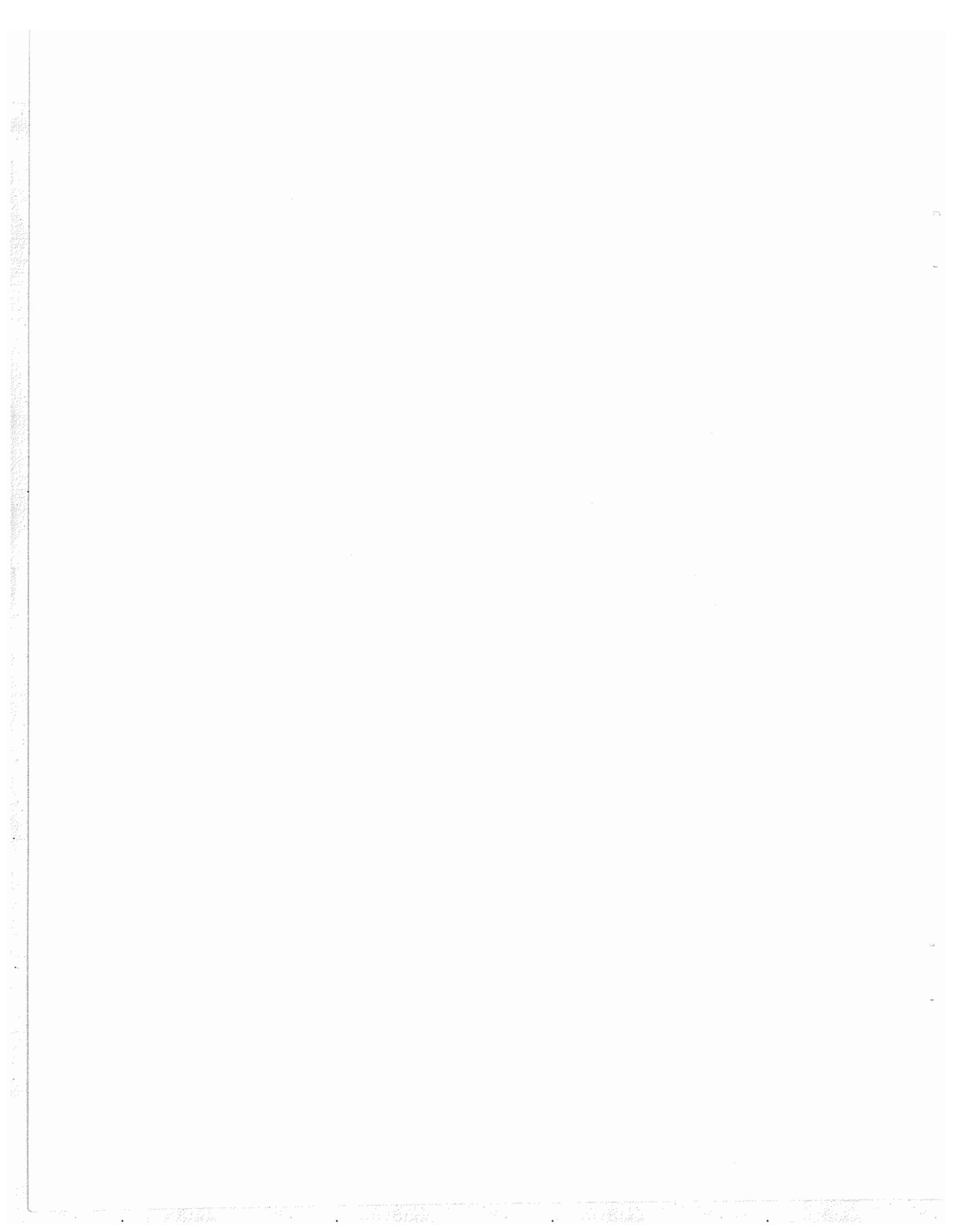


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, agosto de 2009

/cc





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **DIOS**

Por darme la bendición de culminar con éxito mis estudios, rodearme de personas con gran calidad humana y desarrollarme en el seno de una familia amorosa.

### **MIS PADRES**

Victor Manuel Mancilla Castro y Deify de Mancilla, por ser un ejemplo a seguir y apoyarme en la realización de mis metas.

### **MIS HERMANOS**

Victor Manuel, Ricardo Adolfo y Roberto, por su cariño.

### **GUILLERMO ESTRADA**

Por su amor y apoyo incondicional.



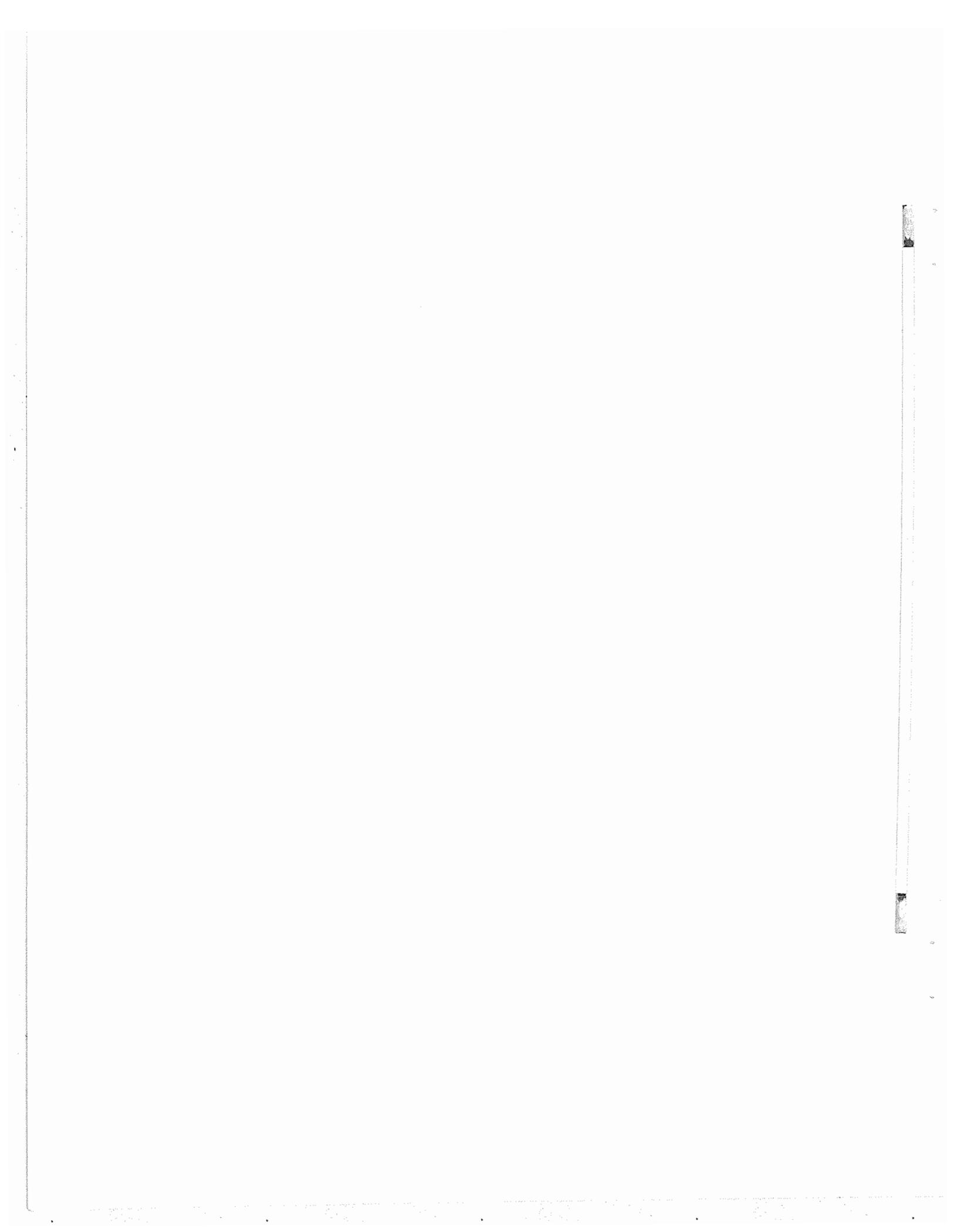
## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **MIS AMIGOS**

Sylvia Batres, Roberto Calderón, Juan José Pineda, Francisco Paz, Wendy Gako.

### **ROSARIO PÉREZ**

Por su cariño y cuidados.



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIX</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>XXI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXIII</b>
<b>1. MARCO TÉORICO</b>	<b>1</b>
1.1. Clasificación de la madera	1
1.1.1. Maderas duras	1
1.1.2. Maderas blandas	2
1.2. Macroestructura de la madera	2
1.2.1. Duramen – Albura	3
1.2.2. Anillos de crecimiento	4
1.2.3. Radios leñosos	4
1.2.4. Madera juvenil	5
1.2.5. Madera de reacción	5
1.3. Microestructura de la madera	5
1.3.1. Estructura de la célula leñosa	6
1.3.2. Elementos anatómicos fundamentales de la madera blanda	7
1.3.3. Elementos anatómicos fundamentales de la madera dura	8
1.4. Anisotropía	9
1.5. Higroscopicidad	10
1.6. Propiedades Físicas de la madera	10
1.6.1. Humedad	10
1.6.2. Hinchazón y merma de la madera	12
1.6.3. Densidad	13
1.6.4. Dureza	13

1.6.5. Propiedades Térmicas	13
1.6.6. Propiedades Eléctricas	14
1.7. Composición Química de la madera	15
1.7.1. Sustancias orgánicas estructurales	16
1.7.1.2.1. Hemicelulosa de madera de fibra corta o madera dura	21
1.7.1.2.2. Hemicelulosa de madera de fibra larga o madera blanda	22
1.7.1.2.3. Determinación de Pentosanos	24
1.7.1.2.4. Determinación de alfa, beta y gamma celulosa	27
1.7.2. Sustancias orgánicas no estructurales	35
1.7.3. Sustancias Inorgánicas	39
1.8. Fundamentos teóricos de metodología	40
1.8.1. Gravimetría	40
1.8.2. Volumetría	41
1.8.3. Secado	43
1.8.4. Calcinación	45
1.8.5. Lixiviación	46
1.8.5.1.1. Partes del aparato Soxhlet	47
1.8.5.1.1.1. Condensador	47
1.8.5.1.1.2. Extractor	48
1.9. Ciprés	50
1.9.1. Clasificación Taxonómica	51
1.9.2. Descripción botánica	52
1.9.3. Distribución	53
1.9.4. Requerimientos ambientales	54
1.9.5. Factores limitantes	54
<b>2. MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>57</b>
2.1. Localización	57
2.2. Recursos	57
2.3. Obtención y preparación de las muestras	60
2.4. Metodología Experimental	60
2.4.1. Determinación de humedad	60
2.4.2. Determinación de cenizas	61
2.4.3. Determinación de extraíbles	63
2.4.4. Determinación de lignina	65
2.4.5. Determinación de celulosa	67
2.4.6. Determinación de taninos	69
2.5. Diseño Experimental	71
2.5.1. Diseño de tratamientos	71
2.5.2. Análisis Estadístico	73

<b>3. RESULTADOS</b>	<b>77</b>
<b>4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS</b>	<b>95</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>97</b>
<b>APÉNDICE A</b>	<b>99</b>
<b>APÉNDICE B</b>	<b>101</b>
<b>APÉNDICE C</b>	<b>103</b>
<b>APÉNDICE D</b>	<b>105</b>
<b>APÉNDICE E</b>	<b>107</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Estructura macroscópica de la madera	3
2. Célula leñosa	6
3. Tejido formado por traqueida, parénquima radial y canales resiníferos	8
4. Tejido formado por células parenquimáticas, fibras y vasos.	9
5. Esquema de componentes químicos de la madera	16
6. Unión en cadena de moléculas de $\beta$ -glucosa, forman celulosa	18
7. Unidad estructural de un glucomanano	23
8. Estructura de la lignina	35
9. Estructura de tanino	38
10. Soxhlet	49
11. Ciprés	55
12. Origen de las muestras a tres diferentes alturas del tronco	72
13. Distribución de los resultados experimentales de concentración de celulosa en función de la altura para Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> )	79
14. Distribución de los resultados experimentales de concentración de cenizas en función de la altura para Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> )	80
15. Distribución de los resultados experimentales de concentración de extraíbles en función de la altura para Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> )	81
16. Distribución de los resultados experimentales de concentración de lignina en función de la altura para Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> )	82
17. Distribución de los resultados experimentales de concentración de taninos en función de la altura para Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> )	83

18. Requisitos académicos para elaboración de tesis de Ingeniería	
Química de caracterización química de ciprés	103
19. Esquema de trabajo para elaboración de tesis de Ingeniería	
Química de caracterización química de ciprés	105
20. Diagrama de Ishikawa para la obtención de madera libre de extraíbles	107

## TABLAS

I. Tamaño de las muestras (aproximado)	26
II. Composición química de la madera (% en peso)	40
III. Variables para el diseño unifactorial	73
IV. Análisis de Varianza para el Diseño Unifactorial	74
V. Resultados generales en %w/w de la composición química de la madera de Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> ) en función de la altura basal	77
VI. Resultados generales en %w/w de la composición química de la madera de Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> ) en función de la altura media	77
VII. Resultados generales en %w/w de la composición química de la madera de Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> ) en función de la altura apical	78
VIII. Resultados globales de composición química de la madera de Ciprés ( <i>Cupressus lusitanica Mill.</i> )	78
IX. Valores de F obtenidos para cada componente	83
X. Datos calculados para celulosa (% en peso)	99
XI. Datos calculados para lignina (% en peso)	99
XII. Datos calculados para cenizas (% en peso)	99
XIII. Datos calculados para taninos (% en peso)	100
XIV. Datos calculados para extraíbles (% en peso)	100
XV. Resultados de análisis de varianza para celulosa	101

XVI. Resultados de análisis de varianza para cenizas	101
XVII. Resultados de análisis de varianza para extraíbles	101
XVIII. Resultados de análisis de varianza para lignina	102
XIX. Resultados de análisis de varianza para taninos	102



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Nivel de confianza
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>DAP</b>	Diámetro a la altura del pecho
<b>D6</b>	Altura comercial del fuste
<b>F<sub>o</sub></b>	Fisher observada
<b>F</b>	Fisher tabulada
<b>G</b>	Gramo
<b>H<sub>a</sub></b>	Hipótesis alternativa
<b>H<sub>o</sub></b>	Hipótesis nula
<b>Msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>M</b>	Metro
<b>MI</b>	Mililitro
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>SSA</b>	Suma de cuadrados para tratamientos
<b>SSE</b>	Suma de cuadrados para el error
<b>SST</b>	Suma de cuadrados total

<b>N</b>	Repeticiones u observaciones
<b>N</b>	Total de observaciones
<b>°C</b>	Grados Celcius
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Σ</b>	Sumatoria
<b>Yi</b>	Sumatoria de los totales de las observaciones
<b>Y</b>	Sumatoria de los promedios de las observaciones

## **GLOSARIO**

### **Agua combinada**

Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera.

### **Agua libre**

Es aquella absorbida por capilaridad. una vez perdida por la madera, ya no puede ser recuperada a partir de la humedad atmosférica.

### **Anisotropía**

Es la propiedad que tiene de expandirse y contraerse en forma desigual en sus diversas direcciones, esta será mayor a lo largo de la veta o fibra que a su través.

### **ASTM**

Por sus siglas en inglés, American Society for Testing Materials. Organismo de normalización de los Estados Unidos de América, define los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias.

<b>Calcinación</b>	Proceso altamente endotérmico 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.
<b>Celulosa</b>	Estructura básica de las células de las plantas y la sustancia más importante producida por este organismo vivo. Es el homopolisacárido que se encuentra en mayor proporción en la madera.
<b>Ciprés</b>	Especie de la familia Cupressaceae, alcanzan alturas superiores a los 30 metros y diámetros superiores a 100 centímetros. Es una especie monoica.
<b>Dureza</b>	Resistencia que opone un material a la penetración de cuerpos extraños.
<b>Gravimetría</b>	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.

**Hemicelulosa**

Heteropolisacáridos de alta masa molar, que se encuentran constituidos por diferentes unidades de monosacáridos. Pueden ser clasificadas como pentosanos y hexosanos, aunque también se clasifican en dependencia de su origen, su composición estructural y solubilidad en álcalis.

**Hidrólisis**

Reacción química del agua con una sustancia.

**Higroscópico**

Capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medioambiente.

**Lignina**

Constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Es una macromolécula de naturaleza polímera especial, formada por la polimerización deshidrogenativa al azar de alcoholes parahidroxicinámicos en reacción catalizada por enzimas vía radicales libres.

**Lixiviación**

Proceso de extracción sólido-líquido para separar los constituyentes solubles de un sólido inerte con un solvente. El proceso completo de extracción suele comprender la recuperación por separado del solvente y del soluto.

**Maceración**

Proceso de extracción sólido-líquido. El producto sólido (materia prima) posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractante que son los que se pretende extraer.

**Madera blanda**

Son las que proceden básicamente de coníferas o de árboles de crecimiento rápido. Se conoce como madera de fibra larga.

**Madera dura**

Son las procedentes de árboles de crecimiento suele conocerse como madera de fibra corta. Esta madera se obtiene de árboles caducifolios, latifoliados o frondosos.

**Porcentaje en peso (%w/w)**

Se define como la masa de soluto (sustancia que se disuelve) por cada 100 unidades de masa de la disolución:

$$\%w/w = \frac{\text{masa de soluto}}{\text{masa de disolución}} \times 100$$

<b>Tamiz</b>	Malla de filamentos que se entrecruzan dejando huecos cuadrados del mismo tamaño.
<b>Taninos</b>	Compuestos polifenólicos de estructura química diversa que tienen la propiedad de ser astringentes.
<b>TAPPI</b>	Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
<b>Titulación</b>	Método mediante el cual se determina la concentración de una sustancia por medio de otra de concentración conocida.
<b>Volumetría</b>	Métodos de análisis que consisten en la medida precisa del volumen de un reactivo en disolución de concentración perfectamente conocida para reaccionar estequiométricamente con el analito contenido en la muestra.



## RESUMEN

Se caracterizó químicamente a nivel laboratorio la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) proveniente de la aldea Chichoy municipio de Tecpán, Chimaltenango.

Las muestras para análisis fueron tomadas de nueve árboles de la misma especie. A los nueve árboles se les hicieron tratamientos a tres diferentes alturas: basal, media y apical. Las muestras fueron molidas y tamizadas, según las normas. Se recolectó la fracción para realizar los análisis de laboratorio.

Los ensayos realizados están basados en las siguientes normas especificadas: determinación de celulosa en madera, según norma ANSI/ASTM D1103-60; taninos según método tara en vaina y cenizas, según norma ANSI/ASTM D1102-56; madera libre de sustancias extraíbles, según norma ANSI/ASTM D1105-56; determinación de lignina en madera, según norma ANSI/ASTM D1106-56.

Los resultados de los ensayos anteriores son los siguientes: extraíbles entre 3.73% w/w y 8.93% w/w; taninos entre 0.61% w/w y 1.13% w/w; cenizas entre 0.3% w/w y 0.9% w/w; lignina entre 24% w/w y 32% w/w; celulosa entre 59.02% w/w y 77.97% w/w.

A través del análisis estadístico, mediante ANDEVA con un nivel de confianza de 95% se determinó que no existe diferencia significativa en la concentración de componentes químicos en la madera de ciprés en función de la altura. Por lo tanto, se valida la hipótesis nula.



## OBJETIVOS

### GENERAL

Determinar la composición química, a diferentes alturas del árbol, de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) a nivel laboratorio, proveniente de la aldea Chichoy, municipio de Tecpán, Chimaltenango departamento de Guatemala.

### ESPECÍFICOS:

1. Determinar la composición química de la madera a la altura basal del árbol de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*).
2. Determinar la composición química de la madera a la altura media del árbol de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*).
3. Determinar la composición química de la madera a la altura apical del árbol de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*).
4. Evaluar la composición química de la madera de ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) en función de la altura del árbol mediante un análisis de varianza simple y comparar los resultados con los datos teóricos investigados.



## HIPÓTESIS

Es factible determinar la caracterización química de la madera en función de diferentes alturas seleccionadas del árbol de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*).

### HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

#### Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>)

No existe diferencia significativa en el contenido porcentual en peso, de los componentes químicos seleccionados en la madera en función de diferentes alturas seleccionadas del árbol de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*).

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

#### Hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>)

Existe diferencia significativa en el contenido porcentual en peso, de los componentes químicos seleccionados en la madera en función de diferentes alturas seleccionadas del árbol de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*).

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



## INTRODUCCIÓN

Para hacer un aprovechamiento óptimo de la madera desde el punto de vista químico es necesario conocer su composición química, cuyos compuestos surgen de la combinación de los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno, la que se compone, de forma general, de dos grupos de sustancias: extraíbles y los componentes de la pared celular, estos últimos comprenden la lignina, celulosa y hemicelulosa. La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol.

La celulosa es el homopolisacárido que se encuentra en mayor proporción en la madera, es responsable de determinadas propiedades físicas y mecánicas de las maderas por constituir el material de sostén del árbol, dándole resistencia y tenacidad.

La lignina es una macromolécula componente de la madera, constituyen un polímero aromático, heterogéneo, ramificado, donde no existe ninguna unidad repetida definidamente. Poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas, donde realizan la función mecánica de sostén.

Los extraíbles son responsables de algunas características de las plantas como resistencia natural a la pudrición, sabor y propiedades abrasivas.

Los taninos son sustancias amorfas solubles en agua, que forman soluciones coloidales, en alcohol y en acetona. Los taninos se usan en el curtido de pieles y la fabricación de barnices y pinturas.

Las cenizas de madera presentan contenidos importantes de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles. Las cenizas se emplean en suelos forestales de carácter ácido puesto que cantidades moderadas de estas cenizas devuelven al sistema buena parte de los nutrientes extraídos durante el aprovechamiento forestal.

# 1. MARCO TEÓRICO

La madera es una sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los árboles; se ha utilizado durante miles de años como combustible, materia prima para la fabricación de papel, mobiliario, construcción de viviendas y una gran variedad de utensilios para diversos usos. Este noble material, fabricado por la naturaleza con un elevado grado de especialización, debe sus atributos a la complejidad de su estructura.

Está atravesado por una red de células longitudinales (desde las raíces a la copa) y transversales (desde la médula a la corteza) de distintas características, que dan forma a sus tres componentes químicos básicos: celulosa, hemicelulosa y lignina, más otros compuestos secundarios como taninos, gomas, aceites, colorantes y resinas.

## 1.1. Clasificación de la madera

Se pueden hacer numerosas clasificaciones de la madera. La estructura de la madera es lo que determina la diversidad de los troncos y su utilización. Hay distintos tipos de madera que se distinguen por su dureza en relación con el peso específico.

### 1.1.1. Maderas duras

Son las procedentes de árboles de crecimiento por lo que son más caras, y debido a su resistencia, suelen emplearse en la realización de muebles de

calidad. Esta madera se obtiene de árboles caducifolios, latifoliados o frondosos.

### **1.1.2. Maderas blandas**

Son las que proceden básicamente de coníferas o de árboles de crecimiento rápido. Son las más abundantes y baratas. Esta madera proviene de coníferas.

## **1.2. Macroestructura de la madera**

La estructura macroscópica es la que se observa a ojo desnudo o con diez aumentos. Para su estudio y debido a su heterogeneidad se establecen tres planos o secciones:

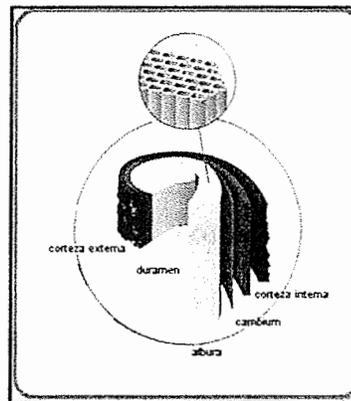
- Transversal: perpendicular al eje de la rama o tronco
- Radial: que pasa por el eje y un radio de la rama o tronco
- Tangencial: paralela a un plano tangente al tronco, o al anillo de crecimiento.

Al examinar las tres secciones principales en un tronco de madera se pueden observar las siguientes características que son fácilmente diferenciables:

- Corteza externa o corteza propiamente dicha, constituida por células muertas.
- Corteza interna o liber, por donde circula la savia descendente.
- Cambium, tejido que produce la madera o xilema hacia el interior y la corteza hacia el exterior.

- Leño o tejido leñoso propiamente dicho, que se corresponde básicamente con lo que entendemos por madera.
- Médula, de pequeño tamaño y con reducidas características mecánicas.

**Figura 1. Estructura macroscópica de la madera**



Fuente: Referencia 12

En el tejido leñoso, que rellena la mayor parte del tronco y que presenta diferencias fácilmente apreciables en las coníferas y en algunas frondosas, se pueden distinguir o definir los siguientes elementos.

### **1.2.1. Duramen – Albura**

Dentro del tejido leñoso a veces pueden diferenciarse fácilmente dos zonas, el duramen, en el interior del tronco, y la albura, en el exterior.

La formación del duramen se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas. Las modificaciones anatómicas, tanto en las frondosas como en las coníferas, se traducen en una obturación total o parcial de los tejidos encargados de transportar la savia. Las modificaciones químicas tienen lugar al impregnarse las células con otros productos naturales producidos por el árbol

(resinas, aceites, taninos, gomas, alcaloides, etc.) que al oxidarse le suelen dar un característico color oscuro, que se suele apreciar con más claridad en algunas coníferas.

La madera de duramen no sólo es más oscura (en la mayoría de las especies), sino que también es más densa y resistente a los ataques de origen biológico; mientras que la madera de albura suele ser más clara, generalmente blanco amarillenta, más porosa y blanda, y menos valiosa para algunas aplicaciones.

### **1.2.2. Anillos de crecimiento**

Los vegetales leñosos viven un cierto número de años y a lo largo de su vida las células del cambium van formando nuevas células que dan origen a los anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento pueden clasificarse en:

- anuales, característicos de las plantas que crecen en la zona boreal y
- estacionales, característicos de las plantas que crecen en la zona tropical con estaciones climáticas marcadas.

### **1.2.3. Radios leñosos**

Los radios leñosos están constituidos por células dispuestas en dirección radial, perpendicular al eje del árbol, y realizan una función de trabazón de las fibras longitudinales.

Tienen importancia en las propiedades de la madera, como elemento de identificación y como responsables, en parte, de las propiedades de contracción de la madera.

#### **1.2.4. Madera juvenil**

Se denomina madera juvenil a la que se produce en primeros anillos de crecimiento, normalmente la comprendida entre el quinto y vigésimo año. Esta madera tiene propiedades diferentes a la madera restante del tronco (madera madura) y presenta menor resistencia y rigidez y mayor hinchazón y merma en la dirección longitudinal que la madera normal.

#### **1.2.5. Madera de reacción**

Cuando el árbol se encuentra sometido a unas solicitaciones que predominan en una dirección (debidos por ejemplo a la pendiente del terreno o a un viento dominante), responde formando lo que se denomina madera de reacción. En las coníferas se produce madera de compresión, mientras que las frondosas desarrollan madera de tracción en las zonas más traccionadas.

### **1.3. Microestructura de la madera**

La madera no es un material homogéneo, está formado por diversos tipos de células especializadas que forman tejidos.

Estos tejidos sirven para realizar las funciones fundamentales del árbol; conducir la savia, transformar y almacenar los alimentos y formar la estructura resistente o portante del árbol. La heterogeneidad de la madera será, en parte, la causa de sus propiedades.

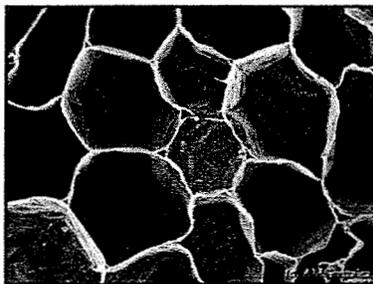
Se puede considerar la madera como un conjunto de células alargadas en forma de tubos, paralelos al eje del árbol, muy variables, tanto en longitud y forma, como en el espesor de sus paredes y en las dimensiones interiores.

Estas células 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. La variedad de tipos de células y la forma de unirse, definen la infinidad de especies diferentes de madera que existen.

### **1.3.1. Estructura de la célula leñosa**

La célula de la madera está vacía en su interior y la pared está formada por tres capas: la pared primaria, la pared secundaria y la pared terciaria. La pared secundaria es la más gruesa y está compuesta en especial de celulosa. Las paredes de la célula están compuestas de millares de fibrillas como agujas orientadas en todas las direcciones.

**Figura 2. Célula leñosa**



Fuente: Referencia 13

- Fibrilla elemental: La unión de las cadenas de celulosa da lugar a la fibrilla elemental. Una fibrilla elemental está integrada por 40-100

cadenas de celulosa. Las uniones de estas cadenas son secundarias, es decir, son fuerzas de Van der Waals, que requieren mucha menos energía para romperlas que los puentes de hidrógeno.

- Microfibrillas: unión de 20 fibrillas elementales. La unión de las fibrillas elementales también son de valencia secundaria (Van der Waals) y dentro de la microfibrilla si caben moléculas de agua en los espacios que quedan entre las fibrillas elementales.
- Fibra leñosa: unión de 250 microfibrillas.

### **1.3.2. Elementos anatómicos fundamentales de la madera blanda**

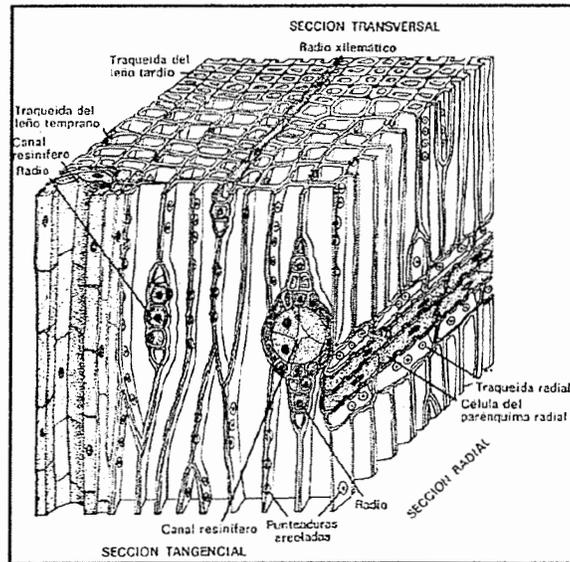
En la madera blanda se pueden distinguir tres elementos anatómicos fundamentales: la traqueida, el parénquima radial y los canales resiníferos.

La traqueida, son células muertas que tienen la doble función del sostén mecánico y al mismo tiempo conducir la savia en crudo hacia lo alto del árbol. La traqueida tiene la forma alargada, tubular y está dispuesta paralelamente al eje longitudinal del tronco. Estas células se comunican entre ellas a través de numerosas válvulas o microporos.

El parénquima radial está compuesto de células vivas con la función de almacén y transporte del material nutritivo de reserva del centro hacia la parte externa del árbol.

Los canales resiníferos están constituidos por tubos de ancho diámetro de cuyas células segrega resinas hacia el interior. Pueden desarrollarse tanto en dirección axial como en radial. No todas las maderas coníferas tienen canales resiníferos.

**Figura 3. Tejido formado por traqueida, parénquima radial y canales resiníferos**



Fuente: Referencia 14

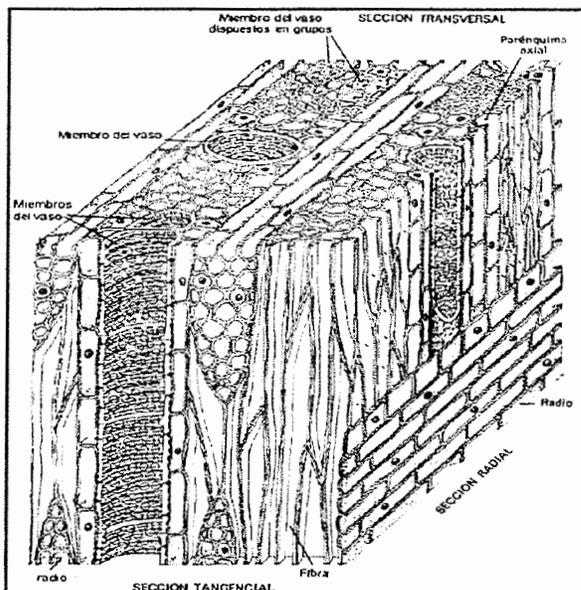
### 1.3.3. Elementos anatómicos fundamentales de la madera dura

En la madera dura también se pueden distinguir tres elementos anatómicos fundamentales: la fibra, los vasos y el tejido parenquimático.

Las fibras y los vasos son células muertas dispuestas paralelamente al eje del tronco; las primeras tienen la misión de sostén y las segundas, dotadas de un mayor diámetro tienen la función de transportar la savia en bruto.

En las maderas duras el tejido parenquimático actúa de almacén y distribución de la reserva y puede hacerlo en dirección axial o radial.

**Figura 4. Tejido formado por células parenquimáticas, fibras y vasos.**



Fuente: Referencia 14

#### 1.4. Anisotropía

La madera está formada por diferentes tejidos que realizan diferentes funciones y que originan que su estructura no sea homogénea. Esta heterogeneidad se refleja en sus propiedades físicas y mecánicas, y es la causa de algunos de sus defectos y también de sus ventajas. Dicha heterogeneidad da lugar a lo que se conoce con el nombre de anisotropía, que es el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas según la dirección que se considere. Se establecen tres planos o direcciones principales: Longitudinal, Radial, Tangencial.

Quando se habla de las propiedades físicas se hace referencia a estas tres direcciones, y cuando se habla de las propiedades mecánicas sólo se habla de dos direcciones, la dirección paralela a las fibras (que coincide con la

longitudinal) y la dirección perpendicular a las fibras (que engloba a la tangencial y radial, cuyas propiedades mecánicas suelen tener valores similares).

### **1.5. Higroscopicidad**

La madera es un material higroscópico que tiende a absorber o perder agua según las condiciones del ambiente (humedad relativa y temperatura del aire). De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (HEH). La higroscopicidad de la madera se mide como la variación de la densidad de la misma cuando su contenido de humedad varía en un 1 por 100.

### **1.6. Propiedades físicas de la madera**

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento frente a los distintos factores que intervienen en el medio natural, sin producir ninguna modificación mecánica o química.

#### **1.6.1. Humedad**

Es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás, propiedades físicas, mecánicas, mayor o menor aptitud para su elaboración, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos. El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que esta tenga normalmente 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 agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes:

- Agua de constitución o agua combinada: Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera. Forma parte integrante de la materia leñosa (de su propia estructura), y no se puede eliminar si no es destruyendo al propio material (por ejemplo, quemándola).
- Agua de impregnación o de saturación: Es la que impregna la pared de las células rellenando los espacios submicroscópicos y microscópicos de la misma. Se introduce dentro de la pared celular, siendo la causa de la contracción de la madera cuando la pierde (desorción) y de su expansión o hinchamiento cuando la recupera (sorción: retención de agua). Se puede eliminar por calentamiento hasta 100 – 110 °C.
- Agua libre: Es la que llena el lumen de las células o tubos (vasos, traqueidas, etc.) Es absorbida por capilaridad.

El agua libre, una vez perdida por la madera, ya no puede ser recuperada a partir de la humedad atmosférica. Para recuperarla, habrá de ser por inmersión directa en el agua. El agua libre no tiene más repercusión que la ocupación física de los huecos, y por consiguiente no influye en la hinchazón o merma de la madera ni en las propiedades mecánicas. Las dos últimas, impregnación y libre son las que constituyen la humedad de la madera. La humedad es la cantidad de agua que contiene la madera expresada en porcentaje de su peso en estado anhidro o húmedo.

### **1.6.1.1. Contenido de humedad**

El contenido de humedad de la madera,  $h$ , se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra.

$$h = (P_h - P_0) \times 100 / P_0$$

### **1.6.2. Hinchazón y merma de la madera**

La variación del contenido de humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma. Estos movimientos sólo tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (aproximadamente cuando tienen una humedad del 30 %), a partir del 30 % sólo se produce un aumento de peso y su volumen permanece prácticamente constante.

Debido a su anisotropía, las variaciones dimensionales no serán las mismas en las direcciones axial, radial y tangencial. Estas contracciones o mermas modifican también como es natural su volumen. Para evaluarlas se han definido los coeficientes de contracción: contracción volumétrica total, contracción tangencial y contracción radial.

La diferencia entre la contracción radial y la tangencial es la causa por la que se deforman las maderas durante el proceso de secado; por esa razón, en ebanistería se emplean maderas cuyas contracciones radiales y tangenciales son muy parecidas, siendo más apreciada la madera cuanto menor es la diferencia entre ambas. Según sus coeficientes de contracción la madera se

clasifica como: muy nerviosa, nerviosa, moderadamente nerviosa y poco nerviosa.

### **1.6.3. Densidad**

La densidad de la madera se define como la relación entre su masa y su volumen, y es necesario referirla a un determinado contenido de humedad, generalmente el 12 %. La densidad de las maderas es muy variables y según su densidad se pueden clasificar en: muy ligera, ligera, semipesada, pesada, muy pesada.

### **1.6.4. Dureza**

Se define como la resistencia que opone la madera a la penetración de cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos, etc. La dureza está relacionada con la densidad y tiene una marcada importancia en su relación con la dificultad de su trabajo ya sea realizado manual o mecánicamente. Las maderas se clasifican como: blandas, semiduras y duras.

### **1.6.5. Propiedades térmicas**

Los coeficientes de dilatación de la madera son muy bajos por lo que se puede decir que apenas se dilata.

Así mismo la madera es un mal conductor del calor debido a la escasez de electrones libres, por ejemplo el coeficiente de conductividad calorífica de la coníferas (pino y abetos) en la dirección perpendicular varía aproximadamente de 0.09 a 0.12 kcal. / mh°C.

El calor específico de la madera es bajo, varía de 0.4 a 0.7 kcal./kg°C, lo que significa que no necesitamos mucho calor para llegar a los 150 °C, temperatura a la que empiezan a desprenderse gases combustibles y por tanto a aparecer las llamas.

Una vez que la madera entra en combustión hay que tener en cuenta la formación de carbón en las capas externas, que retrasa la difusión del calor hacia su interior constituyendo una barrera térmica que actúa como aislante. La zona interior de la pieza no sufre apenas ninguna modificación y conserva intactas sus propiedades mecánicas.

A pesar de que es un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es menos peligroso de lo que la gente piensa por las siguientes razones:

- Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior.
- La carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor.
- Al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre las estructuras y no las deforma.

#### **1.6.6. Propiedades eléctricas**

La madera en estado seco es un aislante excelente, pero su resistencia óhmica desciende bruscamente al aumentar la proporción de agua.

## 1.7. Composición química de la madera

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, poliosas (hemicelulosas) 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
- Las sustancias minerales.

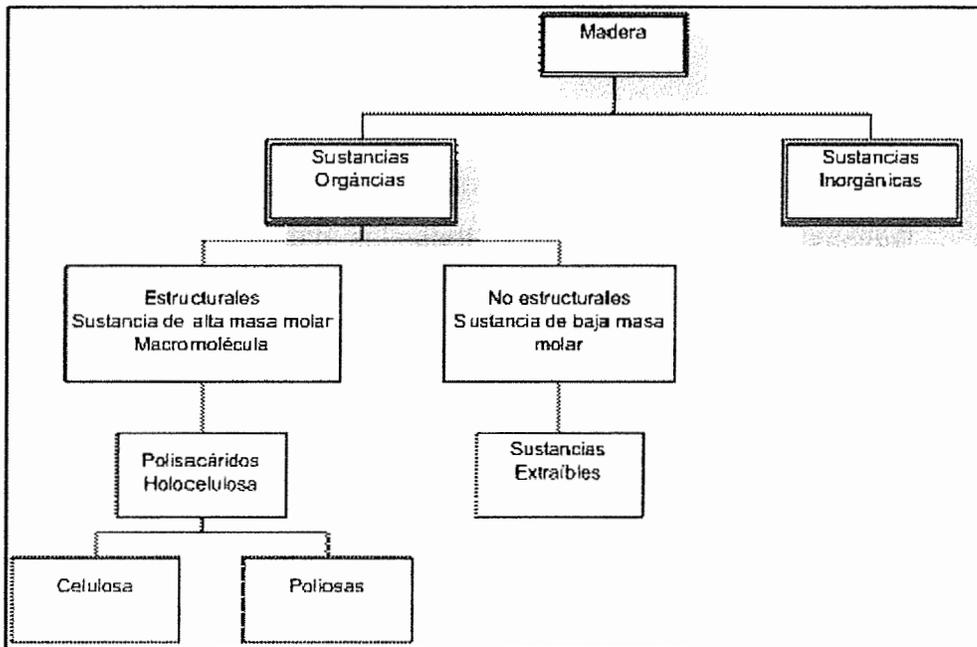
La proporción y composición química de la lignina y las poliosas difiere para las maderas duras y blandas, mientras que la celulosa es uniforme en composición en todas las maderas.

La madera está formada por componentes estructurales y no estructurales, los estructurales son los que componen la pared celular y los no estructurales son denominados como sustancias extraíbles.

La proporción de estos componentes varía con la especie, entre la madera de árboles de la misma especie y en diferentes partes del propio árbol, en la madera de la albura y duramen, en dirección radial y longitudinal.

Los parámetros edafoclimáticos influyen en la composición química, así, se presentan diferencias entre maderas que provienen de zonas templadas con las que provienen de zonas tropicales.

**Figura 5. Esquema de componentes químicos de la madera**



Fuente: Referencia 1

### **1.7.1. Sustancias orgánicas estructurales**

#### **1.7.1.1. Celulosa**

La celulosa es el homopolisacárido 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 celulosa consiste en unidades de anhidro-  $\beta$  - D (+) glucopiranososa en conformación  $C_1$ , unidos por enlaces glicosídicos  $\beta$  -1-4, por lo que se puede

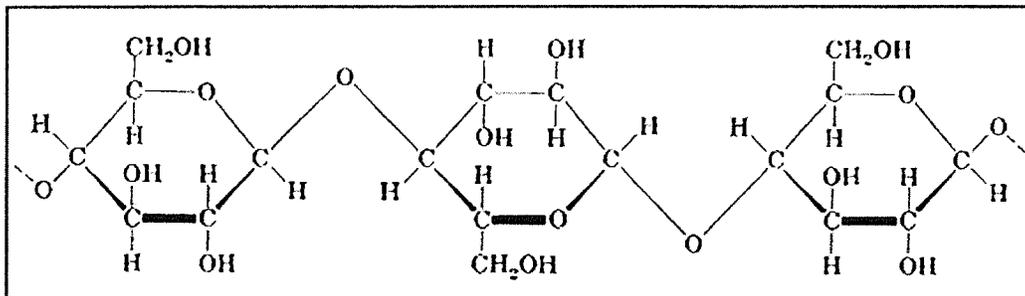
describir como un polímero lineal de glucanos. La unidad estructural de la celulosa es la celobiosa (disacárido) con una longitud de 1.03 nm.

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 ( $\beta$ -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  $\mu$ m. En ellas 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 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.

**Figura 6. Unión en cadena de moléculas de  $\beta$ -glucosa, forman celulosa**



Fuente: Referencia 15

### 1.7.1.2. Hemicelulosa

Las poliosas o hemicelulosas son heteropolisacáridos 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, glucomanos, 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.

Se conoce que las hemicelulosas se encuentran a lo largo de toda la pared celular, desde la lámina media, hasta la capa  $S_3$  de la pared secundaria. Las hemicelulosas presentes en estas paredes son:  $\beta$  (1-3),  $\beta$  (1-4) glucanos, calosa  $\beta$  (1-3), que normalmente se encuentran en pequeñas cantidades y se acumulan como respuesta a una lesión o durante la deformación de las placas cribosas en el floema.

La función de las hemicelulosas en la madera parece ser de intermediario entre la celulosa y la lignina, tal vez facilitando la incrustación de las microfibrillas. Probablemente no exista enlace químico alguno entre las hemicelulosas y la celulosa, mas suficiente adhesión mutua que es fortalecida por los puentes de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals.

Las hemicelulosas son importantes en la fabricación de pulpa ya que aumenta su rendimiento y aumentan la resistencia del papel. Algunas, como los arabinogalactanos después de separados pueden constituir un subproducto de la fabricación de celulosa, y ser utilizadas como tensoactivo en la industria de tintas.

Las hemicelulosas presentan cualidades mecánicas más débiles que la celulosa. Además son fácilmente solubles en gran cantidad de disolventes, pues su estructura no les confiere marcadas características hidrofílicas o hidrófobas.

La composición y estructura de las hemicelulosa varía grandemente en dependencia del tipo de madera. Las maderas de fibra larga o conífera, presenta contenido de hemicelulosa entre el 15 – 20 % y son abundantes los glucomananos acetilados y los galactoglucomananos; mientras que en las maderas de fibra corta o latifolia presenta valores entre el 20 – 35 % y las hemicelulosas más abundantes son los arabinoxilanos acetilados, aunque se encuentran glucomananos y galactoglucomananos.

Las hemicelulosas del fuste, difieren en su estructura de las presentes en las ramas, raíces y corteza. Las hemicelulosas se unen a la celulosa en la pared celular formando complejos polisacáridos- polisacáridos y con la lignina complejos lignina – polisacáridos, por lo que la separación de los demás componentes de la pared celular resulta difícil; en ocasiones es necesario deslignificar la madera (eliminar la lignina de la madera), quedando solamente la fracción de polisacáridos conocidos como holocelulosa y a partir de ésta realizar el tratamiento alcalino aislando la mayor parte de las hemicelulosas presentes en la madera.

La diferencia en cuanto a la reactividad de las hemicelulosas en comparación con la celulosa se debe a que las hemicelulosas son sustancias amorfas, con un grado de cristalinidad muy bajo por lo que la accesibilidad por parte de los reactivos químicos es mucho mayor que en las regiones cristalinas de la celulosa.

Por tanto las reacciones de oxidación e hidrólisis afectan mucho más la estructura de las hemicelulosa que la estructura de la celulosa. Esta diferencia de reactividad está más influenciada por factores físicos que químicos.

#### **1.7.1.2.1. Hemicelulosa de madera de fibra corta o madera dura**

Solamente dos hemicelulosas pueden ser aislada en cantidades significativas por extracción en álcali de la madera. Ellas son O-acetil-4- O-metilglucuronoxilano y arabinogalactanos. Para la separación de xilanos de madera de fibra corta se utiliza solución acuosa de hidróxido de potasio, obteniendo un rendimiento de 70- 80 % del total de xilanos presentes en la madera. El producto obtenido es muy similar a la forma nativa excepto que durante el proceso se desacetilan los glucuronoxilanos.

Todas las maderas de fibra corta hasta hoy investigadas han demostrado contener el mismo tipo de xilano, la estructura de las moléculas de xilano consiste en aproximadamente 200 residuos de  $\beta$ -D-xilopiranososa unido por enlaces glicosídicos 1, 4. Algunas unidades de xilosa poseen una cadena lateral que consiste en un residuo de ácido 4-O-metil-D glucurónico enlazados directamente en la posición 2 de la xilosa. De cada 10 unidades de xilosa, siete contienen un grupo acetilo en el carbono 2 y más frecuentemente en el carbono 3. La presencia de grandes cantidades de grupos acetilos aumenta la solubilidad de los xilanos no solamente por el aumento de la polaridad sino también por el hecho de ser estructuras más amorfas.

El grado de polimerización de los xilanos es medido en función de la cadena principal no se tienen en cuenta las ramificaciones oscilando entre 200 y 210, presentando baja polidispersión.

Los xilanos de la madera son amorfos sin embargo cuando los grupos acetilos son removidos por tratamientos alcalinos se convierten en un material cristalino. Los cristales son hexagonales como en el caso de la celulosa. La

gran diferencia entre los cristales de celulosa y de los xilanos es que en esta última la unidad estructural es un trisacárido (xilotriosa) y en el caso de la celulosa la unidad estructural es la celobiosa.

#### **1.7.1.2.2. Hemicelulosa de madera de fibra larga o madera blanda**

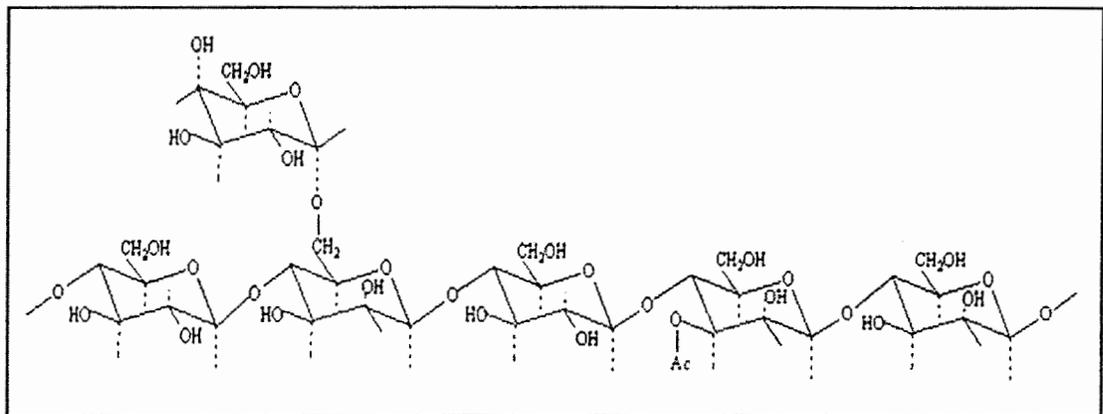
Las maderas de fibra larga no pueden ser extraídas directamente con álcalis para la separación de hemicelulosa, la razón para este hecho se debe al alto contenido de lignina en la pared celular, resultando un alto grado de incrustación, en los polisacáridos. Para la separación de hemicelulosa de fibras largas la madera tiene que ser primero deslignificada lo que se consigue con el tratamiento de la serrín con clorito de sodio, dentro de todos los polisacáridos presentes en la madera el arabino 4-O- metilglucuronoxilano es más difícil de ser aislados, estas son más ácidos que los xilanos presente en las maderas de fibra corta.

Los xilanos presentan entre un 5 y un 10 % en peso de las maderas de fibras largas. No poseen grupos acetilos, poseen grupos L-arabinofuranosil y poseen dos veces más grupos ácidos que las maderas de fibra corta.

Las hemicelulosas predominantes en todas las maderas de fibra larga son galactoglucomananos, estos fueron los últimos polisacáridos de la madera en ser descubiertos. Es un polisacárido soluble en agua, conteniendo residuos de galactosa, glucosa y manosa en proporción 1:1:3. Otros galactoglucomananos con una composición de azúcares un poco diferente está también presente en esta fracción.

El polisacárido menos soluble (soluble en álcali y ácido bórico) se designa como glucomanano. Consiste en unidades de galactosa, glucosa y manosa en proporciones 0.1:1:4. Evidentemente las maderas de fibra larga contienen una gran familia de galactoglucomananos que difieren principalmente en sus contenidos de hexanosos y específicamente en el contenido de galactosa.

**Figura 7. Unidad estructural de un glucomanano**



Fuente: Referencia 16

Los análisis de la celulosa que se realizan para fines técnicos, expresan la composición en celulosas alfa, beta y gama. La distinción se basa en la solubilidad en los álcalis. La distinción entre celulosa "verdadera" y hemicelulosa es principalmente de interés científico. No existe ningún método que permita la separación neta de ambas.

Otra consideración importante es que la hemicelulosa de la madera blanda consiste básicamente en pentosanos y hexanosos; mientras que la hemicelulosa de madera dura consiste principalmente de pentosanos.

La determinación de hemicelulosa de madera blanda puede realizarse aplicando la norma TAPPI 203 cm-99. Esta norma evalúa la proporción de alfa-

celulosa a partir de substratos de holocelulosa. Este método estándar ha sido objeto de diferentes controversias al observarse que parte de la fracción de alfa-celulosa procedente de materiales pretratados tiende a disolverse en la disolución de hidróxido de sodio empleada en la prueba estándar, con lo que la cantidad final resulta inferior a la esperada. Por otro lado, las fracciones de alfa-celulosa aisladas contienen proporciones de poliosas y de ligninas residuales que afectan directamente a la cantidad final obtenida de hemicelulosas por diferencia entre las fracciones de holocelulosa y de alfa-celulosa. Este método puede ser utilizado únicamente a pulpa blanqueada o deslignificada.

La determinación de hemicelulosas de maderas duras puede realizarse a partir de la aplicación de la norma TAPPI 223 cm-01, debido a que la hemicelulosa de las latifoliadas como se hizo ver anteriormente están constituidas principalmente por pentosanos.

#### **1.7.1.2.3. Determinación de pentosanos**

Se seguirá la norma TAPPI 223 cm-01, llamada "Pentosanos en madera y pulpa". (Referencia 10).

##### **Alcance**

Este método para la determinación de contenido de pentosanos puede ser aplicado tanto en madera como en pulpa blanqueada o sin blanquear.

##### **Principio**

La madera contiene cierta cantidad de carbohidratos no celulósicos llamados hemicelulosa. La hemicelulosa de madera blanda consiste tanto de pentosanos como hexosanos; la hemicelulosa de madera dura consiste principalmente de pentosanos. Los pentosanos contenidos en la madera blanda

es aproximadamente de 7 a 10 %, en la madera dura es aproximadamente de 17 a 25 %.

### **Aparatos**

Equipo de destilación, constituido por un matraz de destilación, una ampolla de decantación, un condensador tipo Graham, un matraz volumétrico (graduado a intervalos de 25 ml), y conectores; un calentador eléctrico con control de temperatura para el matraz de destilación; baño de hielo; espectrofotómetro para medir la absorbancia a 630 nm; baño de temperatura constante para mantener la temperatura a  $25 \pm 1$  °C; cronómetro; matraces volumétricos de 50 ml; pipetas de 5 ml y 25 ml.

### **Reactivos**

Ácido clorhídrico,  $3.85 \pm 0.05$ N HCl (13.15 %). Diluir 315 ml de ácido clorhídrico concentrado (gravedad específica 1.18-1.19) con agua hasta 1000 ml. Verificar la normalidad.

Orcinol. Disolver 0.400 g de orcinol  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_2$  y 0.500 g de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en 1000 ml de HCl 11N (preparado al diluir 915 ml de HCl concentrado en 1000 ml). Refrigerar el reactivo y desechar si tiene más de dos semanas de preparado.

Cristales de cloruro de Sodio, Etanol 95%, Xilosa grado reactivo ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ), hielo triturado.

### **Muestra**

Para madera prepare de 3 a 5 gramos de madera libre de extraíbles. Usando la tabla siguiente como guía, pese dos muestras hasta el 0.1mg más

cercano. La tabla siguiente, indica el tamaño aproximado de la muestra una concentración de furfural en un rango aceptable<sup>1</sup>.

**Tabla I. Tamaño de las muestras (aproximado)**

<b>Muestra</b>	<b>Madera dura</b>	<b>Madera blanda</b>
Madera	0.2-0.3g	0.5-0.7g
Pulpa cruda	0.5-1g	1-2g
Pulpa blanqueada	2-3g	3-5g

Fuente: Referencia 10

### **Procedimiento**

1. Colocar la muestra en el matraz de ebullición.
2. Agregar 20 g de NaCl, 100 ml de HCl a 3.85N y unas perlas de ebullición.
3. Conectar el matraz al equipo de destilación y marque el nivel de ácido en el matraz. Adicionar 250 ml de HCl 3.85N a la ampolla de decantación.
4. Aplicar calor y destilar el ácido a una velocidad uniforme de 2.5 ml por minuto. Recuperar el destilado en un matraz de 250 ml inmerso en baño de hielo.
5. Durante la destilación, mantener un volumen constante de 100 ml en el matraz de ebullición agregando HCl gota a gota de la ampolla de decantación o incrementar 25 ml cada 10 minutos.

---

<sup>1</sup> Para una medición precisa, la absorbancia de la solución debe estar aprox. entre 0.1 y 0.8. Si la lectura está fuera de rango, puede repetir la determinación con una mayor o menor muestra, o tener más o menos (de 2 a 10 ml, en lugar de 5 ml) del destilado para el desarrollo de color, o usar cubetas con un paso de luz más corto o más largo. Sin embargo, el mismo volumen de destilado y el mismo tipo de cubetas deben ser utilizados tanto para la preparación de la curva de calibración como para las muestras de análisis.

6. Continuar la destilación por  $90 \pm 5$  minutos. En este tiempo,  $225 \pm 10$  ml de destilado deberán ser colectados.
7. Llevar la temperatura del destilado a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
8. Agregar HCl 3.85N hasta completar 250 ml. Mezclar completamente.
9. Obtener 5 ml del destilado del paso anterior con una pipeta y verter en un matraz volumétrico de 50 ml.
10. Agregar con una pipeta 25 ml del reactivo orcinol, mezclar y colocar el matraz en un baño de agua a  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por  $60 \pm 5$  minutos.
11. Agregar etanol hasta la marca de 50 ml, mezclar y colocar el matraz en un baño de agua a  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por  $60 \pm 5$  minutos.
12. Medir la absorbancia de la solución con un espectrofotómetro a 630 nm.
13. Destilar 6 porciones de xilosa pura anhidra en el rango de 10 a 100 mg de acuerdo al procedimiento anterior. Medir la absorbancia a 630 nm y realizar una curva de calibración.
14. El porcentaje de pentosanos se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\% \text{Pentosanos} = \frac{\text{lectura de espectrofotómetro}}{(10 \times \text{peso anhidro de muestra})} \quad (\text{Ecuación 1})$$

#### **1.7.1.2.4. Determinación de alfa, beta y gamma celulosa**

Se seguirá la norma TAPPI 203 cm-99, llamada "alfa-, beta- y gamma-celulosa en pulpa". (Referencia 9).

### **Alcance**

Este método para la determinación de alfa, beta y gamma celulosa puede ser aplicado a pulpa blanqueada o deslignificada únicamente. Pulpa cruda o semicruda debe ser deslignificada antes de las pruebas.

### **Principio**

La separación de la celulosa en alfa, beta-y gamma- celulosa como fracciones de celulosa es un procedimiento empírico originalmente ideado por Cruz y Bevan alrededor de 1900, y ha sido ampliamente utilizado para evaluar pasta de pulpa para diversos fines, tales como las características de envejecimiento y la respuesta a las operaciones de refinamiento. En una forma modificada, el método se aprobó como una norma provisional TAPPI en 1931. En términos generales la alfa-celulosa es insoluble en hidróxido de sodio al 17.5 %; la beta-celulosa es la porción soluble que se precipita al acidular y la gama-celulosa es la porción soluble que no precipita al acidular.

### **Aparatos**

Aparato de dispersión de pulpa. Consta en un motor de velocidad variable, una aguja de acero inoxidable. La velocidad del motor y el ángulo de las aspas deben ser ajustadas de manera que no entre aire en la suspensión de pulpa durante la agitación. Baño de temperatura constante (para mantener la temperatura a  $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ); cronómetro; embudo de filtración con porosidad gruesa; beakers de 300ml; pipetas de 10, 25,50 y 75ml; bureta de 50ml; matraces de 250-300ml; matraces para filtración de 250ml.

### **Reactivos**

Ácido sulfúrico.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado de 96 a 98%, gravedad específica 1.84.

Solución de hidróxido de sodio, 17.5 %  $5.21 \pm 0.005N$  libre de carbonatos. Preparar una solución concentrada de hidróxido de sodio (50%) y deje reposar hasta que los carbonatos en suspensión se hayan asentado. Luego decante la solución y diluya con agua destilada recién hervida y ajuste la normalidad hasta  $5.21 \pm 0.005N$ .

Solución de dicromato de potasio, 0.5N. Disolver 24.52g de  $K_2Cr_2O_7$  en agua y diluir hasta 1000 ml.

Solución de sulfato de amonio ferroso, 0.1N. Disolver 40.5 g de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  en agua, agregar 10 ml de  $H_2SO_4$  concentrado y diluir hasta 1000 ml. La solución no es estable, y la normalidad exacta debe ser determinada diariamente mediante titulación con una solución estándar de dicromato de potasio 0.1N.

Sulfato ferroso-fenantrolina. Disolver 1.5 g de 1,10 monohidrato de fenantrolina  $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$  y 0.7 g de  $Fe(SO_4) \cdot 7H_2O$  en 100 ml de agua. La solución indicadora también se puede obtener comercialmente bajo el nombre ferroina.

Ácido sulfúrico 3N. Agregar 83.5 ml de ácido sulfúrico concentrado a una cantidad de agua y diluir hasta 1000 ml.

### **Muestra**

Obtenga una muestra representativa de pulpa blanqueada equivalente a 5 g. Si la muestra es pulpa en pliegos, divida en capas y rasgue con las manos en pequeños pedazos de 10 mm. No corte o triture la pulpa mediante dispositivos mecánicos. Si la muestra es pasta de pulpa, remueva el agua por filtración y seque presionándola. Desgarre la pulpa en pequeños pedazos y seque completamente con aire o en un horno a no más de  $60^\circ C$ .

Proceda a obtener dos muestras para análisis de  $1.5 \pm 0.1$  g con una aproximación de 0.1 mg. Al mismo tiempo pesar otra muestra para la

determinación de humedad. Véase TAPPI T 550 "Determinación de la humedad de equilibrio en el papel y cartón para el Análisis Químico".

### **Procedimiento**

1. Colocar la muestra para análisis en un beacker de 300 ml.
2. Agregar 75 ml de NaOH a 17.5 % ajustado previamente a una temperatura de  $25 \pm 0.2$  °C. Anotar la hora en la que el reactivo es agregado.
3. Agitar la pulpa hasta que esté completamente dispersa. Evitar que entre aire a la suspensión de pulpa mientras se agita<sup>2</sup>.
4. Elevar el agitador y remover las fibras de pulpa con una varilla de vidrio.
5. Enjuagar el agitador con 25 ml de NaOH al 17.5 % agregándolo al beacker para que se agreguen exactamente 100 ml del reactivo al beacker que contiene la muestra.
6. Agitar la suspensión con una varilla de vidrio y colocarla en baño maría a  $25 \pm 0.2$  °C.
7. Esperar por un período de 30 minutos.
8. Agregar 100 ml de agua destilada a  $25 \pm 0.2$  °C al beacker que contiene la suspensión y agitar nuevamente con una varilla de vidrio.
9. Colocar nuevamente en baño maría por 30 minutos para que el tiempo de extracción total sea de  $60 \pm 5$  minutos.
10. Agitar la suspensión con una varilla de vidrio y transferir a un embudo de filtración.

---

<sup>2</sup> Algunas pastas pueden ser fácilmente dispersadas por agitación con una varilla de vidrio. Sin embargo, es esencial completar la dispersión ya que se puede obtener un valor muy alto de alfa-celulosa si la dispersión de la pulpa es incompleta.

11. Desechar los primeros 10-20 ml de la solución filtrada y coleccionar cerca de 100 ml en un matraz seco y limpio.

Precaución: No enjuague o lave la pulpa con agua y no deje pasar aire a través de la pulpa en el filtro.

#### **Determinación de alfa-celulosa.**

1. Tomar con una pipeta 25 ml de la solución filtrada y 10 ml de la solución de dicromato de potasio 0.5N en un matraz de 250 ml.
2. Agregar cuidadosamente, agitando el matraz, 50 ml de ácido sulfúrico concentrado<sup>3</sup>.
3. Dejar reposar la solución caliente por 15 minutos.
4. Agregar 50 ml de agua y enfriar a temperatura ambiente.
5. Agregar de 2 a 4 gotas del indicador ferroina.
6. Titular con sulfato de amonio ferroso 0.1N hasta un color púrpura.
7. Preparar el blanco con 12.5 ml de NaOH 17.5 % y 12.5 ml de agua.
8. Agregar de 2 a 4 gotas del indicador ferroina.
9. Titular el blanco con sulfato de amonio ferroso 0.1N hasta un color púrpura.

#### **Determinación de beta y gamma-celulosa.**

1. Tomar con una pipeta 50 ml de la solución filtrada y verter en una probeta de 100 ml.
2. Agregar 50 ml de ácido sulfúrico 3N y homogenizar.
3. Calentar la probeta sumergiéndola en baño maría entre 70 y 90 °C por unos cuantos minutos hasta que precipite la beta-celulosa.

---

<sup>3</sup> Si la solubilidad de la pulpa es alta (contenido de alfa-celulosa bajo) y la titulación del dicromato toma menos de 10 ml, reduzca el volumen de la solución filtrada a 10 ml y la de ácido sulfúrico a 30 ml.

4. Permitir que la beta-celulosa precipite completamente por varias horas, preferiblemente toda la noche.
5. Decantar la solución anterior. Si es necesario, filtrar para obtener una solución cristalina.
6. Tomar con una pipeta 50 ml de la solución cristalina del paso anterior y 10ml de la solución dicromato de potasio 0.5N en un matraz de 300 ml.
7. Agregar cuidadosamente 90 ml de ácido sulfúrico concentrado.
8. Dejar reposar la solución caliente por 15 minutos.
9. Agregar 50 ml de agua y enfriar a temperatura ambiente.
10. Agregar de 2 a 4 gotas del indicador ferroina.
11. Titular con sulfato de amonio ferroso 0.1N hasta un color púrpura.
12. Preparar el blanco con 12.5 ml de NaOH 17.5 %, 12.5 ml de agua y 25 ml de ácido sulfúrico 3N.
13. Agregar de 2 a 4 gotas del indicador ferroina.
14. Titular el blanco con sulfato de amonio ferroso 0.1N hasta un color púrpura.
15. El porcentaje de alfa-celulosa contenida en la pulpa se calculó por medio de la siguiente expresión<sup>4</sup>:

$$\% \text{alfa - celulosa} = \frac{6.85(V_2 - V_1) \times 20 \times N}{A \times W} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$V_1$  = titulación de la solución filtrada, ml

$V_2$  = titulación del blanco, ml

$N$  = normalidad exacta de la solución de sulfato de amonio ferroso

---

<sup>4</sup> Teóricamente, 1 miliequivalente de  $K_2Cr_2O_7$  corresponde a 6.75 mg de celulosa y otros hexosanos, y 6.60 mg de pentosanos. Bajo las condiciones de este análisis, menos oxidante es consumido, y se ha encontrado que 1 miliequivalente corresponde a 6.85 mg de celulosa y otros carbohidratos disueltos.

A= volumen de la solución de pulpa usado en la oxidación, ml

W= peso de la muestra de pulpa, g

16. El porcentaje de gamma-celulosa contenida en la pulpa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\% \text{gamma - celulosa} = \frac{6.85(V_4 - V_3) \times 20 \times N}{25 \times W} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

V<sub>3</sub>= titulación de la solución después de la precipitación de la beta-celulosa, ml

V<sub>4</sub>= titulación del blanco, ml

17. El porcentaje de beta-celulosa contenida en la pulpa se calculó por medio de la siguiente expresión<sup>5</sup>:

$$\% \text{beta - celulosa} = 100 - (\% \text{alfa - celulosa} + \% \text{gamma - celulosa}) \quad (\text{Ecuación 4})$$

### 1.7.1.3. Lignina

La palabra lignina proviene del término latino *lignum*, que significa madera; así, a las plantas que contienen gran cantidad de lignina se las denomina leñosas.

---

<sup>5</sup> En la primera de oxidación, el total de la fracción disuelta (beta- celulosa más gamma-celulosa) se determina, y la alfa-celulosa se calcula como una fracción no disuelta por diferencia entre el total de la muestra de pulpa (100 %) y la fracción disuelta en porcentaje. En la segunda oxidación, se determina sólo la gamma-celulosa y la beta-celulosa se obtendrá por diferencia entre la primera y la segunda oxidación.

La lignina es una macromolécula componente de la madera, de naturaleza polimérica 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 (C<sub>9</sub>) 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 definitivamente. Las ligninas de la madera se clasifican en lignina de maderas blandas o coníferas, lignina de maderas duras o latifolias.

La madera de coníferas presenta ligninas del tipo G-H en un rango de 85 y 90 % de unidades aromáticas de guayacil mientras que la madera de las latifolias presenta ligninas del tipo G-S en razón de 1:5 aproximadamente.

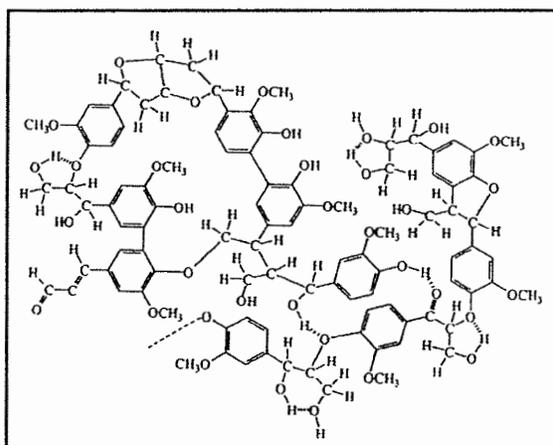
Poseen propiedades aglutinantes que conforman la consistencia fibrosa de las maderas (revistiendo las células del xilema), donde realizan la función mecánica de sostén. Su composición depende de muchos factores, entre ellos, el método utilizado para aislarlas, la especie que se estudie, la edad, parte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

Esta sustancia amorfa es localizada como componente de la lámina media y también en la pared secundaria. Durante el desarrollo de la célula, la lignina es incorporada como último componente de la pared celular interpenetrando las fibrillas y fortaleciendo la pared celular.

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.

**Figura 8. Estructura de la lignina**



Fuente: Referencia 17

## 1.7.2. Sustancias orgánicas no estructurales

### 1.7.2.1. Sustancias extraíbles

Por sustancias extraíbles de la madera se entienden aquellas sustancias que se extraen de diferentes partes de los árboles de coníferas y latifolias mediante agua, disolventes orgánicos, vapor de agua y mediante un exprimido mecánico. Estas sustancias pueden tener una gran influencia en las propiedades y calidad 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. Entre los compuestos orgánicos se pueden encontrar hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, ácidos alifáticos, ceras, glicéridos, y compuestos nitrogenados.

Existe una variación en la concentración de los extraíbles a lo largo del tronco del árbol y entre este y las ramas. Cuando se estudia la estructura de la madera se observa que las grasas se localizan en las células parenquimatosas, especialmente en los rayos parenquimatosos, mientras que la resina es secretada por las células epiteliales y se depositan en los canales resiníferos. Otras sustancias se depositan en los poros de la madera.

Esta distribución está regida por una serie de factores entre los que se pueden destacar los de significado genético y ecológico. Su composición y cantidad relativa dependen de diversos factores como especie, edad y región. Aproximadamente de 3-10 % de la madera seca está constituida por sustancias extraíbles. Para coníferas esta cifra oscila entre 5-8 % y para latifolias, entre 2 y 4 %.

Estos constituyentes son responsables de algunas características de las plantas como resistencia natural a la pudrición, sabor y propiedades abrasivas. Los extractivos del duramen se consideran los responsables de impartir a ciertas especies de maderas olores y sabores muy característicos.

### 1.7.2.2. Taninos

Los taninos son compuestos polifenólicos de estructura química diversa que tienen la propiedad de ser astringentes. Los taninos tienen un ligero olor característico, sabor amargo y astringente, y su color va desde el amarillo hasta el castaño oscuro. 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.

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. Combinados con alcaloides y proteínas y desempeñan una función defensiva frente a insectos.

Desde el punto de vista biológico los taninos son sustancias complejas producidas por las especies vegetales que cumplen funciones antisépticas o de conservación. La clasificación de los taninos se hace con base en los siguientes dos criterios:

- Productos resultantes de la destilación seca: taninos hidrolizables y taninos condensados.
- Origen: taninos fisiológicos y taninos patológicos.

Taninos hidrolizables, a su vez se dividen en:

- Galotaninos: caracterizados por la presencia de ácido galotánico, es común en las agallas del encino y en la raíz del zumaque;

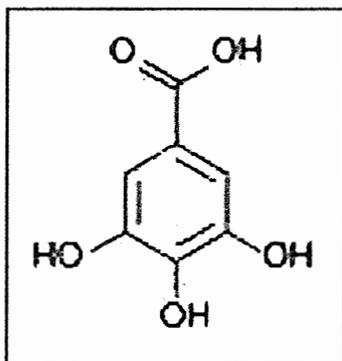
- Elagitaninos: su componente principal es el ácido elágico, se obtienen de plantas como el dividivi y el mirobálano.

Taninos condensados, se presentan generalmente en la madera, la corteza y las raíces de plantas como el quebracho, caña agria, eucalipto, oyamel y el mangle, entre otras; están constituidos por unidades flavonoides, las cuales soportan diversos grados de condensación, carbohidratos y restos de aminoácidos.

Los taninos son sustancias amorfas solubles en agua, que forman soluciones coloidales, en alcohol y en acetona. Son insolubles en solventes apolares. Precipitan con numerosos reactivos (sales de hierro, plomo, cobre), alcaloides y proteínas. 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.

Los taninos se usan en el curtido de pieles y la fabricación de barnices y pinturas. Abundan en las cortezas de los robles (donde están especialmente concentrados en las agallas) y los castaños, entre otros árboles.

**Figura 9. Estructura de tanino**



Fuente: Referencia 18

### **1.7.3. Sustancias Inorgánicas**

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 latifolias y las de coníferas; diferencias existen entre la madera joven y la tardía. Las condiciones del suelo y la edad influyen en los contenidos de sustancias minerales.

#### **1.7.3.1. Cenizas**

La ceniza de la madera es el residuo sólido de la combustión. Si la combustión ha sido completa, la ceniza es exclusivamente inorgánica. Las cenizas de madera presentan contenidos importantes de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles. Algunos de estos elementos se encuentran como óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino. De este modo, el potencial neutralizante expresado en términos de equivalentes de  $\text{CaCO}_3$ , varía entre el 25 y el 100 %, por lo que es posible su uso para corregir la acidez de suelos ácidos.

Estas cenizas presentan, en general, concentraciones muy bajas de metales pesados, si bien las extraídas con electrofiltros pueden presentar concentraciones más elevadas de metales tóxicos.

Las cenizas se emplean en suelos forestales de carácter ácido puesto que cantidades moderadas de estas cenizas devuelven al sistema buena parte de los nutrientes extraídos durante el aprovechamiento forestal. En algunos casos, esta práctica se ha empleado para aliviar las deficiencias de P, Ca y Mg que

presentan frecuentemente las plantaciones forestales desarrollados sobre suelos ácidos.

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

<b>Componentes</b>	<b>Coníferas</b>	<b>Latifoliadas</b>
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: Referencia 11

## **1.8. Fundamentos teóricos de metodología**

### **1.8.1. Gravimetría**

El análisis gravimétrico está basado en la ley de las proporciones definidas, que establece que, en cualquier compuesto puro, las proporciones en peso de los elementos constituyentes siempre son las mismas, y en la ley de la consistencia de la composición, que establece que las masas de los elementos que toman parte en un cambio químico muestran una relación definida e invariable entre sí.

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.

Existen dos tipos de análisis gravimétricos:

- Por volatilización: convertir un líquido o sólido en vapor.
- Por precipitación: envuelve la precipitación de una sustancia poco soluble de una solución.

El análisis gravimétrico es ampliamente utilizado en la caracterización química de la madera. Mediante este análisis se determina las siguientes sustancias contenidas en la madera: celulosa, cenizas, extraíbles, humedad y lignina.

### **1.8.2. Volumetría**

Métodos de análisis que consisten en la medida precisa del volumen de un reactivo en disolución de concentración perfectamente conocida preciso para reaccionar estequiométricamente con el analito contenido en la muestra. Estos métodos permiten conocer con bastante precisión y rapidez la concentración de las soluciones con las que se trabaja.

Los métodos están basados en la medición de volúmenes en el laboratorio y consisten en hacer reaccionar cuantitativamente una solución de la sustancia cuya concentración se busca, con un reactivo en solución cuya concentración y forma de reaccionar se conocen. Una vez que toda la sustancia contenida en la

muestra ha reaccionado, se mide el volumen gastado y se calcula la composición de la muestra utilizando el método de equivalentes de reacción.

Los métodos volumétricos o de titulación son métodos de análisis cuantitativos. Se puede detectar que la operación de titulación ha terminado bien sea por observación directa (utilizando indicadores, por ejemplo) o mediante instrumentos (pH metro), en algunas ocasiones, los cambios de color de las sustancias reaccionantes pueden ser utilizados para tal fin, aún cuando lo acostumbrado es añadir indicadores que dan cambios más nítidos.

Estas técnicas son particularmente adecuadas para determinar concentraciones de sustancias que tienen actividad de transferencia de protones (ácido- base) y de transferencia de electrones (redox).

La titulación es el proceso por el cual se determina la cantidad de un analito en una solución basándose en una cantidad de un reactivo estándar que este consume. El objetivo de toda titulación es añadir la solución estándar en una cantidad o volumen que es químicamente equivalente a la sustancia con la cual ésta reacciona (analito). Esta condición se cumple en el punto de equivalencia. El punto de equivalencia en una titulación es un concepto teórico. En realidad, su posición solo puede ser estimada mediante la observación de cambios físicos asociados al punto de equivalencia. Estos cambios aparecen en el punto final de la titulación. Se espera que la diferencia entre el punto de equivalencia y el punto final de una titulación sea pequeña.

Sin embargo, esto no es el caso muchas veces debido a lo inadecuado de los cambios físicos y nuestra habilidad de observar los mismos. Esta diferencia introduce un error en la titulación.

El uso de indicadores es método común para detectar el punto final en un análisis volumétrico. Este hace uso de un compuesto químico suplementario que produce un cambio en color como resultado de cambios en la concentración cerca del punto de equivalencia.

Es conveniente clasificar los métodos volumétricos de acuerdo a cuatro tipos de reacciones. Estas son: precipitación, formación de complejos, neutralización (ácido-base) y la de oxidación-reducción. Cada uno de estos tipos de reacciones es único en cosas tales como el equilibrio químico, los indicadores, los reactivos, los estándares primarios y la definición del peso equivalente.

### **1.8.3. Secado**

El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor.

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

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
- físico- mecánico.

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiométricas) 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.

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.

De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a

través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad.

#### **1.8.4. Calcinación**

Proceso altamente endotérmico 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,
- eliminar el dióxido de carbono, el dióxido de azufre u otro compuesto orgánico volátil;
- para oxidar (calcinación oxidante) una parte o toda la sustancia;
- para reducir (calcinación reductora) metales a partir de sus menas (fundición).

Es importante que el material que contenga el cuerpo analizado deba 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.

### **1.8.5. Lixiviación**

La lixiviación o extracción sólido líquido, es una operación para separar los constituyentes solubles de un sólido inerte con un solvente. El proceso completo de extracción suele comprender la recuperación por separado del solvente y del soluto.

#### **1.8.5.1. Método Soxhlet**

La forma más simple de extracción sólido- líquido es el tratamiento de un sólido con solvente.

El aparato de Soxhlet, fue descrito por primera vez en 1879, es una versátil herramienta que puede ser usada para separar un simple gramo o cientos de gramos con una recuperación cercana al 100 %. El procedimiento básico consiste en llenar un dedal poroso de celulosa con una muestra sólida del material, al cual el solvente condensado extraerá continuamente componentes afines o solubles a este.

### **1.8.5.1.1. Partes del aparato Soxhlet**

#### **1.8.5.1.1.1. Condensador**

Esta sección del aparato Soxhlet es la que permite el flujo de solvente en estado gaseoso a temperatura de ebullición se condense por intercambio de calor con el agua que circula en la sección axial; de esta manera entra en contacto el solvente condensado a reflujo, con el sólido colocado en el dedal poroso de celulosa ubicado en la sección de extracción, para que se lleve a cabo la lixiviación en estado no estacionario.

La forma del condensador en la sección interna donde circula el solvente gaseoso y se condensa está diseñada con secciones de diámetro variado alterno. La variación del diámetro fluctúa la velocidad del gas y permite que el contacto con la superficie de vidrio de la zona de enfriamiento condense el solvente y éste descienda como película, originando el reflujo que cae en forma de gotas a flujo uniforme sobre el dedal poroso de celulosa que contiene el sólido a lixiviar.

El objetivo de este reflujo sobre el sólido es debido a que la transferencia de masa se promueve por un diferencial de concentración según la ley de Fick, en este caso del solvente al de los solutos solubles contenidos en el sólido.

Otro factor importante en esta parte del aparato Soxhlet es la temperatura. Aunque en esta etapa se elimina el calor de vaporización añadido en el matraz, la temperatura que se alcanza es la de ebullición del solvente a la presión atmosférica. Esta temperatura que corresponde a la más alta que puede alcanzar un fluido en su fase líquida, es tal que al realizar la lixiviación, permite

una creciente solubilidad de los solutos en el disolvente seleccionado, debido a mayores difusividades por el aumento del movimiento molecular.

#### **1.8.5.1.1.2. Extractor**

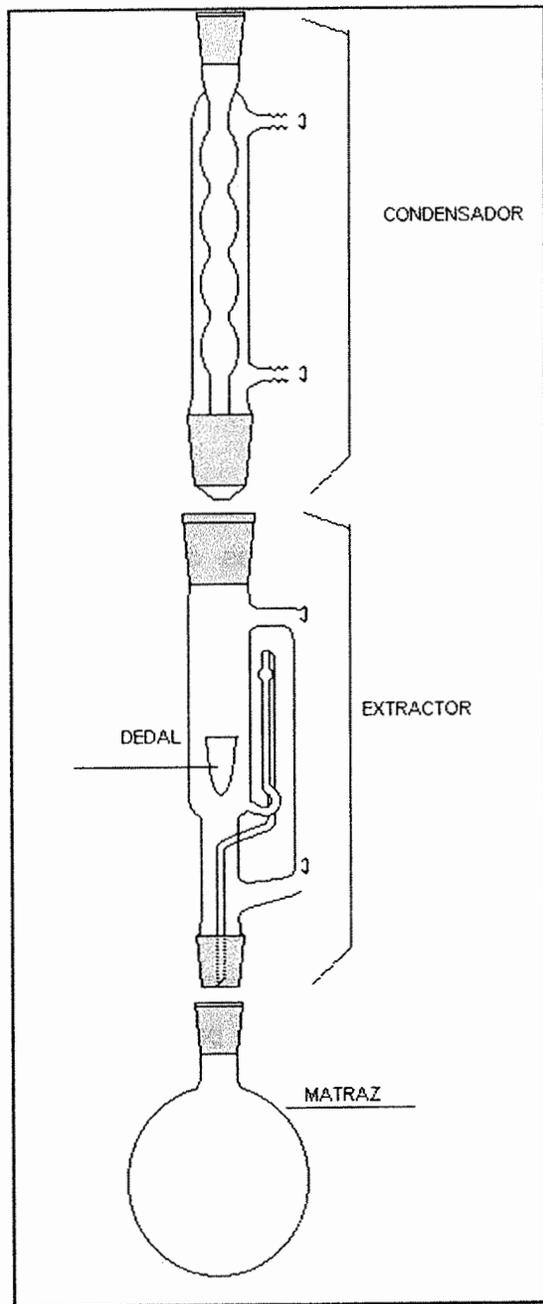
En esta parte del aparato Soxhlet, las partículas sólidas por lixiviar descansan sobre un fondo falso (el dedal de pared poroso de celulosa) en el que se realiza la operación de lixiviación por semilotes (estado no estacionario) y en la que se maneja la técnica de goteo del líquido sobre el sólido.

El dedal de papel poroso está hecho de celulosa porque la orientación de los enlaces, los anillos de glucosa en la molécula de celulosa están ordenados linealmente. La ausencia de cadenas laterales permite que las moléculas lineales se alineen unas junto a otras formando series de fibras rígidas y alargadas, ideales para construir paredes mecánicamente fuertes y con excelente retentiva.

Existen diversos tamaños de dedales de papel poroso de celulosa para la extracción Soxhlet. El tamaño a seleccionarse debe ser de acuerdo a la capacidad correcta del extractor. El dedal debe estar de 5 a 10 mm del nivel de la parte más alta del tubo de sifón y entrar con cierta facilidad al extractor.

El dedal funciona como un filtro permitiendo el paso únicamente de la disolución y no de las partículas diminutas de sólido que no hayan podido ser disueltas y que al sifonar el solvente concentrado, sean arrastradas e impidan el paso de la solución de lixiviación al matraz. El tamaño y la uniformidad de los sólidos acelerarán bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente.

Figura 10. Soxhlet



Fuente: Referencia 19

## 1.9. Ciprés

*Cupressus lusitanica* Mill. es una especie de la familia Curessaceae, alcanzan alturas superiores a los 30 metros y diámetros superiores a 100 centímetros. Es una especie monoica. Debido a que presenta una alta hibridación y variación genética, se ha creado una discusión importante sobre su clasificación botánica; sin embargo, se ha aceptado con fines prácticos que se identifica como *C.lusitanica* Mill., al *C. lindeyi*, *C. benthamii* y *C.lusitanica* y las variedades reportadas de estas especies.

El ciprés es de fácil adaptación a un ámbito amplio de factores ambientales; sin embargo, debido a sus características de crecimiento, es recomendable que sea cultivado en áreas que presenten una altitud sobre el nivel del mar de 1500 a 2500 metros, con precipitaciones anuales entre 1000 y 3000 mm, una temperatura promedio anual superior a los 12 °C, en suelos neutros y con un drenaje adecuado.

Es una especie que posee relativamente pocos factores limitantes; entre los principales, se encuentran: los suelos poco profundos y mal drenados; tampoco resiste la competencia de gramíneas; existen organismos patógenos que provocan algunos daños, sin llegar a constituirse en problemas serios; en las zonas sujetas a heladas y vientos fuertes y constantes son peligrosas para el cultivo de esta especie, lo mismo que los sitios con alta nubosidad.

Se han efectuado algunas pruebas de procedencias y progenie del ciprés, con la limitante de que el reducido número de fuentes de semilla no ha permitido un análisis amplio que pueda sugerir ciertos rodales como apropiados para la obtención de la semilla. A pesar de ello, si hay algunos criterios para la obtención de semilla, a partir de la selección de individuos deseables.

### 1.9.1. Clasificación Taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Pinophyta
Clase:	Pinopsida
Orden:	Pinales
Familia:	Cupressaceae
Género:	Cupressus
Especie:	C. lusitanica

En la clasificación botánica de los cipreses, los botánicos están en desacuerdo en cuanto a la uniformidad y exactitud de los nombres de las especies del género *Cupressus*, y aún se discute acerca de las relaciones biológicas de muchas poblaciones esparcidas que constituyen el género. Esto se dificulta aún más por la hibridación que se da entre las diferentes especies, tanto en plantaciones como en bosques naturales.

La especie presenta variaciones en su configuración, posición, y grosor de las ramas y el tamaño de los conos. Esto ha provocado que la especie sea identificada con distintos nombres; sin embargo, al no existir suficiente fundamento para separar los distintos ecotipos encontrados, se ha aceptado el uso generalizado de *Cupressus lusitanica* Mill. como el nombre botánico aplicado al material genético existente.

En Guatemala esta especie además de ser conocida comúnmente como ciprés, se llama tsicap en Jacaltenango, tzis en Huehuetenango, quisís en Quiché y chinchac, paxaque y ksis en Quetzaltenango. Además, en este país se han detectado dos tipos, en función de la forma de la copa, el conocido ciprés llorón que tiene las ramas claramente penduladas y largas, dando la apariencia de un sauce y el ciprés romano que tiene la copa estrecha y columnar.

### **1.9.2. Descripción botánica**

*Cupressus lusitanica Mill.*, es una especie conífera, perteneciente a la familia Cupressaceae. El árbol es monoico, siempre verde, resinoso y aromático, que puede crecer más de 30 m de altura y hasta 100 cm de diámetro, a la altura del pecho.

El fuste tiende a ser recto, ligeramente acanalado en la base, con fuerte dominancia apical que se pierde con la madurez del árbol, la corteza es desprendible en bandas largas y estrechas, color café rojizo, ligeramente fibrosa y resinosa, con algunas escamas, siendo blancuzca en la parte interna. La corteza es comúnmente delgada, de 5 mm de grosor.

Las ramas principales surgen del tallo en forma normal, y forman una capa densa y regular. Las hojas son numerosas, de color verde, ovadas aguadas, de uno a dos milímetros de longitud, en forma de escama, colocadas en cuatro filas sobre las ramillas foliadas y con una glándula en el dorso. Las hojas secas resisten en el árbol por mucho tiempo.

Los conos o estróbilos femeninos son dehiscentes, casi esféricos, de 12 a 15 mm de diámetro, constituidos por seis a ocho escamas leñosas, normalmente solitarios conteniendo de 75 a 120 semillas. El cono madura al

segundo año, y se torna duro y leñoso y adquiere un color café y puede transcurrir hasta dos años para que se abran.

Los conos o estróbilos masculinos son pequeños, cilíndricos, de 5 mm de largo y menos de 3 mm de ancho, numerosos, color verde amarillento, ubicados en los extremos de las ramillas foliadas, con cuatro hileras de brácteas que protegen los sacos polínicos.

La fructificación se inicia a edad muy temprana (2 a 5 años) pero solamente después de 10 a 12 años, los árboles producen semillas de buena calidad. Las semillas son de color café claro, de tres a cuatro milímetros de longitud y un milímetro de ancho, aplanadas irregularmente con alas poco efectivas, poseen 20 % de germinación.

La madera de la albura es parda, anaranjada fuerte y el duramen anaranjado amarillento claro. En condición seca la albura es gris amarillenta clara, con una transición entre albura y duramen. Los anillos de crecimiento son visibles, marcados por bandas claras, regulares, concéntricas, de color oscuro. La madera verde tiene un olor aromático muy característico, sabor ausente, grano recto. La albura es fácilmente atacada por hongos. La edad influye en la calidad de la madera.

### **1.9.3. Distribución**

La especie es originaria desde las montañas del sur de México, Guatemala, Honduras y El Salvador, entre las latitudes de 15° y 27°N, de los 2200 a 3300 metros sobre el nivel del mar.

En esta región se le puede encontrar a altitudes menores, aunque parece ser una distribución causada por el hombre. En Guatemala se encuentra en la Sierra de la Minas; en La Soledad, Jalapa; Chimaltenango; Quiché; Totonicapán; Quetzaltenango; San Marcos; Guatemala; Sacatepéquez y otros departamentos de menor elevación.

#### **1.9.4. Requerimientos ambientales**

La especie normalmente requiere sitios templados o fríos, de preferencia abrigados y algo húmedos. En condiciones naturales se encuentra entre 2200 y 3300 metros sobre el nivel del mar, con precipitaciones de 1500 a 2500 mm anuales.

El ciprés puede adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales, desde regiones de baja altitud (menores de 1000 metros sobre el nivel del mar) hasta 3800 metros sobre el nivel del mar y de zonas relativamente secas, con menos de 1000 mm anuales de precipitación, hasta húmedas con 4000 mm anuales, temperaturas superiores a 12 °C y a suelos francos arenosos, franco arcillosos, bien drenados, neutros o ácidos, con buen contenido de materia orgánica, profundos y húmedos.

#### **1.9.5. Factores limitantes**

Las áreas con suelos poco profundos y susceptibles a vientos fuertes se consideran como las limitantes más importantes para el cultivo del ciprés. Los lugares con escasa precipitación y áreas sujetas a heladas también son zonas marginales. No soporta sitios con mal drenaje, ni lugares con nubosidad excesiva.

Para el ciprés son más importantes los factores edáficos y topográficos que los aspectos climáticos. En suelos poco fértiles se pueden observar reducciones en el crecimiento y malformaciones. Cuando existen deficiencias de boro en el suelo, el crecimiento del ciprés se reprime, las yemas forman rosetas, las escamas se tornan moradas y se necrosan. Así mismo, la deficiencia de nitrógeno o el exceso de manganeso en el suelo provocan clorosis.

**Figura 11. Ciprés**



Fuente: Referencia 20



## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Localización

La recolección de muestras se llevará a cabo en el kilómetro 102 carretera Interamericana aldea Chichoy municipio de Tecpán, Chimaltenango a orillas de la laguna Chichoy. El sitio está ubicado a 2200 metros sobre el nivel del mar, su latitud norte es  $14^{\circ}47'52.28''$ , y su longitud oeste es de  $91^{\circ}3'16.64''$ .

### 2.2. Recursos

#### Humanos:

Investigadora: Br. Deify Mancilla Barahona  
Asesora: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales

#### Físicos:

#### Reactivos

- Agua desmineralizada.
- Alcohol etílico ( $C_2H_5OH$ ) al 95 % grado reactivo. Densidad: 0.75 kg/L. Peso molecular 46.07 g/mol.
- 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. Peso molecular 98.08 g/mol.
- Ácido acético glacial ( $CH_3COOH$ ).

- Sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) grado analítico. Peso molecular 126 g/mol.
- Hidróxido de sodio (NaOH) grado analítico. Peso molecular 40 g/mol.
- Sílice
- Permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) grado analítico.
- Índigo de Carmín grado analítico. ( $\text{C}_{16}\text{H}_8\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{S}_2$ ). Peso molecular 466.36 g/mol.

### **Equipo**

- Horno eléctrico de flujo convectivo por gravedad marca Termolyne.
- Balanza Adventurer OHAUS con capacidad máxima de 150 g y exactitud de 3 decimales.
- 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 de 110 V y 900 W, marca Serproma, de motor con capacidad de  $\frac{3}{4}$  Hp.

### **Materiales**

#### **Cristalería**

- Equipos Soxhlet, balón esmerilado 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.

- Matracas 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, 20/40.
- 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.
- Desecadora marca Fisherbrand.
- Crisoles de Porcelana.
- Cajas Petri.
- Kitasato.
- 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.
- Pinza larga.
- Pinza corta.
- Caja de Papel Filtro Whatman No. 4.
- Perillas de succión.
- Embudo.
- Termómetro de 0 a 100 °C.
- Manta.
- Mangueras de hule.
- Papel Parafilm.

### **2.3. Obtención y preparación de las muestras**

La recolección de las muestras se llevó a cabo en la aldea Chichoy, municipio de Tecpán, Chimaltenango.

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 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 contenido porcentual en peso 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**

Se utilizó una 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 0.0001 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. La humedad se determina por:
3. Abrir la balanza y pesar 2 g de la muestra.
4. Cerrar la balanza.
5. Esperar los 15 minutos programados.
6. Tomar nota del porcentaje de humedad.

**2.4.2. Determinación de cenizas**

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

**Alcance**

El método abarca la determinación de cenizas en madera, residuo presente como porcentaje en peso 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. Revisar la muestra después de transcurrida una hora y media, 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. Obtener el porcentaje de cenizas por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = (\text{P.B.} - \text{P.T.}) * 100\% \quad (\text{Ecuación 5})^6$$

Donde:

P.B. = Peso bruto

P.T. = Peso tara

### **2.4.3. Determinación de extraíbles**

Se seguirá la designación ANSI/ASTM D1105-56, llamada "Preparación de madera libre de extraíbles".

#### **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 sí, 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.

---

<sup>6</sup> La ecuación es válida si la muestra de madera utilizada es de 1 gramo.

### **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. Extraer con hexano durante 12 horas.
3. Realizar una extracción con etanol durante 12 horas. Apagar el equipo y esperar que se enfríe el sistema.
4. Secar el contenido del dedal (libre de extraíbles) por 48 horas a temperatura ambiente. Transferir el material a una caja de Petri previamente tarada y se pesará.
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 determina por:

$$\% \text{Extraíbles} = \frac{(7.5 - \text{P.M.})}{7.5} \times 100\% \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

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

#### **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.

##### **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.

### **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 determina por la siguiente ecuación, que es válida solo para la utilización de 1 g de muestra:

$$\% \text{ Lignina} = (\text{Peso Bruto} - \text{Peso Tara}) * 100 \% \quad (\text{Ecuación 7})$$

#### **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 obtendrá la celulosa presente en la madera.

##### **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**

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.

##### **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  $20^{\circ} \text{C} \pm 3^{\circ} \text{C}$ .
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. 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  $80^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$  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 determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{Celulosa} = \frac{[\text{P.B.} - (\text{P.T.} + \text{P.L.})] * \text{P.M.L.}}{\text{P.M.T.}} * 100 \quad (\text{Ecuación 8})$$

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

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 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**

Beakers, 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. En caso de ser necesario, agregar más solución hasta homogenizar.
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 1 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 entibiar la muestra.
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 determina por:

$$\% \text{Tanino} = \frac{0.1N(mlo - mlb) \left( \frac{Pfg}{1eq} \right) \left( \frac{1eq}{1000meq} \right)}{4g} \times 100 \quad (\text{Ecuación 9})$$

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:

$$1\text{meqKMnO}_4 = 1\text{meq tanino}$$

$$0.1\text{N}(\text{mlo} - \text{mlb}) = \frac{4.2\text{g tanino}}{1000} \times \frac{\#e'}{\text{Pfg}} \times \frac{1000\text{meq}}{1\text{eq}} \times \frac{12.5\text{mL}}{100\text{mL}} \quad (\text{Ecuación } 10)^7$$

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

## 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 Ciprés. El arreglo es en un solo sentido. Para la variable de altura de toma de muestra se utilizó madera del árbol Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) 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.

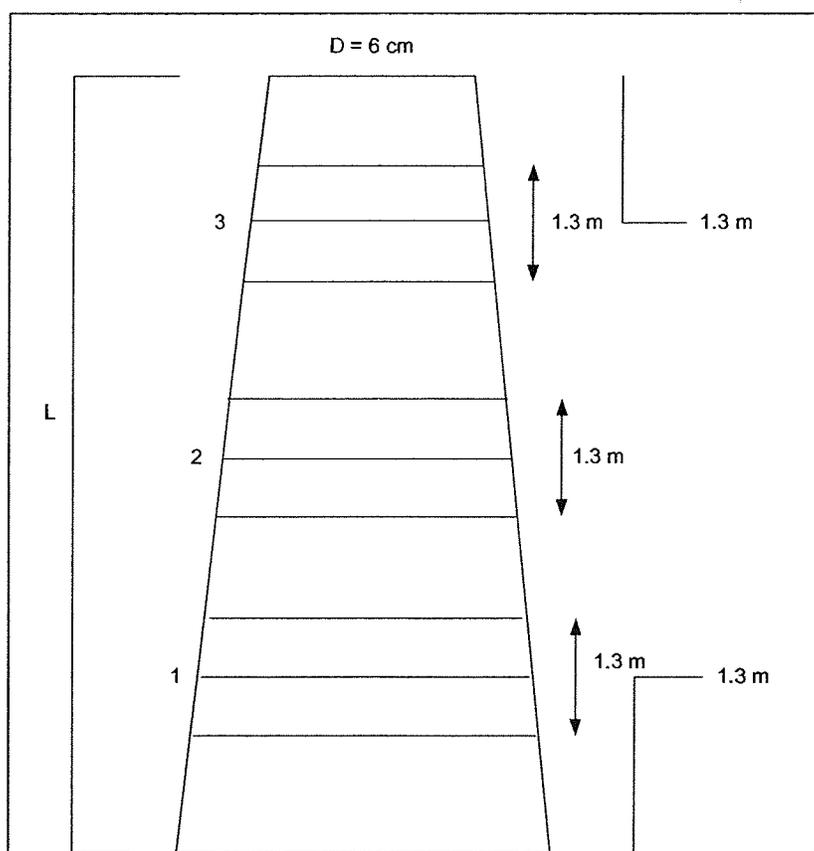
El número de tratamientos realizados se determinan de la siguiente manera: 3 alturas para la muestra = 3 niveles o tratamientos.

---

<sup>7</sup> 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 \* 0.1N Permanganato de potasio.

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 (9x3) para la especie a estudiar. Se utilizó el método unifactorial en un solo sentido por ser concreto y sencillo.

**Figura 12. Origen de las muestras a tres diferentes alturas del tronco**



Fuente: Referencia 11

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 III. 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	$Y_{a,1}$	$Y_{a,2}$	$Y_{a,3}$	$Y_a$	$y_a$
				$Y$	$Y$

Fuente: Referencia 7

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

$Y_1$  = 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.

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

Donde:

$y_{ij}$  = observación

$\mu$  = media general

$\tau_i$  = efecto del tratamiento  $i$ ésimo

$\varepsilon_{ij}$  = 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 IV. Análisis de Varianza para el Diseño Unifactorial**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F <sub>o</sub>
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: Referencia 7

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

$$F = \frac{MS_{tratamientos}}{MS_E} \text{ (Ecuación 11)}$$

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  $F_0$  menores a F comprueba la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa.



### 3. RESULTADOS

**Tabla V. Resultados generales en %w/w de la composición química de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en función de la altura basal**

Árbol	extraíbles	Taninos	humedad	Cenizas	lignina	celulosa
1	4.80	0.924	3.89	0.50	28.00	59.02
2	6.93	0.998	2.74	0.60	28.00	64.22
3	4.67	1.008	3.10	0.60	28.00	72.45
4	3.73	0.609	2.89	0.40	28.00	65.46
5	6.93	0.630	2.80	0.40	31.00	63.29
6	8.27	0.987	2.90	0.30	31.00	59.63
7	8.13	1.134	2.65	0.50	31.00	69.82
8	8.13	0.693	2.69	0.90	31.00	68.90
9	8.27	0.788	3.15	0.30	26.00	77.97
<b>Promedio</b>	<b>6.65</b>	<b>0.86</b>	<b>2.98</b>	<b>0.50</b>	<b>29.11</b>	<b>66.75</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.79</b>	<b>0.19</b>	<b>0.38</b>	<b>0.19</b>	<b>1.90</b>	<b>6.15</b>

Fuente: Datos calculados

**Tabla VI. Resultados generales en %w/w de la composición química de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en función de la altura media**

Árbol	Extraíbles	Taninos	humedad	cenizas	lignina	celulosa
1	5.07	0.956	3.48	0.50	25.00	62.66
2	5.33	1.008	2.85	0.60	24.00	74.79
3	5.60	1.040	4.25	0.60	29.00	68.91
4	6.00	0.609	3.45	0.30	27.00	63.92
5	7.47	0.662	4.04	0.40	32.00	60.15
6	7.73	0.977	3.20	0.30	30.00	65.51
7	8.27	1.103	4.09	0.30	29.00	61.46
8	7.60	0.683	3.64	0.80	31.00	73.00
9	7.87	1.029	3.64	0.30	30.00	73.71
<b>Promedio</b>	<b>6.77</b>	<b>0.90</b>	<b>3.63</b>	<b>0.46</b>	<b>28.56</b>	<b>67.12</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.25</b>	<b>0.19</b>	<b>0.45</b>	<b>0.18</b>	<b>2.70</b>	<b>5.63</b>

Fuente: Datos calculados

**Tabla VII. Resultados generales en %w/w de la composición química de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en función de la altura apical**

Árbol	Extraíbles	taninos	Humedad	cenizas	lignina	celulosa
1	5.07	0.987	3.80	0.50	28.00	60.76
2	5.07	1.019	4.20	0.60	31.00	68.35
3	4.80	1.008	4.64	0.60	32.00	61.88
4	5.33	0.620	2.65	0.50	27.00	66.27
5	7.87	0.651	2.63	0.30	31.00	59.89
6	7.87	0.872	2.21	0.60	29.00	59.89
7	8.53	1.050	2.59	0.60	29.00	64.03
8	8.27	0.683	2.15	0.90	30.00	72.47
9	8.93	0.977	5.94	0.80	29.00	71.03
<b>promedio</b>	<b>6.86</b>	<b>0.87</b>	<b>3.42</b>	<b>0.60</b>	<b>29.56</b>	<b>64.95</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.74</b>	<b>0.17</b>	<b>1.30</b>	<b>0.17</b>	<b>1.59</b>	<b>4.82</b>

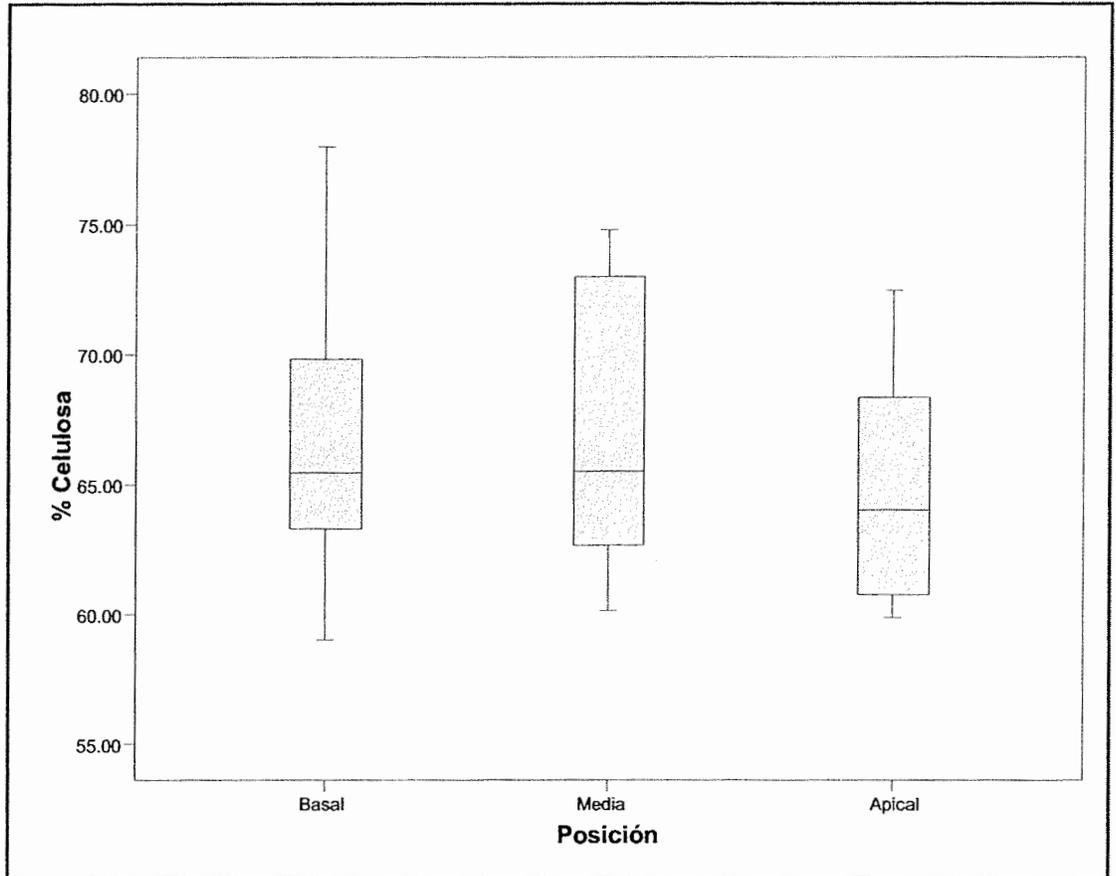
Fuente: Datos calculados

**Tabla VIII. Resultados globales de composición química de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)**

Parámetro	% extraíbles	% taninos	% humedad	% cenizas	% lignina	% celulosa
<b>Promedio</b>	6.76	0.88	3.34	0.52	29.07	66.27
<b>Desviación Estándar</b>	1.55	0.18	0.84	0.18	2.07	5.43

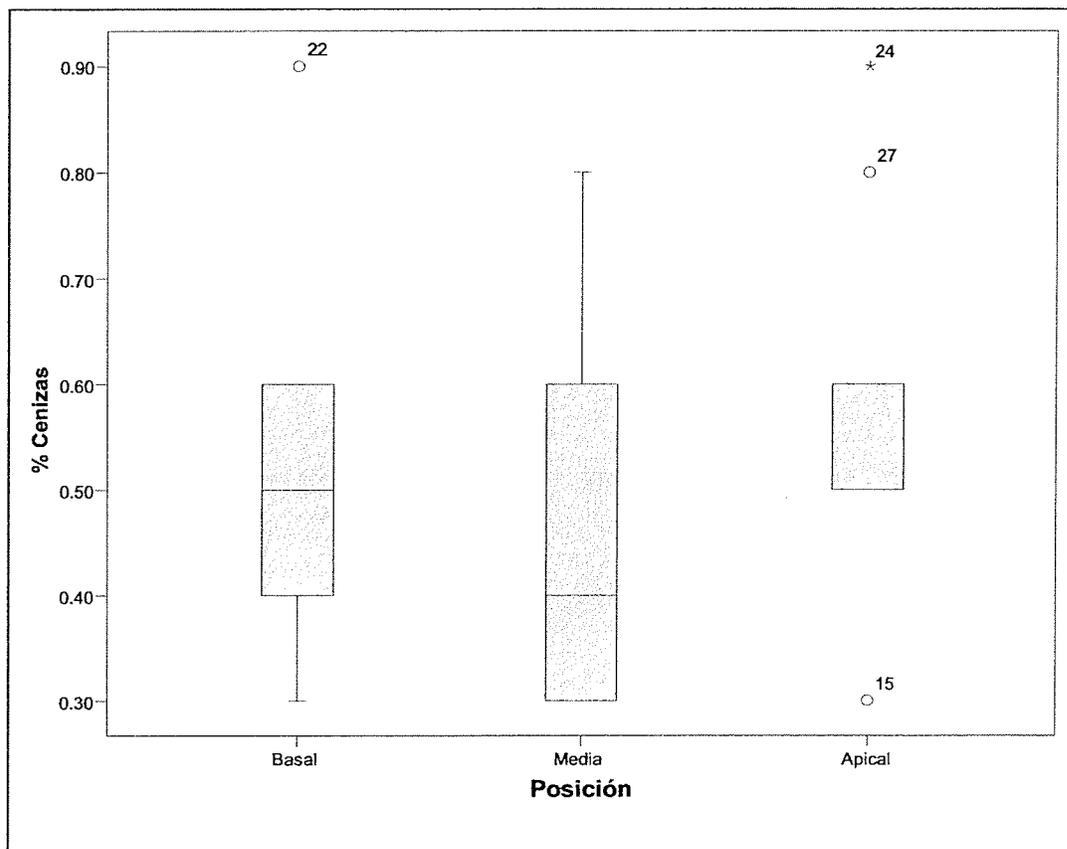
Fuente: Datos calculados

**Figura 13. Distribución de los resultados experimentales de concentración de celulosa en función de la altura para Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)**



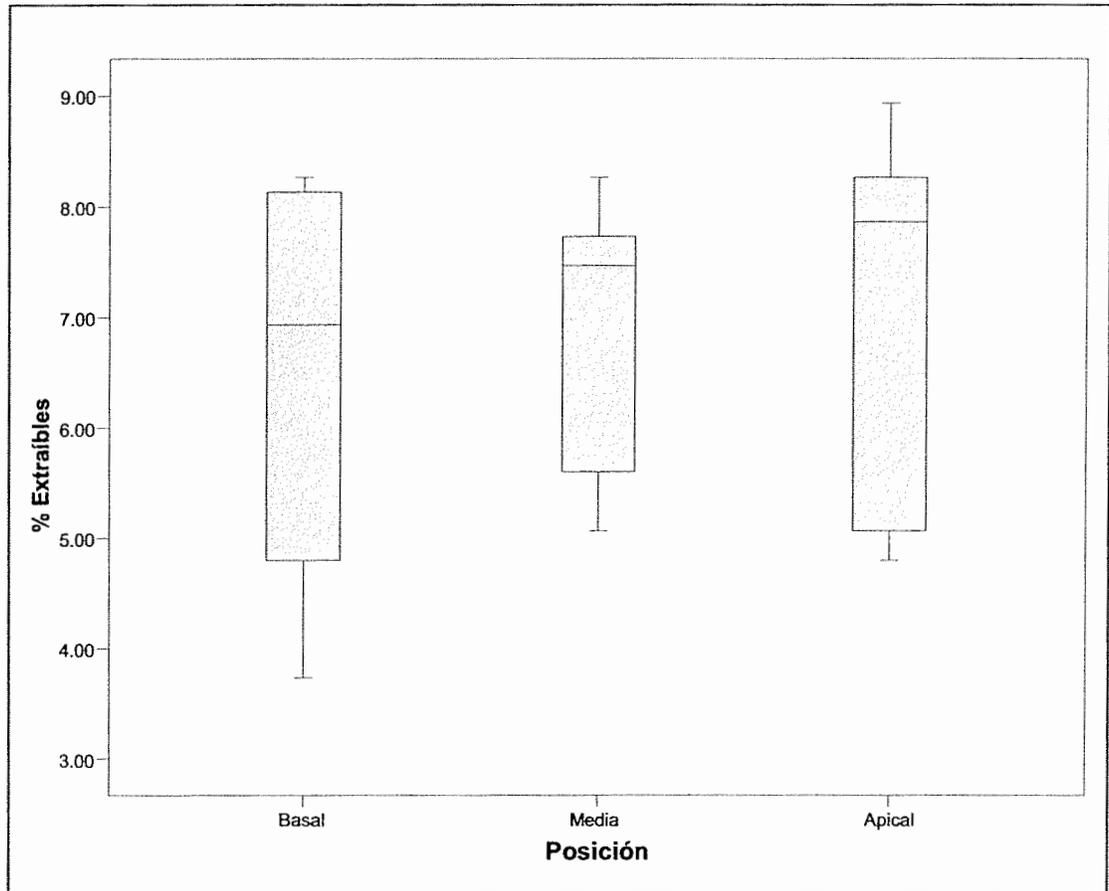
Fuente: Análisis estadístico

**Figura 14. Distribución de los resultados experimentales de concentración de cenizas en función de la altura para Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)**



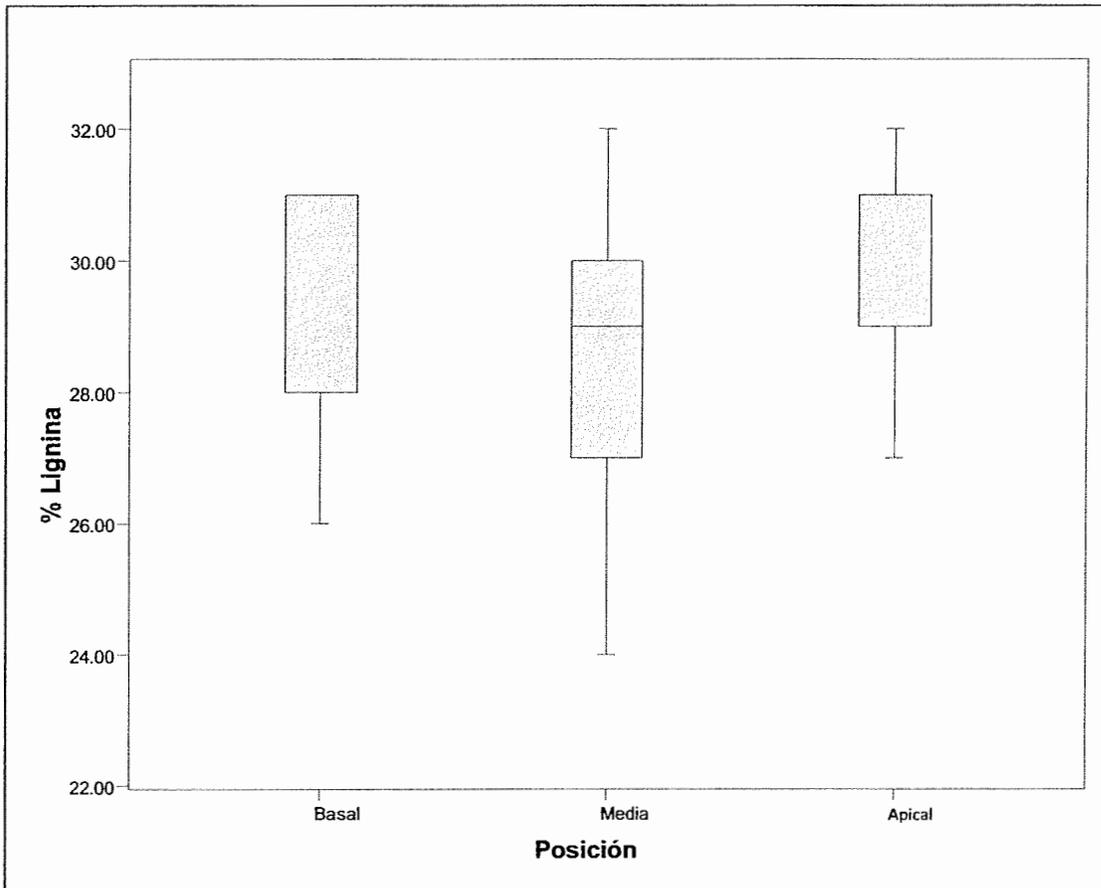
Fuente: Análisis estadístico

**Figura 15. Distribución de los resultados experimentales de concentración de extraíbles en función de la altura para Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)**



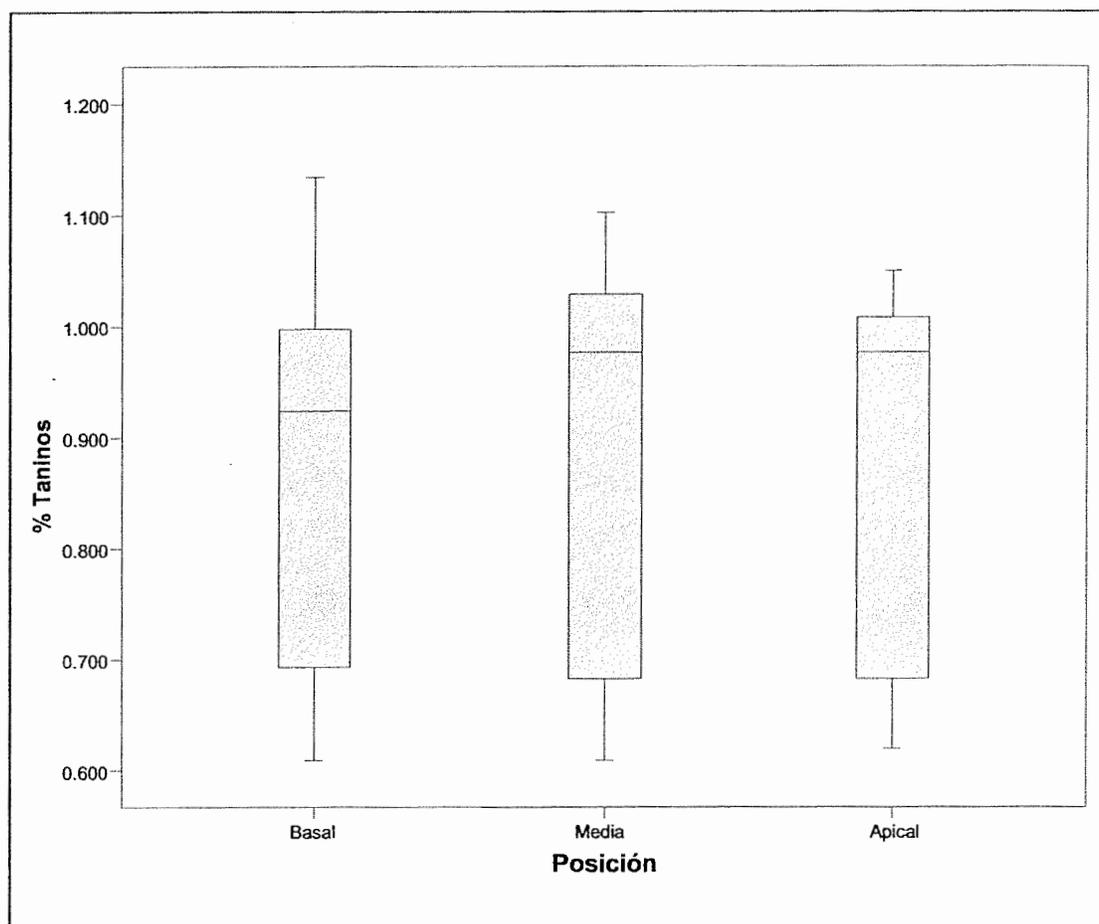
Fuente: Análisis estadístico

**Figura 16. Distribución de los resultados experimentales de concentración de lignina en función de la altura para Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)**



Fuente: Análisis estadístico

**Figura 17. Distribución de los resultados experimentales de concentración de taninos en función de la altura para Ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.)**



Fuente: Análisis estadístico

**Tabla IX. Valores de F obtenidos para cada componente**

Componente	F <sub>o</sub>	Significancia <sup>8</sup>	F <sub>tabulada</sub>
Cenizas	1.511	0.241	3.4
Lignina	0.505	0.610	
Celulosa	.392	0.680	
Taninos	0.074	0.929	
Extraíbles	0.038	0.963	

Fuente: Análisis Estadístico

<sup>8</sup> Probabilidad de ocurrencia



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo la investigación y caracterización química de la madera de ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) Se presenta los resultados de los contenidos porcentuales en peso de los siguientes componentes: celulosa, cenizas, extraíbles, lignina y taninos.

Las muestras para análisis se recolectaron en la aldea Chichoy, municipio de Tecpán, Chimaltenango. Previo a los análisis de laboratorio, las muestras fueron molidas, tamizadas y secadas hasta tener un contenido de humedad inferior al 5%.

Las veintisiete muestras se obtuvieron de nueve árboles de la misma especie. De cada árbol se obtuvieron tres muestras a diferentes alturas, siendo estas la basal, media y apical. Las tablas V, VI y VII, muestran los resultados de los cinco componentes analizados para los tres distintos tratamientos a los que fueron sometidos las muestras.

Posterior al análisis de las muestras y obtención de contenidos porcentuales de componentes, los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza unifactorial por medio de la distribución de Fischer (Referencia 7).

El contenido porcentual en peso de celulosa se encuentra entre 59.02% y 77.97%  $\pm$  5.43%, con un promedio de 66.27%; las cenizas se encuentran entre 0.3% y 0.9%  $\pm$  0.18% , con un promedio de 0.52%; las sustancias extraíbles se encuentran entre 3.73% y 8.93%  $\pm$  1.55%, con un promedio de 6.76%; la lignina

se encuentra entre 24% y 32%  $\pm$  2.07%, con promedio de 29.07%; y los taninos entre 0.61% y 1.13%  $\pm$  0.18%, con un promedio de 0.88%.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se encuentran en los rangos que indica la literatura para madera de coníferas como lo es la madera de ciprés. Los datos de la tabla II muestran los datos siguientes: celulosa entre 30.1% y 60.7%; lignina entre 21.7% y 37.0%; extraíbles entre 0.2% y 14.4%; y cenizas entre 0.02% y 1.1%. (Referencia 11)

Los resultados obtenidos para celulosa muestran que en promedio no existe diferencia significativa respecto a la altura, esto quiere decir que el contenido de celulosa como porcentaje en peso es el mismo en cualquier parte del árbol, esto puede verse claramente en la tabla IX y Figura 13. Esta afirmación se evidencia en la tabla XV donde se muestran los resultados del análisis estadístico para este componente. En esta tabla el valor observado para la prueba de Fisher 0.392, es menor al valor tabulado de 3.4. Este análisis anterior confirma que no existe diferencia significativa en el contenido porcentual en peso de celulosa a diferentes alturas en el ciprés. Se puede observar también, que en promedio en la altura media se encuentra en mayor proporción este componente seguido por la altura basal y apical respectivamente. La probabilidad de ocurrencia para la hipótesis nula es de 0.68.

En la tabla XVI se muestra el análisis de varianza para las cenizas. Se puede observar que la composición porcentual de cenizas no varía respecto a la altura del árbol, validándose así la hipótesis nula nuevamente. El valor observado para la prueba de Fisher es 1.511 que es menor al valor tabulado de 3.4. La probabilidad de ocurrencia es 0.241. La figura 14 muestra que algunos

datos se salen del rango, esto es debido a que los resultados de los análisis dependen de la repetibilidad de los mismos.

En la figura 15, se ilustra la composición porcentual en peso de las sustancias extraíbles en función de la altura. En la tabla XVII el valor de Fischer observado es 0.038, siendo el valor teórico de Fisher 3.4; esto indica que la composición de sustancias extraíbles no varía en función de la altura, con una probabilidad de ocurrencia de 0.963. En las tabla XIV se puede observar que las sustancias extraíbles se encuentran en mayor proporción en la altura apical, media y basal respectivamente.

El análisis de varianza para la lignina se encuentra en la tabla XVIII, en esta se muestra que este componente no varía significativamente en función de las diferentes alturas del árbol. El valor observado para la prueba de Fisher es menor que el valor tabulado, siendo los valores 0.505 y 3.4 respectivamente. En la tabla XI se muestran los valores medios de la composición de lignina para las diferentes alturas, siendo la altura media la que se encuentra en mayor proporción seguida de la altura basal y apical. La probabilidad de ocurrencia es de 0.61

En la tabla XIII y figura 17 se presentan los valores promedio de taninos en la madera. Los resultados obtenidos reflejan contenidos de taninos bajos, esto se debe a que los taninos se concentran en la corteza del árbol y no en su madera. Los resultados obtenidos no presentan una variación significativa respecto a la altura ya que se tiene un valor observado en la prueba de Fisher igual a 0.074, el cual es menor al valor tabulado de 3.4. La probabilidad de ocurrencia es de 0.929.

Con el análisis estadístico realizado como herramienta, se puede afirmar que las diferencias en la composición porcentual en peso en función de las diferentes alturas de los componentes: celulosa, cenizas, sustancias extraíbles, lignina y taninos no son significativas. Por lo tanto se valida la hipótesis nula para cada componente.

## CONCLUSIONES

1. Los principales componentes químicos de la madera de Ciprés (*Cupressus lusitanica Mill.*) tienen los siguientes valores promedio: celulosa 66.27% w/w, cenizas 0.52% w/w, extraíbles 6.76% w/w, lignina 29.07% w/w y taninos 0.88% w/w.
2. El componente químico más abundante es la celulosa sin importar la altura. Los resultados muestran contenidos porcentuales en peso que varían entre 59.02% y 77.97% con una desviación estándar de 5.43%. No presentó diferencia significativa en función de la altura del árbol.
3. La lignina es el segundo componente químico más abundante, su contenido porcentual en peso varía entre 24% y 32% con una desviación estándar de 2.07%. No existe diferencia significativa en función de la altura del árbol.
4. Las cenizas se encuentran entre 0.3% w/w y 0.9% w/w con una desviación estándar de 0.18% w/w. No existe diferencia significativa en función de la altura del árbol.
5. Los extraíbles se encuentran entre 3.73% w/w y 8.93% w/w con una desviación estándar de 1.55% w/w. No existe diferencia significativa en función de la altura del árbol.

6. Los taninos se encuentran entre 0.61% w/w y 1.13% w/w con una desviación estándar de 0.18% w/w. No existe diferencia significativa en función de la altura del árbol.
  
7. Los valores promedio con sus desviaciones estándar obtenidos para los componentes analizados se encuentran entre los valores reportados en la literatura en relación a coníferas.
  
8. Ningún componente analizado muestra diferencias significativas en la composición porcentual en peso en función de la altura. Esto se evidencia en el análisis estadístico, ya que los valores de  $F_0$  son menores a  $F$ .

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la composición química de otras especies forestales típicas de Guatemala, para maximizar su aprovechamiento.
2. Realizar estudios comparativos de métodos alternos para la determinación de la composición química de la madera y de esta manera poder obtener datos más exactos.
3. Realizar estudios de caracterización química de la madera en función de la edad y localización de las plantaciones.
4. Determinar el tamaño óptimo de muestreo en función de la población de una plantación de área conocida, para propósito de evaluación estadística.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Browning, B.L. **Methods of wood chemistry**. Public. N.Y., London, 1967. vol.2. pp.800.
2. Cháves Eladio, William Fonseca. **Ciprés, *Cupressus lusitanica* Mill. Especie de árbol de uso múltiple e América Central**. Turrialba, Costa Rica. CATIE, 1991. pp. 70.
3. 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.
4. Etiegni, L., Campell A.G. **Physical and chemical characteristics of wood ash**. Bioresour. 1991. Pp 37, 173-178.
5. Díaz, A. **Ciencia de la madera**. Ministerio de Educación Superior. La Habana, 1986. pp195.
6. 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. D1109-60, D1103-60, D1105-56, D1106-56.

7. Montgomery, Douglas C. y William W. Hines. **Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración**. Tercera edición. Editorial Continental. México 1994. pp. 412, 417.
8. S. Hon, Davis N., Shiraishi Nobuo. **Wood and Cellulosic Chemistry**. New York, Marcel Dekker, Inc. pp1018.
9. Technical Association for the Pulp and Paper Industries. **Alpha-, Beta- and Gamma-Cellulose in pulp**. TAPPI Test Method T 203 cm-99. TAPPI Press. Atlanta. 1978.
10. Technical Association for the Pulp and Paper Industries. **Pentosans in wood and pulp**. TAPPI Test Method T 223 cm-01. TAPPI Press. Atlanta. 1978.
11. Tsoumis, George. **Science and technology of wood**. Aristotelian University, Thessaloniki, Greece: Editorial Van Nostrand Reinhold, New York. 1982. pp. 34-38, 54.

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

12. "**Madera**". [www.papelnet.cl/madera/madera.htm](http://www.papelnet.cl/madera/madera.htm) Junio 2009.
13. "**célula leñosa**". [http://fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/cell\\_vegetal.htm](http://fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/cell_vegetal.htm)  
Junio 2009.
14. "**Células de Madera**". <http://fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/maderas>.  
Junio 2009.
15. "**Celulosa**". <http://www.papelnet.cl/celulosa/celulosa.htm> Junio 2009.
16. "**Hemicelulosa**". [www.monografias.com/trabajos46/hemicelulosas-maderas/hemicelulosas-maderas2.shtml](http://www.monografias.com/trabajos46/hemicelulosas-maderas/hemicelulosas-maderas2.shtml). Junio 2009.
17. "**Lignina**". <http://www.anisn.it/omodeo/omodeo/images/lignina.jpg>  
Junio 2009.
18. "**Tanino**". <http://es.wikipedia.org/wiki/Tanino>. Junio 2009.
19. "**Soxhlet**". <http://www.soviquim.cl/intranet/img.php?id=W1610> Junio 2009.
20. "**Cupressus lusitanica**". <http://www.parkswatch.org/> Junio 2009.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Ayres, G. **Análisis químico cuantitativo**. México, Editorial Harla. 1970. pp. 209-215.
2. Bland, D.E. **The composition and Analysis of eucalyptus wood**. 1985 Vol. 38, N°4, pp.291-294.
3. Coronel, E. O. **Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas**. Primera Parte. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Santiago del Estero, Argentina. 1994. pp.13-28.
4. Fengel, D., Wegener, G. **Wood Chemistry, Ultrastructure Reaction**. Berlín, Walter de Gruyter, pp.2-220.
5. McCabe, Warren L., Julian Smith C. y Harriot Meter. **Operaciones unitarias en Ingeniería Química**. Cuarta Edición. México: Editorial McGraw Hill. 2000. pp. 1114.
6. Sjöström, E. **Wood chemistry fundamentals and applications**. New York, 1981. Academic Press. pp. 98-103, 223.
7. Treybal, Robert E. **Operaciones de transferencia de masa**. Segunda Edición. México: Editorial McGraw Hill. 2000. pp. 862.



## APÉNDICE A

### DATOS CALCULADOS

**Tabla X. Datos calculados para celulosa (% en peso)**

ALTURA	OBSERVACIONES									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Basal	59.02	64.22	72.45	65.46	63.29	59.63	69.82	68.90	77.97	600.76	66.75
Media	62.66	74.79	68.91	63.92	60.15	65.51	61.46	73.00	73.71	604.09	67.12
Apical	60.76	68.35	61.88	66.27	59.89	59.89	64.03	72.47	71.03	584.56	64.95
										<b>1789.41</b>	<b>66.27</b>

Fuente: Datos originales

**Tabla XI. Datos calculados para lignina (% en peso)**

ALTURA	OBSERVACIONES									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Basal	28.00	28.00	28.00	28.00	31.00	31.00	31.00	31.00	26.00	262.00	29.11
Media	25.00	24.00	29.00	27.00	32.00	30.00	29.00	31.00	30.00	257.00	28.56
Apical	28.00	31.00	32.00	27.00	31.00	29.00	29.00	30.00	29.00	266.00	29.56
										<b>785.00</b>	<b>29.07</b>

Fuente: Datos Originales

**Tabla XII. Datos calculados para cenizas (% en peso)**

ALTURA	OBSERVACIONES									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Basal	0.50	0.60	0.60	0.40	0.40	0.30	0.50	0.90	0.30	4.50	0.50
Media	0.50	0.60	0.60	0.30	0.40	0.30	0.30	0.80	0.30	4.10	0.46
Apical	0.50	0.60	0.60	0.50	0.30	0.60	0.60	0.90	0.80	5.40	0.60
										<b>14.00</b>	<b>0.52</b>

Fuente: Datos originales

**Tabla XIII. Datos calculados para taninos (% en peso)**

ALTURA	OBSERVACIONES									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Basal	0.924	0.998	1.008	0.609	0.630	0.987	1.134	0.693	0.788	7.770	0.863
Media	0.956	1.008	1.040	0.609	0.662	0.977	1.103	0.683	1.029	8.064	0.896
Apical	0.987	1.019	1.008	0.620	0.651	0.872	1.050	0.683	0.977	7.865	0.874
										<b>23.699</b>	<b>0.878</b>

Fuente: Datos originales

**Tabla XIV. Datos calculados para extraíbles (% en peso)**

ALTURA	OBSERVACIONES									Totales	Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Basal	4.80	6.93	4.67	3.73	6.93	8.27	8.13	8.13	8.27	59.87	6.65
Media	5.07	5.33	5.60	6.00	7.47	7.73	8.27	7.60	7.87	60.93	6.77
Apical	29.00	5.07	4.80	5.33	7.87	7.87	8.53	8.27	8.93	85.67	9.52
										<b>206.47</b>	<b>7.65</b>

Fuente: Datos originales

## APÉNDICE B

### DATOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

**Tabla XV. Resultados de análisis de varianza para celulosa**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Significancia
Tratamientos	24.271	2	12.136	0.392	0.68
Error	742.328	24	30.93		
Total	766.599	26			

Fuente: Análisis estadístico

**Tabla XVI. Resultados de análisis de varianza para cenizas**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Significancia
Tratamientos	0.099	2	0.049	1.511	0.241
Error	0.782	24	0.033		
Total	0.881	26			

Fuente: Análisis estadístico

**Tabla XVII. Resultados de análisis de varianza para extraíbles**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo	Significancia
Tratamientos	0.195	2	0.097	0.038	0.963
Error	62.234	24	2.593		
Total	62.429	26			

Fuente: Análisis estadístico

**Tabla XVIII. Resultados de análisis de varianza para lignina**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>Fo</b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	4.519	2	2.259	0.505	0.61
Error	107.333	24	4.472		
Total	111.852	26			

Fuente: Análisis estadístico

**Tabla XIX. Resultados de análisis de varianza para taninos**

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>Fo</b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	0.005	2	0.003	0.074	0.929
Error	0.816	24	0.034		
Total	0.821	26			

Fuente: Análisis estadístico









# APÉNDICE E

Figura 20. Diagrama de Ishikawa para la obtención de madera libre de extraíbles

