

---

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**

---



**ESTUDIO BIOMÉTRICO Y QUÍMICO DE LA PLANTA SILVESTRE HUIZACHE**

*(Acacia farnesiana)*

**Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE FIBRA CELULÓSICA**

---

**TRABAJO DE TITULACION EN LA MODALIDAD DE**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**LICENCIADO EN BIOLOGIA**

**PRESENTA**

**MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ LÓPEZ**

Las Agujas, Zapopan, Jal., marzo de 2012

---



**Universidad de Guadalajara**  
**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias**  
*Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología*

COORD-BIO-089/2011

**C. MARÍA DEL CARMEN LÓPEZ LÓPEZ**  
**PRESENTE**

Manifestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción **TESIS** con el título: **“Estudio biométrico y químico de la planta silvestre huizache (*Acacia farnesiana*) y su influencia en la calidad de fibra celulósica”**, para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director de dicho trabajo al **M.C. Bruno Becerra Aguilar**. Asesor/a interno al **Mtro. José de Jesús Rivera Prado**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**"PIENSA Y TRABAJA"**

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 01 de junio de 2011.

**DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS**  
**PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

**M.C. GLORIA PARADA BARRERA**  
**SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.  
 Presidente del Comité de Titulación.  
 Licenciatura en Biología.  
 CUCBA.  
 Presente

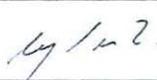
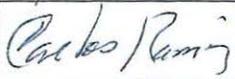
Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad tesis e informes, opción tesis con el título: **"Estudio biométrico y químico de la planta silvestre huizache (*Acacia farnesiana*) y su influencia en la calidad de la fibra celulósica"** que realizó la pasante María del Carmen López López con número de código 083489421 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

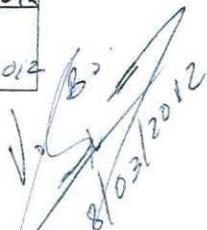
Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente  
 Las Agujas, Zapopan, Jal., 30 enero del 2012.

  
 M.C. Bruno Becerra Aguilar  
 Director/a del trabajo,

  
 Mtro. José de Jesús Rivera Prado  
 Asesor(es)

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
M.C. Cynthia G. Temores Ramírez		30/I/12
Dr. Carlos Ramírez Serrano		30.01.12
Dr. Efrén Hernández Álvarez		11/Feb/2012
Supl. Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias		11/Feb/2012

  
 B<sup>2</sup>  
 8/02/2012

El presente trabajo se desarrollo en el Departamento de Madera, Celulosa y Papel "Karl Augustin Grellmann" de la Universidad de Guadalajara, bajo la dirección del M.C. Bruno Becerra Aguilar.

## *Agradecimientos*

*Mi más sincero agradecimiento al M.C. Bruno Becerra Aguilar, director de este trabajo de tesis, por su apoyo y confianza.*

*Al asesor del presente trabajo, José de Jesús Rivera Prado.*

*Al personal del laboratorio de pulpas ácidas al Dr. Rubén Sanjuán Dueñas, al Dr. José Anzaldo Hernández por la asesoría brindada y al Ing. Raúl Vega Elvira por su asesoría en el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo.*

*Por el apoyo técnico y asesoría brindados por el Ing. Guillermo Ochoa y a la Química Hilda Palacios Juárez, mi reconocimiento.*

*Al Dr. Antonio Silva por su valiosa aportación en este trabajo.*

*A la M.C. Alma Rosa Saucedo por su apoyo y profesionalismo.*

*A todo el personal del DMCYP que de una manera u otra colaboraron en el presente trabajo.*

*A los sinodales por su invaluable apoyo y colaboración.*

## *Dedicatoria*

*A mi madre por su infinito cariño, comprensión y guía.*

*A mis hermanos por su apoyo constante.*

*A mi familia, en especial a mi esposo Jesús, y mis hijos Carmen Viridiana y José de Jesús, quienes me apoyaron en todo momento para alcanzar una de mis metas.*

*Dios me ha concedido la gran dicha de compartir con ellos esta alegría.*

## Resumen

Debido a la deforestación mundial y el impacto ecológico de la industria del papel en México, el incremento del uso de plantas no maderables y fibras recicladas, hace necesario el estudio de especies de latifoliadas como el huizache, especie que es actualmente desaprovechada en nuestro país. El incremento en la demanda de esta clase de materias primas aunado a problemas económicos y medioambientales, hace necesaria la investigación de fuentes alternativas de materiales lignocelulósicos distintos a las maderas tradicionales.

La especie de huizache (*Acacia farnesiana*) Willd, es una de las leguminosas con potencial, clasificada como planta multipropósito por su alto valor de importancia ecológica, económica y disponibilidad; cualidades que lo hacen apto para el aprovechamiento integral.

Los Índices de calidad de pulpa para papel proveen las bases para caracterizar la calidad de la fibra y la influencia que esta tendrá en la formación de papel. Por consiguiente, es importante la información obtenida para su aprovechamiento. Los procesos de pulpeo para la obtención de celulosa son imprescindibles para conocer el comportamiento de la fibra en la industria de fabricación de papel.

El presente trabajo compara tres métodos de obtención de celulosa, el primero de ellos es un proceso al sulfito ácido y los dos restantes son procesos alcalinos, con ellos se evaluó el porcentaje en rendimiento de celulosa y de lignina contenida en la pulpa; se desarrolla una curva de refinación que describe el mayor efecto de fibrilación en la pulpa y por ende mayor entrelazamiento y resistencia física en el papel.

<b>Indice</b>	<b>Página</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Planteamiento del problema</b>	<b>2</b>
<b>3. Marco teórico</b>	<b>3</b>
3.1. <u>Clasificación de las materias primas vegetales</u>	3
3.1.1 Anatomía y estructura macroscópica	4
3.1.2. Elementos anatómicos de la madera	5
3.1.3 Estructura ultramicroscópica de la pared celular	7
3.1.4 Latifoliadas (angiospermas, maderas duras)	10
3.1.5 Ejes de la madera	11
3.2 <u>Química de la madera</u>	12
3.2.1. Componentes básicos de la madera	12
3.2.2. Extraíbles	12
3.2.2.1. Extraíbles en maderas duras	14
3.2.3. Material inorgánico	14
3.2.4. Celulosa	14
3.2.4.1 Propiedades	15
3.2.4.2 Reactividad y accesibilidad	15
3.2.4.3 Hinchamiento y disolución	16
3.2.4.4. Estructura química de la celulosa	17
3.2.5. Hemicelulosas	18
3.2.5.1. Hemicelulosas en maderas duras	19
3.2.6. Lignina	19
3.2.6.1. Estructura química de la lignina	19
3.3 <u>Procesos de obtención de celulosa</u>	21
3.3.1 Métodos de pulpeo	22
3.3.2 Procesos químicos de obtención	22
3.3.3. Clasificación de los procesos	23
3.3.4. Generalidades de deslignificación	24
3.3.5. Diferencias entre coníferas y latifoliadas	25
3.3.6 Proceso de cocción kraft	25
3.3.6.1. Ventajas del proceso kraft	25
3.3.6.2. Aspectos químicos del proceso kraft	26
3.3.6.3. Deslignificación del proceso kraft	27
3.3.6.4. Variables de cocción	27
3.3.6.5. Reacciones con los extraíbles	28
3.3.6.6. Reacciones de la lignina en los procesos alcalinos	28
3.3.7 Proceso a la sosa	28
3.3.8 Proceso al sulfito ácido	29
3.3.8.1. Desventajas del proceso al sulfito	30

3.3.8.2.	Deslignificación del proceso al sulfito ácido	30
3.3.8.3.	Acción de los reactivos sobre los constituyentes de la materia prima	31
3.3.8.4.	Reacciones con los carbohidratos en el proceso al sulfito	32
3.4	<u>Desarrollo de la fibra</u>	32
3.4.1.	Refinación de la pulpa	33
3.4.1.1.	Factores que afectan la refinación	33
3.4.1.2.	Efectos de la refinación en las propiedades de la fibra	34
3.4.1.3.	Caracterización de la pulpa	35
3.4.2.	Unión de las fibras	35
3.4.3.	Efecto de las propiedades de las fibras en las propiedades de las hojas	35
3.4.4.	Pruebas físicas convencionales	36
3.4.5.	Calidad de las fibras	37
3.5	<u>Descripción de la muestra de huizache</u>	38
4.	<b>Hipótesis</b>	41
5.	<b>Parte Experimental</b>	
5.1.	<u>Esquema general</u>	42
	Diagrama general de experimentación	43
5.1.1.	Identificación de la muestra	44
5.1.2.	Preparación de la muestra	44
5.2	<u>Materiales y métodos</u>	44
5.3	<u>Caracterización estructural de la madera de huizache (microscopia)</u>	45
5.3.1.	Preparaciones fijas de cortes anatómicos	45
5.4.	<u>Composición química de huizache</u>	47
5.4.1.	Preparación de la madera de huizache para análisis químico	47
5.4.1.1.	Determinación de extraíbles (madera de huizache)	48
5.4.1.2.	Contenido de Holocelulosa	48
5.4.1.3.	Contenido de celulosa	49
5.4.1.4.	Contenido de lignina Klason	49
5.4.1.5.	Contenido de ceniza	50
5.4.2.	Obtención de extractos	50
5.4.2.1.	Evaluación de extractos	50
5.4.2.2.	Número de Stiasny	50
5.4.2.3.	Contenido de taninos hidrolizables	51
5.4.2.4.	Contenido de extracto total	51

5.5. <u>Preparación de la madera de huizache para cocción</u>	51
5.5.1. Preparación de licores blancos	52
5.5.2. Condiciones de cocción	52
5.5.3. Impregnación a presión	53
5.5.4. Cocción de astillas	53
5.5.5. Lavado de material	53
5.5.6. Depuración	54
5.6. <u>Obtención de pulpa celulósica de huizache</u>	54
5.6.1. Dispersión de fibras en pulpa (microscopía)	54
5.6.2. Mediciones biométricas de fibras en pulpa	54
5.7. <u>Refinación de la pulpa de huizache</u>	56
5.7.1. Formación de hojas	56
5.7.2. Acondicionamiento de muestras	57
5.7.3. Pruebas de resistencia fisicomecánica	57
<b>6. Resultados y discusión</b>	<b>58</b>
6.1. Índices de Calidad	58
6.2. Caracterización química	62
6.3. Comparación entre los métodos de obtención a la sosa, sulfito y kraft	63
6.4. Evaluación de resistencias <b>fisicomecánicas</b> del papel de huizache	65
<b>7. Conclusiones</b>	<b>77</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>79</b>
<b>Apéndice</b>	<b>82</b>
<b>Glosario</b>	<b>84</b>

## 1. Introducción

Anatómica o estructuralmente los diversos tipos de elementos celulares caracterizan las diferentes especies. Para la obtención de celulosa es importante conocer la estructura anatómica de la madera, ya que ésta influye en la penetración de los reactivos afectando las reacciones mediante las cuales se obtiene la pulpa. <sup>(2)</sup>

El estudio morfológico y las propiedades físicas del material fibroso son importantes porque permiten prever su comportamiento y usos más adecuados. En este sentido junto con el conocimiento de las características biométricas de las fibras se utilizan indicadores confiables para clasificar la calidad de las fibras y su influencia en el producto terminado como papel. <sup>(31)</sup>

Las propiedades químicas de la madera están determinadas en gran medida por las características que presentan sus constituyentes, que a su vez dependen de la ubicación que tengan dentro de la estructura de la madera y de su complejidad.

*Acacia farnesiana* (L.) Willd. (1806), conocido en México como huizache, Güizache (*Rep. Méx.*), es una Planta Multipropósito. En la búsqueda realizada no se encontró información sobre el uso de la especie *Acacia farnesiana* para la producción de celulosa. Como parte integral de este estudio se evalúan tres procesos químicos convencionales de obtención de material fibroso para su aprovechamiento en la producción de celulosa para papel. Se presentan los resultados del estudio de las características microscópicas estructurales, químicas y fisicomecánicas de la fibra celulósica del huizache.

La importancia de la caracterización del huizache reside en aprovechar eficientemente los recursos forestales de maderas de latifoliadas de rápido crecimiento como fuente potencial de materia prima para la industria de la celulosa y el papel.

## 2. Planteamiento del problema

Debido a la deforestación mundial y el impacto ecológico de la industria del papel en México, el incremento del uso de plantas no maderables y fibras recicladas, hace necesario el estudio de especies como el huizache, especie que es actualmente desaprovechada en nuestro país.

### 2.1 Objetivo General

- Obtención y caracterización de la fibra lignocelulósica de *Acacia farnesiana* y determinación de la calidad de fibra para pulpa en la fabricación de papel.

#### 2.1.1 Objetivos particulares

- Caracterizar estructural y química de la madera de huizache.
- Evaluar la calidad de la pulpa con respecto a las mediciones biométricas
- Evaluar el papel con respecto a las resistencias fisicomecánicas.
- Determinar el proceso de cocción más apto para obtener celulosa.

### 2.2. Justificación

La especie de huizache (*Acacia farnesiana*) Willd, es una de las leguminosas con potencial, clasificada como planta multipropósito por su alto valor de importancia ecológica, económica y disponibilidad; cualidades que lo hacen apto para el aprovechamiento integral. Este estudio del huizache, generará conocimiento nuevo en el ámbito científico, incidirá en la formación de recursos humanos y concientizará sobre el uso adecuado de los recursos forestales en forma sustentable.

Por lo que es de mayor interés el conocimiento particular de ésta especie en su incorporación como materia prima tanto la parte estructural de la madera como la composición química e influencia de éstas en la calidad de fibra celulósica. La fibra celulósica extraída tiene una alta gama de productos de alto valor agregado como celulosa para usos textiles, alimenticios o farmacéuticos, fibras papeleras, paneles, muebles, tableros de diversos tipos, además de usos energéticos. El incremento en la demanda de esta clase de materias primas aunado a problemas económicos y medioambientales, hace necesaria la investigación de fuentes alternativas de materiales lignocelulósicos distintos a las maderas tradicionales.

### 3. Marco teórico

De entre los materiales de origen biológico, la madera es sin duda el más conocido y utilizado; el leño de un árbol contiene gran cantidad de sustancias que son utilizadas como materias primas en casi todos los campos de la tecnología. <sup>(26)</sup>

La madera, constituye la parte leñosa de las plantas. El leño desde el punto de vista botánico, es el conjunto de elementos conductores lignificados, es decir, cuya pared está impregnada de una sustancia llamada lignina. La función de estos elementos es la de transportar el agua y las sales minerales desde las raíces a las hojas. <sup>(21)(23)</sup>

El conocimiento de la estructura de la madera determina las características y cualidades de la misma, son el resultado de las necesidades fisiológicas y mecánicas que el árbol tuvo a lo largo de su vida. <sup>(2)</sup>

#### 3.1. Clasificación de las materias primas vegetales

En las plantas superiores que producen madera, se reconocen dos grandes grupos: gimnospermas y angiospermas. Las gimnospermas son plantas con semillas desnudas, debido a que no tienen los óvulos dentro de un ovario. Las hojas son finas, generalmente aciculares, es decir en forma de agujas como los pinos. Estas hojas persisten durante más de una estación. Presentan traqueidas y no vasos verdaderos. Su importancia económica actual, además de su uso como maderas, constituyen la fuente de materias primas para la extracción de resinas y bálsamos, como la trementina o aguarrás que se obtiene del pino, y el bálsamo de Canadá cuya principal fuente es el abeto. <sup>(2)</sup>

Las angiospermas constituyen en la actualidad el grupo de plantas dominantes sobre la tierra, llamadas maderas duras, son plantas con flores que incluyen especies de hierbas, árboles, arbustos y también son especies con alto valor comercial. En estas plantas el óvulo se encuentra protegido por el ovario que está formado por un conjunto de hojas transformadas. La semilla se encuentra encerrada dentro del fruto y el embrión contenido en la semilla puede tener una o dos hojas embrionarias o cotiledones, carácter que se toma en cuenta para dividir las angiospermas en monocotiledóneas y dicotiledóneas. Sus hojas son anchas, de aquí proviene el nombre genérico de latifoliadas, y en la mayoría de los casos forman un follaje vistoso. Presentan vasos verdaderos. <sup>(2)</sup> Se explotan entre otras, varias especies de encinos, arce, abedules, hayas y nogales. <sup>(9)</sup>

En lo referente a las maderas también existen diferencias, a la madera de las gimnospermas y en especial la de las coníferas se le conoce como madera suave y a las angiospermas o latifoliadas como maderas duras. <sup>(2)</sup>

Cuando se quiera obtener madera resistente, a las coníferas se les debe aplicar tratamientos que procuren crecimientos lentos, mientras que en las frondosas de anillo poroso o semiporoso, el tratamiento debe buscar crecimientos rápidos. <sup>(33)</sup>

### **3.1.1. Anatomía y estructura macroscópica**

Para el estudio del proceso de pulpeo es importante conocer la estructura anatómica de la madera, ya que ésta influye en la penetración de los reactivos, por lo que afecta el curso de las reacciones mediante las cuales se obtiene la pulpa. <sup>(26)</sup> Si se realiza un corte al fuste de un árbol se observarán las siguientes partes:

- **Corteza.** Es la parte más externa, formada por materia muerta de aspecto resquebrajado, debido a que el árbol sigue creciendo en espesor, mientras que la corteza no. <sup>(33)</sup> Es el tejido más importante del tronco, constituye del 10 al 20% del mismo, dependiendo de la especie y de las condiciones de crecimiento, en las ramas el contenido de corteza es más alto de 20 a 35%. Las cortezas tienen un comportamiento diferente en cuanto al hinchamiento, son menos anisotrópicas, poseen coeficientes de transferencia de calor más bajos y tienen propiedades mecánicas menores que la madera. <sup>(26)</sup>

Cada especie presenta características particulares en la estructura de su corteza, por lo que la composición química es compleja, varía entre diferentes especies de árboles y también depende de elementos morfológicos. Un aspecto de la corteza es su alto contenido de extractos y minerales. En la obtención de pulpa para papel por lo regular se utiliza madera descortezada, ya que la corteza, incluso en cantidades pequeñas, puede afectar la calidad de la pulpa. La corteza propicia la aparición de zonas de más baja resistencia en el papel, así como tonos más oscuros. <sup>(26)</sup>

- **Liber o floema.** El floema o corteza interna es una capa más o menos delgada de apariencia similar a la corteza, más blanda, cuyas funciones en el árbol es la conducción de savia elaborada. <sup>(33)</sup> Formado por fibras de celulosa, hemicelulosa y lignina, células conductoras y células de parénquima, estos dos tipos de células contienen grandes cantidades de extractos. <sup>(26)</sup>

- **Cambium.** Es una capa inapreciable a simple vista, formada por células con funciones reproductoras, formando xilema hacia adentro y floema hacia fuera. <sup>(33)</sup> División celular que da origen a diversos elementos de la madera. <sup>(2)</sup> Es un meristemo secundario, con capacidad de producir permanentemente tejidos nuevos, y constante crecimiento en diámetro de los troncos de los árboles y los tallos de los arbustos de un año a otro, además de dar consistencia leñosa a los arboles son los responsables de la formación de la madera. Se localiza debajo de la corteza como una cutícula verde que denota la presencia del cambium. <sup>(26)</sup>
- **Xilema o madera.** Es la capa más interna, normalmente gruesa, en relación con las demás capas, cuyas funciones en el árbol son las de sostén del propio árbol y las de conducción de la savia sin elaborar. <sup>(33)</sup> Formación de vasos leñosos como parte del tejido de conducción o bien elementos que van a dar resistencia al vegetal formando una estructura de sostén como las fibras. Las células que constituyen la madera muestran cierta variabilidad en cuanto a su ordenación, disposición y abundancia y son características de cada especie. <sup>(2)</sup> La ordenación de la mayoría de las células tiene una orientación paralela al eje del tronco, y las restantes tienen una disposición perpendicular al eje, es decir una orientación radial. <sup>(26)</sup>

### 3.1.2. Elementos anatómicos de la madera

- **Anillos de Crecimiento.** Las especies de madera que se desarrollan en hábitat en donde existen periodos meteorológicos notablemente diferentes, en tanto duran dichos periodos, manifestándose exteriormente por la alternancia de madera más clara (primavera, células grandes) y madera más oscura (verano-otoño, células pequeñas), producida respectivamente en los periodos más y menos propicios para el desarrollo de la planta. <sup>(33)</sup>

La formación y adición de madera nueva a un tallo se hace de manera cíclica y obedece a condiciones específicas del medio ambiente, produciendo capas de crecimiento anual que aparecen como anillos concéntricos cuando se observa la sección transversal de un tallo. Estas capas anuales de crecimiento siempre se realizan por adición, éstas no siempre son visibles en la sección transversal, de ahí que sea posible dividir a las especies en dos grandes grupos: especies

de zonas templadas y especies de zonas tropicales. En las regiones templadas el ciclo estacional presenta períodos favorables y desfavorables para el crecimiento que está muy bien definido, por lo que durante el ciclo de crecimiento anual en los árboles forman bandas concéntricas claramente delimitadas que responden a estos períodos.<sup>(126)</sup>

- **Albura.** En muchas especies, la madera formada en unos años de antelación, sufre unos fenómenos denominados de duraminización (protege a la madera contra ataques de hongos),<sup>(133)</sup> que determina como principal efecto el cambio de color, hacia tonos más oscuros.<sup>(33)</sup> La capa de albura bajo la corteza proporciona la necesaria conducción de savia bruta.<sup>(9)</sup> De color generalmente más claro que la madera de duramen. A medida que se crean nuevas capas de albura, las próximas al duramen van perdiendo sistemáticamente su función conductora, manteniéndose un equilibrio estable entre la necesidad de conducción xilemática del árbol y la superficie foliar.<sup>(133)</sup>
  
- **Duramen.** Si se observa la sección transversal de un tronco, es posible ver diferencias en el color del xilema – la madera que se encuentra entre las partes interna y exterior más cercana a la corteza- muchas especies tienen un color más oscuro en la parte interna que la externa. A los tejidos del xilema que se forman primero, es decir los más viejos y que conservan esta posición interna, se les conoce como duramen, y a los más nuevos y de color más claro que guardan una posición interna se les llama albura; aunque esto no constituye una regla general, algunas especies exhiben poca o nula diferencia entre estas partes.<sup>(26)</sup> El duramen funciona como soporte mecánico y el inicio de su formación varía bastante en las mismas especies bajo diferentes condiciones de localización.<sup>(9)</sup> Su formación se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas, fenómenos en general más complejos que en las coníferas; contienen igualmente sustancias solubles en agua, como taninos y materiales colorantes, encontrándose con frecuencia sustancias minerales, como carbonato, oxalato cálcico y ácido silícico.<sup>(133)</sup> Ver figura No. 1. Fuente: CHAVESTA C. M. (2006).

Dado que es característico de cada especie, además de su crecimiento, los años a partir de los cuales empieza dicho proceso, resultan que es bastante constante la anchura de la madera sin duraminizar. También es característico de cada especie, la diferente apariencia de estas partes de la madera.<sup>(33)</sup>

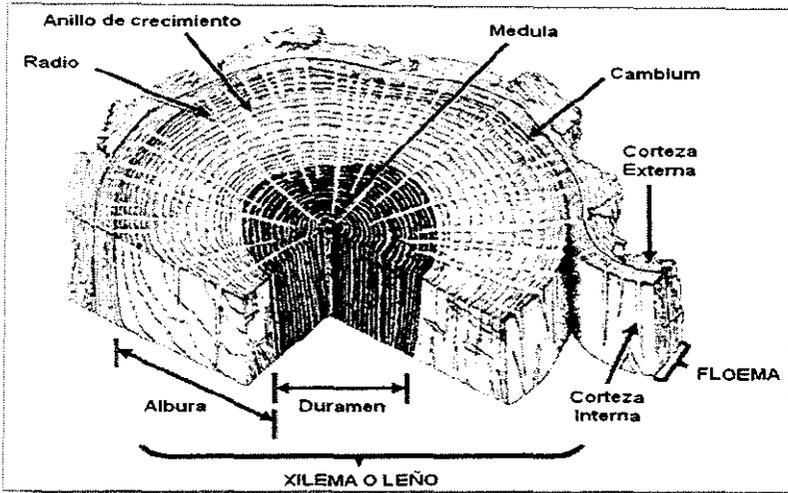


Figura No. 1, Elementos anatómicos de la madera

El color más oscuro en el duramen se debe a la presencia de extractos como taninos, resinas, gomas, materiales colorantes, desechos, etc., que son los causantes de la coloración de la porción de xilema que los contiene. <sup>(26)</sup>

### 3.1.3. Estructura ultramicroscópica de la pared celular.

Si se analiza con profundidad la membrana celular, se observa que no es maciza, sino está formada por tres capas, una externa muy delgada denominada pared intercelular o laminilla media, otra también muy delgada denominada pared primaria. Otra muy gruesa denominada pared secundaria y por último una interna, también muy delgada denominada terciaria. Ver figura no. 2.

Profundizando en la observación de la pared celular, se comprueba que las paredes están a su vez formadas por unas fibras orientadas en sentido variable según la capa de que se trate, separadas entre sí, pero unidas a través de un material amorfo denominado lignina. Cada fibra está a su vez formada por fibras elementales y éstas por cadenas de celulosa.

Las fibras elementales están dispuestas en parte de forma ordenada y en parte de forma desordenada, dando la primera un carácter elástico a la madera, mientras que la segunda le proporciona un carácter plástico. <sup>(33)</sup>

La constitución de cada una de estas paredes es la siguiente:

- **Pared intercelular o laminilla media L:** está formada por lignina y algo de hemicelulosa dispuesta de forma irregular. Constituye un elemento de cohesión entre células para formar tejidos. <sup>(33)</sup> Ver figura 2

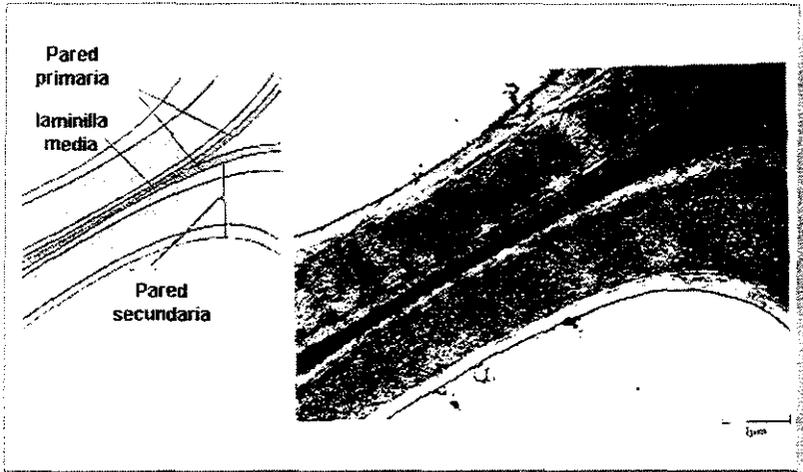


Figura No. 2, Localización de la laminilla media en la pared celular

- **Pared primaria P:** es una pared delgada constituida principalmente por microfibrillas incrustadas en un fondo de lignina en forma desordenada formando un ángulo muy grande respecto al eje de la célula. <sup>(33)</sup>
- **Pared secundaria S:** está constituida fundamentalmente por microfibrillas incrustadas en pequeñas proporciones de lignina. Las microfibrillas están orientadas según tres subcapas:
- **Capa S1:** muy delgada, las fibrillas están orientadas según ángulos opuestos de entre 70 y 90°. Ver figura No. 3. Tomado de Vignote 2006

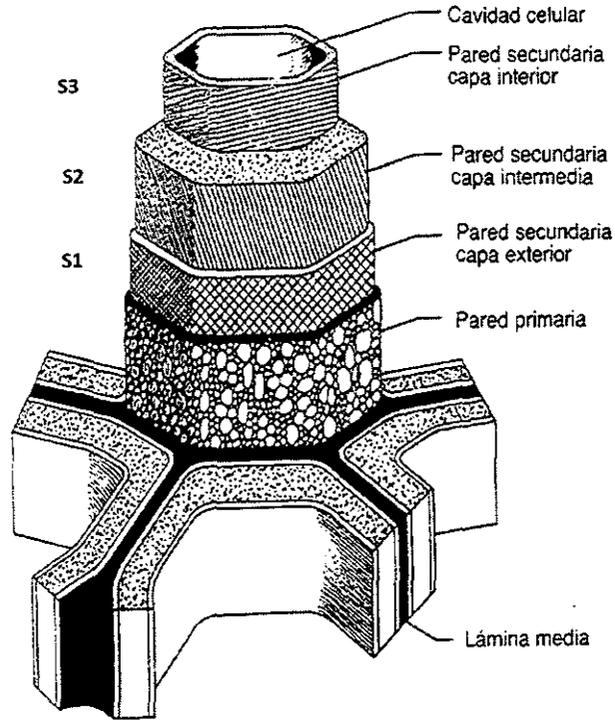


Figura No. 3, Orientación de las distintas capas y subcapas de la pared celular

- **Capa S2:** esta capa es la más gruesa y por tanto la que más influencia tiene en el comportamiento de la madera. En esta subcapa las fibrillas tienen muy poca inclinación respecto del eje de la célula, no sobrepasando los  $30^\circ$ .
- **Capa S3:** esta capa muy delgada e incluso inexistente tiene fibrillas orientadas con un ángulo muy grande con respecto al de la célula de entre  $70$  a  $80^\circ$ .<sup>(33)</sup>

### 3.1.4. Latifoliadas (angiospermas, maderas duras)

En las frondosas, la estructura es más compleja que en coníferas, pues existe una mayor especialización de las células, así las funciones de conductoras las realizan las células de tubo o

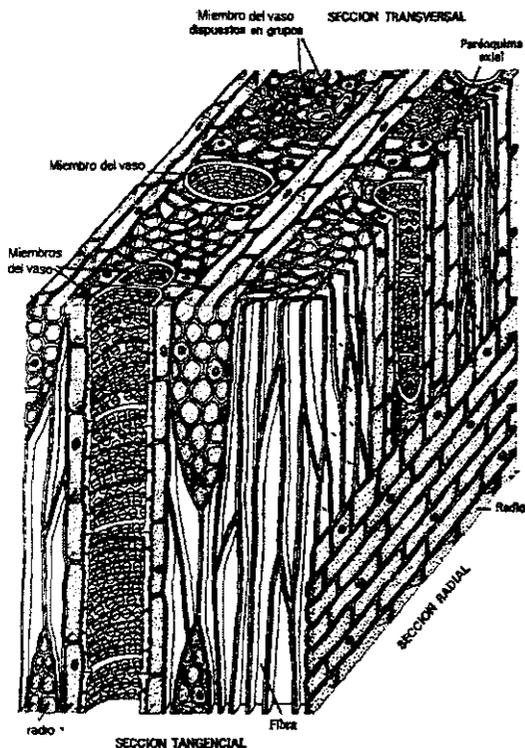


Figura No. 4, Estructura anatómica de maderas latifoliadas

señalada en las coníferas (transporte de líquidos y sostén de la estructura leñosa). ver figura 4.

En el reino vegetal las latifoliadas se hallan en mayor número que las coníferas. (25) Otra diferencia notable de las frondosas es el tamaño de las células que raramente llegan en longitud a 2 mm. (33)

Las maderas duras contienen dos tipos principales de células: las *fibras* de la madera y los *elementos de vasos*; (26) los vasos constituyen entre el 5 y el 60% del volumen de la madera y están

formados por células sin contenido protoplasmático, dispuestas axialmente, cuya característica principal es que las paredes transversales están forma que existe una comunicación perfecta entre una célula y la siguiente. Por otra parte, la comunicación transversal se realiza a través de punteaduras areoladas (si se comunican con fibras o traqueidas) o simples (si se comunican con parénquima), cuyo tamaño es sensiblemente inferior al de las coníferas, siendo raro que superen los 6  $\mu\text{m}$ . Las fibras, traqueidas y fibro-traqueidas, constituyen normalmente el tejido mayor,

aunque puede variar su porcentaje entre el 20 y el 70% del total del volumen de la madera. Por último el parénquima, tanto longitudinal como transversal constituye entre el 6 y el 50% del total del volumen de madera. <sup>(33)</sup> Las fibras de las maderas duras son cortas, de aproximadamente 1mm de largo y 0.03 mm de ancho; la mayoría de las veces poseen poros en forma de ranuras diagonales. Su principal aplicación es la obtención de celulosa para derivados químicos y para papel blanqueado. En las zonas tropicales crecen bosques formados por una gran variedad de especies que representan un enorme potencial maderero. <sup>(26)</sup>

### 3.1 5. Ejes de la madera

Debido a que la madera tiene origen biológico, las características anatómicas, físicas y mecánicas serán diferentes para cada especie y en cada uno de los planos que la forman, como consecuencia de su anisotropía, y sus propiedades, que varían de acuerdo con la dirección del eje o cara en que se vaya a realizar el corte. Fuente: CHAVESTA C.M. (2006).

De esta manera se pueden distinguir tres planos o ejes: transversal, radial y tangencial y la intersección de estos ejes forma las llamadas caras de la madera. <sup>(26)</sup>

Ver figura No. 5.

En la cara transversal se aprecian los límites de las zonas de crecimiento, la disposición de poros (porosidad), abundancia

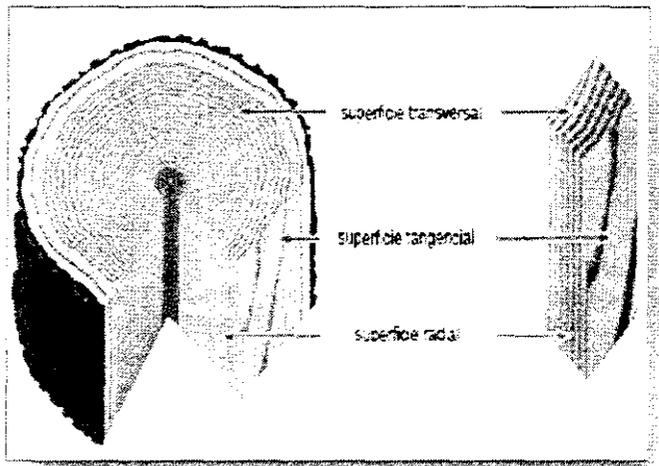


Figura No. 5, Planos de la madera

de los mismos, los tipos de parénquima axial, el ancho y abundancia de radios. En las caras longitudinal, tangencial y radial se determina la visibilidad de las líneas de vasos. Para la tangencial se observan además, la talla, disposición de los radios y su estratificación, en caso de existir. En la radial, aparte de las líneas de vasos, se señala también si se pueden apreciar los radios. <sup>(26)</sup>

### 3.2. Química de la madera

Las propiedades químicas de la madera están determinadas en gran medida por las características que presentan sus constituyentes, que a su vez dependen de la ubicación que tengan dentro de la estructura de la madera y de su complejidad. Esto hace que una especie de madera sea diferente de las demás como consecuencia de la genética y del crecimiento de todo ser vivo. <sup>(26)</sup>

#### 3.2.1. Componentes básicos de la madera

La madera está formada fundamentalmente por celulosa, hemicelulosas y por lignina. A estos componentes químicos principales se les debe añadir además de un ligero porcentaje de otras sustancias llamadas extraíbles y material inorgánico. <sup>(33) (26)</sup>

Todas estas sustancias tienen una proporción muy diferente según especies, pero la proporción en elementos atómicos básica de la madera apenas varía con las especies. <sup>(33)</sup> Ver tabla No. 1.

Tabla No. 1, Componentes básicos de la madera <sup>(33)</sup>

<b>Composición básica de la madera</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Carbono</b>	<b>48.0 al 52.0</b>
<b>Hidrógeno</b>	<b>5.8 al 6.2</b>
<b>Oxígeno</b>	<b>41.5 al 45.5</b>

#### 3.2.2. Extraíbles

Además de la holocelulosa y la lignina, existen otras sustancias en las plantas que varían de manera notable entre las diferentes especies, así como por su ubicación geográfica. La mayoría de estos compuestos son solubles en agua o solventes orgánicos, se denominan *extraíbles* y por lo general solo representan una pequeña fracción de la planta, lo que no limita que sean de gran importancia en las características y propiedades de la misma. El color, olor y flammabilidad de algunas maderas son atribuibles principalmente a sus extractos. <sup>(9)</sup> El tipo de solvente utilizado también afecta la cantidad y calidad del extracto; entre los principales solventes se encuentran el etanol, la acetona, el diclorometano y el éter. <sup>(9)</sup>

El aislamiento de los extraíbles en la madera cumple con las siguientes funciones:

- Determinar la cantidad de extraíbles presentes
- Es una etapa previa en la separación y caracterización posterior de los componentes estructurales de los extractos
- Como pretratamiento en los procedimientos de preparación de alfa, beta y gamma celulosa, polisacáridos no celulósicos y lignina <sup>(26)</sup>

Los ácidos grasos y resínicos, ceras, gomas, grasa, taninos y sustancias colorantes son los extraíbles más importantes aislados con solventes. Los principales componentes de la fracción soluble en agua son carbohidratos, taninos, proteínas y sales inorgánicas. También debe mencionarse que algunos extraíbles son solubles en diversos solventes como los taninos que se solubilizan en agua caliente y en alcohol. Ver figura No. 6.

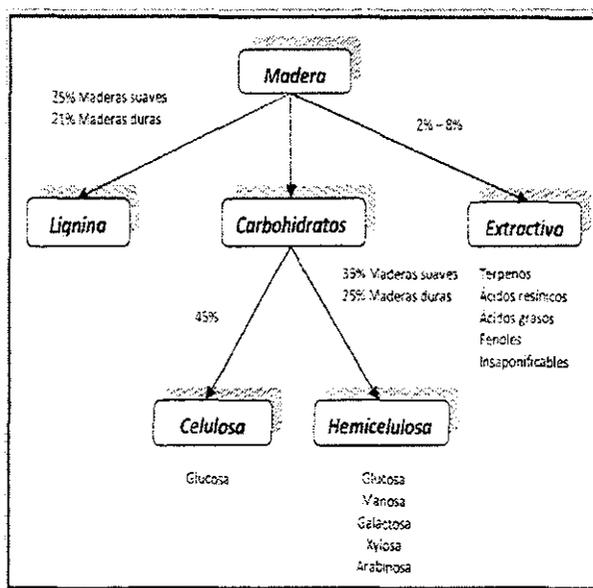


Figura No. 6, Constituyentes químicos de la madera

### **Sustancias de impregnación.**

Son muchos los tipos de sustancias de impregnación que tiene la madera, variables con los tipos de especies. La función de estas sustancias en el árbol es muy compleja, aunque en general están ligadas a prevención de ataques de organismos patógenos. Las sustancias más comunes son las siguientes: Ácidos resínicos, Terpenos, Ceras y Taninos, materias nitrogenadas y sustancias

colorantes. <sup>(33)</sup> En la literatura pueden encontrarse muchos esquemas y secuencias de acuerdo con la solubilidad de las sustancias extraíbles en diversos solventes polares y no polares. <sup>(10)</sup> La extracción con solventes se puede realizar con tolueno, etanol, acetona, diclorometano, éter, solo o combinado.

#### **3.2.2.1 Extraíbles en maderas duras.**

Las maderas duras se caracterizan por tener cantidades muy reducidas de extraíbles, entre los que se encuentran ácidos, fenoles y grasas. Algunos de los monoterpenos son constituyentes de oleorresinas de maderas tropicales, entre los que se encuentra el alcanfor. Escasamente existen sesquiterpenos en las maderas duras. En contraste los triterpenos están presentes en una gran variedad de maderas duras tropicales y de zonas templadas. Los triterpenos y los esteroides pueden persistir después del proceso de pulpeo pero se transforman y degradan durante el blanqueo. <sup>(26)</sup>

#### **3.2.3. Material inorgánico**

Los componentes minerales de los vegetales fibrosos varían mucho entre las diferentes especies, entre los distintos árboles de una misma especie e incluso dentro de un mismo árbol. El contenido de ceniza oscila entre 0.2 y 0.5% en el caso de maderas de zonas templadas, pero con frecuencia es más alto en las maderas tropicales, y aún más elevado en las plantas anuales. Los principales componentes de las cenizas de madera son potasio y calcio, que constituyen hasta el 50% de los cationes en la ceniza; pero también se encuentra magnesio, manganeso, sodio, fósforo y cloro, así como sílice en el caso de bosques tropicales. Los aniones más comunes son los carbonatos, fosfatos, silicatos y sulfatos. <sup>(26)</sup>

Además de la presencia de sustancias extraíbles y material inorgánico, la madera está formada fundamentalmente por celulosa, hemicelulosas y por lignina. Las características más importantes de estas sustancias son las siguientes:

#### **3.2.4. Celulosa**

Es un polisacárido estructural en las plantas ya que forma parte de los tejidos de sostén. La pared de una célula vegetal joven contiene aproximadamente un 40% de celulosa; la madera un 50 %, mientras que el ejemplo más puro de celulosa es el algodón con un porcentaje mayor al 90%. <sup>(26)</sup> Es un polímero lineal homogéneo, polisacárido, formado por unidades de celobiosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) unidos

en número variable entre 7000 a 13000 mediante puentes de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals, lo que justifica su extraordinaria resistencia. <sup>(34)</sup> Ver figura No. 7.

#### 3.2.4.1. Clasificación.

Fracciones resultantes de pulpa celulósica tratada con NaOH. Fracción insoluble llamada *alfa celulosa*, que es celulosa de cadena larga y alto peso molecular. En la fracción insoluble se halla la *beta celulosa*, que se encuentra degradada y con un DP entre 15 y 90 y se precipita al acidificar la solución, y la *gamma celulosa*, que está formada principalmente de hemicelulosas.

#### 3.2.4.2. Propiedades.

La molécula de celulosa tiene una longitud de 5 micras con zonas amorfas y zonas cristalinas. Es

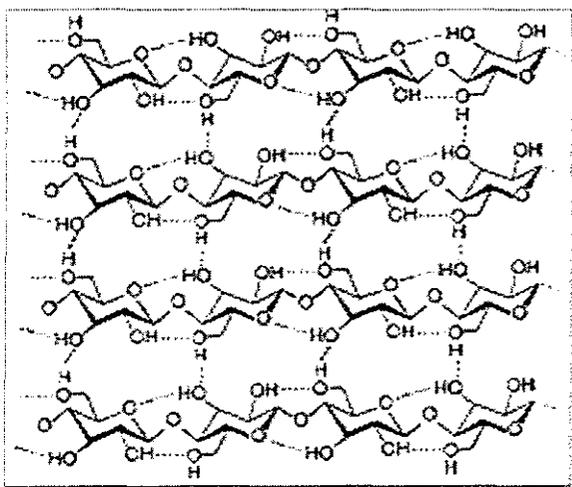


Figura No. 7, Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas (uniones poliméricas) de celulosa.

destacable la existencia de grupos H-C-OH y H-C-CH<sub>2</sub>OH que dan un carácter polar a la celulosa y por tanto a la madera. Estos grupos polares permiten la unión de cadenas entre sí formando las fibrillas elementales. <sup>(33)</sup>

#### 3.2.4.3. Reactividad y accesibilidad.

La morfología de la celulosa tiene un gran efecto en su reactividad.

Los grupos hidroxilo

localizados en las regiones amorfas son altamente accesibles y reaccionan fácilmente, mientras que los que están en las regiones cristalinas con empaque compacto y enlaces fuertes entre las cadenas pueden ser completamente inaccesibles. El grado de cristalinidad depende del origen de la preparación de celulosa.

### 3.2.4.4. Hinchamiento y disolución.

La celulosa se hincha dependiendo del solvente y de la naturaleza de la muestra de celulosa. En el caso de la celulosa nativa con estructura fibrosa tienen lugar cambios morfológicos más o menos drásticos dependiendo de si el hinchamiento es *interfibrilar* o *intrafibrilar*. De manera más general, las diferencias se distinguen en términos de hinchamiento *intercristalino* o *intracristalino*. En el primer caso el agente de hinchamiento entra sólo en las regiones desordenadas, amorfas, (hemicelulosas) de las microfibrillas de celulosa, mientras que en el segundo se penetran las regiones ordenadas, cristalinas (celulosa). Cuando las fibras de celulosa anhidra se exponen a la humedad, absorben agua y la sección cruzada de las fibras se incrementa debido al hinchamiento. A un 100% de humedad relativa este hinchamiento corresponde aproximadamente a un 25% de incremento en el diámetro de la fibra. Se tiene otro incremento de 25% cuando el hinchamiento tiene lugar al sumergir las fibras en agua. <sup>(26)</sup>

La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas impenetrables al agua, lo que hace que sea insoluble en agua, y originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales. Ver figura No. 8.

Las microfibrillas de celulosa en las plantas se encuentran ordenadas, las moléculas se ajustan en

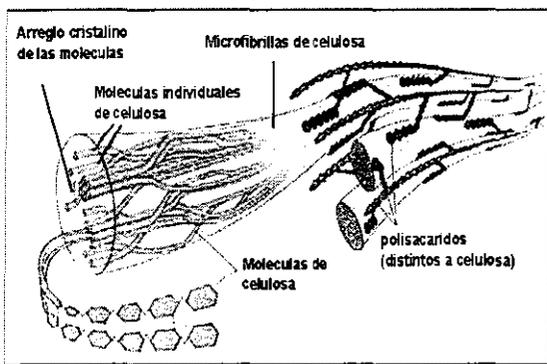


Figura No. 8, Estructura microscópica y submicroscópica de la celulosa

segmentos largos, que dan origen a fuerzas asociativas—del tipo puente de hidrógeno— responsables de la resistencia de los materiales celulósicos, y formando la región cristalina, que es difícil de penetrar por solventes u otros agentes. En contraste, las regiones amorfas son (hemicelulosas) fácilmente

penetradas, lo que ocasiona que sean más susceptibles a reacciones de hidrólisis. Esta propiedad de la celulosa es la responsable de que las moléculas y en consecuencia las micelas, las

microfibrillas y fibras- tengan características de resistencia influenciadas por las zonas cristalinas, y que, debido a las zonas amorfas, las fibras sean flexibles.<sup>[26]</sup>

### 3.2.4.5. Estructura química de la celulosa.

La celulosa es el componente estructural de mayor interés en las paredes celulares de las plantas. Existe en las paredes celulares en forma de fibras largas y filamentosas (microfibrillas). En la madera las microfibrillas están embebidas en una matriz de hemicelulosas (polisacáridos) y lignina amorfa, materiales no celulósicos que le suministran la rigidez y la resistencia mecánica necesarios para la planta. .<sup>[6]</sup> Ver figura 9.

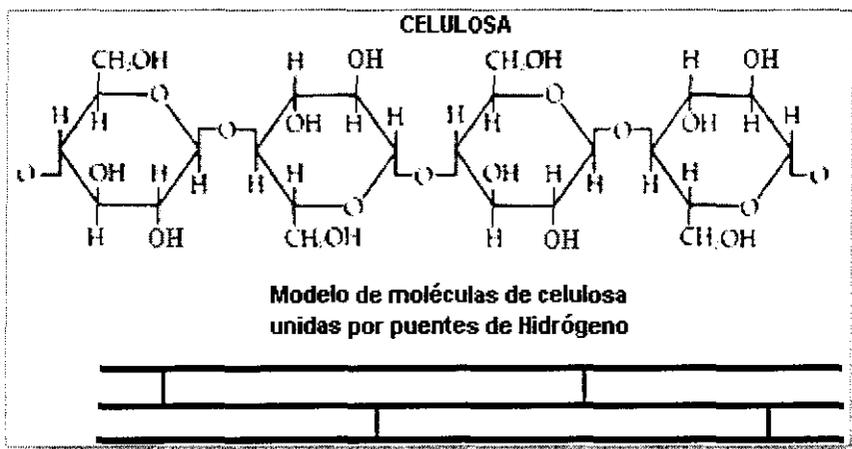


Figura No. 9, Molécula de celulosa.

La celulosa es insoluble en todos los disolventes comunes y se separa fácilmente de los demás componentes de las plantas. Los tejidos vegetales contienen cierta cantidad de carbohidratos no celulósicos que, al igual que la celulosa, sirven como material de soporte de la pared celular de las plantas. Estos materiales no celulósicos se pueden eliminar mediante distintos tratamiento químicos. Estos carbohidratos no celulósicos están constituidos fundamentalmente por azúcares del tipo pentosas y hexosas. Los diferentes azúcares polimerizan entre sí y forman polisacáridos heterogéneos como la glucomanana. A estos polímeros, en conjunto, se les denomina hemicelulosas.

### 3.2.5. Hemicelulosas

Se le designa a los polisacáridos de la pared celular de las plantas, con excepción de la celulosa y de los componentes de la pectina.<sup>(6)</sup> Las hemicelulosas son generalmente insolubles en agua, solubles en álcali y más fácilmente hidrolizables en ácido que la celulosa, con lo que se obtienen sus componentes monoméricos que constan de D-glucosa, D-manosa, D-xilosa y L-arabinosa, entre otros. Ver figura No. 10

Al igual que la celulosa es un polímero lineal polisacárido en donde la unidad es muy variable. El grado de polimerización es mucho más pequeño que en la celulosa (y por tanto su resistencia), siendo solo de entre 70 y 200 unidades.<sup>(33)</sup> Estructuralmente, se diferencian de la celulosa en que no son fibras, están ramificadas y tienen masas moleculares más bajas. Después de la celulosa, las hemicelulosas son los materiales orgánicos más abundantes en la naturaleza. Se utiliza el término holocelulosa para referirse al total de los carbohidratos – celulosa y hemicelulosas- contenidos en las materias primas vegetales fibrosas o en la pulpa misma. En las angiospermas –maderas duras- la hemicelulosa predominante está constituida de xilosa acetilada parcialmente (4-O-metilglucurono) con pequeñas cantidades de glucomanana. 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.

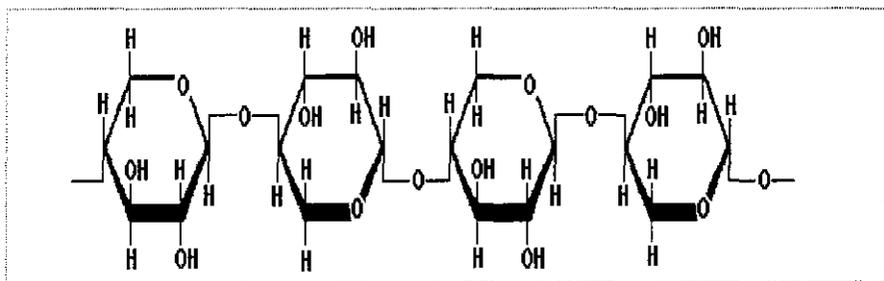


Figura No. 10, Molécula de hemicelulosas.

### **3.2.5.1. Hemicelulosas de maderas duras.**

Aunque las hemicelulosas de varias especies de maderas duras difieren entre sí de manera cualitativa y cuantitativa, el principal componente es un O-acetil-4-O-metilglucurono-  $\beta$ -D-xilano, algunas veces llamado glucuronoxilano. Con frecuencia, las hemicelulosas de maderas blandas y duras que se basan en xilosa se denominan xilanas.

Los enlaces xilosídicos entre las unidades de xilosa son fácilmente hidrolizables con ácidos, mientras que las uniones entre los grupos de ácido urónico y la xilosa son muy resistentes. Los grupos acetilo se separan con facilidad mediante álcalis, por lo que en el pulpeo kraft de madera se forman grupos acetato. Estos grupos se hidrolizan muy lentamente dentro del árbol vivo para formar ácido acético. La glucomanana junto con las xilanas, las maderas duras contienen de 2 a 5% de glucomananas, que se componen de unidades  $\beta$ -D-glucopiranosas y  $\beta$ -D-manopiranosas con uniones 1-4.

*Desde el punto de vista químico.* La presencia de hemicelulosas puede y es una indicación de zona amorfa en áreas adyacentes o en la pared de la fibra, constituyendo una zona débil. Por otro lado, las hemicelulosas proveen más grupos polares para atraer agua. Las zonas débiles hacen a la fibra más susceptible de producir la fibrilación externa e interna, producto del tratamiento mecánico de refinación. Esta es, probablemente, la razón principal de por qué en las pulpas que contienen mayor porcentaje de hemicelulosas se logra una considerable disminución del tiempo de refinación, para lograr los mismos efectos que en las pulpas bajas en hemicelulosas. <sup>(5)</sup>

### **3.2.6. Lignina**

Es un polímero tridimensional amorfo compuesto de unidades de fenilpropano C6 – C3. No dispone de grupos polares, lo que le da un carácter hidrófobo a la madera. Es una sustancia bastante inerte, existiendo escasos organismos que se alimenten de ello, lo que sin duda proporciona gran durabilidad a la madera, más cuanto mayor sea el contenido en esta sustancia.

#### **3.2.6.1. Estructura química de la lignina.**

Es un polímero aromático heterogéneo que forma parte de los tejidos de sostén de los vegetales. Su principal función es formar la lamela media, que adhiere las fibras unas con otras; debido a su carácter hidrofóbico, favorece el flujo de agua hacia la parte superior. Así mismo, la lignina es uno de los componentes principales de la madera, y constituye del 20 al 30% de la materia orgánica del

reino vegetal, la lignina es el polímero natural más importante, después de la celulosa, en los vegetales superiores; los hongos, los líquenes y las algas no están lignificados. <sup>(25)</sup>

La lignina está constituida principalmente por unidades de fenilpropano, enlazadas en tres dimensiones. La unidad de fenilpropano consta básicamente de un anillo aromático y de una parte alifática – cadena lateral – de tres átomos de carbono, denominados.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Ver figura 11

Actualmente las ligninas pueden dividirse en varias clases de acuerdo con sus elementos estructurales. La lignina llamada guayacilo, que se encuentra en casi todas las maderas blandas, es un producto de polimerización del alcohol coniferílico; a su vez, la lignina siringilo, típica de las maderas duras, es un copolímero de alcoholes coniferílico y sinapílico, en una relación que varía de 4:1 a 1:2 para las dos unidades monoméricas. Ver figura 12

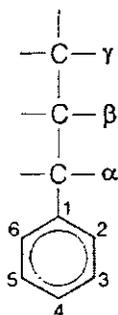


Figura No. 11, Unidad fenilpropano <sup>(26)</sup>

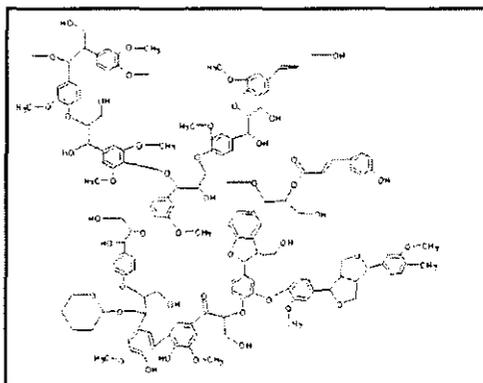


Figura No. 12, Estructura general de la lignina

Debido a la naturaleza, la lignina es insoluble en la mayoría de los solventes orgánicos, por lo que su aislamiento de la madera está acompañado de cambios moleculares marcados. Debe tenerse en mente que el término lignina se refiere a un constituyente de la madera que tiene composición química similar en las diferentes especies de plantas pero con diferencias estructurales. La concentración de lignina es alta en la lamela media y menor en la pared secundaria de la célula; la masa molecular promedio de la lignina que se obtiene en el pulpeo de maderas blandas es de aproximadamente 20,000. <sup>(26)</sup>

### **3.3. Procesos de obtención de celulosa**

Para el estudio del proceso de pulpeo es importante conocer la estructura anatómica de la madera, ya que ésta influye en la penetración de los reactivos, por lo que afecta el curso de las reacciones mediante las cuales se obtiene la pulpa. <sup>(26)</sup>

Para la obtención de fibras celulósicas es un campo que consta de ciertas fases que lo distinguen de otros procesos de conversión y estas se refieren a las propiedades y comportamiento de las materias primas fibrosas y de los productos que de ellas se derivan. <sup>(9)</sup>

Por medio de varios procesos de obtención de pulpas celulósicas, la madera y otras plantas fibrosas se convierten en fibras para la fabricación de papel. Dependiendo de la maquinaria y acción utilizadas, se puede decir que los materiales vegetales se muelen, cuecen, digieren, desfibran, deslignifican, o se refinan para convertirse en pulpas celulósicas. <sup>(9)</sup>

Debido al objetivo primario en la producción de pulpa que consiste en la liberación de fibras celulósicas, deberá entenderse que la producción de pulpa es el arte consistente en eliminar la lignina de los tejidos de las plantas leñosas. La deslignificación es la meta más importante en la producción de pulpa. Además, la lignina experimenta cambios químicos más severos durante la producción de pulpa que la celulosa. Por tal razón, es evidente que una buena comprensión de la estructura de la lignina, su razón de ser, sus funciones en el árbol, sus propiedades físicas y químicas, y su conducta reactiva son de la mayor importancia cuando se trata de comprender y de controlar en forma racional los procesos orientados a la producción de pulpa.

La producción de pulpa se logra por medios químicos o mecánicos, o mediante combinaciones de los dos procesos. En la producción mecánica de pulpa los integrantes químicos originales del material fibroso quedan inalterados, excepto por la eliminación de los solubles en agua. La producción química de pulpa tiene como objetivo la eliminación selectiva de la lignina que une las fibras, eliminación variable en grado, con ataque mínimo a las hemicelulosas y las celulosas.

### 3.3.1. Métodos de pulpeo

La obtención de pulpa consiste en la eliminación de lignina, resinas y otras impurezas a través de distintos métodos que generan diferentes tipos de pulpa:

- **Pulpas mecánicas.** Se aprovecha hasta el 95% de la madera, pero daña mucho la fibra y cuenta con grandes cantidades de impurezas, por lo que se producen papeles amarillos, poco resistentes y poco permanentes (papel periódico).
- **Pulpas termomecánicas.** Se agrega presión y temperatura a las astillas en grandes cantidades de agua. Después se someten a un tratamiento mecánico de refinado, lo que ayuda a que las fibras se separen con mayor facilidad. Los papeles elaborados con este tipo de pulpas son parecidos a los de pulpa mecánica pero son de mayor calidad pues la fibra se daña menos.
- **Pulpas semiquímicas.** Es el mismo proceso que en las termomecánicas, pero se agrega un agente alcalino, que al saponificar las resinas de la madera, ayuda a la separación de las fibras.
- **Pulpas químicas.** En estas se busca eliminar mayor cantidad de lignina y resinas, para ayudar al desfibrado, aumentando así la calidad y brillantez (blancura) del papel. Dado que en los procesos de cocción químico y semiquímico se disuelven total o parcialmente la lámina media y la pared primaria, prácticamente se podría decir que el papel está compuesto de capa S2.

Existen métodos clásicos de cocción o extracción de lignina que se han utilizado para aislar eficientemente de una gran cantidad de especies. Sin embargo, los métodos no son reproducibles entre diferentes grupos de plantas y proporcionan lignina en cantidad variable.

### 3.3.2. Procesos químicos de obtención

El principio de los procesos químicos es separar los tres componentes principales de la materia prima vegetal, es decir, la celulosa, las hemicelulosas y la lignina.

El objetivo del proceso de obtención de pulpa es la separación de fibras de celulosa de la madera en condiciones tales que en la fibra se produzcan propiedades comercialmente deseables. Esto se

logra solubilizando la capa de lignina que rodea a las fibras. Frecuentemente, las propiedades deseadas en las fibras están ligadas con la eliminación de lignina y con la mínima degradación química de la celulosa. Es importante señalar, que la condición final de las fibras depende mucho de los tratamientos para obtención de pulpa. <sup>(9)</sup>

### 3.3.3. Clasificación de los procesos

Los métodos químicos se dividen en ácidos o alcalinos dependiendo del pH del reactivo. Los procesos *ácidos* son más fuertes donde la separación de la celulosa es mejor y se pueden aplicar para fines químicos y para obtener papeles de buena calidad. Tienen el inconveniente de no poder emplear maderas resinosas, pues a pH bajos los fenoles y ácidos de las resinas se condensan con la lignina formando complejos insolubles y coloreados que manchan la pasta. Por el contrario, en los métodos alcalinos, esas sustancias se eliminan en las lejiás residuales en forma de sales o fenolatos solubles.

Los procesos *alcalinos* están representados específicamente por el proceso kraft (al sulfato) y el proceso a la sosa. La diferencia entre los procesos consiste en sustituir la pérdida de reactivos en el sistema de recuperación por sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) en el caso del proceso al sulfato y de carbonato de sodio o sosa cáustica, en el proceso a la sosa. El licor del proceso al sulfato contiene como reactivo, sosa cáustica y sulfuro de sodio. La presencia de este último se traduce en una acción más suave, en un rendimiento ligeramente mayor y en pasta más fácilmente blanqueable que la preparada por el procedimiento a la sosa. Entre los procesos comerciales se encuentran:

- El proceso a la **sosa**, el primero entre los procesos químicos, no se incluye ya en las estadísticas de la industria, aún cuando sigue aplicándose este proceso en escala muy reducida.
- El proceso al **sulfito** es utilizado desde 1866, se trata de un proceso ácido, que permite la eliminación de la lignina, pero no de las resinas.
- El proceso al **sulfato o kraft** fue el último que se inventó (1879) entre los procesos estrictamente químicos de obtención de pulpa, pero durante casi 100 años de existencia la producción de pulpa ha llegado a dominar en Estados Unidos, alcanzando un nivel casi de 70% de la producción total de pulpa. De uso común para 1909 es un proceso alcalino y permite eliminar lignina, resinas y hemicelulosa, además de dañar menos a la fibra que el proceso al sulfito, generando así papeles más resistentes. <sup>(10)</sup>

### 3.3.4. Generalidades de la deslignificación

*Separación de fibras.* Las fibras se mantienen unidas en la madera y materiales fibrosos naturales, por medio de fuerzas adhesivas propias de los polímeros intercelulares (lignina y carbohidratos). La lignina actúa como un adhesivo de las fibras celulósicas y durante la mayoría de las reacciones que se presentan en la obtención de pulpas (por procesos químicos), se eliminan simultáneamente componentes diferentes de la lignina.

En la obtención de pasta mecánica (sin eliminación de lignina), la separación de las superficies ocurre tanto entre las fibras como a través de las paredes de las mismas. Se comprende entonces que el carácter de la pulpa depende de la forma y cantidad de energía suministrada para lograr la separación o subdivisión. Se utiliza energía química, mecánica, o una combinación de ambas.

Por lo general cuando se suministra energía química, se obtienen fibras completamente separadas, en tanto que en la obtención de pulpas mecánicas y semiquímicas (combinación de procesos mecánicos y químicos), se producen fibras enteras, haces de fibras, fibras maltratadas y fragmentos de fibras. Con los diversos métodos de que actualmente se dispone para repartir las dos formas de energía, se pueden obtener pulpas de propiedades bastante diversas.

En los procesos químicos (kraft y sulfito), la deslignificación se logra por la introducción de grupos polares azufrados en la molécula de lignina, con lo que ésta se degrada parcialmente y se solubiliza. En el proceso a la sosa-, la reacción dominante es la eliminación del grupo hidroximetilo de la metilquinona con la formación de grupos hidroxilo fenólicos libres.

La lignina presente en los materiales fibrosos no puede disolverse completamente en la cocción porque la velocidad de degradación de los carbohidratos en la fase final excede a la velocidad de deslignificación. El contenido de lignina residual en las pulpas químicas que se van a blanquear varía de 2 a 5% y está relacionada con el grado de blancura.

La lignina existe en grandes cantidades en la lamela media del tejido de xilema, es decir, en la capa intermedia del tejido situado entre fibras o células adyacentes. En menor grado, la lignina está distribuida en la matriz de las fibras celulósicas que comprende la pared celular secundaria. Parece probable que la lignina exista en la madera en forma de una red polimérica infinita y que esté químicamente combinada con los carbohidratos. Para efectuar la eliminación de la lignina, es necesario que el reactivo llegue a los sitios de reacción.

### **3.3.5. Diferencias entre coníferas y latifoliadas.**

La pulpa producida a partir de diferentes tipos de madera varía considerablemente en el tiempo de cocción requerido y en resistencia. Las maderas de árboles hojosos, o maderas duras, tienen una longitud de fibra mucho menor y contienen menos lignina que las maderas de coníferas. En condiciones similares, las maderas duras se cuecen (la lignina se separa) en menos tiempo que las maderas de coníferas. Las dimensiones de la fibra de la pulpa determinan sus características de resistencia; las pulpas de fibra larga, de las coníferas, son más resistentes que las pulpas de fibra corta, de maderas duras. Asimismo, debido al porcentaje más bajo de lignina en las maderas duras, de su cocción se puede esperar un mayor rendimiento y un menor contenido de lignina en las pulpas.

### **3.3.6. Proceso de cocción kraft**

La principal razón de utilizar el sulfato es la versatilidad en el empleo de diferentes materias primas, aunado a las mejores propiedades físico-mecánicas de estas pulpas.

El proceso kraft proviene del pulpeo a la sosa; en 1883, el químico alemán Karl Dahl encontró que cuando la pérdida de álcali en el proceso a la sosa se reemplaza con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en lugar de carbonato de sodio, el sulfato se reduce a sulfuro durante la incineración del licor negro.

A este proceso se le ha dado el nombre de *kraft* (en alemán y sueco significa “fuerte”) por que las pulpas producidas son muy resistentes, particularmente cuando la cocción se termina mientras el contenido de lignina es alto. El proceso kraft es superior al pulpeo al sulfito, sobre todo en los siguientes puntos:

#### **3.3.6.1. Ventajas del proceso kraft o al Sulfato**

- Puede usarse cualquier especie de madera, lo que provee flexibilidad en el suministro de la misma
- Pueden tolerarse cantidades sustanciales de corteza en las astillas
- Los tiempos de cocción son cortos
- La pulpa tiene una excelente resistencia
- El proceso de recuperación de reactivos del licor negro está bien establecido

Estos factores son responsables del rápido crecimiento, desde principios de la década de 1930, del proceso kraft hasta llevarlo al lugar que ocupa actualmente.

### 3.3.6.2. Aspectos químicos del proceso kraft

Las reacciones que tienen lugar durante la cocción involucran la hidrólisis y hemicelulosas, simultáneamente, muchas de las sustancias extraíbles—como grasa y resina—se saponifican y

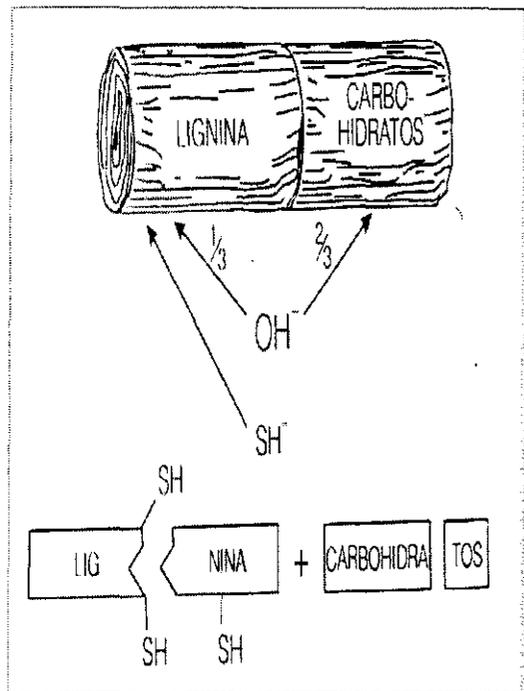


Figura No. 13, Diagrama de la acción de los reactivos sobre los constituyentes de la materia prima <sup>(26)</sup>

disuelven en el licor de cocción, extrayéndose después en la recuperación de subproductos como tall-oil. El agente de cocción activo son la sosa y el sulfuro de sodio. Ver figura No. 13.

Los iones sulfuro presentes en el licor blanco reaccionan con la lignina, pero la mayoría de los fragmentos azufrados se descomponen en etapas posteriores liberando azufre, que se combina con los iones hidrosulfuro y forma polisulfuro.

Sin embargo, la lignina *kraft* aún contiene de 2 a 3% de azufre, que corresponde al 20 o 30% de la carga. Por otra parte, los  $\text{OH}^-$  atacan tanto a la lignina como a los carbohidratos.

En el proceso kraft se ataca a los carbohidratos a una temperatura relativamente baja, lo que ocasiona que los grupos acetilo se eliminen completamente antes de que se alcance la temperatura máxima de cocción. La reactividad de los polisacáridos varía dependiendo de su accesibilidad y de su estructura, por ejemplo debido a que la celulosa es de naturaleza cristalina y tiene un alto grado de polimerización, sufre menos pérdidas que las hemicelulosas. <sup>(26)</sup>

### 3.3.6.3. *Deslignificación del proceso kraft.*

La disolución de la lignina puede dividirse en tres fases: la *fase inicial* comienza a una temperatura inferior a la del proceso y está controlada por la difusión, cerca de la temperatura de cocción la velocidad de deslignificación está controlada por reacciones químicas y se acelera al incrementar la temperatura. La velocidad de disolución de la lignina permanece alta durante esta *fase de deslignificación masiva*, que dura hasta que se ha disuelto cerca del 90% de la lignina. La fase final, lenta, se denomina *deslignificación residual*.

Las hemicelulosas, tanto del tipo xilanas como del tipo glucomananas, se degradan por la acción alcalina. Las primeras son más resistentes a los álcalis que las segundas, por otra parte, la glucomanana en la hemicelulosa de madera suave es totalmente susceptible al licor alcalino, por lo que la disolución y descomposición de este constituyente químico es la razón principal de los bajos rendimientos que se obtienen con el proceso kraft en comparación con el sulfito en la producción de pulpa de maderas suaves. <sup>(26)</sup> El licor de cocción al sulfato consiste de hidróxido de sodio y una cierta cantidad de sulfuro de sodio.

La presencia de sulfuro de sodio en el licor de cocción, no solo causa una disolución más selectiva de la lignina sino que también mejora la calidad de la pulpa.

### 3.3.6.4. *Variables de cocción*

Existen diversos factores variables que determinan la calidad final de la pulpa de madera, entre estos, se encuentran:

- Especie y calidad de la madera
- Tiempo de digestión
- Temperatura de digestión
- Sulfidez del licor
- Relación de productos químicos a madera
- Concentración del reactivo de cocción

### **3.3.6.5. Reacciones con los extraíbles.**

La resina y los ésteres de ácidos grasos de la madera se saponifican (esterifican) durante la cocción alcalina. Y hasta cierto punto se forman coloides y emulsiones en el licor negro. La resina de la madera cambia considerablemente durante el proceso de cocción.<sup>(26)</sup>

### **3.3.6.6. Reacciones de la lignina en los procesos alcalinos (kraft, sosa)**

Al igual que en el proceso al sulfito, la fragmentación de la lignina depende de la ruptura de los enlaces éter, mientras que las uniones carbono-carbono permanecen prácticamente estables. La presencia de los iones hidrosulfuro facilita en gran medida la deslignificación debido a su alta nucleofilicidad en comparación con los iones hidroxilo. La ruptura de los enlaces éter, favorecida por los iones  $\text{HS}^-$  y  $\text{OH}^-$  también aumenta la hidrofiliidad de la lignina por la liberación de grupos hidroxilo fenólicos. La lignina degradada se disuelve en el licor de cocción como fenolatos de sodio. En el proceso a la sosa-, la reacción dominante es la eliminación del grupo hidroximetilo de la metilenquinona con la formación de grupos hidroxilo fenólicos libres.

### **3.3.7 Proceso de cocción a la Sosa**

Actualmente, la industria de la pulpa y del papel utiliza un rango más amplio de especies de madera y materiales vegetales que en años anteriores. Cantidades mucho menores de maderas duras, que las que actualmente se están consumiendo, se transformaban en pulpa por el proceso a la sosa (fuente de fibra corta y voluminosa). Bajo las condiciones iniciales de utilización limitada de especies, las pulpas se clasificaban simplemente en mecánica, al sulfito, a la sosa y kraft (al sulfato).

El proceso a la sosa para la fabricación de pulpa química de madera fue invención de un inglés, Hugh Burgess. En 1851, método por el cual obtuvo una buena pulpa hirviendo madera en álcali cáustico a una temperatura alta. Produce fibras cortas y fácilmente blanqueables pero abundantes en pentosas. También se emplea el método a la sosa tradicional en especies fácilmente delignificables como en el caso de las pajas de cereales. Las plantas no maderables más importantes para la industria de pulpa y papel son los desechos agrícolas (bagazo y paja), en los que normalmente se emplea el proceso a la sosa.

El reactivo principal en este proceso es el hidróxido de sodio (NaOH) en solución con una concentración variable en el licor de cocción. Las pulpas producidas por este proceso se utilizan para la fabricación de papeles finos, de escritura y para mezclarlas con otras pulpas.

Debido a que las plantas no maderables se impregnan con facilidad y tienen un contenido bajo de lignina reactiva, la cantidad de reactivos que se necesita es menor que en el pulpeo de madera. Para el proceso a la sosa se requiere de 10 a 15% de NaOH referido al material fibroso base seca y una temperatura de 160 a 170°C. El rendimiento es de 40 a 55% y depende en gran medida del tipo y calidad de la materia prima, especialmente del contenido de lignina y de la proporción de células de parénquima. Ver Tabla No. 2.

En el caso de un contenido muy alto de parénquima no sólo afecta el rendimiento, sino también el consumo de álcali, disminuye la resistencia de la pulpa y aumenta el contenido de finos, con lo que baja drásticamente la drenabilidad. Por esta razón, a algunos materiales se les elimina previamente las células de parénquima antes de la cocción (ej. bagazo de caña).<sup>(26)</sup>

Generalmente este proceso se estudia en conjunto con el proceso kraft por la similitud de sus condiciones y las reacciones que con los componentes de la madera ocurren.

Tabla No. 2. Condiciones promedio de una cocción a la sosa para maderas duras.

<i>Rango de pH</i>	13 - 14
<i>Base</i>	Na+
<i>Químicos activos</i>	OH <sup>-</sup>
<i>Temperatura máxima °C</i>	155 - 175
<i>Tiempo a temperatura máxima (hrs)</i>	1 - 2
<i>Rendimiento (%)</i>	40 - 50
<i>% de reactivos</i>	15 - 20

### 3.3.8 Proceso al Sulfito ácido

En 1857 el químico estadounidense Benjamin Tilghman encontró que podía producirse pulpa tratando madera a temperaturas y presiones elevadas con soluciones de ácido sulfuroso y bisulfito. Este proceso se continúa usando principalmente para producir pulpas útiles en la fabricación de productos como rayón, pulpas para papel periódico, higiénico, entre otros.

Generalmente no se pierde celulosa en el proceso al sulfito ácido, y las pérdidas de hemicelulosas son más altas para las maderas duras que para las blandas.<sup>(26)</sup>

El proceso al sulfito se caracteriza por cubrir casi todos los valores de pH. En la cocción se utiliza fundamentalmente una mezcla de ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) y de ion bisulfito ( $\text{HSO}_3^-$ ) para degradar y solubilizar la lignina.

Las principales razones por las que el proceso al sulfito alcanzó un gran éxito en el siglo pasado fueron:

- Buen rendimiento
- Blancura alta aún sin blanquear en comparación con el proceso kraft
- Blanqueo de las pulpas con agentes relativamente simples y disponibles en ese tiempo

#### **3.3.8.1. Desventajas del proceso al sulfito**

- El contenido de  $\text{SO}_2$  libre hace difícil pulpear maderas resinosas y astillas con corte
- Los ciclos de cocción son largos debido al calentamiento y a los periodos de alivio que se requieren
- La enorme presión parcial del dióxido de azufre origina pérdidas frecuentes y contaminación atmosférica, con olores desagradables dentro y fuera de la planta
- La pulpa, aunque puede refinarse fácilmente, tiene baja resistencia en comparación con la que se obtiene de otros procesos

#### **3.3.8.2. Deslignificación en el proceso al Sulfito Ácido**

El mecanismo de reacción en el pulpeo mediante el estudio de los enlaces que constituyen la molécula de lignina. En el pulpeo al Sulfito Ácido se rompen rápidamente los enlaces de los grupos alfa-hidroxilo y alfa-éter de la lignina, con lo que se forman iones bencilo.

Durante el pulpeo al sulfito ácido, la lignina puede condensarse con los extractivos fenólicos reactivos, como, por ejemplo, la pinosilvina y su éter monometilo.

Una forma común de evitar las reacciones de condensación consiste en elevar lentamente la temperatura de 130 a 140°C y tener un tiempo de cocción largo, de seis a ocho horas. Las reacciones más importantes que tienen lugar durante la cocción al sulfito son:

- El ácido sulfuroso libre se combina con la lignina para producir ácido lignosulfónico, que se solubiliza

- Mediante reacciones de hidrólisis, la lignina sulfonada se transforma en fragmentos moleculares más pequeños y solubles
- Las hemicelulosa se hidrolizan en azúcares solubles

### 3.3.8.3 Acción de los reactivos sobre los constituyentes de la materia prima

El  $H^+$  rompe los enlaces éter haciendo más pequeña a la molécula de lignina y atacando los carbohidratos. Por su parte, el  $HSO_3^-$  también ataca a la molécula de lignina haciéndola soluble y previniendo la condensación de unidades más pequeñas. <sup>(26)</sup> Ver figura No. 14

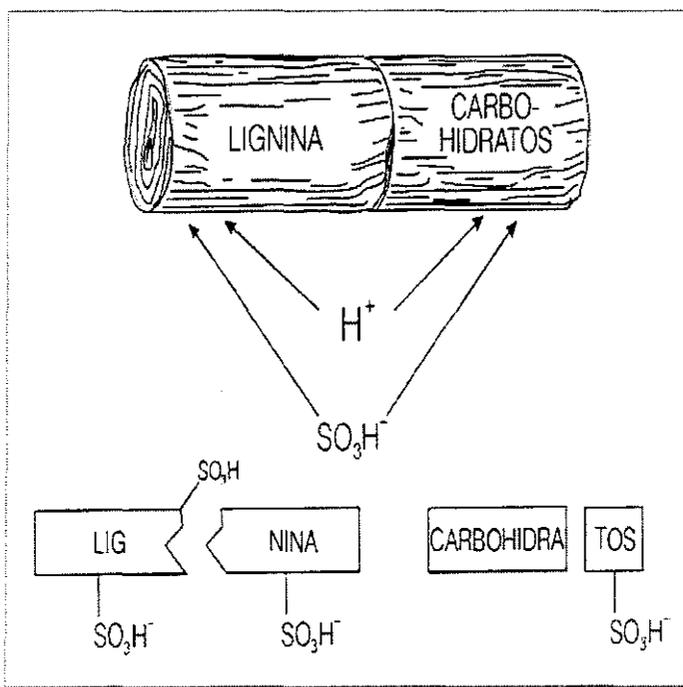


Figura No. 14, Diagrama de la acción de los reactivos sobre los constituyentes de la materia prima <sup>26)</sup>

#### **3.3.8.4 Reacciones con los carbohidratos en el proceso al sulfito**

Puesto que los enlaces glucosídicos son fácilmente rotos por ácidos, no puede evitarse la depolimerización de los polisacáridos durante el pulpeo al sulfito ácido. El ataque a las hemicelulosas es más fácil que a las celulosas debido principalmente a su estado amorfo y a su bajo grado de polimerización, y también al hecho de que la mayoría de sus enlaces glucosídicos son también más lábiles para la hidrólisis ácida que los enlaces glucosídicos de la celulosa. Cuando la hidrólisis ocurre bastante rápido, las hemicelulosas degradadas se disuelven en el licor de cocción y gradualmente se hidrolizan a monosacáridos. Aunque la celulosa también se depolimeriza durante el pulpeo, prácticamente no hay pérdidas a menos que la designificación se extienda a contenidos muy bajos de lignina (pulpa para disolución).

Este proceso se continúa usando principalmente para producir pulpas útiles en la fabricación de productos como rayón, pulpas para papel periódico, higiénico, etc. <sup>(26)</sup>

#### **3.4 Desarrollo de la fibra**

En general, las propiedades de las fibras celulósicas mejoran cuando se ha eliminado la mayor parte de lignina. Las propiedades también se optimizan mediante la refinación, que elimina la pared primaria de las fibras y le permite hidratarse e hincharse, incrementando su flexibilidad y poder de unión. <sup>(26)</sup> La refinación es un trabajo mecánico que se da a las fibras fibrilación interna y externa, las corta e hidrata, con lo que se mejoran las propiedades del papel. La fibra con ayuda de los refinadores se fibrila internamente con lo que adquieren flexibilidad, además de fibrilarse externamente formando sobre su superficie fibrillas adheridas para incrementar la posibilidad de unión con otras fibras. <sup>(9)</sup>

Desde el punto de vista de la fabricación del papel, las propiedades importantes de una pulpa son: 1, la morfología de la fibra; 2, la cantidad y distribución de los constituyentes químicos de las fibras de la pulpa; y 3, la forma, tamaño, distribución y características físicas de la pulpa. Las dos primeras propiedades dependen de la materia prima utilizada para obtener la pulpa, así como del tipo de proceso de digestión. La tercera propiedad, referente a las características físicas de las fibras de la pulpa, también depende de estos factores, pero queda determinada ulteriormente por medio del proceso de preparación o tratamiento mecánico de la fibra. <sup>(9)</sup>

### **3.4.1 Refinación de la pulpa**

Las fibras celulósicas deben sujetarse a tratamiento mecánico antes de que puedan convertirse en papel. El tratamiento puede aplicarse en varias maneras diferentes, pero ordinariamente incluye una acción de machacamiento, frote o aplastamiento de las fibras como la refinación. Batido es el término utilizado en la industria del papel para describir la operación de tratamiento mecánico de una pila de batido. El batido es probablemente el proceso fundamental más importante en la fabricación de papel. El papel hecho a partir de pasta sin batir es bajo en resistencia, con pelusa, poroso e inapropiado para la mayoría de los usos, en tanto que el papel hecho a partir de pasta batida es resistente, denso y de textura rígida. Las fibras bien batidas pueden formar fácilmente una hoja uniforme de papel, de densidad bastante alta, cosa que no sucede con las fibras sin batir. Por lo tanto es esencial examinar el efecto del batido y refinación en las fibras para caracterizar su calidad.

Los principales efectos del batido o refinación son físicos, y entre las más importantes están las siguientes: fractura y separación parcial de la pared primaria de la fibra, disminución en la longitud de la fibra, aumento en la flexibilidad, formación de fibrilas (fibrilación), y aumento en la superficie específica externa de la fibra.

La formación y la estructura de una hoja de pulpa o papel están influenciadas por la posibilidad que cada fibra tiene de unirse a las demás, a medida que el agua se elimina de la suspensión fibrosa. La refinación o batido es un trabajo mecánico que se da a las fibras para separarlas y de esta manera fibrillarlas, cortarlas e hidratarlas, con lo que se mejoran las pruebas de resistencia y calidad.

Las pulpas responden de diferente manera a un tratamiento de refinación dado; generalmente las pulpas kraft son más difíciles de refinar que las pulpas al sulfito, y con las pulpas a la sosa se tiene el consumo de energía más bajo. Las pulpas sin blanquear son más difíciles de refinar que las pulpas blanqueadas.

#### **3.4.1.1. Factores que afectan la refinación**

*Temperatura.* La refinación, al ser un trabajo mecánico a base de presión y fricción de dos metales sobre la fibra, produce calor, el cual va aumentando gradualmente la temperatura, que puede llegar a algunos casos hasta 70 °C. Un aumento de la temperatura de la pulpa durante la refinación

puede tener consecuencias negativas, ya que la hidratación de las fibras se ve disminuida y el fenómeno de corte favorecido, lo que ocurre porque al no hidratarse adecuadamente las fibras se hinchan menos, provocando que éstas sean menos flexibles y plásticas. El aumento en la dificultad de la refinación por la rigidez de las fibras ocasiona un aumento en el consumo de energía. Cuando una pulpa sobrepasa los 40 °C, entra en la "fase crítica", llamada así porque trae consigo los problemas antes mencionados.

*Consistencia de la pulpa.* La tendencia actual es producir una refinación a alta consistencia en la suspensión fibrosa. El objetivo de trabajar a concentraciones elevadas es para obtener un trabajo mecánico más eficiente sobre la fibra, cuando una pulpa se refina a baja consistencia, el contacto entre las cuchillas del área de refinación es más constante, lo que no sucede si la operación mecánica se realiza sobre la pulpa a alta consistencia. <sup>(26)</sup>

#### **3.4.1.2. Efectos de la refinación en las propiedades de la fibra**

Los procesos de batido y refinación afectan invariablemente el largo de la fibra y su distribución. El efecto de estas operaciones rompe la pared primaria de la fibra, y la primera capa de la pared secundaria. Por tanto, la acción del batido y refinado pueden verse como una reducción del largo de la fibra por corte de la misma, una separación de las capas por hendidura de la fibra, y una separación de las fibrilas en las capas por hendidura y aplastamiento. Otro efecto que tiene importancia sobre la fibra, es el contacto con el agua de la refinación y está relacionado con el hinchamiento de ésta.

*El hinchamiento tiene un efecto importante en la plasticidad de la fibra.* Una fibra celulósica seca es relativamente rígida y elástica, con un alto modulo de flexión y una baja deformación máxima a la flexión antes de romperse. A medida que la fibra se hincha por la absorción de agua, la fibra se vuelve menos rígida y más plástica, con menor modulo de flexión y una mayor capacidad de deformarse por flexión antes de romperse. Esta facilidad de deformación y plasticidad (diferente a elasticidad) es de importancia fundamental por las propiedades que aporta a la fibra. El grado de hinchamiento está relacionado con el factor de unión entre fibras, y por consiguiente, directamente con diversas propiedades de la hoja. Esto se manifiesta mediante el área de unión entre fibras en los puntos de cruce, o por la resistencia específica de unión entre fibras, o por ambos. <sup>(9)</sup> Estos cambios en el grado de hinchamiento producen cambios fundamentales en las propiedades del papel subsecuentemente fabricado.

### **3.4.1.3 Caracterización de la pulpa**

Las fibras presentes en la pulpa presentan una serie de características que es necesario conocer para estimar el tipo de uniones que surgen entre ellas, así como su comportamiento. Para caracterizar a las pulpas con respecto a su calidad, capacidad de procesamiento y adaptabilidad para varios usos, se utiliza una gran cantidad de métodos de prueba. Estas dependen de la naturaleza dimensional, estructural y química de la fibra, así como de los efectos de pulpeo blanqueo y refinado. Los aspectos más importantes son la longitud de la fibra, la densidad y la resistencia interna, el daño físico y químico a las cadenas de celulosa y hemicelulosa, la naturaleza y distribución de la lignina y hemicelulosas residuales. La resistencia es una de las principales características por medir en una pulpa, pero que al mismo tiempo es muy difícil de determinar con exactitud. Debido a que la unión entre fibras es precisamente tan importante como la resistencia de la fibra individual, la pulpa debe convertirse en hojas de papel antes que pueda ser probada.

### **3.4.2. Unión de las fibras**

Normalmente, la estructura de los elementos que conforman los tejidos influye poderosamente en las propiedades de la pulpa, aunque las fibras celulósicas individuales generalmente tienen una alta resistencia a la tensión, los parámetros de resistencia de la hoja de pulpa también dependen de los enlaces entre las fibras. La naturaleza hidrofílica de las fibras celulósicas desempeña un papel importante, ya que el proceso de fabricación de la hoja ocurre en medio acuoso. Por lo que las fibras absorben agua y se dispersan fácilmente. Cuando las fibras húmedas se unen durante el proceso de formación de la hoja fibrosa, los enlaces se promueven por la atracción polar de las moléculas de agua con los grupos hidroxilo que cubren la superficie de la celulosa. Cuando se evapora el agua, los grupos hidroxilo de la superficie de la celulosa se unen por medio de enlaces de hidrógeno.

### **3.4.3. Efecto de las propiedades de las fibras en las propiedades de las hojas.**

- Largo de la fibra
- Diámetro de la fibra
- Resistencia de la fibra
- Superficie específica y fibrilación
- Flexibilidad
- Unión

*Largo de fibra.* Este afecta la formación de la hoja o la uniformidad en cuanto a la distribución de la fibra; en cuanto más cortas sean las fibras, menos porosa y más uniforme será la formación de la hoja. El largo de la fibra afecta también las propiedades físicas de la hoja, entre ellas su resistencia y su rigidez, y en forma especial su fuerza de separación, la que disminuye al disminuir el largo de la fibra.

*Diámetro de la fibra.* Los efectos del diámetro de la fibra, el grueso de su pared, y su rugosidad, en las propiedades de la hoja, es un aspecto complejo y no claramente determinado. Dichas cualidades afectan primordialmente la flexibilidad de la fibra, el diámetro de la fibra puede expresarse como la sección transversal media o la razón entre el grueso de la pared y el diámetro, lo que en ocasiones se denomina densidad de la fibra.

*Resistencia de la fibra.* La fuerza de la fibra es una indicación de la fuerza máxima obtenible de determinada pulpa; es decir, la fuerza de unión entre las fibras es el factor determinante.

*Superficie específica y fibrilación.* Cuanto mayor es la superficie disponible para la unión, más elevada será la resistencia de la hoja. Cuanto más elevada sea la superficie, más lentamente se drenará el agua de la hoja durante su formación.

*Flexibilidad.* Una hoja normal de papel está formada por muchísimas fibras cuya flexibilidad varía notablemente. La densidad de la hoja es una buena indicación de la flexibilidad de la fibra. Si las fibras son flexibles, la hoja será compacta, con espacio poroso relativamente reducido. Si las fibras son relativamente rígidas, las hojas serán porosas, abiertas, y no bien unidas.

*Unión.* Es una propiedad de la red de fibras.<sup>15)</sup>

#### **3.4.4. Pruebas físicas convencionales**

Ciertas propiedades son deseables en unos papeles y altamente indeseables en otros. El buen productor de papel trata de elegir un término medio en el que la combinación de distintas propiedades produce el mejor papel para el uso al que se le destina.

Las propiedades físicas para papel, como resistencia a la tensión, explosión, rasgado, doblez, etc., son muy importantes ya que la hoja de pulpa se usa con frecuencia en casos en que debe soportar una tensión considerable o ciertas características especiales, tales como propiedades de superficie, propiedades ópticas, permeabilidad a fluidos (agua y aceite) y gases como aire, drenabilidad, etc.

Las características físicas están íntimamente relacionadas con el grado de refinación, de donde esta operación resulta ser fundamental. Las propiedades de una hoja de pulpa o un papel

particular dependen en gran medida de su contenido de humedad. El papel, como material higroscópico, tenderá a mantener un equilibrio de humedad con la atmósfera que lo rodea. Por este motivo, antes de realizar cualquier prueba, las hojas deben acondicionarse por 24 horas en una habitación con temperatura y humedad controlada. <sup>(26)</sup>

### 3.4.5. Calidad de la fibra.

En la industria de pulpa y papel generalmente se manejan fibras de diferente longitud; la utilidad de las fibras en la fabricación de papel depende esencialmente de las relaciones longitud/diámetro  $(L/D)^1$  y  $[2x \text{ (espesor de la pared celular)}] / (\text{diámetro del lumen})$ . Con esta última se estima la flexibilidad o rigidez de un elemento estructural. Debe considerarse que existen diferencias notables entre los mismos tipos de fibras debido a los ritmos de crecimiento estacional y a la formación de estructuras celulares específicas como consecuencia de esfuerzos especiales en ciertas zonas del tejido. <sup>(25)</sup> La influencia de los índices de calidad de pulpa para papel proporcionan diferentes relaciones entre las dimensiones de las fibras, las cuales influyen de manera directa o indirecta o bien complementaria sobre las características generales de la pulpa. Es decir, las relaciones entre las dimensiones de las fibras influyen favorable o adversamente en el tipo y en la calidad del papel producido. Formulas para calcular Indices de calidad de pulpa para papel, mediante las siguientes relaciones:

#### A) *Coefficiente de Rigidez :*

$$CR = \frac{2W \text{ (grosor de pared celular)}}{D \text{ (diámetro de fibra)}} \quad (\text{Fuentes, 1987})$$

#### B) *Coefficiente de Flexibilidad:*

$$CF = \frac{l \text{ (lumen)}}{D} \quad (\text{Fuentes, 1987}).$$

#### C) *Índice de Esbeltez :*

$$IE = \frac{L \text{ (longitud de fibra)}}{D}$$

#### D) *Relación Runkel:*

$$RR = \frac{2W}{L} \quad (\text{Tamarit, 1996}).$$

### 3.5 Descripción de la muestra de huizache

En Jalisco y en México en general, predominan las especies de latifoliadas. Las leguminosas representan, por su número de especies, la segunda familia en importancia. Algunas se subutilizan en forma comercial maderable, pero muchas de ellas no han sido consideradas todavía como alternativa para la demanda de materiales lignocelulósicos.

En este estudio se trata de una madera dura perteneciente a las latifoliadas. La familia de las leguminosas es una de las más grandes del grupo de las angiospermas y se trata de las mimosas, como es:

- **Clasificación científica**

Reino: **Plantae**

División: **Magnoliophyta**

Clase: **Magnoliopsida**

Orden: **Fabales**

Familia: **Fabaceae**

Subfamilia: **Mimosoideae**

Tribu: **Acacieae**

Género: **Acacia**

Especie: ***A. farnesiana***

- **Nombre binomial:** *Acacia farnesiana* (L.) Willd
- **Distribución**
- ***Acacia farnesiana*** (Huizache).

Figura No. 15, Rango de distribución de *Acacia farnesiana* (huizache)

En Jalisco y en México en general, predominan las especies de latifoliadas. Las leguminosas representan, por su número de especies, la segunda familia en importancia. Algunas se subutilizan en forma comercial maderable, pero muchas de ellas no han sido consideradas todavía como alternativa para la demanda de materiales lignocelulósicos.

En este estudio se trata de una madera dura perteneciente a las latifoliadas. La familia de las leguminosas es una de las más grandes del grupo de las angiospermas y se trata de las mimosas, como es:

Nombre científico	Nombre común
<i>Acacia farnesiana</i>	huizache

El género *Acacia* es el segundo grupo más grande de la familia de las leguminosas. <sup>(20)</sup> El género *Acacia* comprende entre 700 y 800 especies propias en gran parte de las zonas tropicales y subtropicales del mundo; alrededor de la mitad de ellas proceden de Australia. Se trata, en su gran mayoría, de árboles y arbustos siempre verdes. Su distribución va en el rango de 30 °N hasta los 40° S. De este importante género de Mimosoídeae, en el estado de Jalisco se han reportado 19 especies.

El huizache tiene una importancia ecológica muy grande ya que es un árbol sumamente adaptable a una variedad muy amplia de vegetación. Es común en las zonas áridas o semiáridas de casi todo el país: desde Sonora y Chihuahua hasta Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y el Valle de México. Prospera sin embargo, también en todas las zonas cálidas de México, formando vegetación secundaria de selvas bajas caducifolias inermes o espinosas, en las que se pueden encontrar además, parientes de la *Acacia farnesiana* en forma de matorrales espinosos. Se trata de una especie que puede presentarse en gran variedad de suelos desde muy arcillosos hasta muy arenosos.

La *Acacia farnesiana* es un árbol de hasta 8 o 9 metros de alto y con un tronco de 40 centímetros de diámetro aproximadamente. Sus ramas se originan muy cerca de la base y se erigen ascendentes o a veces horizontales o péndulas. Su copa es redondeada, aunque a veces aplanada. En la actualidad la *Acacia farnesiana*, es cultivada con esmero en Argelia y en el Sur de Francia, principalmente en las regiones de Grassé y de Var. En la India e Italia se aprovecha también la flor de este árbol para la fabricación de aceites.

Así, el huizache, nombre que más se utiliza para designar a la especie (aunque también es frecuente llamarle aromo o espino) es un árbol cubierto de espinas agudas, cilíndricas y blanquecinas de 3 a 5 cm. de longitud. Se encuentra cubierto de flores amarillas que producen una sustancia aromática muy agradable, llamada aceite de acacia o de cassia, el cual se usa para perfumar pomadas y polvos. Su fruto son vainas cilíndricas que producen un exudado con olor y apariencia lechosa. Su corteza interna es de color crema amarillento, fibrosa y con un marcado olor y sabor a ajo.

El huizache tiene una gran cantidad de usos y cuenta con un potencial enorme que aún no ha sido explotado en México. Por mencionar sólo algunos diremos que la corteza contiene taninos y se utiliza en curtiduría y en fabricación de tinta.

Además de las flores, se pueden utilizar las vainas, cortezas, goma, madera (sumamente dura por lo que podría usarse en la fabricación de parquet) y las hojas como forraje de cabras y otro tipo de ganado que habita en las regiones áridas del país.

*Importancia y usos:* Combustible [madera]. Leña y carbón. Tiene combustión lenta y alto contenido calórico. Su principal utilidad radica en el uso del aceite o esencia en la industria de la perfumería. Curtiente [corteza, fruto (vainas)]. Corteza y vainas ricas en tanino que se usa en curtidurías para curtir y teñir cueros y redes. Las vainas del fruto contienen 12 a 18 % de taninos. Forrajero [hoja, fruto (vainas), vástago, flor]. Las hojas, vainas, flores y vástagos se emplean como forraje para ganado vacuno y caprino, especialmente durante el invierno.

#### 4. Hipótesis

- Obtener las fibras lignocelulósicas de huizache para el aprovechamiento en la industria de fabricación de celulosa y papel.

## 5. Parte Experimental

### 5.1. Esquema general

El trabajo de investigación se divide en cuatro partes:

- **Caracterización estructural (madera y pulpa)**
- **Caracterización química y extractiva de la madera**
- **Procesos de obtención de fibras celulósicas (sosa, kraft y sulfito ácido)**
- **Desarrollo de la fibra**

#### a) *Microscopía estructural:*

- Cortes anatómicos (madera)
- Dispersión de fibras (madera y pulpa)

#### b) *Análisis Químico de la Madera*

Sustancias Extraíbles:

- Determinación de humedad
- Determinación de Holocelulosa
- Determinación de Alfa celulosa
- Determinación de lignina Klason
- Determinación de cenizas

***Obtención de Extractos acuosos y evaluación de Taninos***

Extracto tánico:

- Evaluación de Extractos
- Número de Stiasny
- Determinación cualitativa de Taninos Hidrolizables
- Determinación de Extracto Total

#### c) *Obtención de materiales fibrosos con métodos convencionales*

Procesos de pulpeo:

- Procesos alcalinos (sosa y sulfato o kraft)
- Proceso ácido (sulfito)

#### d) *Refinación*

- Desarrollo de la fibra en la refinación, formación de papel
- Resistencias fisicomecánicas del papel de huizache

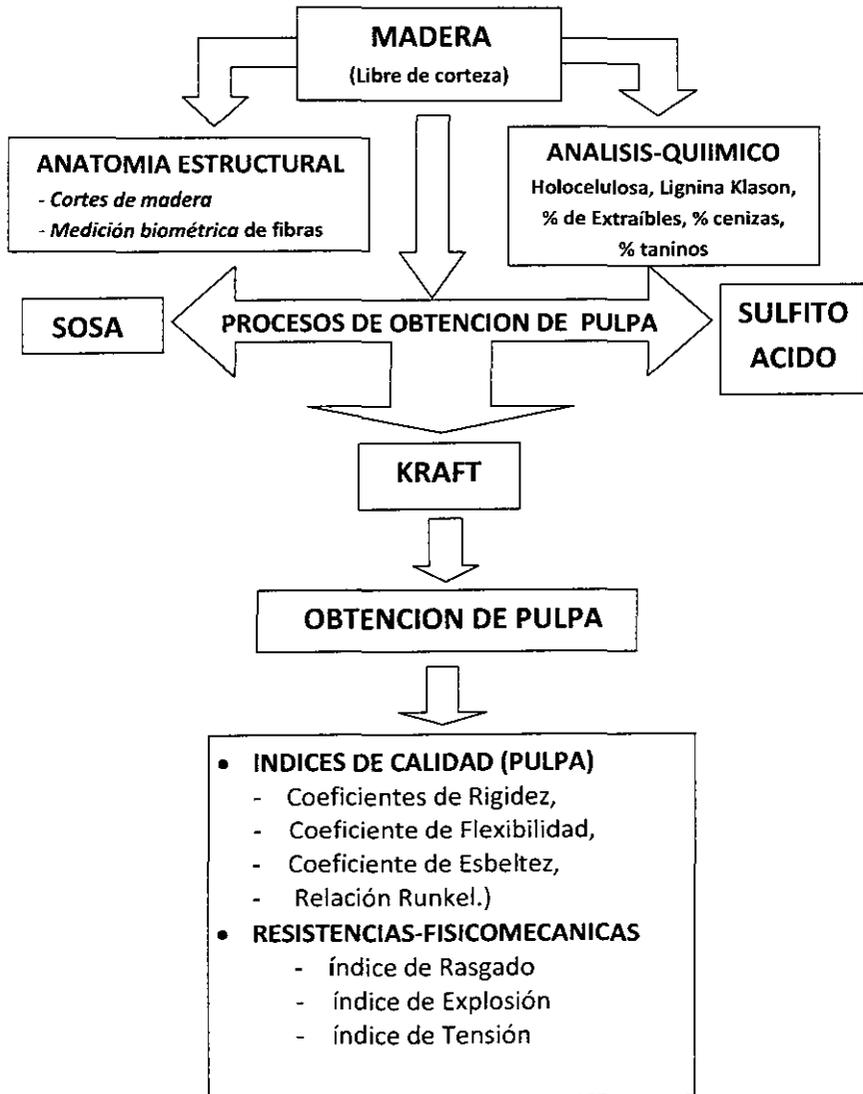


DIAGRAMA GENERAL DE EXPERIMENTACION

### **5.1. 1. Identificación de la muestra**

La especie *Acacia farnesiana* (huizache), ésta se colectó en la región de Jocotepec, cerca del poblado conocido como el Chante, a 1580 metros s.n.m. Situada al suroeste de Guadalajara. La identificación de la especie se llevó a cabo consultando con el herbario del centro de Botánica de la Universidad de Guadalajara; una vez identificado se procedió a su estudio.

El género *Acacia* es el segundo grupo más grande de la familia de las leguminosas. <sup>(20)</sup> El género *Acacia* comprende entre 700 y 800 especies propias en gran parte de las zonas tropicales y subtropicales del mundo; alrededor de la mitad de ellas proceden de Australia. Se trata, en su gran mayoría, de árboles y arbustos siempre verdes. Su distribución va en el rango de 30 ° N hasta los 40 ° S. De este importante género de Mimosoideae, en el estado de Jalisco se han reportado 19 especies.

### **5.1.2. Preparación de la muestra**

El interés sobre este arbusto está dirigido a la obtención del material fibroso, por lo que la parte del tallo es de mayor importancia. El huizache para su traslado es necesario eliminar las espinas características de esta especie, ramas y frutos.

Este trabajo se realizó utilizando el tallo para su extracción de fibras y características estructurales e incluyéndose la corteza solamente para el análisis de extraíbles, y contenido de extractos como los taninos.

## **5.2. Materiales y Métodos**

Para establecer comparaciones con datos reportados en la bibliografía, los métodos se realizaron siguiendo las normas TAPPI, (*Technical Association of the Pulp and Paper Industries*).

### 5.3. Caracterización estructural de la madera de huizache (*microscopía*).

Para conocer la microestructura de la madera dura (latifoliadas) del huizache se realizaron cortes en los tres planos de la madera. En cada uno de los tres planos, las estructuras anatómicas se observan de manera diferente, debido a la orientación de los componentes celulares; por lo que es conveniente observarlos en conjunto para tener una idea clara, tridimensional, de las células y tejidos que constituyen la madera.

**5.3.1. Preparaciones fijas de cortes anatómicos.** Esta técnica auxilia en la visualización del acomodo de los elementos tal y como se encuentran en el árbol.

- Plano tangencial
- Plano radial
- Plano transversal

Se cortaron cubos de 1.5 x 1.5 cm de la parte del tallo. Se sometieron a ebullición en agua, hasta su ablandamiento añadiendo 10 ml de mezcla ablandadora (ácido acético y peróxido de hidrógeno, 30% vol. 1:2) por tratarse de una madera dura. Los cubos se lavaron con agua corriente y se conservaron en una mezcla de glicerina y alcohol etílico 1:1 hasta el momento de realizar los cortes histológicos, los cuales se realizaron con un micrótopo de deslizamiento Modelo AO-860, obteniendo un grosor de 10 a 30 micras, dependiendo de la dureza de cada muestra. Se fijaron sobre el portaobjetos, se tiñeron y se observaron los elementos celulares.

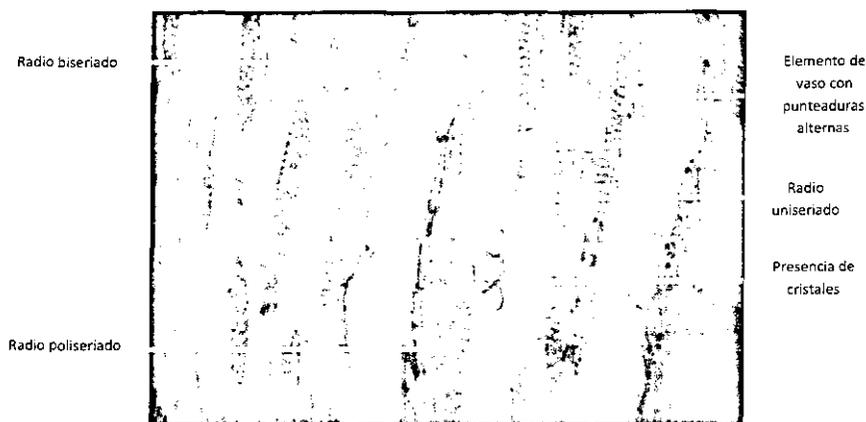


Figura No. 16, Elementos estructurales de madera de huizache en plano tangencial

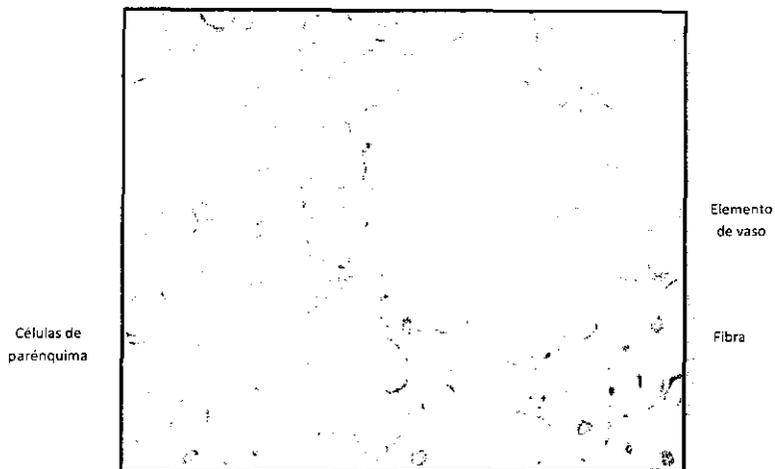


Figura No. 17, Corte transversal de madera de huizache mostrando vasos, fibras y células de parénquima

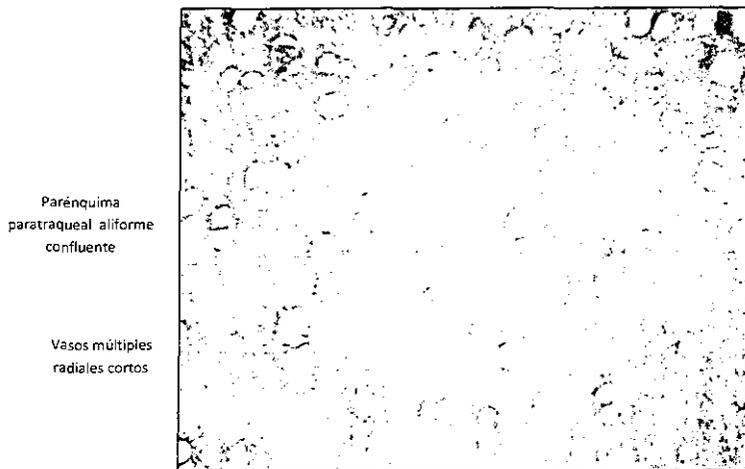


Figura No. 18, Corte radial de madera de huizache mostrando vasos y patrón de parénquima paratraqueal aliforme

#### 5.4. Composición química de huizache

Para el estudio de la composición química de madera de huizache se realizaron las siguientes determinaciones con las técnicas citadas. Además se cuantifica el porcentaje de sustancias extraíbles con solventes de polaridad creciente. Ver tabla 3

Tabla No. 3, Análisis químico en madera de huizache

DETERMINACIÓN	Técnica
Holocelulosa	Método usual Wise
Alfa-celulosa	T - 203 om-88
Beta-celulosa	T - 203 om-88
Gamma-celulosa	T - 203 om-88
Lignina Klason	T - 222 om-88
Pentosanos	T - 223 om-84
Extractos en etanol-tolueno	T - 264 om-88
Extractos en etanol	T - 264 om-88
Extractos en agua caliente	T - 264 om-88

##### 5.4.1. Preparación de la madera de huizache para análisis químico

La madera ha sido muestreada para análisis de acuerdo con la técnica TAPPI T 257. Primeramente se separaron los materiales que no forman parte de la sustancia maderable, o que pudieran interferir con algunos análisis, para esto, se utilizan los solventes neutros etanol, tolueno y agua caliente.

La madera para análisis químico debe molerse hasta obtener partículas finas que permitan una reacción completa de la madera con los reactivos utilizados en el análisis. Se clasifica la muestra pasándola por un tamiz de 0.4 (malla 40). En el segundo paso se realiza el análisis químico a partir de la muestra libre de humedad (base seca).

- Aserrín de tallo sin corteza.
- Astillas

El uso de las astillas, se verá más adelante en el punto 5.4. Preparación de madera de huizache para cocción.

#### **5.4.1.1. Determinación extraíbles (madera de huizache)**

Se forma un dedal para contener la muestra y se introduce al equipo Soxhlet. La parte superior del dedal se taponea con algodón para evitar pérdida de muestra.

*1ra Extracción: Etanol-Tolueno.* A las muestras de tronco del huizache en aserrín se determinó la humedad y se realizó la 1ra etapa de extracción con etanol-tolueno. Este solvente se empleo en proporción 1:2 (200ml totales) para separar sustancias que no formen parte de la sustancia estructural maderable, tales como ceras, gomas y resinas.

- Primera etapa de extracción con Etanol-Tolueno (1:2)
- Segunda etapa de extracción con Etanol 95%.
- Tercera etapa de extracción con Agua caliente.

La extracción se llevó a cabo en un extractor soxhlet durante 8 horas. El extracto con color amarillo paja se concentró y posteriormente fue secado en la estufa a 105°C hasta peso constante. A ebullición enérgica y no menos de cuatro sífones por hora. Lavado del dedal con solvente antes de la siguiente etapa.

*2da Extracción: Etanol 95%.* El residuo de la muestra de la primera extracción se somete a extracción con etanol al 95% durante otras 8 horas en el extractor soxhlet, hasta solvente incoloro; repitiendo el secado de la muestra hasta peso constante. Se extraen taninos condensados y clorofilas.

*3ra Extracción: Agua caliente.* El residuo obtenido en la segunda extracción con etanol-tolueno, etanol al 95% libre de extraíbles se coloca en un matraz erlenmeyer y se extrae con agua caliente a 94°C durante 4 horas a baño maría a reflujo. Mediante ésta extracción se extraen componentes como taninos y carbohidratos. Secar hasta peso constante.

#### **5.4.1.2. Contenido de Holocelulosa.**

Se designa holocelulosa a los polisacáridos de la madera. Para ésta determinación se utiliza la madera libre de extractos (muestra obtenida después de las extracciones sucesivas). El Método usual Wise (1946) es usado para su aislamiento. Mediante ésta técnica se obtiene la lignina en forma soluble y la sustancia remanente que es la holocelulosa se determina por diferencia de

peso. La prueba tiene una duración de 4 horas. La muestra se coloca en un matraz de precipitado de 500 ml. con boca ancha, adicionar una solución que contiene 1.5 grs. de clorito de sodio en 160 ml. de H<sub>2</sub>O a la que previamente se le añadieron 10 gotas de ácido acético, se tapa con un vidrio de reloj para que la reacción se lleve a cabo, y se mantiene a baño maría a 75°C durante 1 hora con agitación ocasional, después de una hora se añaden 10 gotas de ácido acético 1.5 grs. de clorito lentamente, se agita y se deja reposar. Después de una hora repetir el procedimiento anterior (durante 4 horas en total). Enfriar la muestra en agua con hielo, vaciar la muestra en solución a un filtro de vidrio de porosidad media (2G) aplicando vacío. El precipitado de muestra retenida se lava con agua fría destilada.

El método se basa en la acción del dióxido de cloro cuyos productos de reacción en solución acuosa y caliente hacen que la lignina se separe en forma soluble. El dióxido de cloro se genera mediante la reacción, utilizando para esto clorito de sodio y ácido acético:



La holocelulosa obtenida por éste método no se encuentra completamente libre de lignina.

#### **5.4.1.3. Contenido de Celulosa**

El contenido de celulosa en el huizache se determinó a partir de la holocelulosa obtenida de la madera por el método de Wise. Obtenida la holocelulosa se utilizó la técnica T 203 om-88 para determinar alfa-celulosa, beta-celulosa y gamma celulosa. La cantidad de alfa celulosa es reportada como la cantidad de celulosa en madera de huizache.

#### **5.4.1.4. Contenido de Lignina Klason**

El objetivo de esta determinación es hidrolizar los carbohidratos mediante un ataque con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72% quedando un residuo de lignina insoluble.

Los resultados son en base a la muestra de tallo libre de extraíbles después de la secuencia de extracciones con etanol-tolueno, etanol al 95% y agua caliente.

TESIS/CUCBA

#### **5.4.1.5. Contenido de Ceniza**

Esta determinación es realizada en base a la técnica Tappi T 211 om 85. La prueba se define como el residuo que permanece después de la ignición a  $575^{\circ}\text{C} \pm 25$ . Es una medición aproximada de las sales minerales y otros materiales orgánicos presentes en la madera.

#### **5.4.2. Obtención de extractos.**

Las pulpas obtenidas por diferentes procesos químicos, se les considera como materias primas intermedias, por esta razón antes de convertirse a papel o a cualquier otro derivado de celulosa, deben de sujetarse a una serie de pruebas tanto físicas como químicas, dependiendo principalmente del propósito particular para el que se va a usar la pulpa.

Para la obtención de extracto y evaluación de taninos, se realizaron extracciones con agua caliente con muestra de la corteza y muestra de tallo por separado. Para taninos hidrolizables se efectuó una determinación cualitativa de coloración.

La obtención de los extractos para evaluar la cantidad de taninos se efectuó agregando 100 grs. base seca de tallo se aforan a 1000 ml con agua destilada. La extracción se llevó a cabo a  $85^{\circ}\text{C}$  durante dos horas, se filtra reservando el líquido en un matraz. A la muestra sólida se le adicionan 1000 ml de agua destilada y se repite la extracción con las mismas condiciones por segunda vez. El extracto acuoso de ambas etapas se aforó a un volumen determinado de 2000 ml. De esta solución concentrada con muestra de tallo o muestra de corteza se realizan las siguientes determinaciones con métodos analíticos.

#### **5.4.2.1. Evaluación de los extractos**

Consiste en determinar la cantidad de taninos en el extracto. Se toman 50 ml de extracto y se determinan los *sólidos totales* presentes.

Para el caso de taninos condensables se aplicó la reacción de Stiasny. Esta reacción determina la fracción de extracto que reacciona con formaldehído en medio ácido.

#### **5.4.2.2. Número de Stiasny**

A partir del extracto acuoso se determinó el No. de Stiasny que es el método básico para estimar la cantidad de taninos condensables en el extracto.

Procedimiento: 50 ml de una solución acuosa de extracto polifenólicos se mezclan con 10 ml de solución de formaldehído al 40% y 5 ml de ácido clorhídrico concentrado, dejando en ebullición a

reflujo durante 30 minutos. El precipitado formado se vierte sobre un filtro de porosidad media y se lava con agua caliente, se seca a 105°C, procediendo luego a pesar.

Con el nombre de No. de Stiasny se designa a la cantidad de precipitado en porcentaje que se forma frente al residuo que queda al evaporar 50 ml de la solución de extracto.

#### **5.4.2.3. Contenido de taninos hidrolizables**

Se toman 10 ml de filtrado (obtenido de la determinación del No. de Stiasny) y se le adiciona 1 ml de solución al 1% de sulfato férrico y sin agitar se le adicionan 5 gr. de sal sólida de Acetato de sodio. La aparición de una fuerte coloración azul violeta indica la presencia de taninos hidrolizables.

#### **5.4.2.4. Contenido de extracto total**

Es el residuo que queda al evaporar determinada cantidad de extracto. Se calcula de la manera siguiente:

$$\% E.T. = \frac{(F) (Gs)}{Gd} 100$$

$$F = \frac{\text{volumen total de extracto}}{\text{ml. de muestra que se evaporan}}$$

Gs = Peso obtenido durante la evaporación de la solución original "sólidos totales" (gramos).

Gd = cantidad total de nuestra base seca utilizada en la extracción.

### **5.5. Preparación de la madera de huizache para cocción**

La madera o tronco de la cual se va a extraer la fibra celulósica es sometida a cocción sin corteza. La corteza difiere de la madera en el tipo de tejido, forma de fibra y color, por lo que no es un material propio para la obtención de pulpa. Además contiene colorantes que le dan mal aspecto y consume durante el proceso de pulpeo reactivos que están destinados a la madera.

Todos los procesos utilizados pueden considerarse esencialmente como métodos de extracción, dado que el material está formado de fibras de celulosa, asociada con otras muchas sustancias que desde el punto de vista de aislamiento de la celulosa, son impurezas indeseables. Estas incluyen lignina, pectinas, resinas, ceras, taninos y compuestos carbohidratados en proporciones que varían considerablemente de acuerdo con el tipo de especie que se trate.

La función del proceso de cocción, por lo tanto es en primer lugar remover estos compuestos de modo de liberar la celulosa y en segundo lugar modificar los compuestos no celulósicos resultantes de la digestión, de manera de poder eliminarlos durante las etapas siguientes.

Uno de los parámetros importantes para llevar a cabo una cocción en el caso de madera, es de gran importancia el tamaño de astilla adecuado para su completa impregnación con el licor, son de aproximadamente de ½ pulgada.

#### **5.5.1. Preparación de licores blancos:**

- **Cocción a la Sosa:** NaOH al 21.8%
- **Cocción Kraft:** Solución acuosa de 20 a 25% de NaOH y Na<sub>2</sub>S (sulfuro de sodio).
- **Cocción Sulfito ácido:**
  - Burbujeo de SO<sub>2</sub> gaseoso (Acido Sulfuroso) en agua.
  - Mezcla de ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) y de ion bisulfito (HSO<sub>3</sub>)
  - Relación: SO<sub>2</sub> libre y combinado (10g de SO<sub>2</sub> combinado y 60 g de SO<sub>2</sub> libre por litro).

#### **5.5.2. Condiciones de cocción**

##### **Sosa:**

- % reactivo: 21.8 % NaOH
- Hidromódulo: 6:1
- Temperatura máxima: 175°C
- 69 minutos de impregnación
- Tiempo de digestión: 111 minutos

##### **Kraft:**

- % reactivo AA (NaOH + Na<sub>2</sub>S): 17
- Hidromódulo: 4:1
- % Sulfidez: 22
- Temperatura máxima: 170°C
- Tiempo de digestión: 60 minutos

**Sulfito ácido:**

- % Reactivo: 8.91 g/Lt de  $\text{HSO}_3^-$
- Hidromódulo 4:1
- Temperatura máxima: 155 °C
- Tiempo de digestión: 60 minutos

**5.5.3. Impregnación a presión**

Se introduce la materia prima junto con el licor, aumentando progresivamente la presión de manera que ésta reduzca el oxígeno contenido en los poros de las astillas facilitando la penetración del licor. El tiempo de impregnación se lleva a cabo durante el inicio de calentamiento del digestor hasta llegar a la temperatura máxima establecida.

El tiempo inicial de cocción se considera a partir de que se llega a la temperatura y presión máximas establecidas. El proceso de digestión depende así de tres variables:

- Temperatura
- Concentración
- Tiempo

**5.5.4. Cocción de astillas**

Cualquier proceso químico de pulpeo consiste esencialmente en mezclar la materia prima fibrosa (reactante) con una solución acuosa de sustancias inorgánicas (reactivo) denominada *licor de cocción*. La mezcla resultante se alimenta al digestor y se le aplica calor, con lo que el material lignocelulósico sufre el proceso de *cocción* en el que se degrada la lignina, que se vuelve soluble en el medio y se liberan las fibras.

Todas las cocciones se llevaron a cabo en un digestor tipo batch con calentamiento directo (mechero Fisher) controlando temperatura e incremento de la presión.

Una vez terminado el tiempo de cocción se deja enfriar el digestor para tomar muestras del licor negro y demás subproductos solubles en el licor.

**5.5.5. Lavado de material**

La siguiente etapa, de lavado del material celulósico hasta pH neutro o en su defecto un material libre de reactivos de la cocción; el material que se obtiene de una acertada cocción tiende a desfibrarse solamente con el lavado, depurado y etapas siguientes (el material de cocción a la

sosa antes de ser depurado tuvo que ser sometido a un proceso mecánico de refinación para la desintegración de algunos paquetes de fibras presentes.

**5.5.6. Depuración.** Una vez sin residuos de licor negro se depura sobre una malla, se obtiene un material fibroso libre de rechazos y libre de impurezas. Una vez obtenido el material celulósico clasificado se procede a centrifugar para retirar la mayor cantidad de agua. El material casi seco se homogeniza completamente, se lleva a cabo la determinación de humedad y se procede a su posterior caracterización como material celulósico.

### **5.6. Obtención de pulpa celulósica de huizoche.**

Una vez obtenida la celulosa se le realiza el análisis microscópico. Primeramente se prepara una muestra dispersa en la que se observa la eficacia del método de extracción (fibras individuales) y posteriormente realizar las mediciones biométricas de fibras individuales y para cada método.

#### **5.6.1. Dispersión de fibras en pulpa.**

En el caso de dispersión de fibras de la madera sin tratamiento), se realizan trozos delgados que se pondrán en ebullición con agua para su ablandamiento, facilitando en la dispersión la separación individual de las fibras y su posterior tinción. Para el caso del análisis microscópico en pulpa, únicamente se disgrega una pequeña cantidad y se tiñe para iniciar a medir.

#### **5.6.2. Mediciones biométricas de fibras en pulpa.**

Las características microscópicas más importantes de la dispersión a observar fueron fibras, completamente separadas que muestran la eficiencia del proceso de obtención o en su defecto la presencia de paquetes de fibras que determinan un proceso de cocción ineficiente. Observación de otros elementos celulares como los vasos o trozos de vasos, etc. Se realizaron mínimo 30 mediciones a las fibras, como son:

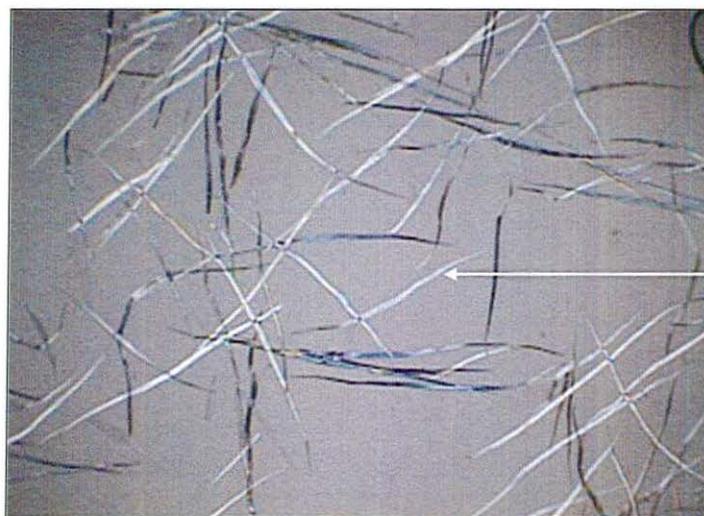
- Longitud de fibra
- Grosor de pared celular
- Diámetro de fibra
- Diámetro de lumen

Presencia  
de  
elemento  
de vaso



Fibra

Figura No. 19, *Fibras y elementos de vasos  
obtenidos mediante el proceso de cocción a la sosa.*



Fibras

Figura No. 20, *Fibras obtenidas mediante el proceso de cocción Kraft.*



Figura No. 21, *Fibras obtenidas mediante el proceso de cocción al sulfito ácido mostrando haces fibrosos y fragmentos de elementos de vaso.*

Posteriormente se calcularon los índices de calidad con respecto a las características morfológicas que relacionan la longitud, espesor de pared celular, diámetro de la fibra y diámetro de lumen entre sí, aportando información en cuanto a la aptitud del material para la fabricación de papel.

### **5.7. Refinación de la pulpa de huizache.**

Una vez que obtenemos el material fibroso de cocción a este material se le determinó la humedad para calcular los gramos base seca de celulosa y su posterior refinación.

La refinación se llevó a cabo en un refinador Jokro a 150 rpm, se hicieron cargas de 16 g base seca a 6% de consistencia, se probaron cuatro niveles de refinación adecuados para pulpas de fibra corta (6, 12, 18 y 24 min), tiempos cortos para los tres procesos de cocción. De este proceso depende el grado de resistencia que tendrá el papel al doblado, reventado y rasgado. Ver tabla No. 4

#### **5.7.1. Formación de hojas.**

Una vez refinadas las pulpas se realizaron hojas para cada uno de los cuatro niveles de refinación, para cada pulpa en el formador Americano Tappi. Las hojas se formaron de acuerdo a una gramaje estandar de aproximadamente 60 g/m<sup>2</sup>. Ver tabla No. 4

Tabla No. 4, Equipo de refinación usado

Equipo	Técnica
Refinador Jokro	ISO 5264/3
Desintegrador de pulpa Karl Frank	ISO 5263
Shooper Riegler	T – 423 cm- 07
Formador americano de hojas Tappi	T – 205 sp - 06 (equipo TMI)

### 5.7.2. Acondicionamiento de muestras

Una condición importante para efectuar estos ensayos es la temperatura y la humedad relativa ( $23^{\circ}\text{C} \pm 1$ ) y  $50 \pm 2\%$  de humedad).

Su importancia reside en el efecto que causa la humedad en las propiedades de resistencia del papel.

### 5.7.3. Pruebas de resistencia fisicomecánica (métodos Tappi). Ver Tabla No. 5

Tabla No. 5, Determinaciones de resistencia física para papel

Equipo	Ensayo	Técnica
Karl Frank	Largo de rupturas	T – 494 om – 06
Mullen	Índice de explosión	T – 403 om – 10
Elmendorf	Resistencia al rasgado	T – 414 om – 04
Elrepho	Blancura	T – 452 om – 08
	Opacidad	T – 519 om – 06
Micrómetro Karl Frank	Espesor	T – 411 om – 10
Gurley	Porosidad	T – 460 om - 06
Shopper	Dobleza	T – 423 om - 07

## 6. Resultados y discusión

### 6.1. Indices de Calidad de pulpa para papel

De acuerdo a lo presentado en el apartado de metodología, los resultados de caracterización del huizache se observan en tablas 6 y 7.

La clasificación de los Indices de Calidad de fibra de madera y fibra de pulpa de huizache fueron realizadas en base a las características microscópicas mensurables de acuerdo a (tomado de Larios y Ortega, 1989); y referida a la clasificación Runkel (Larios 1979). En las figuras 22, 23, 24 y 25, se presentan los resultados de las dimensiones de sus fibras en madera y pulpa. Así como la clasificación que determina la calidad de pulpa para papel. Ver tabla 7.

En la siguiente tabla no. 6, se muestran las medidas de las dimensiones de las fibras de *Acacia farnesiana* para las fibras de la madera y para las fibras obtenidas de los procesos de cocción. ver tabla 6 Dimensiones de la fibra de madera y pulpa. La tabla 7, presenta los valores calculados de los coeficientes y la relación Runkel, así como la clasificación que determina la calidad de pulpa para papel. Ver tabla 7, Índices de calidad de fibras. La tabla 8 muestra, el análisis químico en los cuales se determinaron en primer orden la separación de las sustancias extraíbles de la madera, lignina y contenido de holocelulosa (celulosa y hemicelulosa), y contenido de sustancias inorgánicas; se incluye la tabla 9, con determinaciones cuantitativas de la presencia de taninos.

Tabla 6, Dimensiones de fibras celulósicas de madera y pulpa.

<b>MEDICIONES BIOMÉTRICAS DE FIBRAS DE HUIZACHE (<i>Acacia farnesiana</i>)</b>				
<b>Madera y Pulpa</b>				
	Longitud fibra (mm) (L)	Espesor pared $\mu\text{m}$ (W)	Diámetro fibra $\mu\text{m}$ (D)	Diámetro lumen $\mu\text{m}$ ( $\delta$ )
F. Madera (tallo)	1.080	2.16	11.2	6.75
F. Pulpa Sosa	0.890	2.74	16.24	10.81
F. Pulpa Sulfito	0.890	3.35	15.82	9.12
F. Pulpa Kraft	0.960	4.34	17.59	8.91

Se puede apreciar que la longitud de la fibra de huizache de madera es mayor (antes de la cocción). Se observa de igual modo que el daño estructural en la fibra es mayor en los procesos sulfito y a la sosa que en el proceso kraft. Esto quiere decir que la formación de finos primarios se desarrolla con mayor incidencia en los procesos de obtención de pulpa a la sosa y al sulfito, debido

al ataque químico de los reactivos utilizados en la cocción. También se puede apreciar al analizar en las gráficas 23 y 24, que las propiedades morfológicas de las fibras de los proceso a la sosa y al sulfito es donde muestran un menor efecto de engrosamiento estructural en su pared celular y menor hinchamiento en el diámetro de la fibra comparados con el proceso kraft, en el que fueron mayores los efectos de hidratación y reactivos. Ver figuras No. 22, 23, y 24.

Al realizar el análisis estructural en cortes de la madera de huizache se observaron células parenquimatosas con contenido de cristales de oxalato de calcio. Estos cristales están dispuestos, en hileras de un cristal en dirección a lo largo del eje del árbol. Estos contenidos guardan una estrecha relación con los extractos obtenidos de ciertas especies tropicales.

La tabla No. 22, muestra que la celulosa obtenida a partir del huizache puede ser utilizada en la elaboración del papel, como lo demuestran los resultados del factor Runkel. Las mediciones biométricas de las fibras obtenidas por los procesos de cocción muestran cierta degradación con respecto a su estructura.

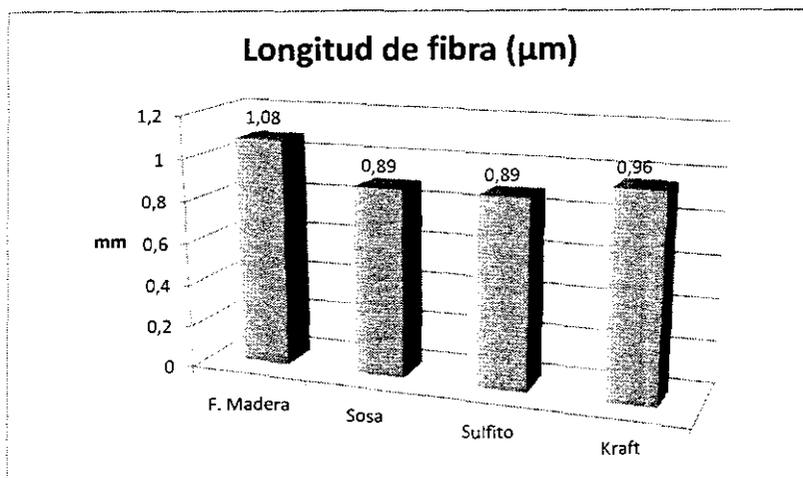


Figura No. 22, Variación estructural de longitud en la fibra.

Como se puede observar, la longitud de fibras de madera está comprendida entre 1.08 y para la pulpa obtenida en los procesos de pulpeo ésta se degrada de 960  $\mu\text{m}$  para el proceso kraft a 890  $\mu\text{m}$  para los procesos a la sosa y al sulfito. De acuerdo a la clasificación de López y Ortega (1989), caen dentro de la categoría de "extremadamente cortas". Las *fibras de madera* presentan diámetros "muy finos" y las fibras de pulpas obtenidas de los tres procesos de obtención caen dentro de la clasificación de diámetros "medianos".

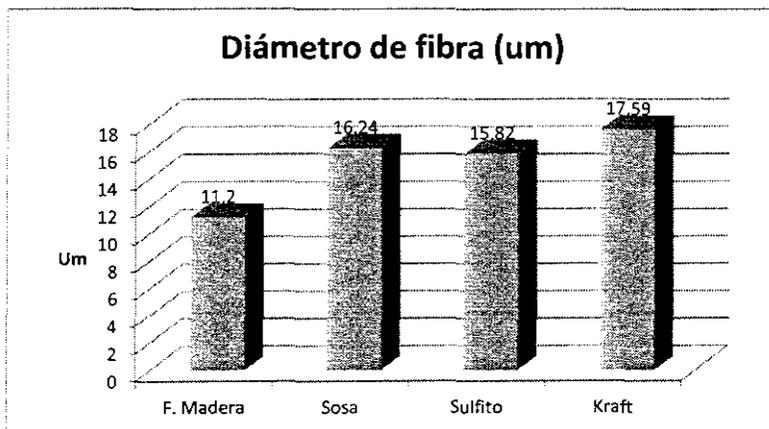


Figura No. 23, Efecto de hinchamiento en el diámetro de la fibra

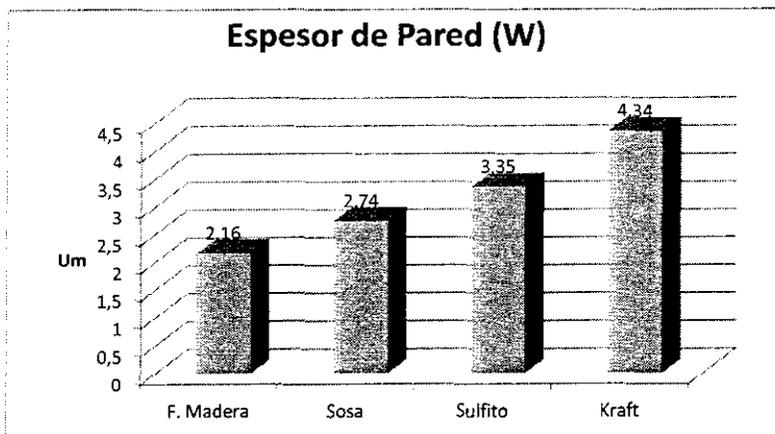


Figura No. 24, Variación del espesor de pared celular de la fibra

El espesor de fibra de madera de huizache es clasificada como “moderadamente delgada” y con similar clasificación que las de pulpa del proceso a la sosa, no así para la pulpa del proceso al sulfito que muestra un espesor “mediano”, mientras que en la pulpa del proceso kraft la pared se clasifica como “moderadamente gruesa”.

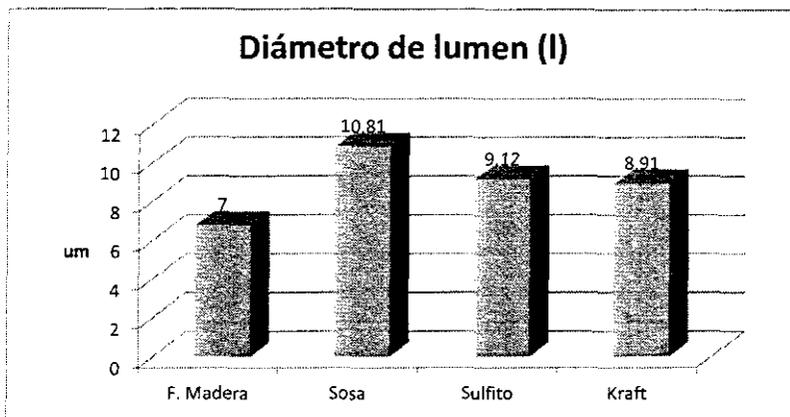


Figura No. 25, Variación del diámetro de lumen de la fibra en los procesos de cocción

La fibra de madera de huizache y las fibras en pulpa para los tres procesos de cocción, presentan una clasificación de “lumen mediano”. El efecto estructural con respecto al diámetro de lumen es mayor en el proceso a la sosa, y menor en la pulpa kraft.

En la tabla No. 7, Se presentan los Índices de Calidad de pulpa para papel calculados con las dimensiones anatómicas de las fibras de huizache. Ver tabla No. 7

Tabla 7, Índice de calidad de las fibras celulósicas <sup>(26)</sup>

	FIBRAS en Madera y Pulpa				INDICE DE CALIDAD Madera y Pulpa				CLASIFICACION
	L μ	D μ	l μ	W μ	CR	CF	IE	RR	
<i>Acacia farnesiana</i>									
F.MADERA	1080	11.2	2.16	6.75	0.385	0.60	96.4	0.64	BUENA
P. Sosa	890	16.24	10.81	2.74	0.337	0.660	54.8	0.506	MUY BUENA
P. Sulfito	890	15.82	9.12	3.35	0.420	0.576	56.2	0.730	BUENA
P. kraft	960	17.59	8.91	4.34	0.490	0.506	54.5	0.970	BUENA

Las dimensiones de las fibras consideradas para calcular los índices de Calidad de pulpa para papel, clasifican la fibra de huizache en general, como “buena” para los procesos de obtención al sulfito y kraft; y en el caso de la pulpa a la sosa ésta se clasificó en el rango de fibra “muy buena” para papel, ya que mostró una fibra con “pared delgada”.

En la Tabla no. 8, Se muestra la caracterización química de la madera de *Acacia farnesiana*. (Métodos TAPPI).

## 6.2. Caracterización química de madera de huizache

Tabla No. 8, Propiedades Químicas en madera de *Acacia farnesiana*

MADERA DETERMINACION	TALLO %
<i>Extraibles totales</i>	3.82
<i>Lignina Klason</i>	23.45
<i>Cenizas</i>	1.85
<i>Pentosanos</i>	22.0
<i>Holocelulosa</i>	80.0
<i>Alfa celulosa</i>	63.7
<i>Beta celulosa</i>	41.51
<i>Gamma celulosa</i>	5.21

### **Contenido de celulosa.**

Apoyando lo expresado con anterioridad, al analizar la tabla No. 8, se observa un contenido alto de Alfacelulosa, es del 63.7 %, esto indica un porcentaje relativamente alto de celulosa no degradada, y de alto peso molecular. Comparado con el 45% en promedio, reportado para especies de maderas duras; lo que confirma que puede ser considerada como fuente celulósica con potencial útil en la elaboración del papel.

### **Contenido de lignina.**

La cantidad de lignina Klason obtenida es comparable al de las maderas utilizadas tradicionalmente de maderas duras (abedul 19%)<sup>(26)</sup>. reportada en maderas duras.

En la Tabla no. 9, Para complementar el análisis químico se realizaron las determinaciones generales de cuantificación de taninos, incluyendo la corteza. Ver tabla no. 9.

**Extractos**

Tabla No. 9, Cuantificación de taninos

DETERMINACION	CORTEZA	TALLO
<b>% Extracto Total</b>	13.2	6.01
<b>% sólidos Solubles</b>	11.3	5.37
<b>% Insolubles</b>	1.8	0.64
<b>NO taninos</b>	9.9	5.09
<b>% Taninos</b>	1.4	0.28
<b>% Pureza</b>	10.5	4.72
<b>Relación taninos/NO taninos</b>	0.14	0.05
<b>No. Stiasny</b>	13.6	6.91

Los extraíbles tienen importancia para fines comerciales, y de acuerdo a la tabla no. 9, los taninos reportados para el huizache mantienen un nivel muy bajo lo que hace al huizache una madera no apta para ser comercializada en este rubro; aunque alguna literatura reporta porcentajes mucho mayores en la corteza; en nuestro caso no es así, posiblemente por el tipo de terreno y ambiente donde se realizó el muestreo el huizache. En cuanto a la pureza de los taninos, es alta, lo cual muestra que el tipo de taninos es constante en su tipo.

**6.3. Comparación de los procesos de pulpeo (sosa, sulfito y kraft)**

En las tablas presentadas a continuación se reportan en porcentaje, el rendimiento y la cantidad de rechazos obtenidos en cada uno de los procesos de cocción. En la tabla No. 10, se presenta el porcentaje de rendimiento. En la tabla 11, se presenta el grado de deslignificación en pulpa según proceso. Ver tablas 10 y 11.

Tabla No. 10, Valores de Rendimiento de procesos químicos.

<b>PORCENTAJE DE RENDIMIENTO EN LA OBTENCIÓN DE PULPAS</b>		
Proceso de obtención de pulpa	% Rendimiento	% Rechazos
Cocción a la sosa	50.1	1.1
Cocción Kraft	47.0	2.6
Cocción al Sulfito	45.3	15.4

El rendimiento de material celulósico en los procesos de obtención, está dentro de los rangos establecidos para procesos químicos, entre 45% - 55% <sup>(9)</sup> La cantidad de rechazos en el proceso al sulfito es muy alta a pesar de un buen rendimiento.

Las condiciones de obtención de celulosa en los procesos a la sosa, al sulfito y kraft, no mantienen un estándar común, pero sí se puede apreciar que el porcentaje de rendimiento a la sosa es mayor.

Tabla No. 11, Designificación de la fibra de huizache en los procesos de obtención.

Proceso de obtención de pulpa	Nº de Kappa en Pulpa
Cocción a la sosa	40.08
Cocción Kraft	10.33
Cocción al Sulfito	86.64

Aunque no sería conveniente una comparación en el No. de Kappa, por lo antes mencionado, sí se puede afirmar que la celulosa obtenida a partir del proceso kraft contiene el menor porcentaje de lignina. Esto se puede apreciar al visualizar la figura no. 26; aunque aquí se debe de tener en cuenta que las pulpas no pueden compararse en forma real por las condiciones aplicadas en cada una de ellas, sino que simplemente se grafica para soportar lo afirmado anteriormente en cuanto a las propiedades. Ver figura No. 26

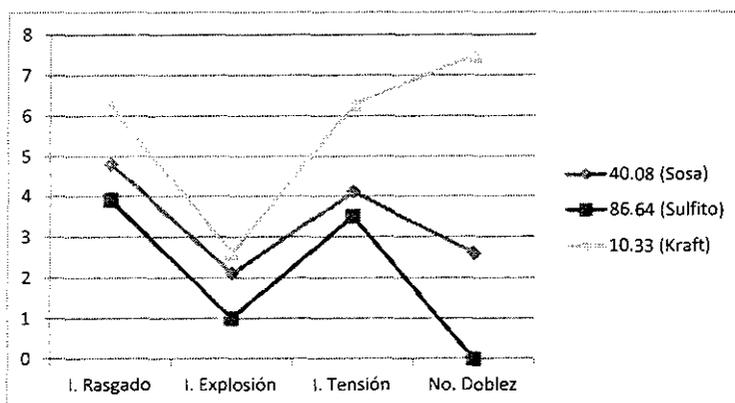


Figura No. 26, Tendencia de la resistencia con el grado de deslignificación

Con las pulpas refinadas se formaron hojas de papel de gramaje estándar, y se presentan los resultados, en las tablas 12, 13, y 14, se reportan las propiedades de resistencia evaluadas para cada proceso de obtención de pulpa. La tendencia de la curva de refinación es de desarrollar sus mejores propiedades en la fibra de huizache. Ver tablas con No. 12, 13, y 14

En las figuras 30, 31 y 32, se muestra la tendencia de resistencia según el grado de refinación para tres propiedades convencionales para papel, tales como son el índice de explosión, Índice de rasgado e Índice de tensión. Ver figuras 30, 31 y 32

#### 6.4. Evaluación de resistencias fisicomecánicas del papel de huizache

Tabla No. 12, Pulpa a la Sosa. Ver figuras, 30, 31 y 32.

RESISTENCIAS FISICOMECAÑICAS Pulpa Sosa					
Tiempo de Ref. (min.)	0	6	12	18	24
Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	61.17	60.67	63.16	61.47	64.60
Espesor mm	0.159	0.13	0.126	0.12	0.128
Porosidad(100ccaire/seg)	1.0	3.0	4.0	3.0	6.0
Doblez (No.)	0	1.0	1.5	2.0	2.6
Blancura (%)	25.8	24.9	23.9	24.2	23.9
Opacidad (%)	99.9	99.7	99.7	99.8	100.2
Rasgado (g-f)	14.8	24.0	29.7	29.3	32.0
Factor R. (100gf.m <sup>2</sup> /g)	24.2	39.6	46.9	47.7	49.53
Índice R. (Nm <sup>2</sup> /kg)	2.4	3.9	4.6	4.7	4.8
Explosión (kg/cm <sup>2</sup> )	4.5	9.76	20.3	17.1	21.1
Índice E. (kPa. m <sup>2</sup> /g)	0.45	0.96	1.9	1.6	2.1
Tensión (kgf)	0.777	0.858	2.37	1.77	2.36
Elongación (mm)	1.2	1.3	2.5	2.0	2.5
Largo de ruptura (m)	120	173	320	337	421
Largo de ruptura (km)	0.120	0.173	0.320	0.337	0.421
Índice T. (N.m/g)	1.1	1.6	3.1	3.3	4.1

En la tabla no. 12, Podemos observar que ciertas propiedades como en el caso del No. de dobles, rasgado, explosión y tensión al tiempo máximo de refinación (24 min), este material fibroso muestra posibilidades de seguir desarrollando propiedades estructurales en la fibra con la refinación y por lo tanto, resistencia.

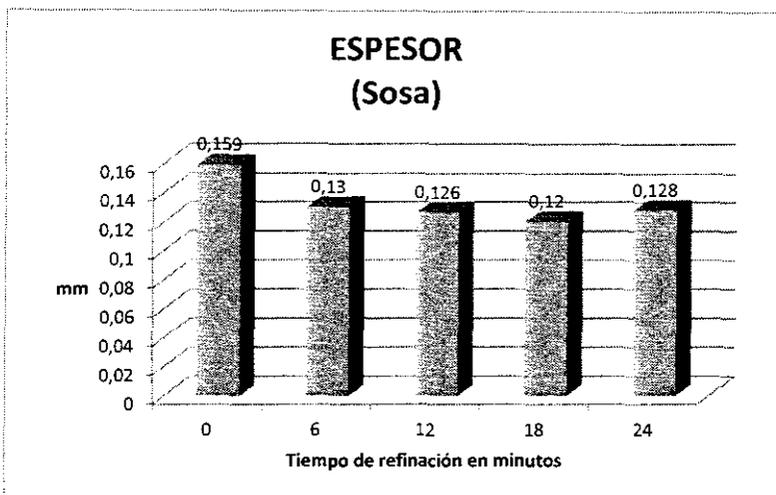


Figura No. 27, Espesor VS Tiempo de refinación

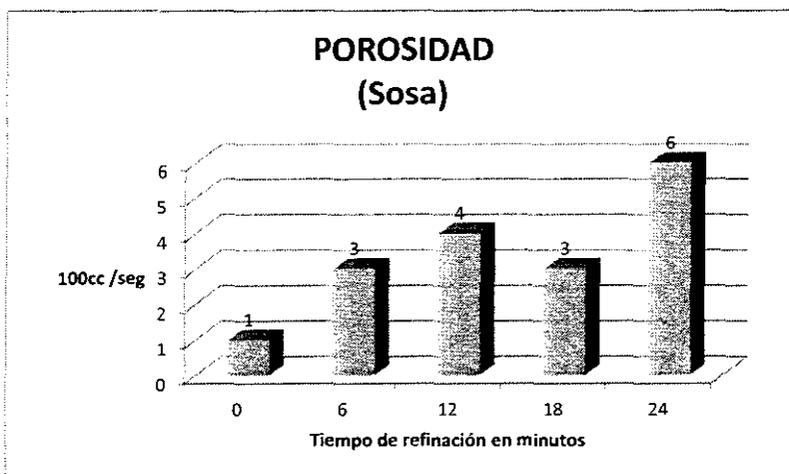


Figura No.28, Resistencia al paso del aire VS Tiempo de refinación

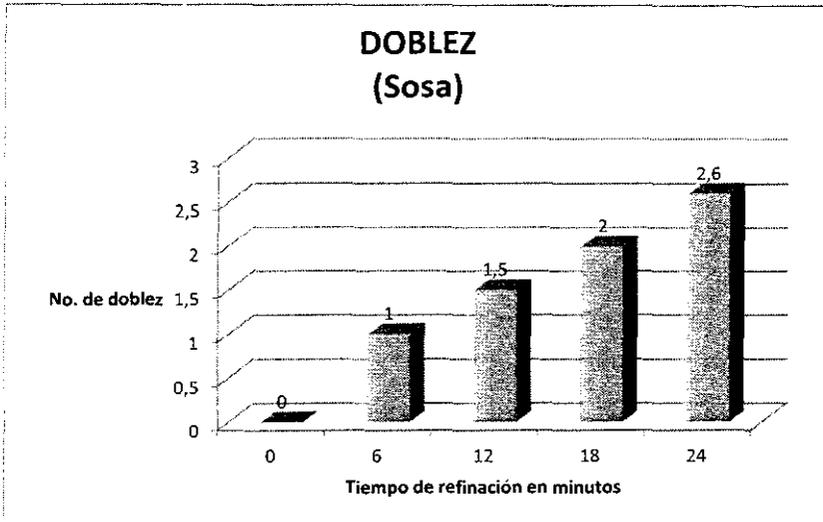


Figura No. 29, Número de dobles VS Tiempo de refinación

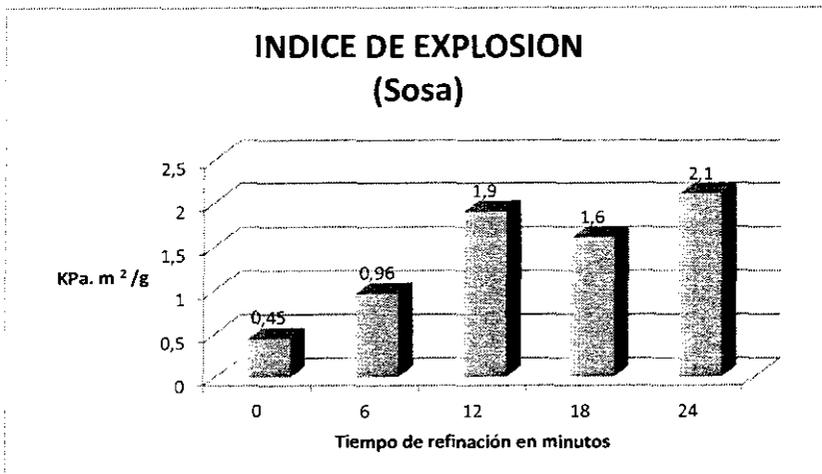


Figura No. 30, Resistencia a la Explosión VS Tiempo de refinación

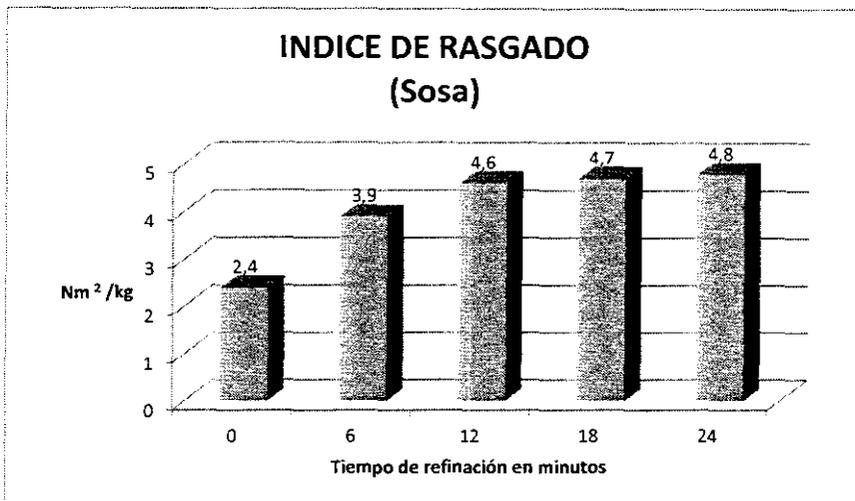


Figura No. 31, Resistencia al rasgado VS Tiempo de refinación

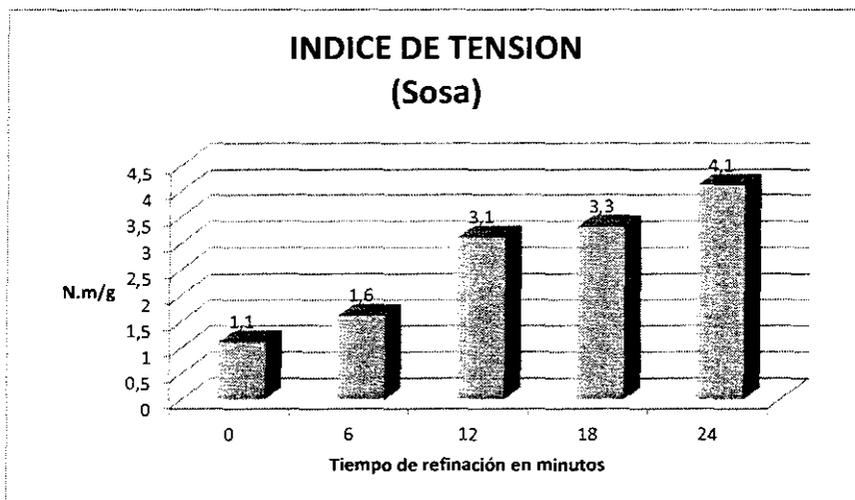


Figura No. 32, Resistencia a la tensión VS Tiempo de refinación

Tabla No. 13, Pulpa al Sulfito. Ver figuras, 35, 36, y 37

<b>RESISTENCIAS FISICOMECAICAS Pulpa Sulfito</b>					
<b>Tiempo Ref. (min.)</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>24</b>
<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	65.65	65.25	58.19	64.65	63.86
<b>Espesor (mm)</b>	0.159	0.13	0.126	0.121	0.128
<b>Porosidad (100cc/seg)</b>	7.0	30.0	46.0	99.0	71.0
<b>Doblez (No.)</b>	0	1.0	0	0	0
<b>Blancura (%)</b>	31.9	32.3	32.3	31.9	32.6
<b>Opacidad (%)</b>	99.8	100.0	99.8	99.8	99.8
<b>Rasgado (g-f)</b>	26.3	25.7	23.0	22.3	22.0
<b>Factor R. (100gf.m<sup>2</sup>/g)</b>	40.1	39.4	39.5	34.5	34.4
<b>Indice R. (Nm<sup>2</sup>/kg)</b>	3.9	3.8	3.9	3.4	3.4
<b>Explosión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4.9	9.7	10.6	10.4	7.2
<b>Indice E. (kPa. m<sup>2</sup>/g)</b>	0.48	0.96	1.0	1.0	0.7
<b>Tensión (kgf)</b>	0.947	1.73	1.73	2.04	1.36
<b>Elongación (mm)</b>	1.7	2.0	2.1	1.8	1.9
<b>Largo de ruptura (m)</b>	166	302	338	358	245
<b>L ruptura (km)</b>	0.96	1.7	1.9	2.1	1.4
<b>Indice T. (N.m/g)</b>	1.6	2.9	3.3	3.5	2.4

De acuerdo a la tabla no. 13, la celulosa al sulfito es un material que muestra propiedades en el papel debidas al desarrollo de la fibra durante la refinación, la cual influyó en su longitud lo que puede confirmarse analizando los resultados tanto de rasgado, tensión, y explosión. Su resistencia al doblez es cero. Cabe mencionar, que la mayor resistencia al rasgado y el valor más alto de explosión se consiguen a los 12 minutos de refinación, mientras que para el índice de tensión ésta mayor resistencia se consigue a los 18 minutos. Hay que hacer notar que ésta celulosa, de acuerdo a las condiciones de cocción empleadas fue la pulpa de menor calidad.

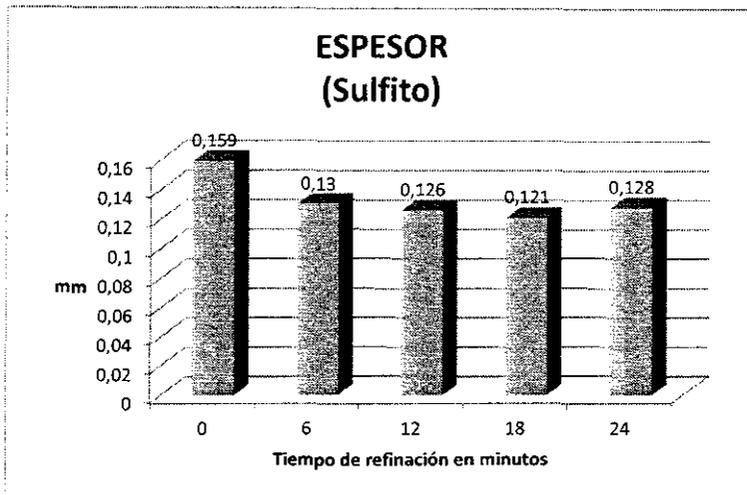


Figura No. 33, Espesor VS Tiempo de refinación.

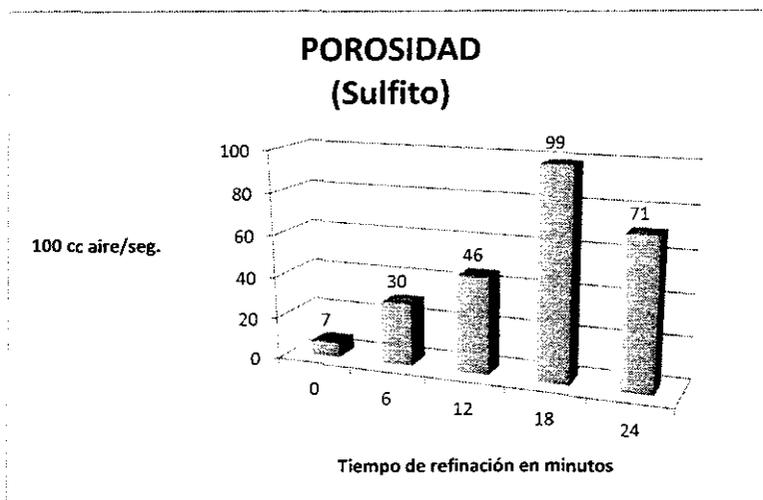


Figura No. 34, Resistencia al paso del aire VS Tiempo de refinación

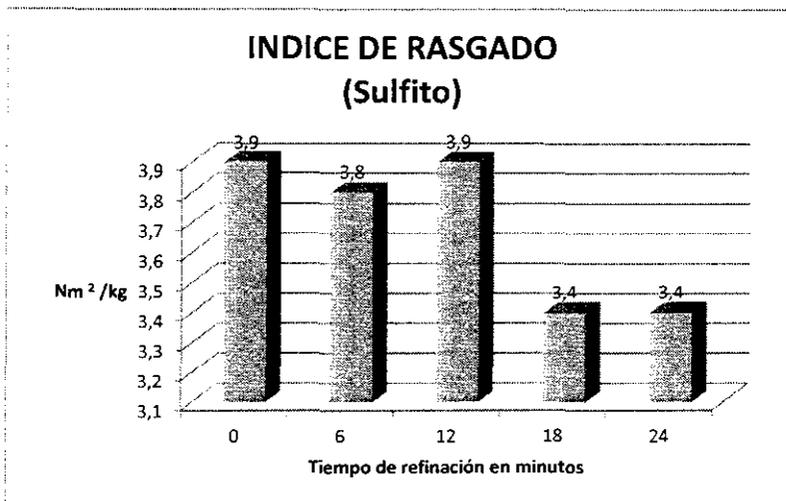


Figura No. 35, Resistencia al rasgado VS Tiempo de refinación

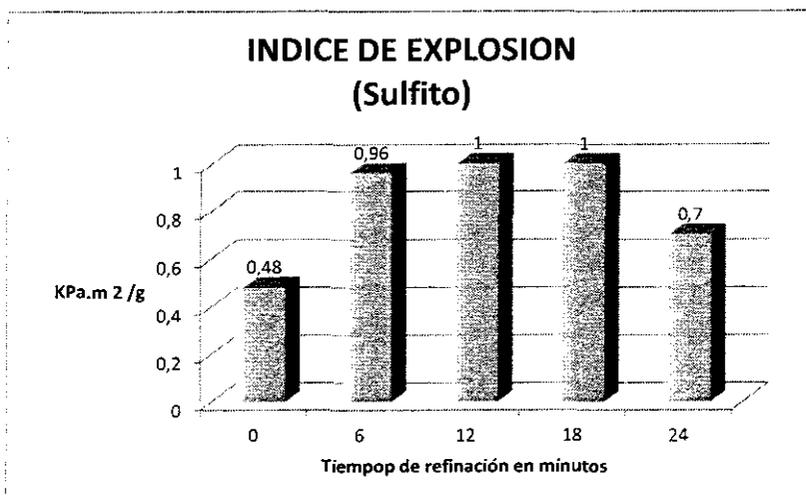


Figura No. 36, Resistencia a la Explosión VS Tiempo de refinación

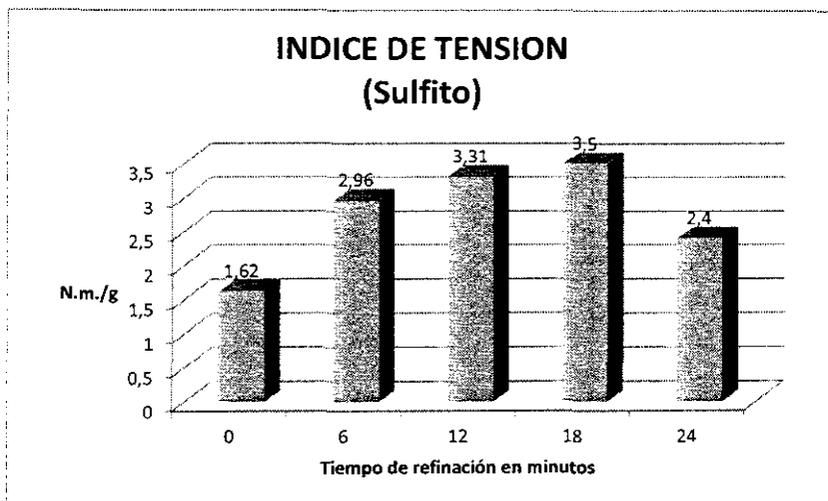


Figura No. 37, Resistencia a la Tensión VS Tiempo de refinación

Tabla No. 14, Pulpa Kraft. Ver figuras, 41, 42, y 43

<b>RESISTENCIAS FISICOMECAICAS Pulpa Kraft</b>					
<b>Tiempo Ref. (min)</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>24</b>
<b>Gramaje (g/m<sup>2</sup>)</b>	60.03	60.87	59.68	59.98	64.65
<b>Espesor (mm)</b>	0.159	0.13	0.126	0.142	0.139
<b>Porosidad (100cc/seg.)</b>	1.0	6.0	7.0	10.0	10.0
<b>Doblez (No.)</b>	0	1.8	5.0	6.3	7.5
<b>Blancura (%)</b>	32.9	32.1	31.6	31.2	31.1
<b>Opacidad (%)</b>	99.7	102.6	99.5	99.3	99.6
<b>Rasgado (g-f)</b>	20.3	31.7	35.4	37.3	41.0
<b>F. R. (100gf.m<sup>2</sup>/g)</b>	33.8	52.0	59.4	62.2	63.4
<b>Indice R. (Nm<sup>2</sup>/kg)</b>	3.3	5.1	5.8	6.1	6.2
<b>Explosión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3.6	15.8	21.1	26.8	26.3
<b>Indice E. (kPa. m<sup>2</sup>/g)</b>	0.36	1.5	2.1	2.6	2.5
<b>Tensión (kgf)</b>	0.574	2.47	2.5	3.5	3.4
<b>Elongación (mm)</b>	1.0	2.4	2.7	3.7	3.5
<b>Largo de ruptura (m)</b>	116	450	465	647	622
<b>Largo de ruptura (km)</b>	0.64	2.7	2.7	3.8	3.5
<b>Indice Tensión (N.m/g)</b>	1.1	4.4	4.5	6.3	6.0

La tabla No.14, con el proceso de cocción kraft, se obtiene el papel de mayor calidad con respecto al proceso a la sosa y el proceso al sulfito. Los efectos de la refinación con 18 minutos presentan el mayor desarrollo de la fibra, respecto a la determinación de la porosidad, el índice de explosión y el índice de tensión; mientras que a los 24 minutos de refinación, la tendencia va en aumento conforme los niveles de la refinación en el número de doblez y el índice de rasgado. Respecto a la blancura, la mayor reflectancia la presenta la pulpa al sulfito y pulpa kraft. La pulpa a la sosa tiene la menor blancura. Los tres procesos de obtención presentan una alta opacidad.

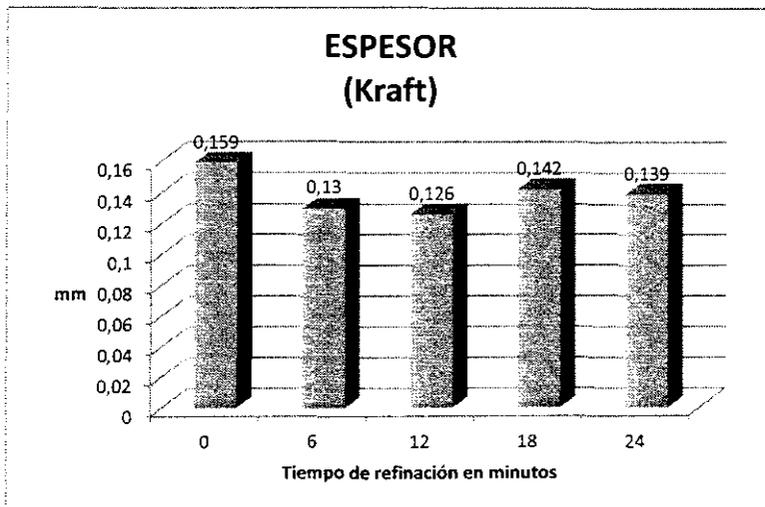


Figura No. 38, Espesor VS Tiempo de refinación

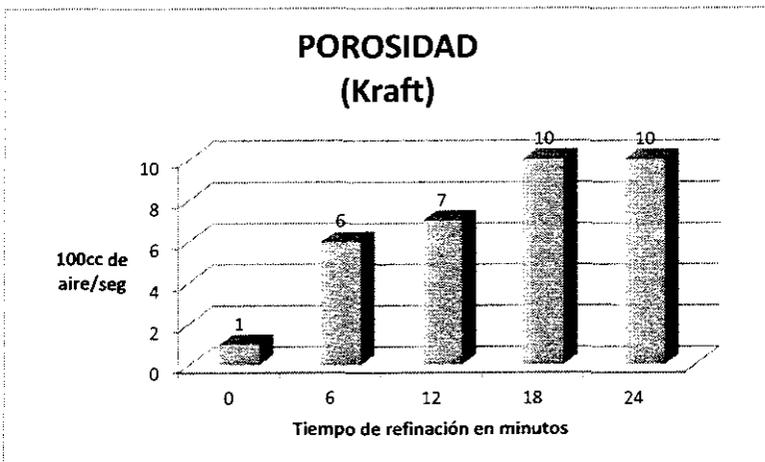


Figura No. 39, Resistencia al paso del aire VS Tiempo de refinación

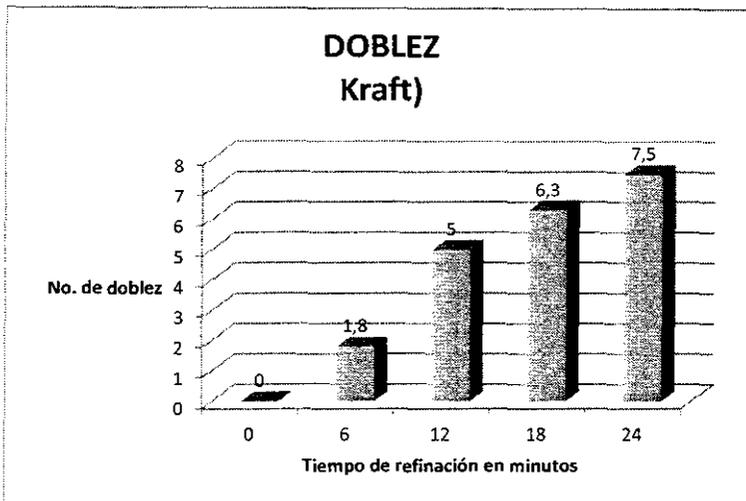


Figura No. 40, Resistencia al número de dobléz VS Tiempo de refinación

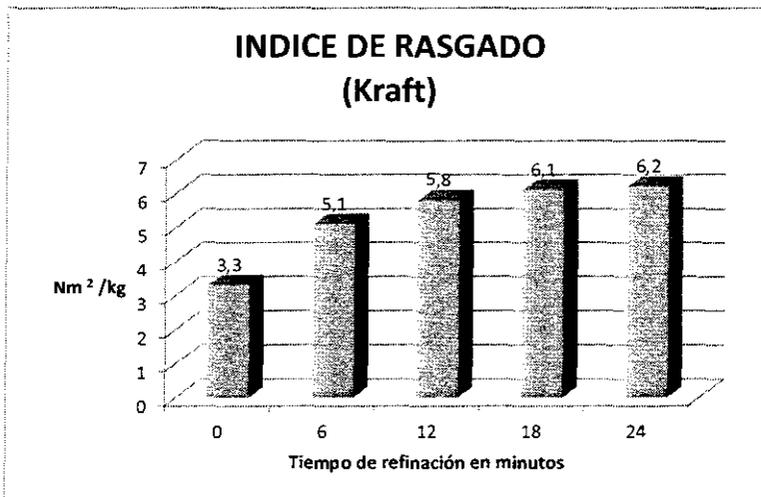


Figura No. 41, Resistencia al rasgado VS Tiempo de refinación

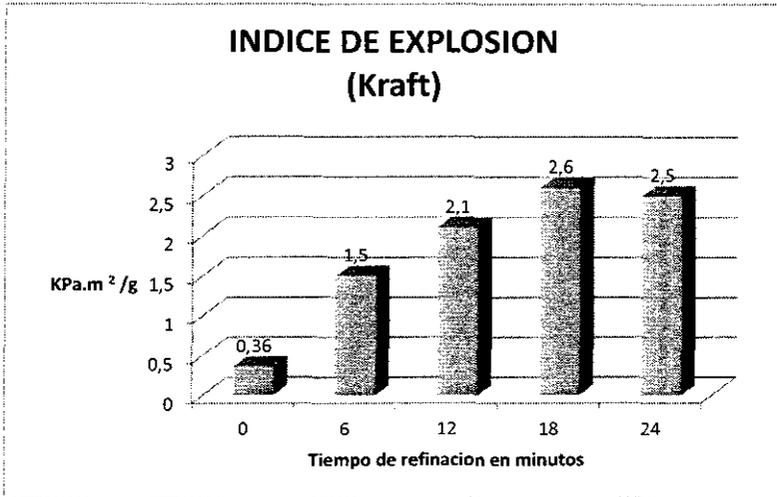


Figura No. 42, Resistencia a la Explosión VS Tiempo de refinación

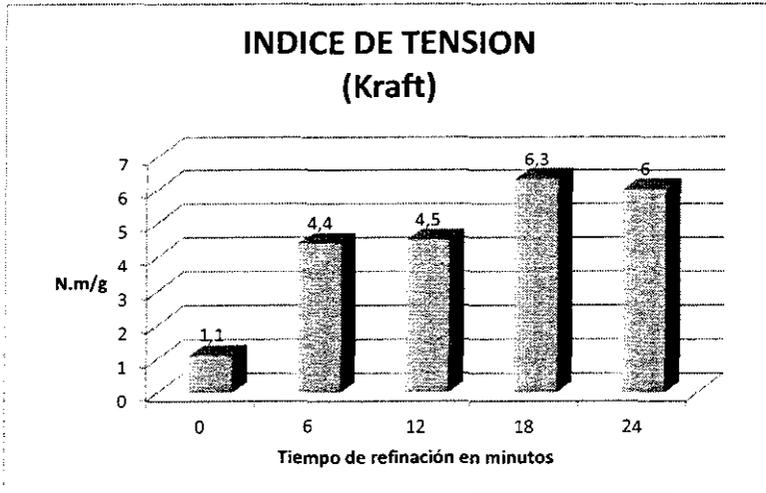


Figura No. 43, Resistencia a la Tensión VS Tiempo de refinación

## 7. Conclusiones.

El proceso de cocción Kraft generó la celulosa de mayor calidad seguido del proceso a la sosa y finalmente el proceso al sulfito.

Las mejores propiedades del papel se obtuvieron con del proceso Kraft.

Con base a las dimensiones de sus fibras es probable fabricar papeles especiales ya sea voluminosos o papeles corrugados.

Los contenidos de holocelulosa y alfa-celulosa aportan buenas propiedades para la fabricación de papeles.

El estudio biométrico realizado al material fibroso de la planta del huizache representa una aportación debido a que no existen trabajos anteriores a éste que reporten dichas mediciones.

### **Recomendaciones**

Aplicar otros procesos de obtención como biopulpeo del material lignocelulósico en los cuales sea posible un incremento en el rendimiento y resistencia..

Evaluar alternativas de otras especies de maderas de latifoliadas para el uso eficiente como fuentes renovables.

Estudiar la factibilidad de utilizar las fibras para la fabricación de tableros aglomerados.

## 8. Bibliografía

1. **AIWA LIST.** BIBLIO OF MICROSCOPIC. FEATURES FOR HARDWOOD IDENTIFICATION BY AN AIWA Conmittec. And Paper Ondustry USA 1991.
2. **BARAJAS M. J., ECHENIQUE-M. R., CARMONA V. F.** La madera y su uso en la construcción No.3. Estructura e identificación. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos, Xalapa, Veracruz.1979. (LACITEMA).
3. **BARRIENTOS R. L.,** Características y potencial de la semilla y cascara de huizache *Acacia farnesiana* Willd. Como fuente de taninos y forraje en el estado de Jalisco. 1993.
4. **BARRIENTOS R. L., HUERTA C., M., SANJUAN D. R., RODRIGUEZ R. A. LOPEZ D. F.** Mimosoideas de importancia forestal en el centro de occidente de México. Universidad de Guadalajara. Coordinación General Académica. Unidad para el Desarrollo de la Investigación y el Postgrado. (2005). Pp. 28.
5. **BECERRA A. B., RAMIREZ C., R.,** *Procesos para la elaboración de Papel.* ISBN: 978-970-764-571-4. Impreso en México. Universidad de Guadalajara, CUCEI.
6. **CASEY, J. P.** Pulp and Paper, Chemistry and Chemical Technology. Third Edition, John Wiley & Sons, U.S.A. (1980).
7. **CASTAÑEDA H. R.** Composición Química de la madera de tres especies tropicales de Jalisco. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, IMCyP. U.D.G. Guadalajara, Méx. (1986).
8. **CATIE.** Especies para leña. Arbustos y árboles para la producción de energía págs. 54, 59. Centro agronómico tropical de Investigación y enseñanza (CATIE).
9. **EARL L. C.,** Ciencia y tecnología sobre Pulpa y Papel. Tomo I. Editorial CECSA, México, D.F. (1979).
10. **FENGEL, D.; WEGENER, G.** Wood Chemistry, Ultrastructure Reactions. Walter de Gruyter, U.S.A. (1983).
11. **FRAYRE V. S.,** Obtención y cuantificación de taninos de la corteza de dos especies de encino del estado de Durango. Tesis profesional. Centro de bachillerato tecnológico industrial de servicios no. 130. Durango, Dgo.( 1986).
12. **FUENTES S. M.,** 1987. Efecto de la digestión en los Indices de Calidad de pulpa de la madera de *Pinus montezumae*. LAMB. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.
13. **GARCÍA E. L., GUINDEO C. A., PERAZA O. C., DE PALACIOS DE P. P.** La Madera y su Anatomía. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2003. Pag. 139, 163.
14. **GÓMEZ L. F., SIGNORET P., ABUÍN M. M. C.** Mezquites y Huizaches. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. México D.F. (1970).
15. **HERNÁNDEZ A.,** Tesis profesional. Uso potencial de *Acacia farnesiana* y posibles repercusiones ecológicas, (1978).
16. **HUERTA C. M.,** Distribución, dendrología y estructura de cuatro leguminosas en Jalisco y su posible aprovechamiento, CUCEI, Universidad de Guadalajara, 1996.
17. **JUÁREZ M. M. A.,** "estudio anatómico de tres especies del estado de Jalisco". Tesis profesional. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara, 1993.

18. **LARIOS S., P.** 1979. Indices de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de bosques. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
19. **LÓPEZ F., ARIZA J., PEREZ I., JIMÉNEZ L.,** "Comparative study of paper sheets from olive tree. Wood pulp obtained by soda, sulphite or kraft pulping. *Bioresource Technology* 71 (2000) 83-86. Elsevier Science.
20. **LÓPEZ, H. Y F. ORTEGA,** "La Madera y su uso. Angiospermas arbóreas de México núm. 2. Anatomía de 11 especies", en *LACITEMA*, México, 1989.
21. **McVAUGH, R.,** Flora Novo-Galiciana. Volume 5. *Leguminosae*, Ann Arbor. The University of Michigan Press, 1990. "Exploración botánica en Nueva Galicia y su importancia en la producción de una nueva flora Novo-Galicia", en *Boletín del Instituto de Botánica*, Universidad de Guadalajara, 1991, época 3, vol. 1, núm. 1, pp. 1-
22. **MONTES, R., E. y GRELLMANN K. A.,** *Estudios anatómicos de encinos mexicanos para apoyo de la industria de celulosa y papel*, IMCYP (publicación especial, núm. 10), Universidad de Guadalajara, 1982.
23. **NAVARRO S. J.,** Ensayos fisicomecánicos del papel. Editorial marfil, España 1970.
24. **ORTEGA E. F., RICALDE C. M.,** Manual para diseño de estructuras de madera. Tomo 1.2 Estructura Biológica de la Madera. LACITEMA, Instituto de Biología, Xalapa, Ver. México. Junio, 1989.
25. **ORTEGA, E. F., CASTILLO, M. L., CARMONA, V. T. F.** La madera y su uso. Angiospermas Arbóreas de México No. 3. Anatomía de la madera de veintiséis especies de la selva lacandona, Chiapas. *Boletín Técnico* 26. Junio, 1991. No.3. ISSN 0188 – 2279. LACITEMA.
26. **ROSALES C. M.,** "Determinación del peso molecular de taninos y composición química en cortezas de dos leguminosas". Tesis profesional. Universidad de Guadalajara, 1987.
27. **SANJUÁN D. R.,** "Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel". Universidad de Guadalajara. Departamento de Celulosa y Papel. CUCEI. Guadalajara, Jalisco, México. MCMXCVII. 1ra. Edición, marzo de 1997.
28. **SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT),** en el suplemento especial *Árboles de México*. Editado para su publicación en la revista electrónica *México Forestal*. Número 31 Fecha de Publicación: Del 21 de Febrero al 6 de Marzo de 2006.
29. **SILVA G., J.A., FUENTES T. F.J., RICHTER, H. G. , ANGELES A. G., SANJUÁN D. R.** Estructura de la madera de *Persea americana* var. *Guatemalensis* Mill (*Hass*). 1999. *Madera y Bosques*.
30. **SKERMAN P. J., CAMERON D.G., RIVEROS F.** "Leguminosas forrajeras tropicales". Colección FAO: Producción y protección vegetal N°2. SBN 92-5-302190-X. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO). Roma 1991. Impreso en Italia.
31. **STANDLEY, P.C.** "tres and Shrubs of Mexico", en *Contr. US Nat. Herb.*, 1920-1926, núm. 23, pp. 17-21.
32. **TAMARIT U. J. C.,** "Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas". *Madera y Bosques* 2(2), 1996:29-41.

33. **VIDRIO M. E.**, "estudio de las características físicas y químicas del tepeguaje (*Lysiloma acapulcense*) y su potencial como materia prima en la obtención de pulpa celulósica". Tesis profesional. CUCEI. Universidad de Guadalajara, 1995.
34. **VIGNOTE P. S., MARTINEZ R. I.**, Tecnología de la madera. Ediciones Mundi-Prensa, 3ra edición, 2006.
35. **VILLASEÑOR A. J. C., RUTIAGA Q. J. C.**, La madera de Casuarina equisetifolia L., química e índices de calidad. Madera y Bosques 6(1), 2000:29 – 40. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Aceptado el 3 de diciembre de 1999.

## Apéndice de figuras

Figura 1. Elementos anatómicos de la madera. . . . .	Pág. 7
Figura 2. Localización de la laminilla media. . . . .	Pág. 8
Figura 3. Orientación de las distintas capas y subcapas de la pared celular. . . . .	Pág. 9
Figura 4. Estructura anatómica de maderas latifoliadas. . . . .	Pág. 10
Figura 5. Planos de la madera. . . . .	Pág. 11
Figura 6. Constituyentes químicos de la madera. . . . .	Pág. 13
Figura 7. Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas. . . . .	Pág. 15
Figura 8. Estructura microscópica y submicroscópica de la celulosa. . . . .	Pág. 16
Figura 9. Molécula de celulosa. . . . .	Pág. 17
Figura 10. Molécula de hemicelulosas. . . . .	Pág. 18
Figura 11. Unidad fenilpropano. . . . .	Pág. 20
Figura 12. Estructura general de la lignina. . . . .	Pág. 20
Figura 13. Diagrama de la acción de los reactivos sobre los constituyentes de la materia prima (proceso kraft). . . . .	Pág. 26
Figura 14. Diagrama de la acción de los reactivos sobre los constituyentes de la materia prima (sulfito ácido). . . . .	Pág. 31
Figura 15. Rango de distribución de <i>Acacia farnesiana</i> . . . . .	Pág. 38
Diagrama de experimentación. . . . .	Pág. 43
Figura 16. Corte tangencial. . . . .	Pág. 45
Figura 17. Corte transversal. . . . .	Pág. 46
Figura 18. Corte radial. . . . .	Pág. 46
Figura 19. Cocción a la Sosa. . . . .	Pág. 55
Figura 20. Cocción kraft. . . . .	Pág. 55
Figura 21. Cocción al sulfito ácido. . . . .	Pág. 56
Figura 22. Variación estructural de longitud en la fibra. . . . .	Pág. 59
Figura 23. Efecto de hinchamiento en el diámetro de la fibra. . . . .	Pág. 60
Figura 24. Variación del espesor de pared celular en la fibra. . . . .	Pág. 60
Figura 25. Variación del diámetro de lumen de la fibra. . . . .	Pág. 61
Figura 26. Tendencia de la resistencia con el grado de deslignificación de la fibra. . . . .	Pág. 64
Figura 27. Espesor contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 66
Figura 28. Resistencia al paso del aire contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 66
Figura 29. Número de doblez contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 67
Figura 30. Resistencia a la explosión contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 67
Figura 31. Resistencia al rasgado contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 68
Figura 32. Resistencia a la tensión contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 68
Figura 33. Espesor contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 70
Figura 34. Resistencia al paso del aire contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 70
Figura 35. Resistencia al rasgado contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 71
Figura 36. Resistencia a la explosión contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 71
Figura 37. Resistencia a la tensión contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 72
Figura 38. Espesor contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 74
Figura 39. Resistencia al paso del aire contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 74
Figura 40. Resistencia al número de doblez contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 75
Figura 41. Resistencia al rasgado contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 75
Figura 42. Resistencia a la explosión contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 76
Figura 43. Resistencia a la tensión contra el tiempo de refinación. . . . .	Pág. 76

## **Apéndice de tablas**

Tabla 1. Componentes básicos de la madera. ....	Pág. 12
Tabla 2. Condiciones promedio de una cocción a la sosa para maderas duras. ....	Pág. 29
Tabla 3. Análisis químico de madera de huizache. ....	Pág. 47
Tabla 4. Equipo de refinación usado. ....	Pág. 57
Tabla 5. Determinaciones de resistencia física para papel. ....	Pág. 57
Tabla 6. Dimensiones de fibras celulósicas de madera. ....	Pág. 58
Tabla 7. Índice de calidad de las fibras celulósicas. ....	Pág. 61
Tabla 8. Propiedades físicas en madera. ....	Pág. 62
Tabla 9. Cuantificación de taninos. ....	Pág. 63
Tabla 10. Valores de rendimiento de procesos químicos. ....	Pág. 63
Tabla 11. Deslignificación de la fibra de huizache en los procesos de obtención. ....	Pág. 64
Tabla 12. Pulpa a la Sosa (resistencias fisicomecánicas). ....	Pág. 65
Tabla 13. Pulpa al Sulfito. ....	Pág. 69
Tabla 14. Pulpa kraft (resistencias fisicomecánicas). ....	Pág. 73

## GLOSARIO

**Absorción de humedad por el papel.** Fenómeno que hace aumentar el contenido de agua del papel cuando se coloca en una atmósfera con una humedad relativa mayor que la de equilibrio propio del papel.

**Aceites esenciales.** Aceites volátiles contenidos en muchas plantas y flores, a las que dan su aroma característico. Muchos de ellos pertenecen al grupo de los terpenos, y otros guardan relación con los derivados del benceno.

**Acetilación.** Esterificación de los grupos hidroxilo de la celulosa con ácido acético. La acetilación de una fibra tiende a reducir su capacidad de absorción de agua y su resistencia.

**Alargamiento a la rotura.** Alargamiento de una tira de papel o cartón, medido en el momento de la rotura, en las condiciones indicadas en el método de ensayo normalizado. Generalmente se expresa como porcentaje de la longitud inicial.

**Álcali activo.** Es una forma de expresar la concentración de los compuestos alcalinos en un licor de cocción también alcalino. Es igual a la concentración de hidróxido de sodio más la de sulfuro de sodio, expresada en gramos de hidróxido de sodio u óxido de sodio por litro de licor.

**Álcali efectivo.** Es una forma de expresar la concentración de los compuestos alcalinos en un licor de cocción. Es igual a la cantidad de sosa más la mitad de la de sulfuro de sodio, expresada en gramos de hidróxido de sodio u óxido de sodio por litro de licor.

**Álcali total.** Es la suma de  $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ , el resultado se expresa como  $\text{Na}_2\text{O}$ .

**Álcali.** Sustancia que se disuelve en el agua formando una disolución alcalina. Se habla a menudo de los álcalis como de bases, pero el término “base” tiene un significado más amplio.

**Aldehído.** Tipo de compuesto orgánico de fórmula general  $\text{RCHO}$ , donde el grupo  $-\text{CHO}$  (grupo aldehídico) consiste de un grupo de carbonilo unido a un átomo de hidrógeno.

**Alfacelulosa.** Es la fracción de una pulpa química blanqueada que queda sin disolver después del tratamiento con una disolución fría de  $\text{NaOH}$  (17 a 18% masa), seguido de un lavado con agua, de acuerdo con un procedimiento específico.

**Arbusto.** Vegetal leñoso perenne de menos de 3 m de altura, sin un tronco preponderante.

**Astilla.** Trozo pequeño de madera obtenido en una astilladora con dimensiones proporcionales a la capacidad de impregnación. Una astilla tiene, normalmente, una longitud de 10 a 30 mm en la dirección de la fibra, y un espesor de 2 a 10 mm.

**Azúcar.** (Sacárido) uno de una clase de carbohidratos de sabor dulce. Los azúcares tienen moléculas que constan de una cadena de átomos de carbono con grupos  $-\text{OH}$ , y un grupo aldehído

o cetona. Pueden estar en forma de cadena o de anillo por la reacción de un grupo cetona o aldehído con un grupo OH.

**Beta-celulosa.** Es la fracción de una pulpa química blanqueada que se disuelve durante la determinación de alfa celulosa y que precipita por acidificación.

**Calibre.** Espesor de una hoja de pulpa o papel.

**Celobiosa.** Compuesto resultante de la polimerización de la glucosa con pérdida de una molécula de agua.

**Celulosa cristalina.** El alto grado de cristalinidad de la celulosa cristalina confiere protección a la célula y constituye un impedimento estérico al ataque de reactivos. No ocurre lo mismo con la celulosa amorfa, que es más fácil de ser atacada. Zonas accesibles desordenadas (hemicelulosas) y zonas no accesibles (celulosa). Las características clave del sustrato de celulosa son la cristalinidad, el área superficial accesible, y las dimensiones de los poros de las fibras indicando que variaciones de alguno de estos factores debidas a la utilización de diferentes tratamientos, puede influir en el transcurso del proceso de degradación de la celulosa.

**Celulosa.** Polisacárido  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , constituyente principal de las paredes de las células vegetales. Sus moléculas están constituidas por cadenas sin ramificar de un número grande y variable de unidades de glucosa unidas mediante enlaces glucosídicos (beta-1,4).

**Ceniza.** Residuo mineral que queda después de calcinar una muestra de pulpa, papel o cartón.

**Cocción.** Tratamiento de una materia prima fibrosa por calor, en presencia de agua a la que se le han añadido ciertos productos químicos.

**Coníferas.** Gimnosperma o árboles perteneciente al orden de los coniferales, así llamado porque el fruto del árbol es un cono como en el caso de los pinos y abetos.

**Consistencia.** La consistencia de una pulpa o más propiamente, la "concentración", está definida como el peso en gramos de fibra base seca en 100 gramos de suspensión.

**Corteza interna.** Capa de tejidos fisiológicamente activos que se encuentran entre el cambium y el felógeno.

**Corteza primaria.** Tejido primario de un tronco o de una raíz situado entre la epidermis y el sistema vascular.

**Corteza.** Capa exterior, aislante y protectora, de la madera, en las raíces, fuste y ramas del árbol.

**Degradación.** Reacción química que involucra la descomposición de una molécula en moléculas más simples.

**Depuración.** Operación destinada a eliminar, por medios físicos, sustancias indeseables en una pulpa (depuración por gravedad, por centrifugación, por paso a través de orificios y ranuras, etc.).

**Desintegración.** Operación que consiste en preparar una suspensión de fibras en un líquido, por desintegración de pulpa, papel o cartón.

**Digestor.** Reactor en el que se efectúa la cocción, a presión, de la materia prima fibrosa (digestión).

**Drenabilidad.** Resistencia de las fibras al flujo de agua; esta propiedad se determina con los probadores Canadian Standard Freeness (CSF) y Shopper-Riegler (SR).

#### **Enlaces de Van der Waals.**

**Extractos.** Sustancias que no forman parte de las paredes celulares de los vegetales.

**Fenol.** Tipo de compuesto orgánico en el cual un grupo hidroxilo está enlazado directamente con uno de los átomos de carbono de un anillo aromático.

**Fibra virgen.** Fibra que no ha sido utilizada previamente en ningún producto de papel o cartón. Las fibras vírgenes deben diferenciarse de la fibra secundaria. Las fibras que vuelven al proceso, procedentes de la propia máquina de papel, se clasifican normalmente fibras vírgenes.

**Fibra.** Elemento morfológico fundamental de las plantas superiores. Las fibras son un cúmulo de células de forma aproximadamente cilíndrica, de longitud y diámetro variable. Tienen los extremos cerrados y alguna vez en punta. Sus paredes, cuyo principal componente es la celulosa, pueden ser más o menos espesas y estar atravesadas por aberturas de pequeñas dimensiones llamadas "aureolas" o punteaduras aureoladas. Las fibras tienen estructura diferente en las distintas plantas, pero en todos los casos la pared celular está formada por dos capas diferentes llamadas pared primaria y pared secundaria. En la madera, las fibras están trabadas por la "laminilla media". Como en la preparación de las materias primas fibrosas las fibras del material empleado mantienen casi intacta su estructura, las fibras representan en realidad los elementos morfológicos que constituyen la masa de las materias fibrosas y determinan sus propiedades y empleo.

**Fibrilación.** Liberación de fibrillas producida por la ruptura parcial de las paredes de las fibras sometidas a un tratamiento apropiado, por ejemplo, refinación.

**Fibrilla.** Elementos estructurales largos y delgados de las paredes de las fibras que, a su vez, constan de elementos aún más finos y filamentosos denominados microfibrillas.

**Furfural.** Los azúcares se deshidratan en medio ácido. Son sustancias con colores distintos según sea un caso pentosa o hexosa.

**Gamma-celulosa.** Es la fracción de pulpa química blanqueada que se disuelve durante la determinación de Alfacelulosa y que no precipita por acidificación.

**Glucosa.** (Dextrosa  $C_6H_{12}O_6$ ) Monosacárido que posee un grupo aldehídico en la molécula (aldohexosa), aparece extensamente en la naturaleza como D-glucosa. Aparece como unidades de

glucosa en la sacarosa, almidón y celulosa. Es una sustancia de sabor dulce, muy soluble en agua, pero poco soluble en los disolventes orgánicos, y no es volátil. Cristaliza con una molécula de agua en forma de prismas monoclinicos o bien anhidros en cristales rómbicos (p.f. 146.5°C).

**Grado de cristalinidad de la celulosa.** Medida del orden entre las cadenas.

**Grado de polimerización.** Aplicado a la celulosa, se refiere al número promedio de unidades de anhidroglucosa existentes en cada molécula de celulosa en una muestra de pulpa. Normalmente, se calcula a partir de la viscosidad de la celulosa determinada mediante ensayo de disolución de cuprietilendiamina (CED).

**Grado de refinación Shopper Riegler.** Es un índice que mide la capacidad de desgote en una pulpa, determinado en el aparato Shopper-Riegler. Un grado Shopper Riegler equivale a un volumen de 10 ml. del líquido que rebosa por el orificio grueso del aparato.

**Haces fibrosos.** Fragmentos gruesos de materiales fibrosos presentes en una pulpa o un papel.

**Hemicelulosas.** Término general con que se conoce a los polisacáridos distintos de la celulosa que son constituyentes de las paredes celulares de los vegetales. Las hemicelulosas son importantes en la fabricación de pulpa ya que aumenta su rendimiento y aumentan la resistencia del papel.

**Hexosas.** Polisacáridos resultantes de la polimerización de diversas hexosas, por ejemplo, almidón, galactanos y mananos.

**Hinchamiento de la celulosa.** Modificación química que experimenta la celulosa cuando se pone en contacto con el agua líquida o en forma de vapor. La celulosa absorbe moléculas de agua, que se entremezclan entre sus macromoléculas aumentando la distancia entre ellas. Muchos compuestos químicos, en especial los alcalinos, favorecen el hinchamiento de las fibras.

**Holocelulosa.** Producto que esencialmente comprende el contenido total de polisacáridos de la madera (celulosa y hemicelulosas). La holocelulosa se prepara mediante la eliminación selectiva de sustancias extraíbles y lignina presentes en la madera.

- Indicar el grado de deslignificación que ocurre durante la cocción, esto es, una prueba para controlar la cocción.
- Indicar los requerimientos de reactivos en el blanqueo.

**Latifoliadas.** Especie que presenta hojas planas que bien pueden ser perennes o deciduas. El término se usa para diferenciar a todo un grupo de especies y familias que no pertenecen a las gimnospermas. En la práctica se le conoce también como "maderas duras" o maderas de fibra corta.

**Licor blanco.** Consiste en una disolución de NaOH y Na<sub>2</sub>S. (Cocción del proceso kraft).

**Licor de cocción.** Solución de reactivos que se emplea en la cocción de materiales lignocelulósicos destinados a la producción de pulpas.

**Licor negro.** Licor recuperado por separación de la pulpa química (normalmente a la sosa o kraft), de los productos resultantes del proceso de cocción.

**Lignina.** Polímero aromático que forma parte de los tejidos de sostén de los vegetales; suele estar asociada a la celulosa. Se deposita especialmente en las paredes celulares del esclerénquima, en los vasos xilemáticos y en las traqueidas. Está formada principalmente por unidades de fenilpropano unidas irregularmente.

**Lumen.** Espacio incluido entre las paredes celulares.

**Macromolécula.** Molécula gigante de masa muy elevada cuyo tamaño está comprendido entre 10 y 10 000 Å°.

**Matriz.** Fase sólida continua en la cual se incluyen las partículas de una fase sólida diferente.

**Mensurable.** Característica medible.

**Mercaptanos.** Productos orgánicos azufrados, producidos en el proceso kraft al que dan su olor característico.

**Nucleófilo.** Ión o molécula rica en electrones que toma parte en una reacción orgánica. El nucleófilo puede ser un ion negativo o una molécula con un par de electrones compartidos. El nucleófilo ataca las partes con polaridad positiva de las moléculas, que por lo general se originan por la presencia de un átomo electronegativo en cualquier lugar de la molécula.

**Número de kappa.** Es el número de centímetros cúbicos de una solución 0.1 N de permanganato de potasio consumidos por un gramo de pulpa libre de humedad, y se usa para dos propósitos específicos:

**Opacidad.** Propiedad de una hoja de fibras o papel que impide el paso de la luz y evita que puedan verse a través de ella objetos cercanos o que estén en contacto con el lado opuesto.

**Papel.** Lámina constituida esencialmente por fibras celulósicas de origen natural y otras sustancias orgánicas e inorgánicas que se entrelazan y forman una hoja afieltrada. Por encima de un cierto gramaje o de una cierta rigidez, el papel se denomina cartulina o cartón.

**Pared primaria.** Capa más exterior de la pared celular de las fibras vegetales. Es muy delgada y está formada por un entrecruzamiento desordenado de fibrillas celulósicas, que en algunas plantas está muy impregnada de hemicelulosas y lignina.

**Pared secundaria.** Constituye la masa de la pared celular de las fibras vegetales y se divide en tres capas: una exterior delgada; otra intermedia muy espesa, y otra interior, de nuevo delgada, que

delimita la cavidad interna de la fibra. Estas capas están formadas por microfibrillas celulósicas enrolladas en espiral variadamente inclinada. En las plantas, la pared secundaria está incrustada con hemicelulosas y lignina.

**Parénquima axial apotraqueal.** Tejido parenquimático que no está en contacto con los vasos.

**Parénquima axial paratraqueal.** Tejido parenquimático que está en contacto con los vasos.

**Parénquima axial.** Tejido de conducción situado en dirección longitudinal que acompaña o auxilia a los vasos.

**Parénquima radial.** Tejido de conducción que va de la corteza al centro del árbol.

**Parénquima.** Tejido vegetal constituido por células adultas de forma cúbica, prismática o esferoidal, con las membranas delgadas y no lignificadas.

**Pentosa.** Azúcar simple (monosacárido) que contiene cinco átomos de carbono en su molécula (xilosa, arabinosa).

**Pentosa.** Azúcar simple (monosacárido) que contiene cinco átomos de carbono en su molécula (xilosa y arabinosa).

**Pentosanos.** Poliósidos resultantes de la polimerización de diversas pentosas. Forman la mayor parte de las hemicelulosas de la madera.

**Porosidad.** Relación entre el volumen de poros y el volumen total.

**Pulpa.** Materia prima celulósica, de estructura fibrosa y origen natural vegetal, preparada para la fabricación de papel y cartón.

**Refinación.** Trabajo mecánico dado a la fibra y cuyo objetivo es primeramente separar las fibras, para de ésta manera, fibrillarlas, cortarlas e hidratarlas, proporcionando cierta particularidad, en función de la cual dará al papel ciertas propiedades.

**Resistencia a la explosión.** La resistencia a la explosión o *Mûllen* se expresa como la presión hidrostática en kilopascales, libras por pulgada cuadrada o kilogramos por centímetro cuadrado, requeridos para producir una ruptura estructural en el material, cuando existe un incremento en la presión, uniformemente distribuido y aplicado en ángulo recto bajo la superficie del papel.

**Resistencia a la tensión.** Se define como la máxima fuerza de tensión por unidad de ancho aplicada en una tira de papel hasta su ruptura bajo condiciones preestablecidas, reportada en las siguientes unidades kN/m.

**Resistencia al doblez.** Indica la aptitud de un papel para ser doblado o arrugado sin sufrir roturas o enmendaduras por un buen período de tiempo; ésta propiedad se mide por el número de dobleces necesarios para romper una muestra de papel cuando ésta es flexionada a un ángulo especificado bajo una tensión controlada.

**Resistencia al rasgado.** La propiedad de rasgado determina la fuerza promedio perpendicular al plano del papel requerida para rasgar una hoja, a través de una distancia específica, después de haber hecho un corte inicial.

**Sulfato pulpa al.** Pulpa obtenida por la acción del licor alcalino compuesto esencialmente de una mezcla de sosa cáustica y sulfuro de sodio.

**Sulfito pulpa al.** Pulpa producida por cocción con un licor al sulfito, hecho disolviendo dióxido de azufre en una base acuosa.

**TAPPI.** *Technical Association of the Pulp and Paper Industry.* Asociación técnica de la Industria de Pulpa y Papel de los Estados Unidos.

**Terpenos.** Cualquiera de los hidrocarburos que poseen en su molécula un elemento básico estructural, el isopreno  $C_5H_8$ , llamado también hemiterpeno, y oxidación. La mayor parte de los terpenos son compuestos acíclicos y cíclicos no saturados que se caracterizan por su inestabilidad química. Se oxidan, se reducen, polimerizan y sufren transposiciones intramoleculares. Poseen olores característicos y por lo general son líquidos incoloros, difíciles de aislar por destilación fraccionada.

**Vaso criboso.** Elemento morfológico de la madera de plantas latifoliadas, de forma ancha y corta, característica de varias especies leñosas. Desde el punto de vista de la fabricación de papel no significan nada, mientras que son útiles para el reconocimiento microscópico de las materias fibrosas de las diferentes maderas.

**Vaso.** Tejido que conduce la savia no elaborada desde las raíces hasta las hojas.

**Xilema.** Porción leñosa de un haz conductor, se compone de vasos leñosos, parénquima xilemático y fibras leñosas.

**Xilosa.** Pentosa que forma a menudo la mayor parte de los azúcares obtenidos por hidrólisis ácida de la madera o de las hemicelulosas.