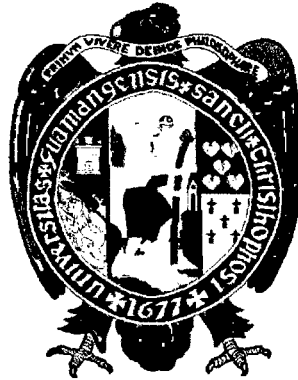


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**“OBTENCIÓN DE FIBRAS A PARTIR DE RAQUIS DE  
PLÁTANO PARA LA PRODUCCION DE PULPA DE  
PAPEL”**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JACK GALOA QUIHUE CABEZAS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**ASESOR: Ing. BERNARDO ENCISO LÓPEZ**


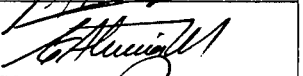
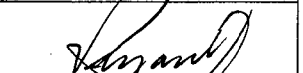
**AYACUCHO - PERÚ**

**2014**

Tesis  
Q 478  
Qui

## ACTA DE CONFORMIDAD DEL TRABAJO DE TESIS

Los que suscribimos, miembros del jurado designado para el acto público de sustentación de la tesis titulado OBTENCIÓN DE FIBRAS A PARTIR DEL RAQUIS DE PLÁTANO PARA PRODUCIR PULPA DE PAPEL, presentado por el Bachiller Jack Galoa QUIHUE CABEZAS, el cual fue sustentado el día martes 23 de diciembre del 2014, en merito a la Resolución Decanal N° 112 – 2014 –FIQM - D, damos conformidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis y declaramos el documento APTO, para que se puede iniciar sus gestiones administrativas, que conduzcan a la expedición y entrega del TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Ing. Alfredo ARIAS JARA	28259736	
Ing. Cronwell Eduardo ALARCÓN MUNDACA	28225147	
Ing. Pedro INGA ZARATE	28263868	

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre Encarnación, por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, apoyándome durante este arduo camino para convertirme en un profesional.

A mi padre Joaquín, por apoyarme en los momentos menos pensados.

A las personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño y amor esta tesis se las dedico a ustedes: Nohely, Andrhyw, María, Rosmery, Vanessa, Pamela, Franklin, Joseph, Fritz, Federico y para ti mi abuelo querido.

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de investigación es el resultado del esfuerzo conjunto de personas que ayudaron en su concepción e investigación de manera e indirecta. Por esto agradezco a los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, en especial al Ing. **BERNARDO ENCISO LÓPEZ**, durante mis estudios han contribuido, poniendo sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este trabajo de investigación, cuya culminación ha llenado todas mis expectativas en mi formación profesional.

Finalmente un eterno agradecimiento a la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, que me abrió sus puertas, preparándome para un futuro competitivo y formándome como un profesional y persona de bien.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el cultivo del plátano es un importante renglón de la creciente economía peruana, con un 25% nada despreciable en la producción mundial, no obstante el porcentaje exportado es bajo. Cabe decir que, al momento de cosechar el plátano con fines tanto de exportación como de consumo interno, se aprovecha aproximadamente solo el 30% del total de la planta y el resto son residuos no aprovechados.

Después de la cosecha y post-cosecha quedan subproductos como la cáscara, el raquis, las hojas y el pinzote (tallo) que contienen elementos nutritivos importantes, tales como proteínas, carbohidratos, fibra y compuestos nutritivos, que podrían ser utilizados en la alimentación humana o animal, que generalmente son desechados y quemados, ya sea en la misma plantación o en los mercados donde se comercializa. El impacto ambiental generado es alto, ya que dichos residuos contaminan las fuentes de agua, sirven como hospedero de plagas que causan

enfermedad a la misma planta, generan reducción de espacios y un problema de higiene por la acumulación de residuos sólidos y generación de gases contaminantes.

A nivel mundial existe la creciente demanda de papel y por ende, la tala indiscriminada de árboles para su fabricación, en tal sentido se están realizando investigaciones que giran alrededor de la industrialización de los subproductos del plátano, y el aprovechamiento de otras materias primas; estos estudios tienen cierto grado de aceptación, pero continúan sin visibles resultados frente a su aplicación con miras a fortalecer la cadena productiva del plátano. El raquis o vástago, es uno de los residuos generados tanto en la cosecha como en la post-cosecha del plátano que se industrializa a fin de obtener productos alimenticios de alto valor nutricional y con características sensoriales y microbiológicas óptimas para su consumo.

El presente trabajo tiene como objetivo obtener pulpa de papel a partir del raquis del plátano para la producción de papel, en base a datos experimentales, de tal forma que se contribuya al fortalecimiento de su consolidación como materia prima alternativa para la producción de papel y en particular su difusión en la disminución del impacto ambiental.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

En el presente trabajo de investigación se plantea como objetivo la **OBTENCIÓN DE FIBRAS A PARTIR DE RAQUIS DE PLÁTANO PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA DE PAPEL** (variedad Musa paradisiaca); el estudio que se presenta, básicamente está constituido por cinco capítulos, el capítulo I presenta la exposición de generalidades, en él se muestra los objetivos y la justificación del trabajo, en el capítulo II, se realiza el estudio de la materia prima, como las hojas, pinzote, el fruto, etc. en su conjunto, en el capítulo III, se realiza en estudio de la pulpa de papel, en el capítulo IV se presenta la parte experimental de la investigación, incidiendo en la metodología correspondiente, y en el capítulo V, se muestra el análisis de los resultados experimentales y las discusiones correspondientes.

## **INTRODUCCIÓN**

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

## **ÍNDICE**

### **CAPITULO I**

#### **GENERALIDADES**

<b>1.1. ANTECEDENTES</b>	<b>09</b>
<b>1.2. OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
<b>1.3. JUSTIFICACIONES</b>	<b>16</b>
1.3.1. Justificación económica	16
1.3.2. Justificación técnica	17
1.3.3. Justificación social	17
1.3.4. Justificación ambiental.	18

### **CAPITULO II**

#### **ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA**

<b>2.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>19</b>
<b>2.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA</b>	<b>20</b>
<b>2.3. DESCRIPCIÓN FISIOLÓGICA DE LA PLANTA DE PLÁTANO.</b>	<b>20</b>
2.3.1. Sistema Radicular	20
2.3.2. Tallo	21
2.3.3. Seudo-tallo	21
2.3.4. Sistema foliar	21
2.3.4.1. vaina o yaguas	22
2.3.4.2. seudo peciolo	22
2.3.4.3. Limbo	22
2.3.4.4. Nervadura central.	22
2.3.5. Fruto	22

2.4.	RAQUIS	23
2.5.	VARIEDADES.	25
2.6.	CARACTERÍSTICAS GENERALES Y PROPIEDADES DE LAS FIBRAS NO LEÑOSAS (FIBRAS VEGETALES).	26
2.6.1.	Fibras	26
2.6.2.	clasificación de fibras	27
2.6.2.1.	Fibras duras	28
2.6.2.2.	Fibras suaves	28
2.6.2.3.	Fibras cortas	28
2.6.2.4.	Fibras de palmas	28
2.6.2.5.	Fibras diversas:	28

### CAPITULO III

#### ESTUDIO DEL PRODUCTO

3.1.	HISTORIA DE LA PULPA DE PAPEL Y PAPEL	31
3.1.1	Historia de la industria papelera en el Perú	33
3.2.	INDUSTRIA DE LA PULPA DE PAPEL Y PAPEL EN EL PERÚ	35
3.3.	DEFINICIÓN DE LA PULPA DE PAPEL	36
3.3.1.	Estudio comparativo de tipos de pulpas de papel.	36
3.3.2.	Estudio comparativo de pulpas mecánicas y químicas	38
3.4.	MATERIA PRIMA: MADERA CELULOSA	39
3.4.1.	Estructura de la madera	39
3.4.2.	Características físico-químicas de la madera	40
3.5.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA PULPA	42
3.5.1.	Procesos mecánicos	43
3.5.2.	Procesos semiquímicos.	43
3.5.3.	Procesos químicos	43
3.5.3.1.	Proceso a la sosa	44
3.5.3.2.	Proceso al sulfito neutro	46
3.5.3.3.	Pulpeado kraft	48
3.5.3.4.	Pulpeado al sulfito.	48

3.5.3.5.	Proceso organosolv.	49
3.5.3.6.	Procesos que utilizan alcoholes	49
3.5.3.7.	Procesos que utilizan ácidos orgánicos.	50
3.5.3.8.	Proceso a la acetona	51
3.5.3.9.	Proceso al fenol	52
3.5.3.10.	Proceso al formaldehído	52
3.5.3.11.	Proceso a la etanolamina	53
3.5.3.12.	Proceso al etilenglicol	53
3.5.3.13.	Proceso al etanol – acetona	54
3.6.	<b>MERCADO MUNDIAL DE LA PULPA</b>	54
3.7.	<b>IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DEL PAPEL</b>	55
3.7.1.	Principales impactos ambientales.	56
3.7.1.1.	Consumo de energía	56
3.7.1.2.	Consumo de agua	56
3.7.1.3.	Emisiones gaseosas	57
3.7.1.4.	Efluentes líquidos	57
3.7.1.5.	Residuos sólidos	58
3.7.1.6.	Blanqueo de la pulpa de papel.	59
3.8.	<b>RECICLAJE</b>	60

## **CAPITULO IV**

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

4.1.	<b>LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.</b>	61
4.2.	<b>MATERIA PRIMA.</b>	61
4.3.	<b>MÉTODOS DE ANÁLISIS</b>	63
4.3.1.	Caracterización de la materia prima	63
4.3.2.	Caracterización física de la raquis del plátano	63
4.3.2.1.	Humedad.	63
4.3.2.2.	Densidad.	63
4.3.2.3.	Cenizas	64
4.3.3.	Caracterización química de la raquis de plátano	64

4.4.	<b>MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.</b>	65
4.4.1.	Insumos y reactivos.	65
4.4.2.	Equipos.	65
4.5.	<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b>	66
4.5.1.	Recolección de la materia prima.	67
4.5.2.	Procedimiento para la Obtención de la pulpa.	66
4.5.2.1.	Recepción	67
4.5.2.2.	Limpieza	67
4.5.2.3.	Troceado	68
4.5.2.4.	Pesado	68
4.5.2.5.	Lixiviación.	69
4.5.2.6.	Pesado de los reactivos.	69
4.5.2.7.	Preparación de las soluciones.	69
4.5.2.8.	Proceso a la sosa.	69
4.5.2.9.	Cocción	71
4.5.2.10.	Desfibrado o lavado	71
4.5.2.11.	Blanqueo.	72
4.5.2.12.	Lavado.	73
4.5.2.13.	Licuado.	74
4.5.2.14.	Filtrado.	75
4.5.2.15.	Obtención de la pulpa de papel.	75
4.5.2.16.	Papel	77
4.6.	<b>MÉTODOS DE CONTROL DE LA PULPA.</b>	78
4.6.1.	Métodos físicos	78
4.6.1.1.	Contenido de humedad	78
4.6.1.2.	Contenidos de puntos sucios.	79
4.6.2.	Métodos químicos	79
4.6.2.1.	Pruebas de blanqueabilidad	80
4.6.2.1.	Método del permanganato	80
4.6.2.2.	Determinación del pH	81
4.6.3.	Evaluación de las muestras celulósicas.	81
4.6.3.1.	Determinación de contenido de holocelulosa	81
4.6.3.2.	Determinación de contenido de alfa, beta y gamma	82

4.6.3.3. Lignina	85
4.6.3.4. Determinación del índice kappa (N-tappi t 236-cm-85)	86

## **CAPITULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

5.1. ANÁLISIS DEL RAQUIS DE PLÁTANO	89
5.2. OBTENCIÓN DE PULPA DE PAPEL	89
5.2.1. Determinación de parámetros óptimos para la Obtención de pulpa papel.	91
5.3. PROCESO DEFINITIVO PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA DE PAPEL	94
5.4. EVALUACIÓN DE LA PULPA DE PAPEL	94
5.4.1. Contenido de humedad de la pulpa	94
5.4.2. Contenidos de puntos sucios (NORMA TAPPI T213-M43)	95
5.4.3. Determinación de contenido de alfa, beta y gamma Celulosa.	95
5.4.4. Determinación de permanganato e índice de Blanqueabilidad	98
5.5. CONTROL DE CALIDAD DE LA PULPA DE PAPEL.	99
5.5.1. Longitud de fibra.	100
5.5.2. Índice kappa	100
5.5.3. Lignina residual	105
5.5.4. Progreso del pH en las diferentes muestras	106

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA.**

**ANEXOS**

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

Luego de haber realizado la investigación bibliográfica relacionada al tema tratado tanto a nivel local como a nivel nacional, los únicos antecedentes que se han encontrado son los siguientes:

**Autor: Ing. Rocío Orihuela Equihua,**

***“Uso de la higuera en la obtención de celulosa a la sosa, blanqueada para uso en papel bond”. México – Morelia- 2011.***

Resumen:

Hace referencia de una investigación realizada en México-Morelia, donde se utiliza la higuera en la obtención de celulosa a la sosa, blanqueada mediante el sistema [OD(OP)D] para el uso y obtención de papel bond

**Ing. Rodríguez García V (1971)**

***Estudio Cinético de un Proceso a la Sosa con Madera de Eucalipto para Obtención de Celulosa. Universidad de Guadalajara. México.***

Resumen:

Estudio mediante el cual se ve el comportamiento cinético de un proceso a la sosa con madera de eucalipto para la obtención de celulosa, donde señala los aspectos básicos de cómo obtener una pulpa de celulosa acorde a los parámetros necesarios para la fabricación a posterior del papel.

**Cristina CHILUIZA BENITEZ.**

***ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL DE CAÑA. QUITO ECUADOR 2011. Escuela Politécnica Nacional.***

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue realizar un estudio técnico-económico para la elaboración de papel a partir de la caña. Para esto, se hizo necesario llevar a cabo pruebas a escala de laboratorio, con la finalidad de validar la idoneidad de la materia prima como un material vegetal apto para la obtención de pulpa de celulosa y posterior elaboración de papel. Además se determinaron las principales variables que influyen directamente en la obtención de pulpa para poder establecer un proceso productivo aplicable a nivel artesanal.

**ANDRÉS JOSÉ GONZÁLEZ A.**

***FACTIBILIDAD DE USO DE FIBRA DE RAQUIS DE PALMA  
ACEITERA PARA ELABORAR PAPEL Guácimo, Costa Rica  
Diciembre, 2005***

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo reducir la acumulación de desechos que resultan del procesamiento de la palma aceitera. Específicamente el autor del proyecto quiere determinar si la fibra del raquis de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), es apta para realizar papel mediante el proceso de producción en “frío”. Con el afán de gestionar un sistema de reciclaje de la fibra para mitigar el efecto de este material en el ambiente, y desarrollar una fuente de ingreso para las cooperativas y refinadoras de aceite.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los parámetros del proceso óptimo para la obtención de pulpa de papel a partir del raquis del plátano.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el pH adecuado para la obtención de pulpa de papel
- Experimentar y evaluar los diferentes métodos de extracción de fibras a partir del raquis del plátano para obtener pulpa de papel.

- Promover la investigación del plátano como materia prima para la obtención de la pulpa de papel proporcionándole valor agregado para beneficio de la región.
- Establecer la dosificación adecuada de los reactivos para la obtención de pulpa de papel a partir del raquis del plátano
- Seleccionar un proceso adecuado sobre la base del análisis de los datos experimentales para obtener la tipo de pulpa de papel.
- Establecer los parámetros del proceso para la elaboración de pulpa de papel.

### **1.3. JUSTIFICACIONES**

#### **1.3.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

Actualmente en el contexto internacional las fibras naturales recuperan espacio en el mercado mundial como insumos ventajosos en sostenibilidad y protección del ambiente, precisamente los intereses o preferencias ambientales de la sociedad están creando un nuevo concepto de mercadeo global, con énfasis en disminuir el deterioro del planeta, e innovar las tecnologías de cultivo, procesamiento y aplicación.

En la actividad platanera, no solo se tiene beneficio del fruto sino puede aprovecharse toda la planta, para la extracción de fibras en la elaboración de papel, especialmente del pseudo tallo y las fibras del raquis. Esta especie tiene apariencia de árbol, pero es una planta herbácea, que puede generar un valor agregado.

Dentro del marco económico tiene gran importancia, el aporte del presente proyecto, ya que incidirá en beneficio de los productores de plátano y elevará sus ingresos económicos y calidad de vida.

La disponibilidad y existencia de materia prima, especialmente en la zona del VRAE asegura la viabilidad y ejecución de la investigación, complementándose con los programas de sustitución de la hoja de la coca con productos alternativos.

### **1.3.2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

El estudio de métodos apropiados para la extracción de fibras a partir del plátano para la obtención de pulpa de papel; no requiere una tecnología sofisticada, su procesamiento debe ser adecuado a la tecnología limpia.

El presente estudio muestra los resultados de un trabajo experimental para la obtención de pulpa de papel a partir de fibras del plátano, con lo que estarán en la capacidad de industrializar los residuos del plátano para producir pulpa de papel.

### **1.3.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

Es indudable que en todo proyecto de investigación especialmente del tipo experimental de cualquier materia prima, en este caso de material de desecho sin aparente valor, representa una alternativa de mejora en la calidad de vida de los actores directos e indirectos de la industria, porque significa dar un valor agregado a su cultivo y a su

calidad de vida, contribuyendo en el desarrollo socio – económico de la provincia de Ayacucho.

#### **1.3.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.**

La actividad platanera produce desechos, porque la planta tiene una sola vida, los cuales son quemados o depositados en el suelo, produciendo focos infecciosos durante su putrefacción; el aprovechamiento de estos residuos reducirá significativamente la contaminación del medio ambiente. Uno de los grandes problemas que enfrentan los productores del plátano, es la eliminación de estos residuos orgánicos, el cual genera costos importantes en materia ambiental y económica.

## **CAPITULO II**

### **ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA**

#### **2.1. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA.**

El plátano tiene su origen probablemente en la región indomalaya donde han sido cultivados desde hace miles de años. Desde Indonesia se propagó hacia el sur y el oeste, alcanzando Hawaii y la Polinesia. Los comerciantes europeos llevaron noticias del árbol a Europa alrededor del siglo III a. C., aunque no fue introducido hasta el siglo X. De las plantaciones de África Occidental los colonizadores portugueses lo llevarían a Sudamérica en el siglo XVI, concretamente a Santo Domingo<sup>1</sup>.

El plátano es la fruta tropical más cultivada y una de las cuatro más importantes en términos globales, sólo por detrás de los cítricos, la

uva y la manzana. Los países latinoamericanos y del Caribe producen el grueso de los plátanos que entran en el comercio internacional, a pesar de que los principales productores son India y China, siendo el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del sudoeste asiático. Los principales importadores son Europa, EE.UU., Japón y Canadá. Los consumidores del norte lo aprecian sólo como un postre, pero constituye una parte esencial de la dieta diaria para los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales.

## **2.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA**

**Familia:** *Musaceae*.

**Especie:** *Musa x paradisiaca* L.

**Planta:** herbácea perenne gigante, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, cónico y de 3,5-7,5 m de altura, terminado en una corona de hojas.<sup>3</sup>

## **2.3. DESCRIPCIÓN FISIOLÓGICA DE LA PLANTA DE PLÁTANO.**

### **2.3.1. SISTEMA RADICULAR**

Posee raíces superficiales que se distribuyen en una capa de 30-40 cm, concentrándose la mayor parte de ellas en los 15-20 cm. Las raíces son de color blanco, tiernas cuando emergen, amarillentas y duras posteriormente. Su diámetro oscila entre 5 y 8 mm y su longitud puede alcanzar los 2,5-3 m en crecimiento lateral y hasta 1,5 m en profundidad. El poder de penetración de las raíces es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo.<sup>3</sup>

### **2.3.2. TALLO**

Desde el punto de vista botánico, el tallo corresponde al rizoma, ñame, bulbo sólido de forma cónica o cilíndrica (suelos livianos), carnosos debido a la gran cantidad de parénquima amiláceo y a su alto contenido de agua. En él se diferencian claramente dos zonas: la cortical externa, constituida por epidermis y exodermis separada de la interna por el periciclo, y la que se denomina cilindro central, conformada por la mesodermis. De esta zona interna se originan el sistema radicular y las yemas vegetativas que darán origen a los hijuelos.<sup>3</sup>

En la parte externa del cormo, se observan nudos localizados por debajo del punto de inserción de la vaina de la hoja y entrenudos sumamente cortos y marcados por las cicatrices de las hojas.

### **2.3.3. SEUDOTALLO**

Se origina en el cormo y está conformada por la prolongación y modificación de las hojas. Es de color blancuzco inicialmente, tomándose verde al exponerse a la luz solar. Anatómicamente tiene la misma estructura del cormo, reduciéndose bastante el espesor de la corteza y con un sistema vascular compuesto solamente de haces con destino foliar. Su función es dar soporte al sistema foliar, el tallo aéreo y la inflorescencia<sup>3</sup>.

### **2.3.4. SISTEMA FOLIAR**

Está formado por cuatro partes que son: apéndice, limbo, pseudo pecíolo y vaina

#### **2.3.4.1. VAINA O YAGUAS**

Esta estructura foliar tiene su origen en la túnica meristemática apical del tallo subterráneo formando una estructura erecta, cilíndrica denominadaseudotallo, cuya función tiene relación con el soporte del sistema foliar, el tallo aéreo y la inflorescencia.

#### **2.3.4.2. SEUDOPECILO**

Es la porción de la hoja que une la vaina con la nervadura central, la cual cumple la función de soportar y permitir la divergencia de las láminas foliares.

#### **2.3.4.3. LIMBO**

La lámina foliar está compuesta por: dos semi-limbos, la nervadura central, nervaduras laterales y finalmente

#### **2.3.4.4. NERVADURA CENTRAL.**

Es la prolongación sin transiciones del peciolo, con igual anatomía y un adelgazamiento progresivo hasta el ápice. Su función consiste en transportar las fotos asimiladas y dar soporte a los semi - limbos. En las hojas también encontramos las vainas pulvinares, que se localizan en el punto de unión de los limbos con la nervadura central; son estructuras sólidas, estrechas, de color verde amarillento, y son los responsables de los movimientos de los semi - limbos frente a condiciones externas.

#### **2.3.5. FRUTO**

En una baya partenocarpia cuyo desarrollo está condicionado únicamente por la acumulación de pulpa en la cavidad formada por

las paredes internas del pericarpio. En un comienzo el ovario crece en longitud y diámetro. Durante la primera semana es lento, pero va incrementándose significativamente a partir de la tercera semana. En toda variedad, el número de manos es fijo, y solo se altera por irregularidades hídricas o en la nutrición.



FIGURA 2.1. FOTOGRAFÍA DEL PLATNO-FRUTO

#### 2.4. RAQUIS

**Saborio (1981)** define al ráquis como *el eje que sostiene las manos de bananos o plátano en el racimo, cada planta produce un solo ráquis del que se desarrollan las manos.*

El ráquis es el eje principal de la inflorescencia y que después del empaque, resulta como desecho. **Álvaro y Asturias (1999)**, quienes además manifiestan: *“la elaboración de papel de fibras de ráquis de plátano un beneficio ecológico, ya que se está utilizando como materia prima material de desecho, las propiedades físicas del ráquis se prestan para la*

*producción de subproductos como compost, bocashi, alimentos para ganado e incluso papel.”*

Según la Agencia Alemana para la Cooperación Técnica en 1975 probó que el ráquis contiene una mayor proporción de fibras y un porcentaje de humedad más bajo que el pseudotallo. Los falsos tallos o ráquis de banano poseen un contenido de fibra cruda bastante alto, la cual se la puede utilizar para la extracción de fibra de papel y para la elaboración de alimentos balanceados

De acuerdo con **Peñaloza y Romero (1994)** la raquis *“emerge del pseudotallo de la planta de banano y está formada de manos que constituye el fruto, y pueden tener cientos de unidades que son de color verde claro.”*

Según **Shedden (1978)** la ráquis *“está constituido por 93% de agua, 7 % de materia sólida, de la cual el 40% es fibra y un contenido de lignina de 11, 7% y -de celulosa un 53%, quien además demostró que existe factibilidad técnica para producir papel y aglomerados de fibra del ráquis de banano”*

**Alvarado (1978)** menciona que la estructura anatómica del ráquis se compone de:

- Fibra
- Vasos o sistemas conductores
- Epidermis
- Células parenquimatosas



FIGURA 2.2. FOTOGRAFÍA DE LA RAQUIS

## 2.5. VARIEDADES.

La mayoría de las variedades de plátano proceden exclusivamente de *Musa acuminata*. Entre las más importantes, destacan:

- Pisang Jari Buaya:
- Gros Michel
- Lacatan
- Sucrier
- Dedo de Dama o Guineo Blanco.
- Cavendish.
- Cavendish Enano
- Cavendish Gigante o Grand Naine
- Robusta.
- Valery.
- Golden Beauty
- Morado.

De origen exclusivamente de *Musa balbisiana* las variedades más importantes son:

- Maricongo.
- Saba.
- Burro u Orinoco
- Francés.
- Laknau
- Macho
- Manzana
- Mysore.

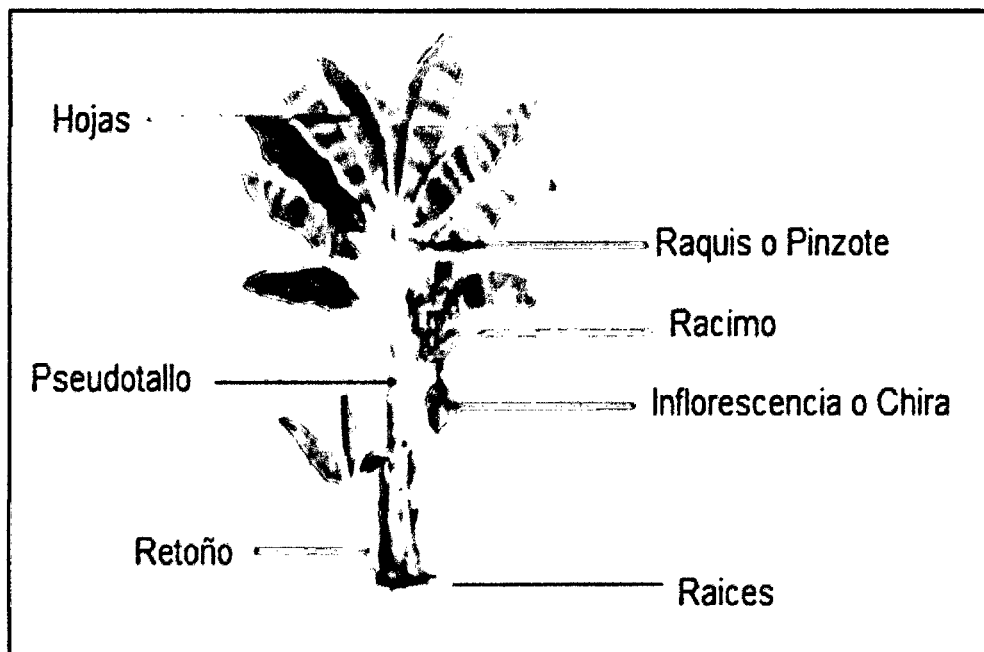


FIGURA N° 2.3. ESQUEMA DE LA PLANTA DE PLÁTANO, 2012, [WWW.SENAMHI.GOB.PE](http://WWW.SENAMHI.GOB.PE)

## 2.6. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y PROPIEDADES DE LAS FIBRAS NO LEÑOSAS (FIBRAS VEGETALES).

### 2.6.1. FIBRAS

El proceso de fabricación del papel se inicia con la obtención de fibras. La fibra es cada uno de los filamentos que entran en la

composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales, de ciertos minerales y de algunos productos químicos. Se clasifican en función de su origen, de su estructura química o de ambos factores.

- ✓ **Longitud:** Es el largo de la fibra antes de hilar. Puede ser: largo, mediano, corto o continuo.
- ✓ **Diámetro:** Es la medida de la fibra en un corte transversal.
- ✓ **Resistencia:** se denomina resistencia a la fuerza que opone la fibra a la rotura.
- ✓ **Color:** El color natural de una fibra lo determinan las materias colorantes que hay en su estructura celular. Puede ser: blanco, amarillento, gris, pardo, teñido o blanqueado.
- ✓ **Brillo:** Es la capacidad de reflejar la luz.
- ✓ **Elasticidad:** Capacidad de una fibra de volver a su estado primario después de sufrir un estiramiento o alargamiento forzoso.
- ✓ **Forma de la sección transversal:** redondas, de hueso, triangulares, lobulares, en forma de frijol, planas o semejantes a pajillas huecas.
- ✓ **Composición química:** La composición química sirve como base para clasificar las fibras en núcleos genéricos como celulósicas, proteicas y acrílicas.

### 2.6.2. CLASIFICACIÓN DE FIBRAS

Las fibras vegetales se clasifican principalmente teniendo en cuenta la parte de la planta de la cual es extraída, y a partir de ella se relacionan con base en la longitud, la conformación y la textura. Es así como se dividen en duras, suaves, cortas, de palmeras y

diversas<sup>11</sup>.

#### **2.6.2.1. FIBRAS DURAS**

Son las que provienen de las hojas en la que se encuentra gran variedad de especies pertenecientes a la familia del Agave, como el fique, el sisal y la cabuya. La base de sus descripciones permitirá la inclusión de la fibra de plátano bajo esta clasificación.

#### **2.6.2.2. FIBRAS SUAVES**

Son fibras extraídas en gran parte de la corteza de las plantas. Se incluye en este grupo el cáñamo, el yute, el lino y el ramio.

#### **2.6.2.3. FIBRAS CORTAS**

A este tipo de fibras pertenecen las extraídas de los frutos. Su principal representante es el algodón.

#### **2.6.2.4. FIBRAS DE PALMAS**

Extraídas en su mayoría de los pecíolos o de las hojas de este tipo de plantas.

#### **2.6.2.5. FIBRAS DIVERSAS:**

Los tamos de cereales, el amero, el zacatón y la barba de palo se pueden incluir dentro de este grupo.

**Holten (2004)**, describe a una fibra como un filamento blando que es muy parecido a un cabello, cuyo diámetro es muy pequeño en relación a su longitud. Las fibras son unidades fundamentales que se utilizan en la fabricación de papel y sus propiedades están determinadas por la naturaleza de la estructura externa e interna y su composición química, por lo que deben tener suficiente resistencia, elasticidad, longitud y cohesión para poder unirse.

**Meeuse (1988)**, describió a las fibras que se originan de las hojas, en los géneros *Agave* y *Mussa*, él descubrió que se desarrollan por una modificación del parénquima fundamental y que son altamente esclerenquimatosas. Por lo que plantea la siguiente clasificación basada en la parte de la planta de la cual se obtiene la fibra:

- a) Fibras obtenidas de Semillas.
- b) Fibras del tallo o de corteza.
- c) Fibras foliares.
- d) Fibras del fruto.

**Barrera (1981)**, comenta que las fibras vegetales procedentes directamente de la planta son usadas en diversos productos industriales, para hacer una diferencia general se clasifican en “duras y blandas”, según el grado de finura de la fibra y la rigidez en el estado natural. Las fibras duras son el abacá, los agaves (henequén y sisal) y el ixtle principalmente. Las fibras blandas son el lino, el yute y el ramio.

**Maiti (1995)**, menciona que después de las plantas alimenticias, las plantas productoras de fibras son de mucha importancia económica y social, ya que se han usado desde tiempos remotos obteniéndose a partir de raíces, tallos, hojas, frutos y semillas; éstas se pueden explotar en forma silvestre o natural, en diversos ambientes, pero su producción e importancia varía también a las situaciones políticas, sociales, condiciones ecológicas, del cultivo, usos y hasta la misma calidad.

El mismo autor, clasifica a las fibras desde el punto de vista de la ontogenia (desarrollo embrionario), como:

- a) Fibras de semillas (algodón)
- b) Fibras de fruta (coco)
- c) Fibras de tallo (yute, kenaf, cáñamo, ramio)
- d) Fibras de las hojas (henequén, lechuguillas, yuca)

**Hill (1965)** citado por Maiti (1995), clasifica las fibras de acuerdo con su utilización y las identifica en los siguientes grupos:

- a) Usos finales
- b) Origen de las fibras vegetales
- c) Orígenes anatómicos de las fibras
- d) Química de las fibras

De igual forma las clasifica como plantas productoras de fibra en:

- a) Productoras de fibra mayor (algodón, yute, el lino, etc.)
- b) Fibra menor. En ciertos países se les considera como malezas.

**Matthew (1954)**, citado por Maiti (1995), considera los siguientes aspectos para clasificar a las fibras:

- a) Fibras textiles
- b) Fibras para cepillos
- c) Fibras para trenzar
- d) Fibras para relleno
- e) Fibras para papel

## **CAPITULO III**

### **ESTUDIO DEL PRODUCTO**

#### **3.1. HISTORIA DE LA PULPA DE PAPEL Y PAPEL**

El papel deriva de la palabra griega “papiros” (papiro), planta muy semejante la Junco, que crecía en las riberas fangosas del río Nilo. En la primera dinastía egipcia (3000 A.C.) se utilizaba como alimento y combustible,

Los egipcios (3.500 a C), escribían en rollos de papiro (arbusto denominado “Cyparus Papyrus” que significa “producto del río”), cortando la planta en tiras, colocándolas en capas, mojándolas y dejándolas secar se obtenía una superficie apta para escribir. Se consigna que la sustancia aglutinante del tallo constituía el encolado y la superficie se hacía uniforme con el agregado de harina (carga). Este papiro con jeroglíficos forma parte del Libro de los Muertos

egipcio. El detalle de sus ilustraciones demuestra la durabilidad y calidad del papiro. Esta planta tenía múltiples aplicaciones como ser para la alimentación (parte inferior), utensilios (caña y tallo), embarcaciones, combustibles, sustancia medicinal, etc.

Hacia el año 200 a C se fabricaba en China papel a base de bambú y trapos de seda deshilachados que se transformaban en pulpa por agregados de agua.

Según la tradición, el primero en fabricar papel, en el año 105, fue Cai Lun (o Tsai-lun), un eunuco de la corte Han oriental del emperador chino Hedi (o Ho Ti). El material empleado fue probablemente corteza de morera, y el papel se fabricó con un molde de tiras de bambú. El papel más antiguo conservado se fabricó con trapos alrededor del año 150. Durante unos 500 años, el arte de la fabricación de papel estuvo limitado a China; en el año 610 se introdujo en Japón, y alrededor del 750 en Asia central. El papel apareció en Egipto alrededor del 800, pero no se fabricó allí hasta el 900.

El empleo del papel fue introducido en Europa por los árabes en el siglo XII, donde hasta entonces utilizaban el Pergamino (se obtenía sometiendo la piel de muchos animales jóvenes, como ovejas, cabras, corderos, etc.

La primera máquina efectiva fue construida en 1798 por el inventor francés Nicolás Louis Robert, después fue mejorada por dos

papeleros británicos, los hermanos Henry y Sealy Fourdrinier, que en 1803 crearon la primera de las máquinas que llevan su nombre. En 1806, Illig propone el "encolado" sobre la base de jabones resinosos, en sustitución de las colas animales. También se señala el blanqueo de las pastas, mediante "cloro". Las materias primas utilizables eran: de origen vegetal (útil para la obtención de fibras celulósicas y lignocelulósica), de origen animal (ofrecen materiales fibrosos de naturaleza proteica) y de origen mineral.

El problema de la fabricación de papel a partir de una materia prima barata se resolvió con la introducción del proceso de trituración de madera para fabricar pulpa, alrededor de 1840, y del primer proceso químico para producir pulpa, unos 10 años después.

Estados Unidos y Canadá son los mayores productores mundiales de papel, pulpa y productos papeleros. Finlandia, Japón, la antigua Unión Soviética y Suecia también producen cantidades significativas de pulpa de madera y papel prensa.<sup>1</sup>

### **3.1.1 HISTORIA DE LA INDUSTRIA PAPELERA EN EL PERÚ**

No se tienen datos históricos exactos de la historia de esta industria, pero podemos llegar a la conclusión que en sus inicios estuvo muy vinculada al ingenio y a la capacidad empresarial de los inmigrantes italianos o de sus descendientes, los cuales ya a mediados de 1918 comenzaron sus operaciones de manufactura de cartones a partir de fibra secundaria (desechos de papel) mediante una fábrica muy

rudimentaria y casi artesanal de propiedad de Antonio Mazzini. La segunda fábrica de cartón que se instaló en el Perú fue la de "Piedra Liza" que también a base de desperdicio o fibra secundaria comenzó a operar a partir de 1921 y que siguió produciendo ininterrumpidamente hasta 1987, año en que tuvo una producción de 1375 toneladas entre papel de envolver y cartón de paja. <sup>8</sup>

El inicio de la fabricación de papel en forma de hoja continua empezó con la edificación de la "*Papelera Peruana*" en 1933, en el área de Chosica, usando como insumos fibrosos pulpa importada a base de madera y fibra secundaria.

En 1940 la fábrica papelera fabricó algo más de 3000 toneladas de papel para envolver, casi exclusivamente a partir de pulpa química de bagazo, concediendo al Perú el honroso mérito de ser la primera nación en el mundo en haber iniciado la fabricación del papel en base a un nuevo insumo fibroso: el bagazo de la caña de azúcar.

De 1950 a 1968 se crean 5 empresas papeleras más: La industria de papel en 1958, Administradora Industrial en 1960, Industria Papelera Atlas S.A. en 1966, La Papelera Zárate en 1966, Industria del Papel en Vitarte en 1966. INDUPERU en 1977 puso en operación una moderna máquina papelera marca "Valmet" de doble tela diseñada para la producción de 110 000 toneladas por año de papel periódico en el área de Trupal en posición paralela a la ubicación de la PPX-7 de Sociedad Paramonga Ltda. S.A.<sup>9</sup>

En la década de los 80 comienzan sus actividades varias fábricas papeleras: Manufacturera de Papeles y Cartones S.A., que ya había comenzado sus operaciones industriales con la fabricación de cajas corrugadas en 1976, pone en operación su primera máquina papelera produciendo papel bond en 1981. En 1983, lo hace Papelera Santa Lucía, produciendo principalmente papel para impresión y escritura; Industria de Cartón Sollavez, en 1986; Papelera Panamericana en Arequipa en 1984 para la producción de papeles sanitarios a partir de fibra secundaria.

A raíz de la política de privatización del gobierno, la sociedad Paramonga S.A. inició su proceso de privatización en 1994. Manufacturera de Papeles y Cartones S.A. adquirió la planta de Chillón y envases Nishii. S.R.L. adquirió la planta San Martín y en 1997 también adquirió Trupal S.A. Sociedad Paramonga fue adquirida por Quimpac S.A.

### **3.2. INDUSTRIAS DE LA PULPA DE PAPEL Y PAPEL. EN EL PERU**

Empresas del sector productivo del Perú en la rama de la papelería, entre las principales tenemos

1. CARTOTEK S.A
2. INDUSTRIAL PAPELERA ATLAS S.A
3. PAPELERA EL PACIFICO S.A
4. PAPELERA PANAMERICANA S.A
5. TRUPAL S.A

### **3.3. DEFINICIÓN DE LA PULPA DE PAPEL**

Pulpa de papel, es el material fibroso para la fabricación de papel. Las fibras de pulpa son normalmente de origen vegetal, pero para algunas aplicaciones especiales se usan también fibras animales, minerales o sintéticas. Las pulpas utilizadas para su conversión química en otros productos se denominan pulpas para disolver.<sup>2</sup>

#### **3.3.1. ESTUDIO COMPARATIVO DE TIPOS DE PULPAS DE PAPEL.**

Siempre dependiendo del tipo de papel que se desea obtener, la utilización de uno u otro tipo de pulpa es recomendable en términos de eficiencia y coste.

En la tabla que se encuentra a continuación se muestra un resumen de los métodos disponibles en la fabricación de tipos de pulpas de papel, donde se muestra el nombre común del proceso, el tratamiento mecánico o químico sufrido y el rendimiento típico conseguido, en términos de porcentaje de pulpa obtenido por unidad de masa de madera empleada.

**TABLA N° 3.1 : Clasificación de los procesos de producción de pulpa de madera**

Forma de la madera	Nombre común	Tratamiento químico	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa (%)
Tarugos	Madera molida, fría y caliente	Ninguno	Piedra de molino	93-98
Astillas	Refinador mecánico (RMP)	Ninguno	Refinador de disco	93-98
Astillas	Masonite	Vapor	Expansión de vapor	80-90
Astillas	Asplund (fibra burda)	Vapor	Refinador de disco	80-90
Astillas	Termomecánica (TMP)	Vapor	Refinador de disco (presión)	91-95

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

**TABLA N° 3.2. Clasificación de procesos quimicomecánica y quimicotermodomecánica**

Forma de la madera	Nombre común	Tratamiento químico	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa (%)
Tarugos	Madera molida, proceso Fish	Kraft	Piedra de moler	85-90
Tarugos	Madera molida químicamente	Sulfito neutro	Piedra de moler	80-90
Astillas	Sosa fría	Sosa cáustica	Refinador de disco	80-90
Astillas	Sulfito alcalino	Sulfito alcalino	Refinador de disco	80-90
Astillas	Quimicotermodomecánica	Vapor + productos químicos	Refinador de disco (presión)	65-85

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

**TABLA N° 3.3. Clasificación de procesos semiquímica**

Forma de la madera	Nombre común	Tratamiento químico	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa (%)
Astillas	Sulfito neutro (NSSC)	$\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3, \text{NaHCO}_3$	Refinador de disco	65-90
Astillas	Kraft	$\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$	Refinador de disco	75-85
Astillas	Licor verde	$\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$	Refinador de disco	65-85
Astillas	Sosa	Hidróxido de sodio	Refinador de disco	65-85
Astillas	Sin azufre	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$	Refinador de disco	65-85

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

**TABLA N° 3.4. Clasificación de procesos químico de alto rendimiento**

Forma de la madera	Nombre común	Tratamiento químico	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa (%)
Astillas	Kraft (sulfato)	NaOH + Na <sub>2</sub> S	Refinador de disco	55-65
Astillas	Sulfito	Sulfito ácido (Ca, Na, Mg)	Refinador de disco	55-70
Astillas	Sulfito	Bisulfito (Na, Mg)	Refinador de disco	55-70

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

**TABLA N° 3.5. Clasificación de procesos totalmente químico**

Forma de la madera	Nombre común	Tratamiento químico	Tratamiento mecánico	Rendimiento en pulpa (%)
Astillas	Kraft (sulfato)	Na <sub>2</sub> S + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Suave o ninguno	40-55
Astillas	Polisulfuro (una etapa)	NaOH + Na <sub>2</sub> S	Suave o ninguno	45—60
Astillas	Polisulfuro (dos etapa)	Pretratamiento H <sub>2</sub> S; kraft	Suave o ninguno	45-60
Astillas	Sosa	Sosa cáustica	Suave o ninguno	40-55
Astillas	Sosa-AQ	NaOH + antraquinona	Suave o ninguno	45-55
Astillas	Sosa-oxígeno, dos etapas	NaOH; oxígeno	Refinador de disco	45-60
Astillas	Sulfito ácido	Sulfito ácido (Ca, Na, Mg, NH <sub>3</sub> )	Suave o ninguno	45-55
Astillas	Bisulfito	Bisulfito (Na, Mg, NH <sub>3</sub> )	Suave o ninguno	45-60
Astillas	Magnefita	Bisulfito de magnesio	Suave o ninguno	45-60
Astillas	Sulfito neutro	Sulfito neutro	-	45-55
Astillas	Sulfito, multietapas			

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

### 3.3.2 ESTUDIO COMPARATIVO DE PULPAS MECÁNICAS Y QUÍMICAS

En general, la comparación entre los dos grandes grupos de procesamiento de pulpa, el químico y el mecánico, arroja las siguientes conclusiones

**TABLA N° 3.6. Comparación entre pulpas mecánicas y químicas**

Parámetro analizado	Pulpa mecánica	Pulpa química
Consumo energético	1000 KW/ton pulpa	Autosuficiente
Rendimiento	95%	45%
Tamaño de fibra	Fibras cortas	Fibras largas
Resistencia del papel	Baja	Alta
Costes de producción	Baja	Mayores que pulpa mecánica

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa>

En cuanto a resistencia mecánica de los tipos de pulpas obtenidas por los métodos discutidos, se puede destacar que las pastas químicas y semiquímicas producen papeles de mayor resistencia, siendo los métodos mecánicos claramente inferiores. <sup>2</sup>

### **3.4. MATERIA PRIMA: MADERA CELULOSA**

#### **3.4.1. ESTRUCTURA DE LA MADERA**

Las fibras vegetales requeridas para la producción de papel están compuestas por largas cadenas de un polímero natural, la celulosa, el cual está formado por la repetición sucesiva de una unidad individual de celobiosa, la cual a su vez está constituida por dos unidades de un monosacárido denominado glucosa. Así, la fórmula molecular de la celulosa se puede expresar como  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , siendo "n" el número de unidades que forman la cadena (también se denomina grado de polimerización, GP). La mayoría de las fibras utilizadas en la fabricación de papel tienen un GP de entre 600 a 1500. Este tipo de fibras utilizables suelen presentar un diámetro de entre 10 y 40  $\mu\text{m}$ , y su longitud se sitúa entre 0,5 y 30 mm.

En la estructura de la madera también aparecen otro tipo de fibras con base de polisacáridos, denominadas hemicelulosa; sus longitudes son menores, y las unidades de que están formados son diferentes: glucosa, manosa, galactosa, xylosa y arabinosa, dependiendo de la planta considerada<sup>7</sup>.

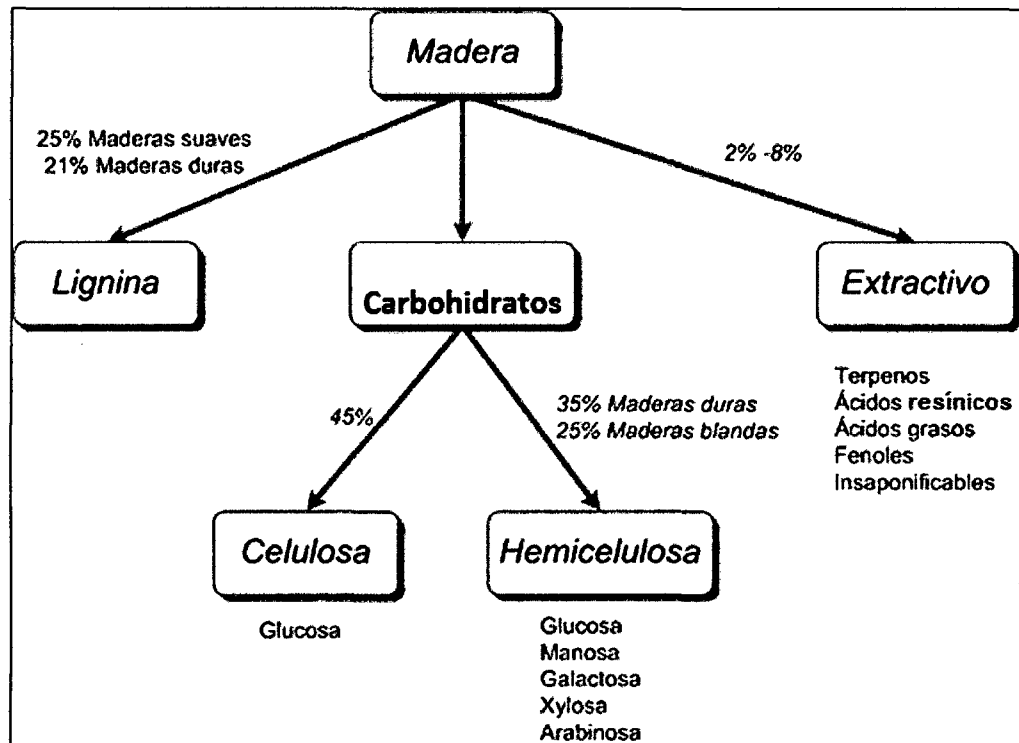


FIGURA N° 3.1. Composición química de la madera<sup>2</sup>.

La distinción entre maderas duras y suaves se basa en la estructura interna de la madera, sobre todo por la densidad y la longitud de fibra<sup>7</sup>.

### 3.4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MADERA

Las características químicas de los tres componentes principales de la madera, esto es, celulosa, hemicelulosa y lignina, son muy diferentes, y en consecuencia, su comportamiento ante agentes químicos y procesos mecánicos es diferenciado, y precisamente, aprovechando

estas diferencias, se establecen los procesos de separación, que es al fin y al cabo el objetivo de la fabricación de la pulpa<sup>7</sup>.

El comportamiento frente al agua es muy diferente; la celulosa es altamente hidrofílica, debido a la presencia de grupos polares (grupo hidroxilo); cuando las cadenas de celulosa se ponen en contacto con el agua, las fibras absorben moléculas de agua (se hidratan) y se hinchan, mejorando simultáneamente su flexibilidad y la capacidad de enlace con otras fibras adyacentes.

Por su parte, la lignina es un compuesto básicamente hidrófobo, característica frecuente en los compuestos aromáticos. Por ello, no puede ser disuelto en un medio acuoso, a no ser que se introduzcan en su estructura grupos sustituyentes polares mediante reacciones químicas, los cuales sean capaces de estabilizar las disoluciones de lignina en agua. Éste procedimiento se lleva a cabo en ocasiones, haciendo reaccionar la lignina con compuestos derivados del azufre, que introducen sustituyentes sulfonados en la estructura de la lignina, haciéndola entonces soluble<sup>7</sup>.

El objetivo de la obtención de una buena pulpa es el de separar eficientemente las fibras celulósicas de la lignina sin modificar las características iniciales de la celulosa, la cual puede verse alterada durante el proceso; la resistencia mecánica del papel confeccionado depende en gran medida del tamaño de fibra, siendo más resistentes los papeles de fibra larga, pero también es importante la facilidad de unión entre fibras en el procesado, pues ello redundará en un papel

más robusto. La eficiencia de la unión entre fibras depende a su vez en gran medida de la cantidad de lignina retenida en la superficie de las fibras y del estado de las fibras.

### **3.5. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA PULPA**

La pulpa de celulosa es un producto intermedio en la manufactura del papel y se obtiene por la separación de las fibras de madera u otros materiales fibrosos. La industria del papel tiene como propósito separar la celulosa de cualquier otro componente del cual este constituido un material vegetal, en especial la lignina.

Por lo tanto, para el productor de pulpa y papel, la lignina es el ingrediente indeseable que se debe eliminar durante la producción de pulpa.

Además es importante eliminar la mayor cantidad posible de impurezas.

Las propiedades de los productos terminados dependerán de las propiedades de las pulpas utilizadas en su manufactura. Estas variarán a su vez con la calidad de las fibras utilizadas, así como el proceso empleado en la obtención de la PULPA

Para la obtención de pulpa de celulosa se emplean métodos químicos o mecánicos, o una combinación de los dos procesos, los mismos que se describen brevemente a continuación:

### **3.5.1. PROCESOS MECÁNICOS**

La única acción separadora es la aplicación de fuerzas mecánicas de compresión y cizalladora para conseguir la separación de las fibras. En la producción mecánica de pulpa los integrantes químicos originales del material fibroso quedan inalterados, excepto por la eliminación de los solubles en agua.

Aunque el proceso es eficaz, el papel obtenido a partir del tratamiento mecánico de la fibra para obtención de pulpa, tiende a ser débil, y a decolorarse fácilmente cuando se expone a la luz, ello se debe a la presencia de residuos de lignina.

### **3.5.2. PROCESOS SEMIQUÍMICOS.**

Los procesos de producción de pulpa de papel por medios semiquímicos implican aquellos procedimientos donde se utilizan etapas de tratamientos químicos y etapas de procesado mecánico. Los dos tipos de tratamientos son complementarios, y presentan en la pasta final las ventajas de las pastas químicas y de las mecánicas.

### **3.5.3. PROCESOS QUÍMICOS**

Están basados en tratamientos puramente químicos, adicionando al material vegetal reactivos químicos cuyo objetivo es la eliminación selectiva de la lignina que une las fibras, con ataque mínimo a las hemicelulosas y celulosas.

Normalmente son llevados a una temperatura entre 140 y 170° C y

presión alta. Estos son los de mayor utilización en la industria papelera por su costo debido a la menor necesidad de maquinaria. Entre los principales métodos para la producción de pulpa se destacan: el proceso a la sosa y el proceso semiquímico al sulfito neutro.

#### **3.5.3.1. PROCESO A LA SOSA**

Es el proceso más antiguo que se conoce y consiste en someter las materias primas, troceadas y acondicionadas, a una digestión con una concentración dada de hidróxido de sodio, a una temperatura y tiempo de cocción determinados, según la calidad de las pulpas que se deseen obtener (químicas o semiquímicas) y las características de las materias primas utilizadas. De manera general, el proceso global a la sosa consta de varias secciones o áreas, destacando las de preparación de la materia prima, pulpeado propiamente dicho de la materia prima acondicionada, recuperación de reactivos y depuración de las lejías residuales. Cada una de estas secciones del proceso puede agrupar diferentes operaciones. Así por ejemplo, en la preparación de la materia prima se realiza un descortezado para el caso de plantas leñosas o un desmedulado para vegetales con médula, un troceado o reducción de tamaño para producir astillas, copos o materia prima desmenuzada, una limpieza o depuración para eliminar materiales extraños, etc. y en la sección de pulpeado pueden integrarse las operaciones de impregnación de la materia prima, cocción o deslignificación para separar la lignina, lavado de la fracción

sólida resultante de la cocción y escurrido de la misma para eliminar el fluido utilizado en el lavado; de igual modo, las secciones de recuperación de reactivos y depuración de lejías residuales están constituidas por diferentes materias primas alternativas, paja de trigo, tallos de girasol, sarmientos de la vid, tallos de algodón, podas de olivo, tallos de sorgo, paja de arroz, obteniendo rendimientos que oscilan entre 30 a 70%, según las condiciones de concentración de sosa, temperatura y tiempo de cocción utilizadas.<sup>7</sup>

En muchos casos se ha estudiado la influencia de las condiciones de operación sobre las características de las pulpas de papel. Para el caso de tallos de sorgo se ha encontrado que para obtener pulpa y hojas de papel con características adecuadas se ha de operar con un hidromódulo de 4 a 6, una concentración de sosa del 6 al 8%, a una temperatura de entre 140 a 150 ° C y un tiempo de 50 a 70 minutos para este tipo de proceso<sup>11</sup>.

Este compuesto es de uso general en el proceso de cocción, es decir sirve para variedad de materias primas, cabe señalar que las condiciones son variables dependiendo de la especie. Entre sus principales ventajas se destacan la facilidad en la preparación del licor ya que es tan solo necesario disolver el peso requerido de sosa cáustica (hidróxido de sodio, NaOH) en un volumen conocido de agua. La pulpa obtenida es de gran volumen y demuestran un color claro, lo que le confiere características como receptividad de impresión. Por esto son empleadas en papeles para libros y otros

papeles de impresión. En el proceso a la sosa, la celulosa se afecta, mientras que las ligninas sufren complicadas reacciones de naturaleza hidrolítica que dan como resultado compuestos que son solubles en álcali. De su lado, las grasas y resinas se saponifican produciendo jabones solubles, que se eliminan durante el lavado. De este modo, los procesos alcalinos en general presentan menos problemas con las resinas en las pulpas obtenidas por otros métodos. El rendimiento del proceso, expresado en porcentaje de pulpa obtenido por cantidad de madera empleada, se sitúa en torno al 55-70%<sup>7</sup>.

### **3.5.3.2. PROCESO AL SULFITO NEUTRO**

Este proceso ha probado ser una alternativa para tratar pastos y residuos agrícolas. El licor empleado para la extracción es una mezcla de sulfito sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) y algún compuesto que consiga regular el pH del medio a valores cercanos al neutro; estos pueden ser: carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), o bicarbonato de sodio. El efecto del sulfito sódico sobre las fibras vegetales es el de sulfonar la lignina, transformándola en ácidos sulfónicos solubles. En condiciones neutras la velocidad de este proceso es pausada, y se necesita una cantidad elevada de reactivos, pero se tiene la ventaja de obtener pulpas de mayor blancura y de mayor resistencia. Las condiciones de operación son más severas que en el proceso a la sosa, pues se lleva a una temperatura, la impregnación de las astillas es muy efectiva.

### **3.5.3.3. PULPEADO KRAFT**

Las pulpas que se obtienen por este procedimiento van a un posterior blanqueo, si bien suelen llamar KRAFT (FUERTE) si se usan para papeles crudos o al sulfato si van a recibir un posterior blanqueo, si bien ambas sódico y no el sulfuro sódico, el reactivo que se repone, aunque el verdadero agente que actúa durante la reacción es el sulfuro que se generan en el tratamiento de recuperación de las lejías residuales. El proceso puede dividirse en dos partes: la primera es la obtención de la pulpa y la segunda la recuperación de los reactivos químicos usados.

La obtención de la pulpa consta de las siguientes etapas:

- a. La cocción se efectúa durante el tiempo establecido, bajo las condiciones de presión adecuada.
- b. La lejía negra o residual y la pasta se separan por filtración. La pulpa se lava y la lejía negra se envía a la fase de recuperación de reactivos.
- c. La pulpa una vez lavada pasa a la etapa de blanqueo o a la planta de fabricación de papel crudo.

En la fase de recuperación de reactivos, los compuestos orgánicos disueltos en la lejía negra se utilizan para producir energía, reduciendo así la tasa de efluentes contaminantes. Las etapas que tiene lugar en la recuperación son las siguientes:

- a. Concentración de la lejía en los evaporadores.

- b. Pulverización de la lejía concentrada en el horno, donde el carbono reduce el sulfato sódico a sulfuro sódico.
- c. Los sólidos fundidos se descargan y se disuelven en agua, dando lugar a la lejía verde.
- d. La lejía verde se envía a la etapa de caustificación, donde el carbono sódico reacciona con el óxido cálcico para formar hidróxido sódico.

#### **3.5.3.4. PULPEADO AL SULFITO.**

Las pulpas al sulfito se obtienen por la cocción del material lignocelulosico con una disolución de bisulfito y anhídrido sulfuroso. La lejía de cocción se obtiene quemando azufre para obtener anhídrido sulfuroso que se absorbe en una base de calcio, magnesio, sodio o amonio.

La digestión en los procesos al sulfito puede realizarse de manera continua o discontinua. En los sistemas discontinuos suelen utilizarse varios digestores tipo kamy, similares a los utilizados en los procesos kraft, pero que incorporan un separador inclinados para drenar parte de la lejía que acompaña a las astillas antes de entrar al digestor. Para un sistema con base de calcio las condiciones de operación pueden ser las siguientes relación liquido / sólido de 5:1 dióxido de azufre libre del 5 al 12% dióxido de azufre combinado del 1 al 1,4 %, temperatura entre 140 y 160 °C y un tiempo de cocción de 4 horas. Las variables más importantes del proceso al sulfito son: impregnación de astillas con los reactivos de cocción, dimensiones y

calidad de las astillas, temperatura, tiempo, presión, pH de la Lejía, concentración de dióxido de azufre combinado, total y libre, relación líquido/sólido y materia prima empleada<sup>7</sup>.

Existen diversos procesos al sulfito: sulfito ácido, bisulfito, sulfito alcalino, sulfito en etapas múltiples, sulfito de alto rendimiento y proceso al sulfito para obtener pulpa para disolver. A demás de estas variantes se ha propuesto utilizar el molibdato o antraquinona como catalizadores, consiguiendo una estabilización de los polisacáridos y una aceleración en la deslignificación.

#### **3.5.3.5. PROCESO ORGANOSOLV.**

Estos procesos se caracterizan porque la separación de la lignina de los materiales lignocelulosico se consigue por solubilización con disolventes orgánicos, que posteriormente se recuperan por un nuevo ciclo de pulpeado, consiguiendo un concentrado rico en lignina, del que pueden obtenerse diferentes subproductos.

#### **3.5.3.6. PROCESOS QUE UTILIZAN ALCOHOLES**

Son los procesos más ampliamente utilizados por la selectividad que estos disolventes aportan a la separación de la lignina y por su fácil recuperación por destilación.

En el caso del proceso "al etanol" se ha estudiado la influencia de las variables de operación (concentración de etanol, temperatura, tiempo y relación líquido/sólido) sobre las características de las pulpas y de

las hojas de papel obtenidas de diferentes materias primas alternativas: podas de olivo, paja de trigo, paja de arroz, madera de encina, tagasaste y sarmientos de vid.

El proceso que utiliza metanol se ha estudiado para el caso de la paja de trigo, encontrando que para que el rendimiento de la pulpa y el pH de los licores residuales resulten elevados se ha de operar con el 50% de metanol a 150 °C y un tiempo de 30 minutos, pero para conseguir pulpas con elevados valores de holocelulosa y alfa celulosa y bajo de lignina a los valores de las variables de operación han de subir a 200°C, 2 horas y 72% de metanol.

También se ha estudiado el proceso "al butanol" aplicado a la paja de trigo, encontrando que para conseguir pulpas con un contenido de holocelulosa elevados y bajos valores para la lignina y el contenido de extraíbles se ha de operar a 200 ° C durante 2 horas, con un 80% de butanol, pero si se desea alto contenido de alfa celulosa a la concentración de butanol ha de ser del 50% y si además se desea un buen aprovechamiento de la paja, con alto rendimiento de pulpa, se ha de operar a 150°C durante 30 minutos.

#### **3.5.3.7. PROCESOS QUE UTILIZAN ÁCIDOS ORGÁNICOS.**

Junto con los procesos que utilizan alcoholes, los procesos que utilizan ácidos orgánicos son los más utilizados. Los más usuales son los que utilizan ácido acético y ácido fórmico.

El pulpeado de paja de trigo con ácido acético y con ácido fórmico, estudiando la influencia de las variables de operación sobre las propiedades sobre las propiedades de las pulpas resultantes. Comparando los resultados obtenidos al operar durante tiempos que oscilan entre 0,5 y 2 horas, a temperatura

Para el pulpeado kraft de podas de olivo, siguiendo un diseño factorial de experimentos de composición central para encontrar ecuaciones que relacionan las características de las pulpas y de las hojas de papel con las variables de operación, y se ha llegado a la conclusión de que, para conseguir pulpas con adecuadas características para ser blanqueadas y con unos buenos valores de resistencia para las hojas de papel, se ha de operar con un concentración de álcali activo del 25%, una sulfidez del 25% y una relación liquido/sólido de 3 -7, a 175°C durante 93 minutos.

Igualmente se ha aplicado el proceso kraft a los sarmientos de vid, paja de arroz y obteniéndose pulpas con una propiedades adecuadas para su utilización en la producción de papel.

#### **3.5.3.8. PROCESO A LA ACETONA**

El proceso a la acetona aplicado al caso de la paja de trigo, llegando a la conclusión de que se ha de operar a 200°C, 95 – 100 minutos y 55 – 60% de acetona para conseguir altos valores de holocelulosa y alfa celulosa y bajos de lignina y extraíbles, aunque el rendimiento de la pasta sea bajo. Para obtener buenos valores de la longitud de

ruptura (3.456m), alargamiento (1.42%) índice de estallido (1.36 KN/g) e índice desgarrado de las hojas de papel formadas se ha de utilizar una temperatura de 200 ° C, pero si la blancura debe ser elevada se ha de ser operar a 140 °C durante 1 hora con una concentración del 60% de acetona.

### **3.5.3.9. PROCESO AL FENOL**

El pulpeado de paja de trigo utilizando fenol siguiendo un diseño factorial de composición central, obteniéndose ecuaciones que relacionan los contenidos de holocelulosa, alfa celulosa, lignina y extraíbles de las pastas y el pH de las lejías residuales con las variables de operación, encontrándose que se ha de operar a 200° C, 65% de fenol y 2 horas a fin de conseguir elevados valores para los contenidos de holocelulosa y alfa celulosa y bajos para la lignina y extraíbles, pero si se desea un buen aprovechamiento de la materia prima y un pH elevado para las lejías residuales, los valores de las variables de operación han de descender a 50% de formol, 150°C y 0.5 horas

### **3.5.3.10. PROCESO AL FORMALDEHIDO**

Un diseño factorial de composición central se ha utilizado en el estudio del pasteado con formaldehido de la paja de trigo, encontrando que las variables dependientes(o de las contenidos de holocelulosa, alfa celulosa, lignina y extraíbles y rendimiento de las pulpas, y pH de las lejías residuales) y las variables de operación se

ajustan fa modelos polinómicos de segundo grado, de cuyo análisis se desprende que, mientras que para conseguir elevados valores de holocelulosa y bajos en lignina y extraíbles se necesitan operar a 80% de formaldehído, 200 °C y 2 horas, un compromiso para acercarse a este objetivo, al mismo tiempo conseguir un elevado valor para la alfa celulosa, pasa por operar una concentración de formaldehído del 50%, o la alternativa de utilizar 80% de formaldehído a 150 °C y 2 horas, con el consecuente ahorro energético al operar a menor temperatura.

#### **3.5.3.11. PROCESO A LA ETANOLAMINA**

El tipo de disolvente de alto punto de ebullición tiene la ventaja frente a los de bajo punto de ebullición (alcoholes de bajo peso molecular, ácidos orgánicos de cadena corta, acetona, etc) de que pueden operar a presiones bajas, del orden de las empleadas en los procesos clásicos de pulpeado (a la sosa y kraft) por lo que se pueden utilizar los reactores que en estos procesos se emplean.

#### **3.5.3.12. PROCESO AL ETILENGLICOL**

Este proceso utiliza un disolvente de elevado punto de ebullición, se ha aplicado a las podas de olivo, paja de arroz, sarmientos de vid, tagasaste, leucaena, tallos de algodónera.

De los análisis de los modelos propuestos para las diferentes variables dependientes se deduce que se puede llegar a un rendimiento del 56.9% y una blancura del 22.5% bajo unas

condiciones de operación que oscilan entre 50-70% para la concentración de etilenglicol, 15 – 185°C para la temperatura, 30-90 minutos para el tiempo de pulpeado y 500 – 1500 vueltas en el refinador.

### **3.5.3.13. PROCESO AL ETANOL – ACETONA**

La mezcla de etanol y acetona se ha empleado para el pulpeado de paja de trigo, se ha estudiado la influencia de las variables de operación sobre las propiedades de las pulpas y de las hojas de papel resultantes. Utilizando en el pulpeado una temperatura de 140 – 180° C, un tiempo de 1 – 2 horas una relación etanol / (etanol + acetona).

## **3.6. MERCADO MUNDIAL DE LA PULPA**

A nivel mundial, es la madera la materia prima más importante (si bien los avances tecnológicos y la tendencia ecologista han hecho que ganen paulatinamente importancia el papel y el cartón reciclados). A pesar de que a nivel nacional el bagazo sea nuestra fuente de materia prima, la madera mantiene una influencia importante como fuente de materia prima. El precio de la pulpa de papel depende principalmente de las expectativas de consumo, el cual se mide como el consumo en kilos esperado por habitante. El precio de la materia prima, sea pulpa importada o no, se ve seriamente afectada por el costo del petróleo, lo que origina que la industria papelera actual sea vulnerable ante alzas en el petróleo.

Un ejemplo de la estructura del mercado mundial de pulpa es la producción de ella en el año 2010, que ascendió a 165.5 millones de TM, de las cuales Estados Unidos participó con 45%, seguido por Europa con 31%, Latinoamérica con 12% y otros con 12%. En relación a la demanda de papel, el país que tiene el mayor consumo es también Estados Unidos, con el 20% del total mundial. Asimismo, de manera general, las regiones que consumen la mayor cantidad de pulpa son: Europa (42%) y Asia (32%). Respecto a la estructura mundial de la exportación, esta ascendió a 57.8 millones de toneladas en el 2010, y los mayores importadores fueron: Estados Unidos, con 17.3%; Alemania, con 10.6% y China, con 10.5%. Por el lado de la exportación, son: Canadá, Finlandia y Suecia, y su principal mercado es EE.UU.

Desde el punto de vista latinoamericano, Brasil representa la mayor producción de pulpa y de papel: 64% y 49% del total de la región, respectivamente. Por otro lado, Chile y México ocupan el segundo lugar en pulpa y papel, respectivamente, mientras que Argentina ocupa el tercer lugar en ambos.

### **3.7. IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA DEL PAPEL**

Desde los bosques hasta la disposición final, pasando por las industrias papeleras, el ciclo de vida del papel es responsable de la degradación del ambiente en diversos lugares del planeta.

Las estadísticas de consumo per cápita de papel se citan a menudo como un indicador del nivel de un país. Desgraciadamente, también podría utilizarse como indicador de la contribución a la contaminación de las aguas, la atmósfera y el suelo, a la tala de los árboles y a la generación de basura.

### **3.7.1. PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES.**

Los principales impactos ambientales ligados a la producción de pulpa de papel son:

#### **A. CONSUMO DE ENERGÍA**

La industria papelera es el quinto sector industrial en consumo de energía, con un 5% del uso mundial de energía. No obstante, este sector tiene un gran potencial para cubrir internamente su demanda.

#### **B. CONSUMO DE AGUA**

La elaboración de pulpa de papel requiere grandes cantidades de agua, que varían en función de las materias primas y de las tecnologías.

Las plantas de producción de pulpa más modernas están reduciendo en gran medida su consumo de agua recirculando el agua de sus efluentes.

El consumo de agua en los procesos productivos ha disminuido en forma importante como producto de las mejoras tecnológicas. Así

mismo, la eficiencia alcanzada ha permitido cerrar el circuito, es decir, reutilizar en mayor grado el agua consumida. Esto significa que hoy cerca de un 95% del agua usada en los procesos, son purificados y vueltos a usar, así también son limpiados antes de devolverlos a los cursos fluviales. Sólo un 5% se pierde por evaporación.

### **C. EMISIONES GASEOSAS**

La fabricación de papel puede emitir a la atmosfera contaminantes como compuestos orgánicos volátiles, óxidos nitrosos y de azufre, acetona, metanol, organoclorados, ácido clorhídrico y sulfúrico, partículas y monóxido de carbono. A demás, con frecuencia produce olores nauseabundos como a huevo podrido de los compuestos del azufre.

Debido al elevado consumo energético, también origina indirectamente, emisiones de dióxido de carbono, responsables del efecto invernadero.

### **D. EFLUENTES LÍQUIDOS**

Los efluentes de las fábricas de papel contienen una gran cantidad y diversidad de contaminantes que varían en función de las materias primas y las tecnologías empleadas.

Una parte importante de la carga contaminante consiste en fibras de celulosa disueltas, que si no son depuradas ocasionan graves problemas en los cauces receptores de los vertidos.

Los vertidos de las fábricas de pulpa química contienen restos de los productos químicos utilizados para cocer la madera, sustancias resultantes de la eliminación de la lignina (licor negro) y sustancias organocloradas provenientes del blanqueo, cuando se utilizan compuestos clorados y muchos compuestos sin identificar resultantes de las interacciones entre ellos.

Los efluentes de las fábricas de pasta mecánica contienen compuestos orgánicos de azufre, resinas acidas y otros desechos de la madera. Estos vertidos tienen una elevada toxicidad, que incluye a las dioxinas y requieren complejos y costosos sistemas de depuración para reducir su impacto sobre los causes receptores.

El uso de compuestos de cloro para blanquear la pasta da lugar a la formación de compuestos órgano clorados, una familia de sustancias de elevada toxicidad, que incluye a dioxina. La industria papelera ha sido tradicionalmente una de las más principales fuentes de generación y emisión al medio ambiente de estas sustancias.

El desarrollo de tecnologías de blanqueo alternativas, como la utilización de compuestos oxigenados, ha solucionado por completo estos problemas en las fábricas que las han implementado.

## **E. RESIDUOS SOLIDOS**

La industria papelera genera una enorme cantidad de residuos de mayor o menor toxicidad según el proceso. La preparación de la madera para uso en una planta de pulpa genera una gran cantidad de

desechos sólidos: la extracción de la madera, incluyendo la tala de los árboles, y remoción de las ramas, corteza, tierra, arena o piedras. Las otras fuentes de desperdicios sólidos incluyen el material rechazado por la malla y el recausticador, lodos de las aguas servidas, papel defectuoso y basura<sup>15</sup>.

Aproximadamente el 75 % de los desechos sólidos son orgánicos; si no se queman, tienen que ser eliminados adecuadamente para no sobrecargar el medio ambiente. Como los desechos tóxicos y peligrosos que se vierten al relleno pueden degradar los recursos de agua freática.

## **F. BLANQUEO DE LA PULPA DE PAPEL.**

Uno de los aspectos más preocupantes de la fabricación de pulpa de papel son las emisiones, vertidos y residuos tóxicos que se generan que se generan al utilizar compuestos clorados para blanquear la pulpa o pasta.

Al combinarse el cloro con compuestos orgánicos presentes en la pasta se forman una gran diversidad de compuestos organoclorados. Esta es una de las familias de sustancias más tóxicas que se conocen. Ya que en general dañan a los sistemas endocrino, inmunológico y reproductor. Además, muchas de las sustancias organocloradas son cancerígenas.

### **3.8. RECICLAJE**

La industria del papel supone un efecto en el medio ambiente, tanto con las actividades previas (donde se adquieren y procesan las materias primas), como en las posteriores (impacto de eliminación de residuos). El reciclaje del papel reduce este impacto. Actualmente, el 90% de la pasta de papel está fabricada con madera. La producción de papel representa aproximadamente un 35% de árboles talados, suponiendo el 1,2% del volumen de producción mundial total.

Reciclar una tonelada de papel de periódico ahorra aproximadamente una tonelada de madera, mientras que reciclando una tonelada de papel impreso o de copias se ahorra algo más de dos toneladas de madera. Esto se debe a que la fabricación de pasta requiere el doble de madera para retirar la lignina y producir fibras de mayor calidad que con los procesos mecánicos de fabricación. La relación entre las toneladas de papel reciclado y el número de árboles salvados no es banal, dado que el tamaño de los árboles varía enormemente y es el factor principal en la cantidad de papel que se puede obtener de un determinado número de ellos<sup>20</sup>.

## **CAPITULO IV**

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

#### **4.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.**

El análisis de la fibra del raquis del plátano se realizó dentro de las instalaciones del Laboratorio de FISICOQUÍMICA "Percy Armando PÉREZ ARONES" de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

#### **4.2. MATERIA PRIMA.**

El material vegetal utilizado fue la raquis del plátano, la cual pertenece a la variedad *musa acuminata Cavendish*, utilizando 25 kg respectivamente que se colectaron de la ciudad de Palma Pampa, jurisdicción de Samugary, comunidad de Chaupimayo, anexo de

Cañaquiriaco - VRAE, La Mar Ayacucho, para realizar las diferentes pruebas en la obtención de los parámetros óptimos para obtener una fibra adecuada y por ende una pulpa de buena calidad.

Se utilizó varios seudotallos y en mayor porcentaje la raquis de 7 meses aproximadamente de edad, cuyo color varía de acuerdo a la edad desde un color verde hasta y color marrón.

Para los análisis de caracterización, obtención de fibras y pulpa de papel se empleó especialmente el raquis, pero se realizó pruebas de las hojas del seudotallo o pinzontes.

La materia prima se troceo en pequeños trozos específicamente de 3cm<sup>3</sup>



FIGURA N° 4.1. Fotografía de la planta de Plátano.  
Palma Pampa-Ayacucho  
Variedad *musa acuminata* Cavendish

### **4.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

#### **CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

##### **4.3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA RAQUIS DEL PLÁTANO**

Para la evaluación física de la raquis se utilizaron dos tipos de parámetros: desde el punto de vista práctico, aspectos apreciables a simple vista y medidos con facilidad.

Otro aspecto valorado de la caracterización física se obtuvo a nivel de laboratorio:

###### **4.3.1.1. HUMEDAD.**

Este análisis se realizó sobre la base de la norma TAPPI T 412 OM-94 de la Asociación Técnica de la Industria de pulpa y Papel de los Estados Unidos. El contenido de agua presente en la materia prima es un dato requerido para su correcta caracterización, pero también se utilizó para realizar el resto del análisis, en los cuales era necesario conocer la cantidad de materia prima disponible.

###### **4.3.1.2. DENSIDAD.**

Las probetas para la determinación de la densidad fueron extraídas de la parte central de la raquis. El peso se determinó con una balanza analítica ACCULAB sartorius Group con cuatro decimales de precisión. El volumen de las probetas se determinó utilizando el método de desplazamiento de agua en una probeta graduada.

#### 4.3.1.3. CENIZAS

El contenido de cenizas es una medición aproximada de las sales minerales y otros materiales inorgánicos presentes en el material fibroso o material lignocelulósico o en la pulpa. (ver anexo 16)

$$\text{ceniza (\%)} = \frac{A \cdot 100}{B} \qquad \text{Ecuación N° 4.1}$$

Donde:

A = Peso de cenizas, en gramos

B = Peso base seca la muestra de prueba, en gramos

#### 4.3.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA RAQUIS DE PLÁTANO

Para la evaluación química de la raquis se utilizaron las normas TAPPI en sus diversas modalidades, debido principalmente que las normas peruanas son derivadas de dichas normas.



FIGURA N° 4.2. Material insoluble (la Lignina)

#### 4.4. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

##### 4.4.1. INSUMOS Y REACTIVOS.

- Hidróxido de sodio	NaOH
- Ácido Clorhídrico	HCl 0,5N.
- Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4N.
- Agua destilada.	
- Almidón.	
- Raquis de plátano	100 g por prueba.
- Permanganato de Potasio	KMnO <sub>4</sub> .
- Tiosulfato de Sodio:	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,2 (N).
- Yoduro de Potasio:	KI (1N)
- Dicromato de potasio	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
- Indicador Ferroin	<b>C<sub>36</sub>H<sub>24</sub>FeN<sub>6</sub>O<sub>4</sub>S</b>

##### 4.4.2. EQUIPOS.

- Estufa
- Balanza analítica ACCULAB Sartorius Lab.
- Licuadora casera
- pH Meter 3510
- Cocina a resistencia
- Calentador con agitador
- Balanza analítica.
- Balde de 4 litros.
- Bureta.
- Matraz Erlenmeyer.

- Pipeta.
- Probeta.
- Vaso de precipitación de 0.25, 0.50 y 1L.
- Espátula
- Crisol
- Estufa
- Mufla
- Papel filtro
- Varilla de vidrio
- Soporte universal
- Termómetro
- Pizeta
- Embudo de vidrio
- Bomba al vacío
- Equipo soxhelt

#### **4.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.**

##### **4.5.1. RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.**

Se utilizó raquis de 7 meses aproximadamente de edad, cuyo color varía de acuerdo a la edad desde un color verde hasta un color marrón.

##### **4.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA PULPA.**

El manejo adecuado de la pulpa obtenido a la sosa y su aplicación a nivel industrial para de dejarla lista para la elaboración de papel. A

través de las diferentes experimentaciones realizadas. La cual se describe a continuación:

#### **4.5.2.1. RECEPCIÓN**

La raquis de plátano se recibió con residuos de la mano o del racimo del fruto, como se observa en el gráfico, Se verifico que el material cumpla con los criterios plasmados.

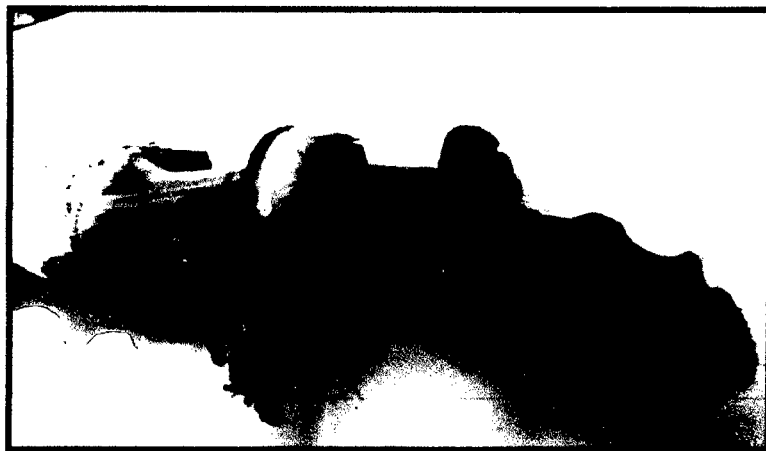


FIGURA N° 4.3. Materia prima – Raquis de plátano

#### **4.5.2.2. LIMPIEZA**

La raquis se limpió la corteza verde o marrón dependiendo de la materia prima y la variedad, todo ello a fin de eliminar las impureza adheridas a la misma.



FIGURA N° 4.4. Raquis sin corteza

#### 4.5.2.3. TROCEADO

El tamaño de los fragmentos fue de aproximadamente de  $3\text{cm}^3$ . El troceado se realizó manera tal que cada cubito de raquis mantenga homogeneidad.



FIGURA N° 4.5. Troceado de la raquis

#### 4.5.2.4. PESADO

El pesado de la materia prima para la obtención de pulpa se realizó en una balanza analítica ACCULAB sartorius Group con cuatro

decimales de precisión, las muestras representativas fueron de aprox. 100 gramos.

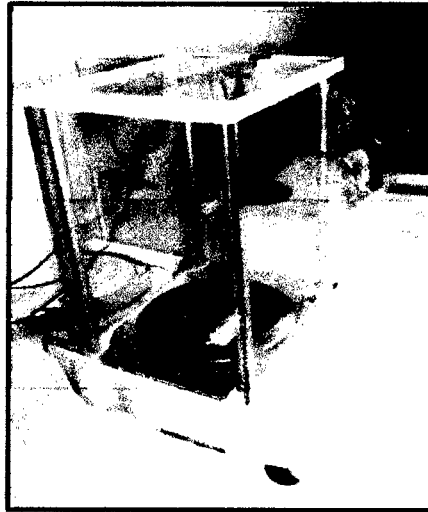


Figura N° 4.6. Balanza analítica ACCULAB sartorius.

#### **4.5.2.5. LIXIVIACIÓN.**

#### **4.5.2.6. PESADO DE LOS REACTIVOS.**

El proceso empezó con el pesado de la cantidad de sosa caustica (hidróxido de sodio) para las diferentes concentraciones.

#### **4.5.2.7. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES.**

El volumen de la solución se calculó para utilizar en las diferentes pruebas, respetando las diferentes concentraciones y las alícuotas.

#### **4.5.2.8. PROCESO A LA SOSA.**

El proceso a la sosa, sirve para diferentes variedades de materias primas, en especial para fibras no leñosas, cabe señalar que las condiciones son variables dependiendo de la especie. Una de sus principales ventajas se destaca la facilidad en la preparación del licor

ya que es tan solo necesario disolver el peso requerido de sosa cáustica (hidróxido de sodio, NaOH) en un volumen conocido de agua. La pulpa obtenida es de gran volumen y demuestran un color claro, lo que le confiere características como receptividad de impresión. A demás de obtener fibras acordes a la materia de estudio. La muestra se trata con hidróxido a diferentes concentraciones, este disolvente elimina la materia resinosa y la lignina, la lignina es un constituyente intercelular, incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Se concentra en la parte media de la Raquis y funciona prácticamente como relleno para impartir rigidez de la raquis. Representa 40% de los componentes del raquis. Si se elimina la celulosa, los carbohidratos, los azúcares, las sales inorgánicas, las proteínas, solo resta esa sustancia péptica que será preciso separa, para obtener la pulpa.



Figura N° 4.7. Inicio del proceso a la sosa.

#### 4.5.2.9. COCCIÓN

El ciclo de cocción se cumple hirviendo la muestra de manera continua y uniforme a temperatura constante (170°C) de acuerdo a un tiempo determinado. Llegando a este punto mantener el contenido a ebullición, hasta llegar a un punto en donde los trocitos se aplastaran suavemente, y si se desintegra separándose en fibras, entonces estará listo.

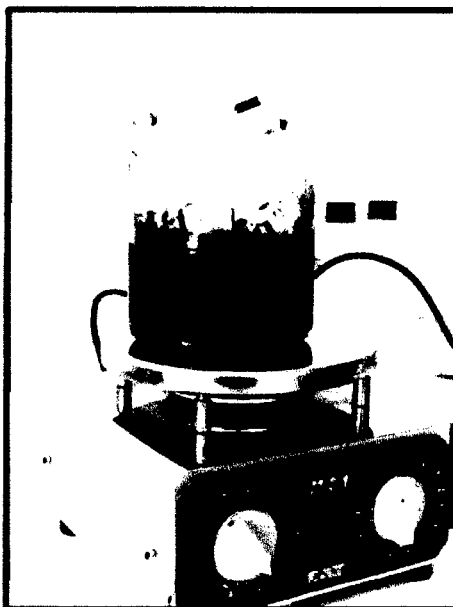


Figura N° 4.8. Cocción de la raquis troceada.

A una temperatura y tiempo controlado

#### 4.5.2.10. DESFIBRADO Y LAVADO

Este proceso inicia con un importante lavado de la fibra resultante con agua caliente, varias veces, hasta la obtención y medición de un pH neutro, si está por encima de 7, la muestra esta alcalina, donde hay presencia de sosa y requiere más lavado. Para ello se adecuo bastidores o tamices para evitar perdida de material sólido.

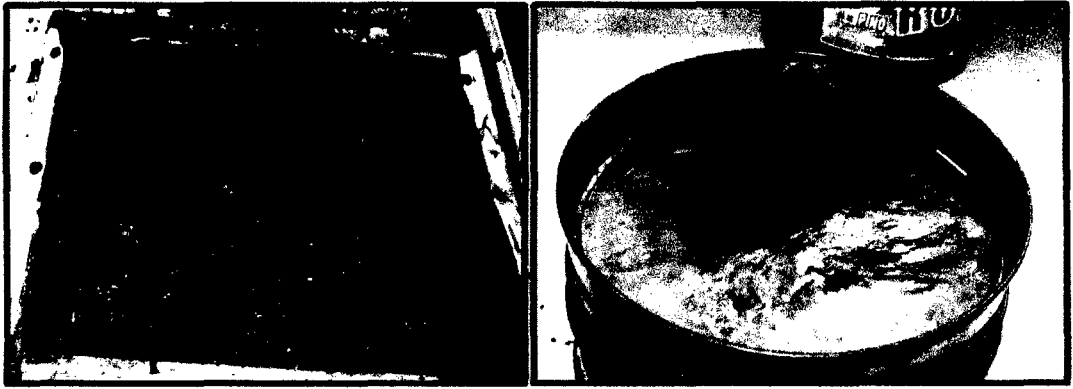


Figura N° 4.9. Lavado y desfibrado de la raquis.

#### 4.5.2.11. BLANQUEO.

El blanqueo se efectúa con hipoclorito de sodio, en presencia de agua caliente para acelerar el blanqueo, la muestra se deja durante 3 a 4 horas en constante agitación, hasta obtener el blanqueo esperado.



Figura N° 4.10. Proceso de blanqueo en sus diferentes etapas.

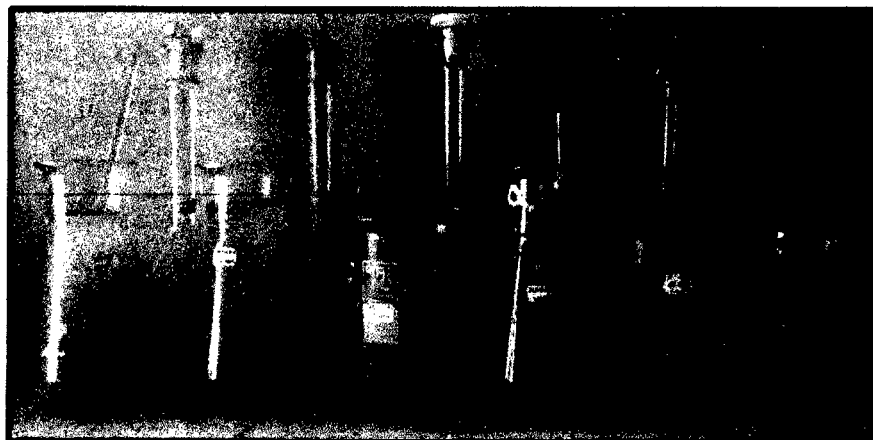


Figura N° 4.11. Blanqueo en sus diferentes tonalidades.



Figura N° 4.12. Blanqueo de la pulpa (fibra).

#### **4.5.2.12. LAVADO.**

El lavado de la fibra se efectúa con agua caliente, varias veces, hasta la obtención y medición de un pH neutro, si está por encima de 7 (la muestra esta alcalina, donde hay presencia de sosa, puede haber un problema en el encolado, en la elaboración de papel), si está por debajo de 7 (la muestra esta acida, hay presencia de cloro, el papel envejecerá) y requiere más lavado.



Figura N° 4.13. Lavado de la pulpa.

#### **4.5.2.13. BATIDO O LICUADO.**

Todas las pulpas obtenidas se pasa por un proceso de licuado, para ello se utilizó una licuadora por aprox. 4 minutos a 80 RPM



Figura N° 4.14. Licuado de la pulpa de papel

#### **4.5.2.14. FILTRADO.**

Por intermedio de bastidores (tamices o cedazos) diseñados para este propósito se realiza la filtración, para la obtención de la pulpa de papel



Figura N° 4.15. Filtrado de la pulpa de papel.

#### **4.5.2.15. OBTENCIÓN DE LA PULPA DE PAPEL.**

Para este proceso se realiza el lavado respectivo en la cual se obtiene la pulpa adecuada, debidamente blanqueada.



Figura N° 4.16. Lavado de la pulpa .



Figura N° 4.17. Obtención de la pulpa, luego del lavado.



Figura N° 4.7. Pulpa de diferentes concentraciones y tiempo de cocción.

#### 4.5.2.16. PAPEL

Para dar mayor validez al trabajo se llegó a obtener papel de diferentes calidades y de acuerdo a las concentraciones

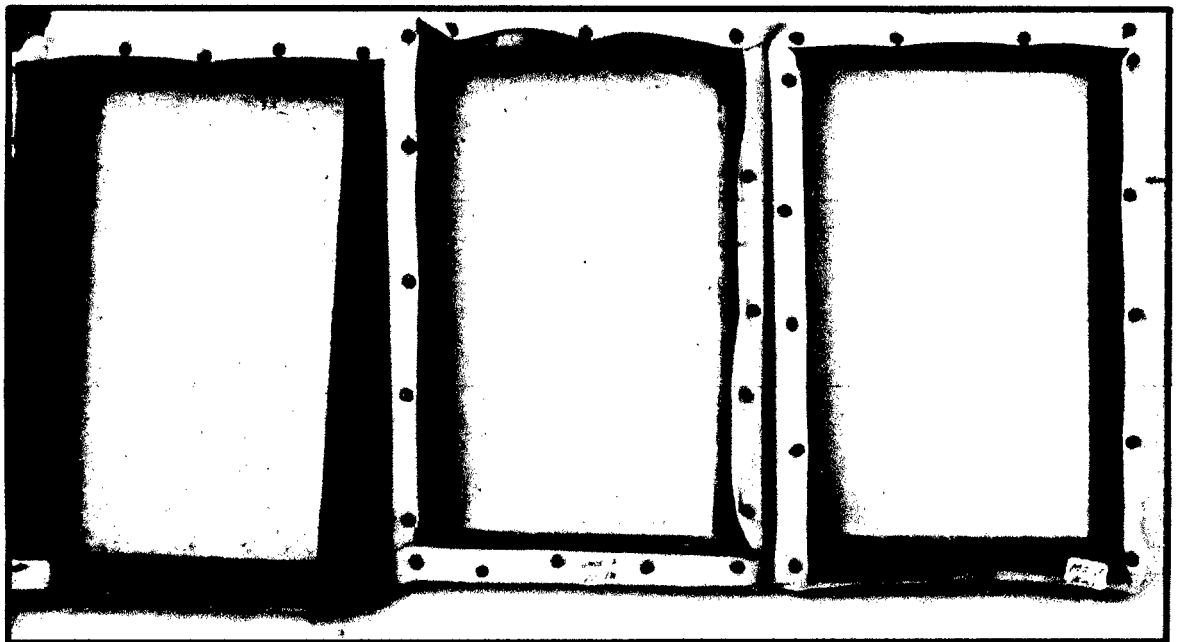


Figura N° 4.18. Obtención de papel en los moldes artesanales.

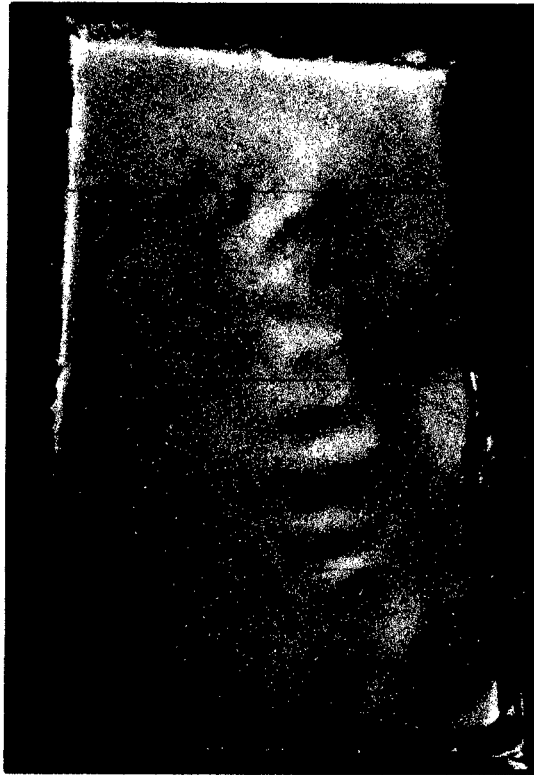


Figura N° 4.19. Papel a diferente concentración y tiempo de cocción.

#### **4.6. MÉTODOS DE CONTROL DE LA PULPA.**

##### **4.6.1. MÉTODOS FÍSICOS:**

##### **4.6.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD**

De acuerdo a la NORMA TAPPI T 412 OM - 94, importante para la determinación del contenido de la celulosa, referida a la materia prima seca, que es la base sobre el cual generalmente se comparan muestras diferentes, en la cual se usa un simple secado en estufa, para fines académicos para determinar un análisis completo de la pulpa, es necesario determinar cada constituyente. Según la norma la temperatura de la estufa debe estar entre 100 – 105° C, en intervalos de 3 horas donde el peso no tenga variaciones mayor a 0.1% del peso húmedo de la muestra.

$$\%HUMEDAD = \frac{100 * \textit{perdida de peso}}{\textit{peso original de la pulpa humeda}}$$

Ec. 4.5

#### **4.6.1.2. CONTENIDOS DE PUNTOS SUCIOS:**

De acuerdo a la norma TAPPI T213 M-43, la evaluación de los puntos sucios varía según se trate del contenido total de puntos sucios o del contenido de pequeñas astillas. Un punto sucio se define como aquello que es aparente al ojo humano teniendo fondo las fibras de celulosa.

#### **4.6.2. MÉTODOS QUÍMICOS**

##### **4.6.2.1. MÉTODO DEL PERMANGANATO**

Las ventajas especiales de los métodos a base de permanganato son la sencillez y la rapidez, por consiguiente, se recomiendan para el trabajo de control, pero a nivel de la norma TAPPI T 214 m-50, donde se pone en un vaso de precipitado suspendida en agua, una cantidad de pulpa seca al aire, equivalente a exactamente 1g de pulpa seca a la estufa, teniendo la cantidad requerida de solución 0.1N de permanganato de potasio preparada en otro vaso. Se ajusta a 25°C un volumen igual de ácido sulfúrico 4N con suficiente agua para diluir el permanganato a una concentración y se agrega casi todo este volumen con agitación, a la pulpa. Se añade entonces el permanganato enjugando el vaso con el ácido remanente y después de 5 minutos de agitación, se agregan 5mL de solución de yoduro de potasio al 16,6%. Se titula la mezcla con Tiosulfato de sodio 0.1N hasta el vire con almidón. El valor obtenido se convierte en valores de

blanqueabilidad para un proceso de un solo paso, por medio de la tabla elaborada experimentalmente. A continuación se presenta algunas cifras para pulpa de madera.

**Cuadro N°4.1 Índice de blanqueabilidad en relación al número de KMnO4**

Numero de KMnO4	1	10	20	30	35	40
Índice de Blanqueabilidad	0.43	4.75	10.56	17.85	22.15	27.20

Fuente: Fabricación de pulpa y papel, Julius Grant. Pág. 188

Ecuación de blanqueabilidad según Julius Grant.

$$y = 0.0077x^2 + 0.3626x + 0.1693 \quad \text{EC. 4.6.}$$

X: Numero de KMnO4

Y: Índice de Blanqueabilidad

Donde a mayor número de permanganato mayor será el índice de blanqueabilidad, por ende con mayor grado de blancura.

**4.6.2.2. PRUEBAS DE BLANQUEABILIDAD**

Estas pruebas tienen un doble objeto saber:

- a) Indicar el grado que se ha llevado el proceso de cocción
- b) Medir que tanto de licor de blanqueo que se requerirá con objeto de producir el grado de blancura deseado. El color oscuro de la pulpa generalmente se debe a la presencia de ligninas, resinas y materiales similares y a sus productos de descomposición, la mayoría de las cuales se deben eliminar en las operaciones de cocción y de

lavado. Resulta, por lo tanto, que mientras menos drástica es la cocción mayor es el blanqueo requerido subsecuentemente.

#### **4.6.2.3. DETERMINACIÓN DEL PH.**

Durante el proceso de obtención de pulpa se determinó el pH, luego del proceso de cocción, luego de los respectivos lavados con el fin de obtener una pulpa relativamente neutra, a través del pH – Meter 3510.

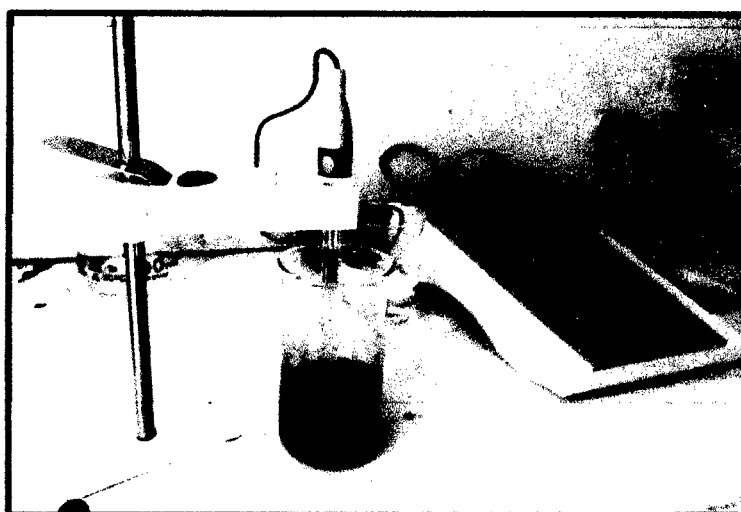


Figura N° 4.20. Determinación del pH en las diferentes etapas del proceso.

#### **4.6.3. EVALUACIÓN DE LAS MUESTRAS CELULÓSICAS.**

##### **4.6.3.1. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HOLOCELULOSAS**

La holocelulosa es el término que se utiliza para referirse al total de los carbohidratos, celulosa y hemicelulosa, contenidos en las materias primas vegetales fibrosas o en la pulpa misma.

Para la determinación del contenido de holocelulosa, se procede a pesar aproximadamente 5g de pulpa. La pulpa se coloca en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y para ser tratado con una solución

1.5g de clorito de sodio ( $\text{NaClO}_2$ ) en 160mL de agua, que previamente se le añadieron 10 gotas de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). El matraz de reacción se mantuvo tapado con un vidrio, en baño de agua a  $75^\circ\text{C}$  durante una hora agitándolo ocasionalmente; después de esa hora se le añadieron 10 gotas de ácido acético y lentamente 1.5 g de clorito de sodio, se agitó y se dejó reposar, se repitió una vez más este procedimiento hasta que se alcanzó un total de cuatro horas. La muestra se enfrió, para luego pasar el contenido del matraz de reacción aplicando vacío y se colectó el material en un papel filtro, que previamente había sido pesado y anotado su peso. El material separado se lavó con agua fría destilada y luego con acetona. Finalmente se pasó a una estufa de secado a la que se le aplicó vacío y se dejó secar hasta peso constante a la temperatura de  $45^\circ\text{C}$ . Este secado duró tres días. Finalmente se dejó a la holocelulosa en un desecador ya que ésta es muy higroscópica y se pesó para evaluar la cantidad contenida por el material de estudio.

#### **4.6.3.2. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE ALFA, BETA Y GAMMA CELULOSA.**

De una forma general, la alfa celulosa indica una celulosa no degradada, de alto peso molecular; la beta celulosa es la celulosa degradada y la gamma celulosa consiste principalmente en hemicelulosas.

La alfa, beta y gamma celulosas se determinaron mediante la técnica **TAPPI 203 OM-88**, en una muestra de 1.5g de pulpa y que sido sometió al proceso de determinación de holocelulosa, este

material de holocelulosa fue colocado en un vaso de precipitados de forma alta de 300 mL, se añadieron 75 mL del reactivo de NaOH al 17.5%. Se anotó el tiempo en el que se añadió el reactivo. La muestra se agita con una varilla de vidrio hasta que la mezcla está completamente homogénea.

Se quitó el material adherido a la varilla, enjuagándola con 25 mL del reactivo de sosa al 17.5%, añadiéndolo al vaso de precipitado para completar 100 mL de reactivo, después de un periodo de 30 minutos se añadieron 100 mL de agua destilada a  $25^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$  a la suspensión y se agitó completamente con la varilla. Se dejó el vaso de precipitados en el baño maría por otro periodo de 30 minutos para que el tiempo total de extracción fuera de  $60 \pm 5$  minutos. Al término del periodo de 60 minutos, se agitó la suspensión de la muestra con una varilla y se pasó al embudo de filtración. Se colectaron alrededor de 100mL del filtrado en un matraz de filtración limpio y seco

Para la determinación de alfa-celulosa se tomaron 10mL del filtrado y 20mL de solución de dicromato de potasio 0.5N, se colocaron en un matraz de 250 mL. Se añadió con precaución, 30mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. La solución permaneció caliente por 15 min, luego se le añadieron 50mL de agua y se enfrió a temperatura ambiente, una vez frío se le añadieron de 2 a 4 gotas de indicador "ferroín" y se tituló con la solución de sulfato de amonio ferroso 0.1N hasta color púrpura. La titulación en blanco se realizó sustituyendo el filtrado del material con 5mL de NaOH al 17.5% y 5 mL de agua.

En los cálculos para determinar el contenido de alfa celulosa se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$\% \text{ ALFA} - \text{CELULOSA} = 100 - \frac{6.85(V_2 - V_1) * N * 20}{A * W} \quad 4.7.$$

Donde:

V<sub>1</sub> = Titulación del filtrado de la pulpa, en mL.

V<sub>2</sub> = Titulación en blanco, en mL.

N = Normalidad exacta de la solución de sulfato de amonio ferroso

A = Volumen del filtrado de la pulpa usado en la oxidación, en mL.

W = Peso de la muestra de la pulpa secado en la estufa, en gramos.

La determinación de la beta y gamma-celulosa se realizó al tomar 50mL del material filtrado y colocarlo en una probeta graduada de 100mL, se le añadieron 50mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3N y se mezcló completamente invirtiendo la probeta.

De la solución se pipetearon 10 mL al igual que 10 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0.5N, se colocaron en un matraz de 300mL y se añadieron con cuidado 20mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y 50mL de H<sub>2</sub>O. La solución permaneció caliente durante 15 min., luego se procedió a la titulación, como en la parte de alfa-celulosas.

Se hizo una titulación en blanco, sustituyendo la solución con 6.25mL de NaOH al 17.5% y 6.25mL de H<sub>2</sub>O, a los cuales se le incorporó 20mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 3N, 10mL de dicromato de potasio al 0.5N y 50 mL de H<sub>2</sub>O

El cálculo para determinar la gamma-celulosa fue el siguiente:

$$\% \text{ GAMA} - \text{CELULOSA} = \frac{6.85(V_4 - V_3) * N * 20}{25 * W} \quad \text{EC. 4.8.}$$

Donde:

V<sub>3</sub> = Titulación después de la precipitación de Beta-celulosa, en mL

V<sub>4</sub> = Titulación del blanco, en mL.

N = Normalidad exacta de la solución de sulfato de amonio ferroso

W = Peso del espécimen de la pulpa secado en la estufa, en gramos.

Para la determinación de beta-celulosa se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ de beta -celulosa} = 100 - \% \text{ alfa celulosa} + \% \text{ gamma celulosa} \quad \text{EC. 4.9}$$

#### **4.6.3.3. LIGNINA**

Se dejó que la muestra libre de extraíbles alcanzara el equilibrio con la humedad de la atmósfera y después se utilizó la Técnica TAPPI 220 om-88, la cual indica que se determina la humedad a 2g del material libre de extraíbles, con ese dato se pesó 1g base seca del material y fue colocado en un vaso de precipitado de 100 mL.

A los vasos de precipitado que contenían las muestras de la prueba se les añadieron 15mL ácido sulfúrico al 72% frío, lentamente y en pequeñas proporciones manteniendo el vaso en un lugar fresco, después que la muestra se homogenizó, se cubrió el vaso de precipitados con un vidrio de reloj y se mantuvo a 20°C durante dos horas. El material se agitó frecuentemente para asegurar la disolución completa.

El material se transfirió a un vaso de precipitado de 1000mL, completando el volumen a 575mL con agua, esta solución hirvió por cuatro horas, manteniendo el volumen constante adicionando agua caliente. El material insoluble (lignina) se decantó,

manteniéndolo en una posición inclinada, se dejó toda la noche reposando.

Sin agitar el precipitado, se decantó la solución flotante por medio de un filtro, que previamente se llevó a peso constante y fue anotado su peso, el precipitado retenido en el filtro se lavó con usando agua caliente. Se secó el filtro con la lignina en un horno a  $105^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$  hasta peso constante, se enfrió en un desecador y se pesó.

#### **4.6.3.4. CENIZAS**

El contenido de cenizas es una medición aproximada de las sales minerales y otros materiales inorgánicos presentes en el material fibroso o material lignocelulósico o en la pulpa. (ver anexo 16)

$$\text{ceniza (\%)} = \frac{A+100}{B} \qquad \text{Ecuación N}^{\circ} 4.1$$

Donde:

A = Peso de cenizas, en gramos

B = Peso base seca la muestra de prueba, en gramos

También cabe mencionar que las diferentes muestras se mandó analizar a los laboratorios de ETERNIT on ETEX COMPANY como se muestra en los cuadros respectivos:

#### **4.6.3.5. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE KAPPA (NORMA TAPPI T 236-CM-85)**

Se pesa una cantidad de pulpa, calculando para un  $p=50$  y se supone un índice Kappa y una humedad.

- Se agita en un vaso de 1L, con agitación constante, con aproximadamente 350 mL de agua destilada, por 5 min. Se traspasa a agitador magnético y se lleva a  $26^{\circ}\text{C}$  con agua caliente.

- Simultáneamente en otro vaso se prepara una mezcla de 100 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 N medido con una probeta y 100 mL de  $\text{KmnO}_4$  medido con una pipeta.
- Se agrega esta mezcla cuantitativamente a la suspensión anterior, y se toma el tiempo desde el momento que se agrega la mezcla de reactivos.
- A los 5 min se mide la temperatura y se asume ésta como temperatura promedio de reacción.
- Exactamente a los 10 min desde el momento de agregar la mezcla a la suspensión, se agregan 20 ml de KI 1 N.
- Se titula el  $\text{I}_2$  liberado con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,2 N, usando almidón como indicador.
- Se realiza un blanco siguiendo el mismo procedimiento, pero sin usar pulpa ni esperar 10 min.

El índice kappa se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{Indice kappa} = \frac{p \cdot f}{W_s} \Rightarrow \text{Indice kappa} = \left( \frac{b - a}{0,1} \cdot N \right) \cdot \left( \frac{f}{W_s} \right) \dots\dots\dots \text{Ec. 4.11}$$

Donde:

p: Cantidad real de Permanganato de Potasio consumido por la muestra ensayada, en mL.

b: Cantidad de Tiosulfato de Sodio consumida en la determinación del Blanco, en mL.

a: Cantidad de Tiosulfato de Sodio consumida por la muestra, en ml.

N: Normalidad del Tiosulfato de Sodio.

W: peso de la muestra.

f. : factor de corrección

A demás con la temperatura promedio de la reacción corregimos el índice kappa con la siguiente relación:

$$(Indice\ Kappa)_{corregido} = (Ind.\ Kappa)_{calculado} * (1 + 0.013 * (25 - t)) \quad \text{Ec.4.12}$$

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1. ANÁLISIS DEL RAQUIS DE PLÁTANO

##### HUMEDAD Y MATERIA SECA

##### TABLA N° 5.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD RAQUIS DE PLÁTANO

##### **NORMA TAPPI T 412 OM – 94**

MUESTRA HUMEDAD(g)	MUESTRA SECA (g)	% HUMEDAD	%MS
207.6549	40.6987	80.4	19.6
100.4723	19.2547	80.84	19.16
100.657	20.6275	79.51	20.49
100.7548	21.9893	78.18	21.82
100.8302	20.0245	80.14	19.86
100.8801	20.1024	80.07	19.93
100.3489	20.0389	80.03	19.97
100.4589	21.0145	79.08	20.92
100.2024	20.0298	80.01	19.99
100.3044	20.0098	80.05	19.95
	<b>PROMEDIO</b>	<b>79.83</b>	<b>20.17</b>

De acuerdo a los resultados obtenidos se nota que en las diferentes muestras el porcentaje promedio de la humedad de la materia prima

es de 79.83%, donde el valor indicado nos señala el alto grado de humedad presente en la muestra.

**CENIZAS:** El contenido de ceniza varía. Como se muestra en la tabla:

**TABLA N° 5.2. PORCENTAJE DE CENIZA EN LA MUESTRA**

RAQUIS DE PLÁTANO			
MUESTRA	A	B	% CENIZA
M 1	0.0345	1.0025	3.44
M 2	0.0356	1.0245	3.47
M 3	0.0398	1.1546	3.45
M 4	0.0378	1.0789	3.5
M 5	0.0366	1.078	3.4
M 6	0.0344	1.0109	3.4
M 7	0.0399	1.1457	3.48
M 8	0.0377	1.1025	3.42
M 9	0.0368	1.0789	3.41
M 10	0.0348	1.0179	3.42
PROMEDIO TOTAL			3.44

A = Peso de cenizas, en gramos

B = Peso base seca la muestra de prueba, en gramos

Al someter las diferentes muestras de acuerdo a la Norma señalada, se obtiene un valor promedio de 3.44% de cenizas, valor cercano del trabajo de investigación denominado **OBTENCIÓN DE HARINA DE RÁQUIS DEL PLÁTANO Y EVALUACIÓN DE SU CALIDAD –Botero – 2008**, cuyo valor es de **3,42 %**

## **5.2. OBTENCIÓN DE PULPA DE PAPEL**

### **5.2.1. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA PAPEL.**

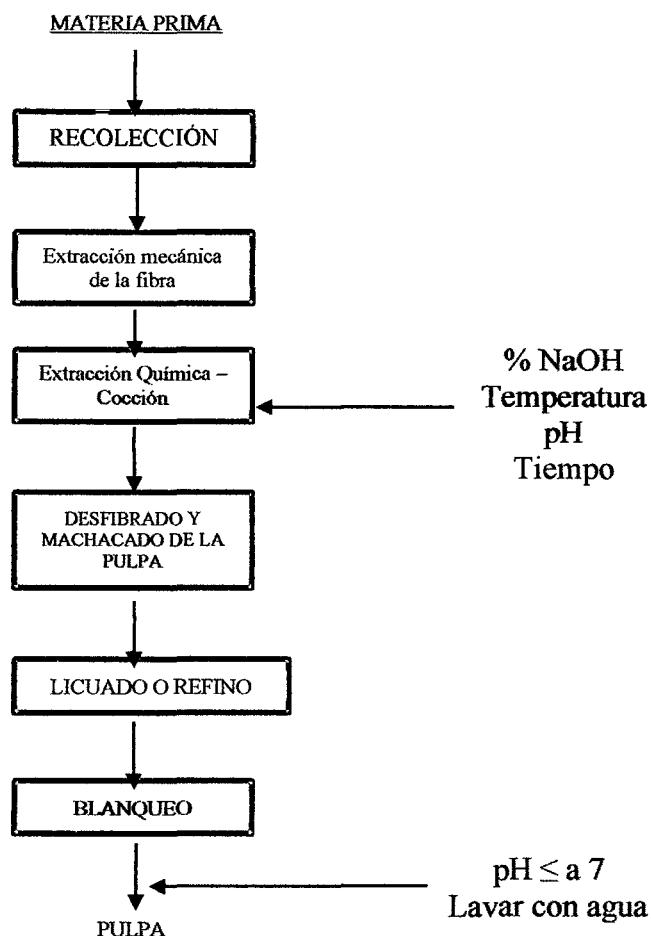
Para determinar los parámetros del proceso óptimo para la obtención de pulpa de papel a partir del raquis del plátano. Se evaluó diferentes procedimientos los cuales se detallan a continuación.

## 5.2.2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA PULPA DE PAPEL

### PROCESO N°01 .

El proceso empieza con la recolección de la materia prima, para pasar a una extracción mecánica de la fibra, luego pasar por una extracción química, desde una concentración de 5 a 20% de NaOH, a una temperatura constante 170°C, un tiempo de cocción entre 40 a 70 minutos, luego pasa por un proceso de desfibrado de la pulpa; al termino se procede al licuado, concluyendo con el lavado respectivo, con agua corriente, donde el pH se disminuye al neutro.

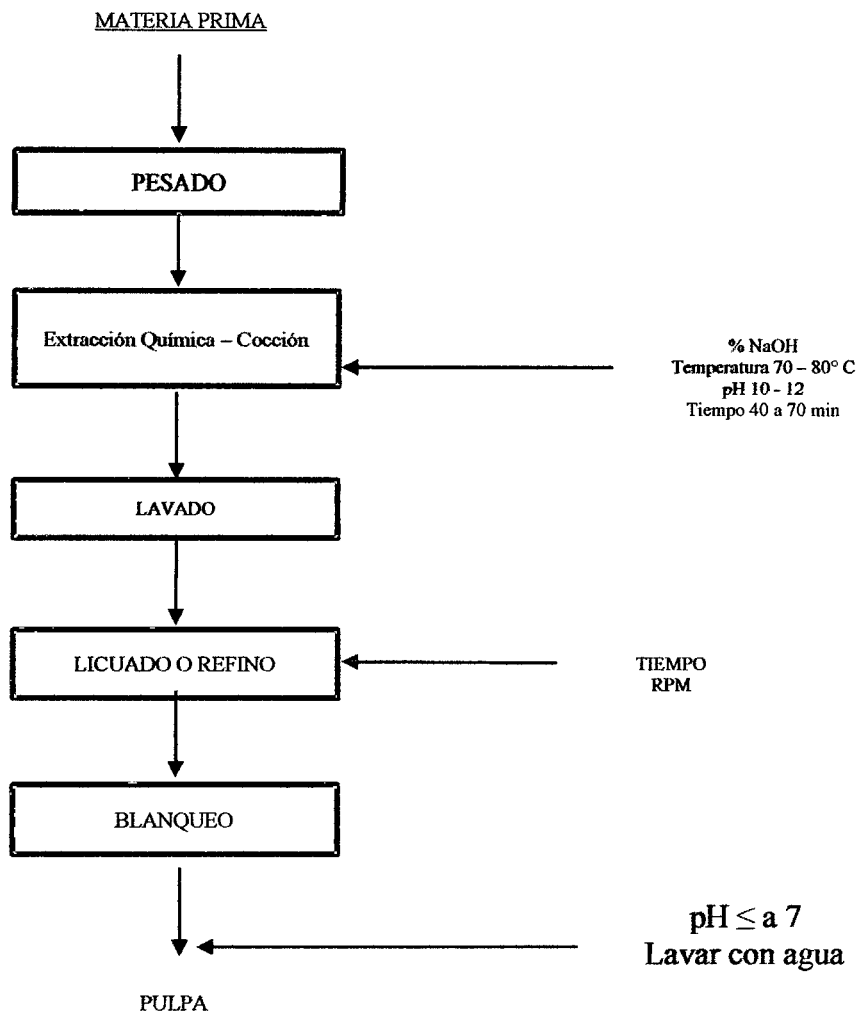
#### DIAGRAMA DE BLOQUE 01



## PROCESO N°02 .

El proceso empieza con la recolección de la materia prima, para ser pesado, luego se tiene a una extracción química de la fibra, con una concentración de 5 a 20% de NaOH, a una temperatura de 170°C, un tiempo de cocción entre 40 a 70 minutos, luego pasar por un proceso lavado; al termino se procede al licuado, concluyendo con el blanqueo, concluyendo con un lavado para disminuir el pH a valores cercanos a 7.

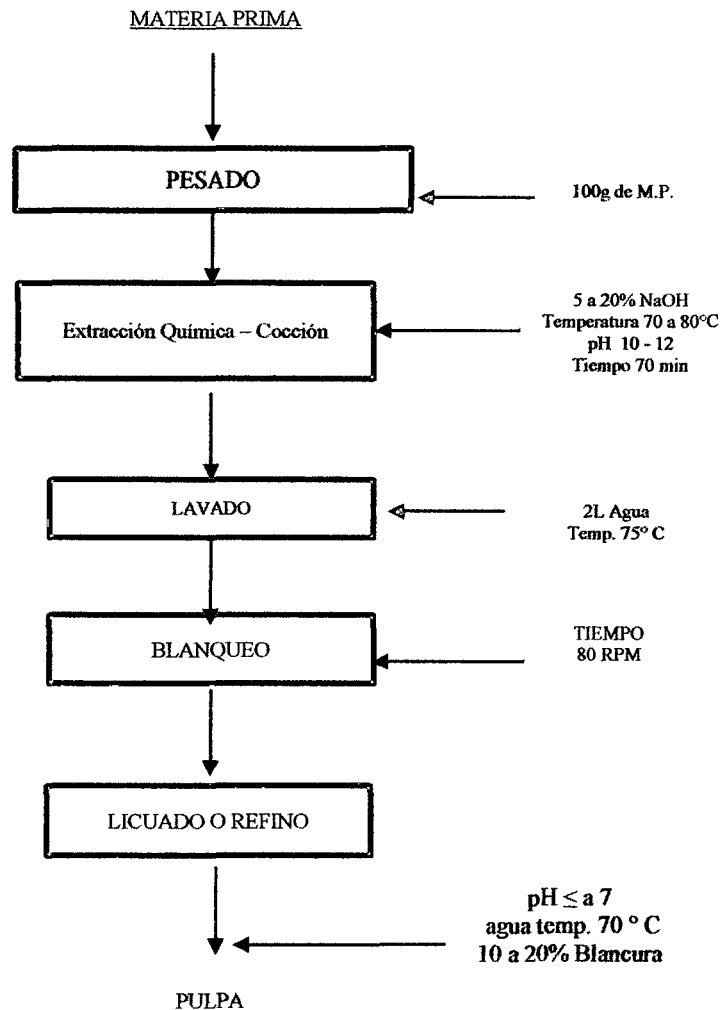
### DIAGRAMA DE BLOQUES N° 02



### PROCESO N°03.

El proceso empieza con la recolección de la materia prima, para ser pesado, luego se tiene a una extracción química de la fibra, con una concentración de 5 a 20% de NaOH, a una temperatura de 170°C, un tiempo de cocción entre 40 a 70 minutos, para pasar por un proceso lavado con agua a una temperatura de 70°C; al termino se procede al licuado, concluyendo con el blanqueo, concluyendo con un lavado (con agua a 70° C) para disminuir el pH a valores cercanos a 7.

### DIAGRAMA DE BLOQUES N° 03



### 5.3. PROCESO DEFINITIVO PARA LA OBTENCIÓN DE PULPA DE PAPEL

El proceso N° 03, es el más adecuado, debido a la pulpa obtenida, donde alcanza los mejores parámetros: % NaOH, Temperatura, tiempo, Rpm, específicamente a la pulpa de papel a obtener.

Los criterios utilizados son: pH cercanos a 7, índice de blanqueabilidad, fibras obtenidas, cantidad de alfa, beta y gamma celulosa, índice de kappa, de acuerdo a los cuadros estadísticos.

La dosificación de los reactivos para la obtención de pulpa de papel, influyen en el tipo de pulpa a obtener como se muestran en los diferentes cuadros estadísticos.

La selección del proceso adecuado, tiene su base en el análisis de los datos experimentales del presente trabajo.

### 5.4. EVALUACIÓN DE LA PULPA DE PAPEL

La evaluación de la pulpa de papel se realizó con los materiales y equipos existentes en el laboratorio adecuando a las necesidades de los diferentes procedimientos, muchos de los cuales a la realidad del laboratorio

#### **MÉTODOS FÍSICOS**

##### 5.4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PULPA DE PAPEL

**TABLA N° 5.3. PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LA PULPA**  
**NORMA TAPPI T 412 OM – 94**

Muestra	Masa luna [g]	Pulpa + luna [g]	Pulpa Húmeda [g]	Pulpa Seca [g]	Agua [g]	% humedad
1-20% NaOH	45.0442	47.6755	2.6313	0.9854	1.6459	62.55
2-18% NaOH	34.4378	37.012	2.5742	0.8644	1.7098	66.42
3-15% NaOH	32.5520	34.7004	2.1484	0.967	1.1814	54.99
4-13% NaOH	45.0442	47.8236	2.7794	1.0158	1.7636	63.45
5-10 % NaOH	34.4378	38.2563	3.8185	1.2563	2.5622	67.1
6- 8 % NaOH	32.5520	35.0214	2.4694	1.0023	1.4671	59.41
7 - 5% NaOH	45.0442	47.8965	2.8523	0.9874	1.8649	65.38

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De acuerdo a la tabla anterior los valores promedios de la humedad de la pulpa oscilan entre 54.99 y 66.42%.

#### 5.4.2. CONTENIDOS DE PUNTOS SUCIOS (norma TAPPI T213-M43)

Los métodos de evaluación de los puntos sucios varían según se trate del contenido total de los puntos sucios y del tipo de pulpa o tipo de papel que se vaya a obtener, principalmente son las pequeñas astillas, y dar aproximaciones

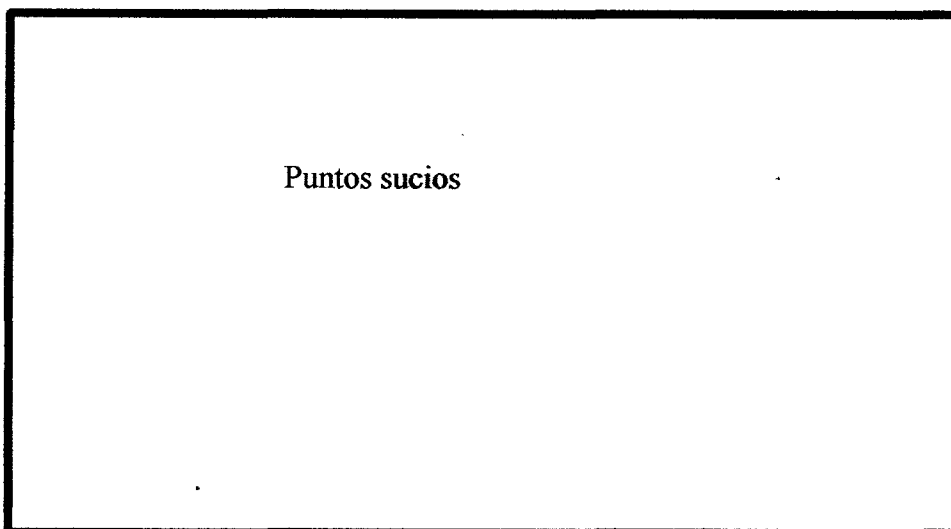


Figura 5.1. Puntos sucios en la muestra de papel

#### MÉTODOS QUÍMICOS.

#### 5.4.3. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE ALFA, BETA Y GAMMA CELULOSA.

**TABLA N° 5.4. PORCENTAJE DE ALFA CELULOSA (TAPPI, T203 M-58)**

DETERMINACIÓN DE % DE ALFA CELULOSA						
MUESTRA	V1 (mL)	V2 (mL)	N sulfato ferroso	A	W	%ALFA CEL.
M1	28	81.5	0.112	10	1.0698	23.27
M2	29		0.109		1.0748	27.06
M3	31.5		0.115		1.0859	27.46
M4	30.5		0.108		1.0568	28.60

M1, M2, M3, M4 muestra de raquis 1, 2, 3 y 4 respectivamente

V<sub>1</sub> = Titulación del filtrado de la pulpa, en mL.

V<sub>2</sub> = Titulación en blanco, en mL.

N = Normalidad exacta de la solución de sulfato de amonio ferroso

A = Volumen del filtrado de la pulpa usado en la oxidación, en mL.

W = Peso de la muestra de la pulpa secado en la estufa, en gramos.

De una forma general, la  $\alpha$ -celulosa indica una celulosa no degradada, de alto peso molecular. Los valores oscilan entre valores de 23.27 y 28.60% para la  $\alpha$ -Celulosa, indicativo del grado de celulosa no degradada. Es decir cantidad de celulosa pura presente en la muestra.

**TABLA N° 5.5. PORCENTAJE DE GAMMA ( $\gamma$ ) CELULOSA**

DETERMINACIÓN DE % DE $\gamma$ -CELULOSA						
MUESTRA	V3 (mL)	V4 (mL)	N	A	W	% $\gamma$ -CEL.
M1	52	71	0.109	25	5.6878	1.99
M2	53		0.112		5.5897	1.97
M3	54		0.115		5.4025	1.98
M4	56		0.1198		5.4756	1.79

La  $\gamma$ -celulosa consiste principalmente en hemicelulosas, cuyos valores oscilan entre 1.79 y 1.99%, para las diferentes muestras. Es decir cantidad de celulosa impura presente en la muestra. La misma que tiene alto peso molecular

**TABLA N° 5.6. PORCENTAJE DE BETA CELULOSA**

DETERMINACIÓN DE % BETA CELULOSA			
MUESTRA	% $\alpha$ -CEL.	% $\gamma$ CEL.	% $\beta$ - CEL.
M1	23.2657	1.9953	74.74
M2	27.0578	1.9764	70.97
M3	27.4565	1.983	70.56
M4	28.5961	1.7984	69.61

M1, M2, M3, M4 muestra de raquis 1, 2, 3 y 4 respectivamente

La  $\beta$ -celulosa es la celulosa impura, y sus valores fluctúan entre 69.61 y 74.74% para las diferentes muestras.

**5.4.4. DETERMINACIÓN DE PERMANGANATO E ÍNDICE DE  
BLANQUEABILIDAD**

**TABLA N°5.7. NUMERO DE PERMANGANATO E ÍNDICE E  
BLANQUEABILIDAD**

<b>% NaOH</b>	<b>muestra</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>V gastado de tiosulfato de sodio</b>	<b>Nro de permanganato</b>	<b>índice de blanqueabilidad corregido con línea de tendencia</b>
20	M1	40	136.9	24.21	13.46
	M2	50	138.4	24.81	13.91
	M3	60	141.9	27.28	15.79
	M4	70	144.05	28.55	16.8
18	M1	40	134.9	22.39	12.15
	M2	50	135.8	22.67	12.35
	M3	60	138.5	25.27	14.25
	M4	70	141.9	27.07	15.63
15	M1	40	115	9.76	4.44
	M2	50	119.4	12.18	5.73
	M3	60	121.1	13.6	6.52
	M4	70	133.3	21.34	11.41
13	M1	40	110.9	6.96	3.07
	M2	50	117.8	11.65	5.44
	M3	60	121.4	14.16	6.85
	M4	70	132.9	21.61	11.6
10	M1	40	114.7	9.65	4.39
	M2	50	125.89	16.72	8.38
	M3	60	138.4	24.99	14.04
	M4	70	140.25	26.33	15.05
8	M1	40	118	11.72	5.48
	M2	50	121.9	14.07	6.8
	M3	60	131.1	20.69	10.97
	M4	70	142.2	27.68	16.11
5	M1	40	117.9	11.5	5.36
	M2	50	127.5	17.76	9.04
	M3	60	135.9	22.94	12.54
	M4	70	145.3	33.38	20.85

M1, M2, M3, M4 muestra de raquis 1, 2, 3 y 4 respectivamente

Se observa de la tabla anterior los diferentes índices de blanqueabilidad, donde se utiliza la ecuación para pulpa de papel a partir de madera (eucalipto- ecuación 4.6.) se nota diferentes valores, indicativo que a diferentes concentraciones se obtiene diferentes productos o en su defecto diferentes tipos de papel. A partir grado de blancura deseado, el color oscuro de la pulpa generalmente se debe a la presencia de lignina, resinas y materiales similares y a sus productos de descomposición, los cuales son eliminados en las operaciones de cocción y de lavado. De acuerdo al Cuadro 4.1. Índice de blanqueabilidad en relación al número de  $KMnO_4$ , se muestra el progreso de la blanqueabilidad donde el índice se proyecta desde 0.43 al 27.30, mientras en el presente trabajo fluctúan entre 3.07 - 20.85, en las diferentes muestras y concentraciones, debido al tipo de papel que se vaya a obtener.

## 5.5. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO.

### 5.5.1. LONGITUD DE FIBRA.

**TABLA N°5.8. PROPIEDADES COMPARATIVAS DE DIVERSAS FIBRAS**

ESPECIE	LONGITUD PROMEDIO (mm)
<b><u>Raquis de plátano*</u></b>	2.96
Cayena lina (piña)	2.80
Hoja de maíz	1.86
Bagazo de Caña	1.50
Eucaliptus Globulus	0.94
Kenaf	1.29
Pino	4.00
Esparto	1.10
Bambu	2.80
Abaca	6.00
Sisal	2.80
Lino	55.0

Fuente: Casey P. J. 1990. Pulpa y papel. Química y tecnología química.LIMUSA.

**\*Análisis realizado en el Laboratorio Eternit an Etex Company-Lima Perú – Muestra Propia**

Las fibras de la raquis de plátano son las más grandes longitudinalmente comparadas con las fibras no maderables como la de la hoja de maíz, kenaf y bagazo de caña y también lo son para latifoliadas como el eucalipto; las fibras del bambú son semejantes a las de la cayena de piña y solo es superada por las fibras de pino y lino.

Es idea común en el ámbito papelerero que las fibras largas dan resistencia al papel; aunque en ocasiones la resistencia a la tensión, que habitualmente es la propiedad más asociada con mayor resistencia del papel depende más bien del enlace entre las fibras que de la longitud de éstas; en este sentido no se puede decir que, siempre las mayores longitudes reflejaron una mejor calidad de pulpa, ya que también influyen las otras dimensiones, sobre todo el grosor de las paredes, por lo que la fibra de la raquis de plátano a pesar de ser larga, se tendría que realizar otro tipo de investigación para determinar si se debe mezclar o no, con otras fibras para generar una pulpa de buena calidad y mayor resistencia a la tensión, explosión y rasgado debido a la lumen muy delgado que tienen sus fibras.

Cabe recalcar que de acuerdo a la pulpa a obtener y por ende el tipo de papel se realiza las comparaciones, que por ende resultan combinación de fibras largas con las cortas de acuerdo al papel a obtener.

### **5.5.2. ÍNDICE KAPPA**

Pesamos una cantidad de pulpa, suponiendo un índice kappa según lo esperado y calculando para un  $p=50$ . Agregamos ácido sulfúrico y permanganato de potasio, y luego se titulamos con Tiosulfato de sodio

usando almidón como indicador. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:



**FIGURA 5.2. Progreso de la titulación del índice de Kappa**

**TABLA N° 5.9. ÍNDICE DE KAPPA DE LA MUESTRA 01 A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

% NaOH	muestra	TIEMPO mL	V tiosulfato de sodio		Ind. Kappa Calculado	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	% lignina
			V gastado blanco mL	V gastado pulpa mL				
20	M1	40	158	136.9	27.60	25	27.6	3.59
18				134.9	29.81	27.5	28.84	3.75
15				115	61.18	26.1	60.31	7.84
13				110.9	66.86	26.3	65.73	8.55
10				114.7	62.22	27.5	60.2	7.83
8				118	56.27	26	55.54	7.22
5				117.9	55.66	28	53.49	6.95

El número de Kappa al ser un factor numérico que nos permite conocer el grado de deslignificación del material cocido (pulpa). La muestra 01 permite determinar un número de Kappa alto indica una deslignificación deficiente y viceversa (que no se deslignifico). En la práctica este indicativo no tiene relevancia de acuerdo al tipo de pulpa

se desea obtener. Pero son adecuados para pulpas para papeles de decoración. Pero en resultados el porcentaje de lignina en las muestras son bajas fluctuando entre 3.59 y 8.55%

Es decir con este grado de deslignificación, permite calcular las necesidades de reactivos para la siguiente etapa, si se deseara realizar un blanqueo a la pulpa, se consumiría una menor cantidad de reactivo en relación a otros materiales que presenta más contenido de lignina.

**TABLA N° 5.10 ÍNDICE DE KAPPA DE LA MUESTRA 02  
A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

% NaOH	muestra	TIEMPO Min.	V tiosulfato de sodio		Ind. Kappa Calculado	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
			V gastado blanco mL	V gastado pulpa mL				
20	M2	50	158	138.4	25.08	27	24.43	3.18
18				135.8	28.17	27	27.44	3.57
15				119.4	52.05	27	50.7	6.59
13				117.8	56.90	27	55.42	7.21
10				125.89	43.34	27	42.21	5.49
8				121.9	49.30	27	48.02	6.24
5				127.5	40.90	27	39.84	5.18

La muestra 02 permite visualizar un número de Kappa corregido relativamente alto indicativo de una deslignificación baja, donde alcanza un máximo para ir disminuyendo, notándose que el proceso de deslignifico, se pone de manifiesto de manera más evidente que sigue un patrón al igual que en la muestra anterior.

El porcentaje de lignina en las muestras son bajas fluctuando entre 3.18 y 7.21%, a diferencia de la muestra anterior son promedios más bajas, debido principalmente a la variable del tiempo.

**TABLA N° 5.11. ÍNDICE DE KAPPA DE LA MUESTRA 03  
A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

% NaOH	Muestra	TIEMPO Min	V tiosulfato de sodio		Ind. Kappa Calculado	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
			V gastado blanco mL	V gastado pulpa mL				
20	M3	60	158	141.9	20.44	26	20.17	2.62
18				138.5	25.34	26	25.01	3.25
15				121.1	50.74	25.8	50.21	6.53
13				121.4	51.60	23.8	52.4	6.81
10				138.4	25.26	26	24.93	3.24
8				131.1	36.60	26	36.12	4.69
5				135.9	28.29	26	27.92	3.63

La muestra 03 permite visualizar una disminución del número de Kappa corregido, la cual es indicativo de una deslignificación acorde a las necesidades del tipo de pulpa que se desea obtener, notándose que el proceso de deslignificado, es más evidente siguiendo un patrón estándar al igual que en la muestras 01y 02. Pero en resultados el porcentaje de lignina en las muestras son bajas fluctuando entre 2.62 y 6.81%

**TABLA N° 5.12. ÍNDICE DE KAPPA DE LA MUESTRA  
4 A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

% NaOH	Muestra	TIEMPO Min	V tiosulfato de sodio		Ind. Kappa Calculado	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
			V gastado blanco mL	V gastado pulpa mL				
20	M4	70	158	144.05	17.46	25	17.46	2.27
18				141.9	20.28	25	20.28	2.64
15				133.3	32.06	25.1	32.02	4.16
13				132.9	33.45	29	31.71	4.12
10				140.25	22.81	24.8	22.87	2.97
8				142.2	20.18	26	19.92	2.59
5				145.3	17.97	26	17.74	2.31

Como se observa en la tabla N° 5.12 El número de kappa es 32.02 aceptable para obtener un tipo de papel bond, mientras las demás

muestran para papeles de decoración u otro tipo. Cabe resaltar que a una concentración del 13% alcanza el máximo número de Kappa, como lo muestra los diferentes cuadros.

El número de Kappa es el factor numérico que indica el grado de deslignificación del material cocido (pulpa). Un número de Kappa alto indica una deslignificación deficiente y viceversa (que no se deslignifico). Un valor de Kappa de 30-35 es aceptable para pulpas para la obtención de papel tipo Boond o afines, mientras valores entre 20-30 son adecuados para pulpas para papeles de decoración u otros que serán blanqueadas con tratamientos posteriores.

En las diferentes tablas se observa el volumen de tiosulfato utilizado en la titulación es proporcional al aumento de la alcalinidad, es decir, cuando el porcentaje de álcali cargado es mayor, la cantidad de lignina residual disminuye.

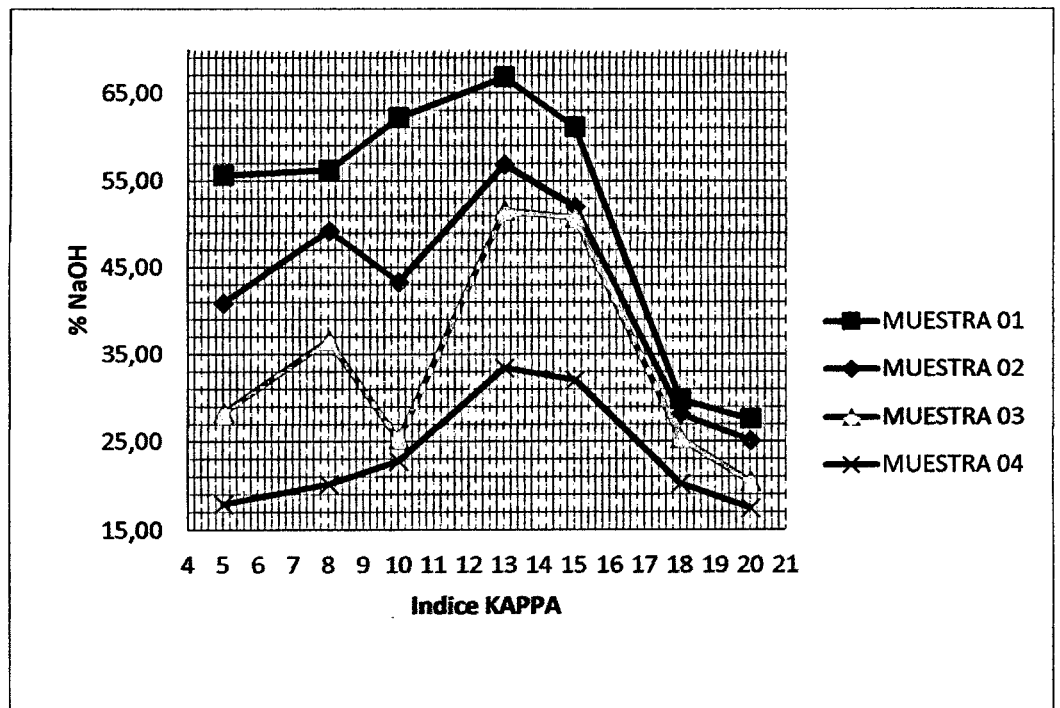


FIGURA N° 5.3: Progreso del índice de KAPPA con relación al % NaOH

En el análisis de la figura N° 5.3. A una concentración del 13% las diferentes muestras están alcanzando su máximo número de Kappa, el cual es el factor numérico que indica el grado de deslignificación del material cocido (pulpa). Un número de Kappa alto indica una deslignificación deficiente y viceversa (que no se deslignifico). Como se observa sigue un patrón estándar, Un valor de Kappa de 30-35 es aceptable para pulpas, o en su defecto valores entre 20-30 son adecuados para pulpas para papeles de decoración u otros que serán blanqueadas con tratamientos posteriores.

### 5.5.3. LIGNINA RESIDUAL

En la figura se nota el progreso que describe la lignina residual alcanzando su pico más alto a una concentración del 13% de NaOH,

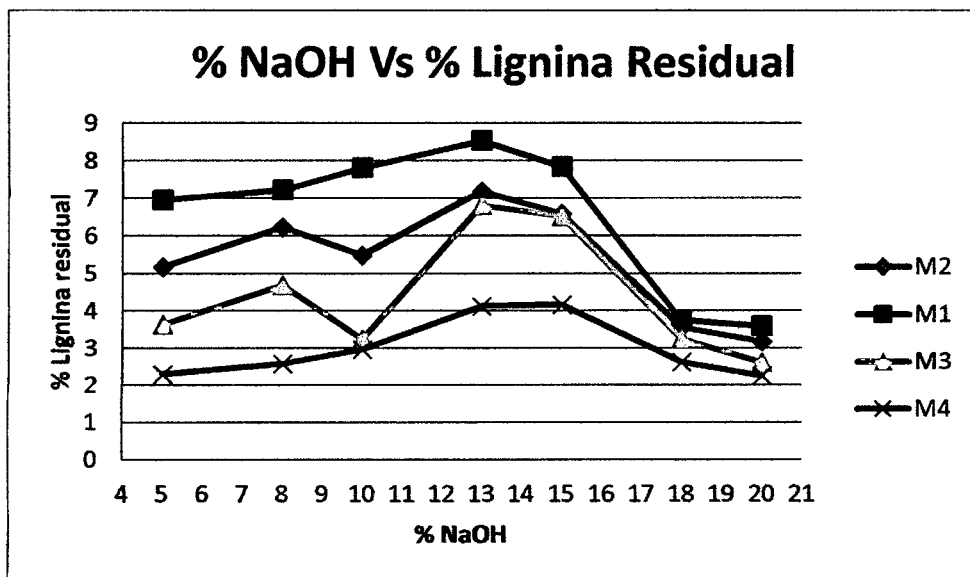


FIGURA N° 5.4. Progreso del % NaOH en relación al % de lignina residual

El permanganato de potasio oxida la lignina presente en la pulpa, según norma TAPPI, la reacción debe mantenerse 10(min) a

25(°C), para luego titular la mezcla con Tiosulfato, el volumen de Tiosulfato ocupado en la titulación, equivale a la cantidad de permanganato que no reaccionó en la oxidación, es decir, cuanto mayores sean los volúmenes de Tiosulfato, menor es la cantidad de lignina presente en la pulpa. La cual es muy notoria en la figura 5.3

#### 5.5.4. PROGRESO DEL PH EN LAS DIFERENTES MUESTRAS

Las diferentes figuras muestran el progreso del pH en relación a las diferentes concentraciones del NaOH.

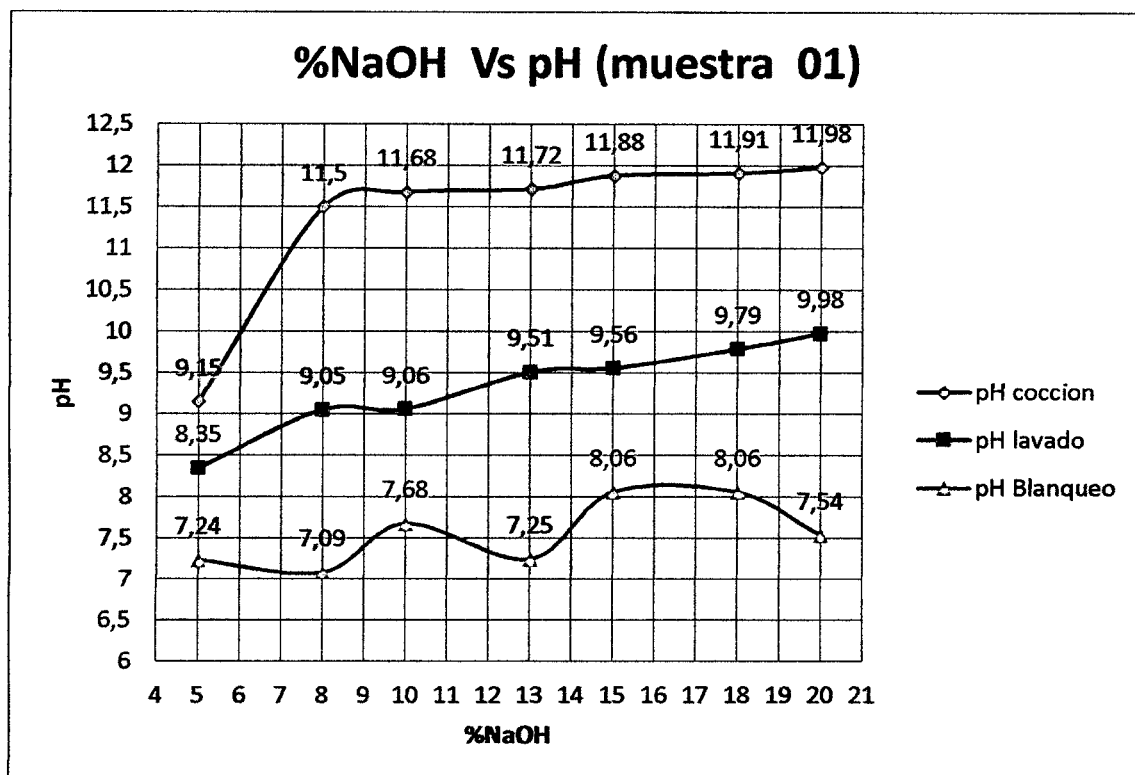


Figura N° 5.5. Progreso de pH en relación al % NaOH, muestra 01

Como se observa en la figura N° 5.5., el recorrido que tiene la muestra N° 01, en relación al pH en los diferentes procesos cocción, lavado y blanqueo registra índices altos como un pH = 11.98 cuando se utiliza NaOH al 20%, un pH = 9.98 de NaOH al 20% en el lavado, mientras que luego del proceso de blanqueo el pH = 7.09, para una concentración de 10%. Cabe resaltar

que depende mucho el pH del proceso de lavado tanto después del proceso de cocción como del blanqueo que los índices disminuyan como se nota en el grafico el recorrido que sigue las diferentes mediciones del pH, en conclusión se acerca al pH neutro.

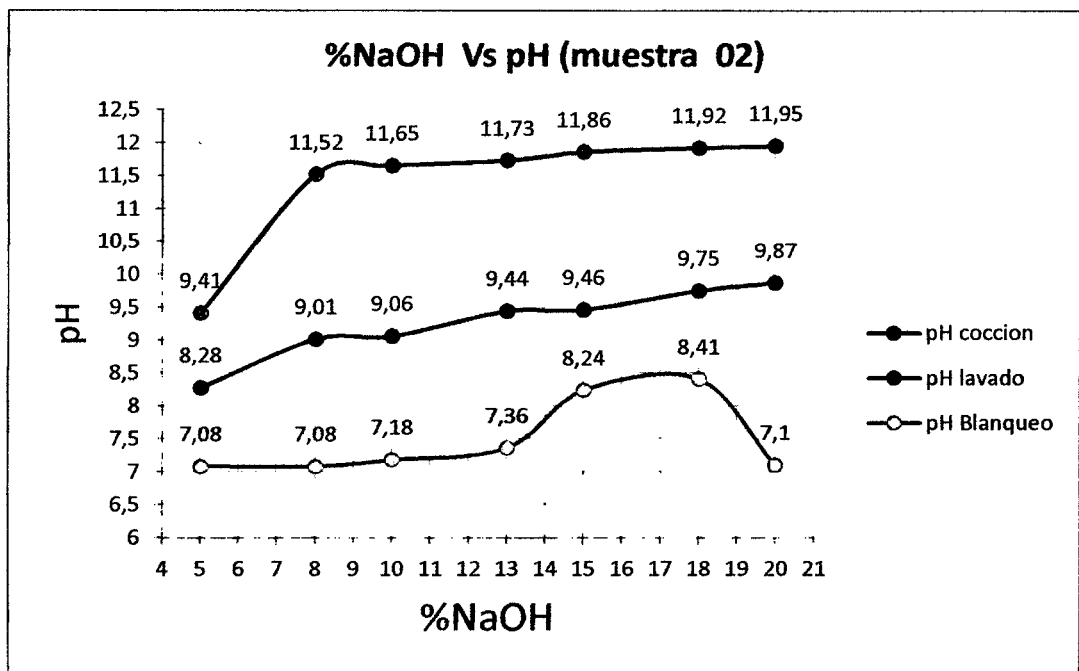


Figura N° 5.6. Progreso de pH en relación al % NaOH, muestra 02

Se observa en la figura N° 5.6, el recorrido de la muestra N° 02, en relación al pH frente a la concentración de NaOH, en los procesos cocción, lavado y blanqueo donde se registra un pH = 11.95 al utilizar NaOH al 20%, un pH = 9.87 de NaOH al 20% en el lavado, disminuyendo a un pH = 7.08, para una concentración de 5 y 8%. Luego del proceso de blanqueo. Obteniendo el pH requerido NEUTRO.

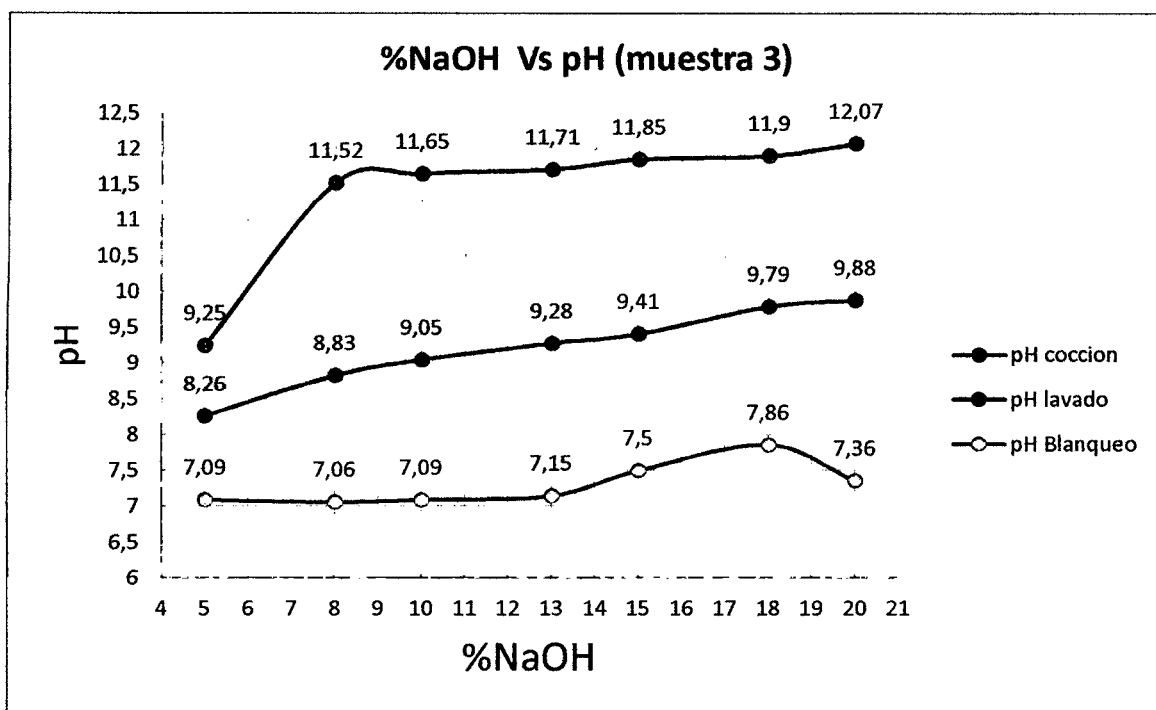


Figura N° 5.7. Progreso de pH en relación al % NaOH, muestra 03

Se nota el mismo comportamiento del pH como en los casos anteriores, observando un claro descenso en el pH luego del proceso de blanqueo, bajando a índices hasta llegar a un pH = 7.06 a una concentración de 8%.

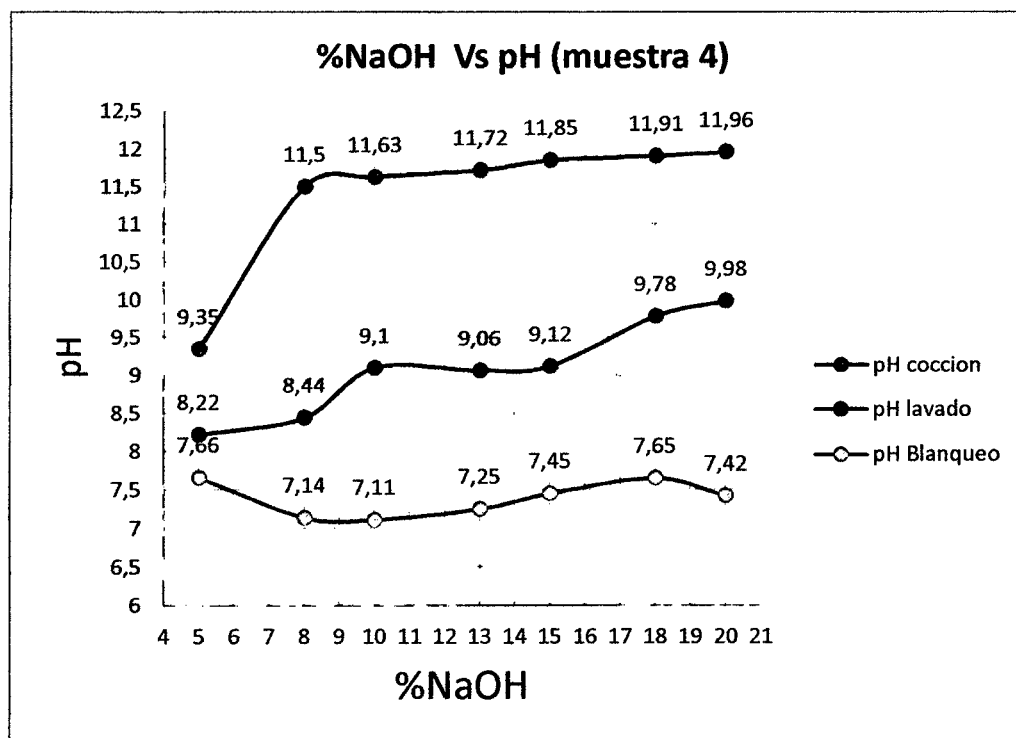


Figura N° 5.8. Progreso de pH en relación al % NaOH, muestra 04

El comportamiento del pH de la muestra 04, sigue el mismo patrón en relación a las demás muestras con un pH = 11.96 alto, para llegar a un pH = 7.11 luego del proceso del blanqueo a una concentración de 10%. Indicativo que sigue un patrón común en todas las muestras analizadas.

## CONCLUSIONES

1. Los parámetros óptimos determinados, utilizando el procedimiento N° 03 (diagrama de bloques N° 03) son:
  - A concentraciones de 18, 15, 13 10 % de NaOH, principalmente en la muestras 3 y 4, a un tiempo entre 60 y 70 minutos de cocción, obteniendo valores promedios entre 2.98 – 3.78 % de lignina presente en la pulpa, como lo muestra el anexo 05, se obtiene la pulpa de papel, acorde y recomendable al tipo de papel que se desea obtener.
  - De acuerdo al anexo 13 se determina que a mayor temperatura de cocción el % de lignina es menor, dependiendo al tipo de pulpa a obtener y por ende al uso que tenga.
  - Para obtener un pH acorde a las necesidades de la pulpa, desde el proceso de cocción, lavado y finalmente en el blanqueo, depende principalmente de la temperatura del agua a utilizar; en el trabajo de investigación se realizó a temperatura promedio entre 70 - 85° C, donde el grado del pH disminuye manteniendo valores entre 7.05 – 7.54, como se muestra en las gráficas N° 5.5, 5.6, 5.7, 5.8. óptimos para obtener una buena pulpa de papel.
  - De acuerdo a la tabla 5.4, la determinación de la alfa celulosa indica una celulosa no degradada, de alto peso molecular. Los valores oscilan entre valores de 23.27 y 28.60% para la  $\alpha$ -Celulosa, indicativo del grado de celulosa no degradada. Es decir cantidad de celulosa pura presente en la muestra de pulpa de papel. Y de acuerdo a la tabla 5.5 la determinación de la  $\gamma$ -celulosa consiste

principalmente en hemicelulosas, cuyos valores oscilan entre 1.79 y 1.99%, para las diferentes muestras. Es decir cantidad de celulosa impura presente en la muestra. La misma que tiene alto peso molecular, La  $\beta$ -celulosa es la celulosa impura, y sus valores fluctúan entre 69.61 y 74.74% para las diferentes muestras. Lo cual coadyuva a obtener una pulpa de papel acorde a las necesidades.

2. La prueba de blanqueabilidad nos permite indicar el grado al cual se ha llevado el proceso de cocción, y medir (cuando es necesario) que tanto licor de blanqueo es requerido para obtener el grado de blancura deseado, como lo muestra la tabla N° 5.7, en concentraciones desde 18, 15, 13, 10 y 8% de NaOH, muestras 3 y 4 principalmente presentan índices de blancura acorde a la pulpa a obtener los cuales promedian entre 11.41 – 16.11% de blancura, especialmente para papeles blancos tipo boond, cabe recalcar, en las muestra 1, 2 y 3 los papeles a obtener son del tipo decorativo, promediando entre 5.48 – 14.25 de acuerdo a la tabla N° 5.7
3. El número de Kappa al ser un factor numérico que nos permite conocer el grado de deslignificación del material cocido (pulpa). La muestra 01, 02 permite determinar un número de Kappa alto indica una deslignificación deficiente y viceversa (que no se deslignifico). En la práctica este indicativo no tiene relevancia de acuerdo al tipo de pulpa se desea obtener. Pero son adecuados para papeles de decoración. Pero en resultados el porcentaje de lignina en las muestras son bajas fluctuando entre 3.59 y 8.55% de acuerdo a la tabla N° 5.9 y 5.10
4. El grado de deslignificación, permite calcular las necesidades de reactivos para cada etapa, si se deseara realizar un blanqueo a la pulpa, se

consumiría una menor cantidad de reactivo en relación a otros materiales que presenta más contenido de lignina. Como se muestran en los Anexos N° 01 al 07

5. Para la obtención de la pulpa de papel, se utilizó el HIPOCLORITO DE SODIO, para evitar el quemado y destrucción de las fibras del Raquis de Plátano, en una concentración del 4%. debido a su elevada selectividad para destruir la lignina sin degradar significativamente la holocelulosa, por ende la fibra, preservando así la resistencia de la pulpa y dando al mismo tiempo una blancura alta y estable.
6. En el proceso a la sosa, la celulosa se afecta, mientras que las ligninas sufren complicadas reacciones de naturaleza hidrolítica que dan como resultado compuestos que son solubles en álcali. Como se demuestran en los Anexos N° 01 al 07, donde el índice de Kappa, muestra el grado de deslignificación a diferentes concentraciones de NaOH. De su lado, las grasas y resinas se saponifican produciendo jabones solubles, que se eliminan durante el lavado. Como se muestra en la disminución del pH, en los Anexos mencionados. De este modo, los procesos alcalinos en general presentan menos problemas con las resinas en las pulpas obtenidas por otros métodos. El rendimiento del proceso, expresado en porcentaje de pulpa obtenido por cantidad de materia prima empleada, se sitúa en torno al 45-50% de acuerdo a la tabla N° 5.3

## **RECOMENDACIONES**

1. Continuar con la investigación para la obtención de pulpa de papel de diferentes materiales fibrosos similares a la pulpa de la raquis de plátano. Todo ello dependerá del tipo de pulpa a obtener.
2. Realizar estudios de investigación de uso de la fibra de raquis de plátano en la industria textil, industria domestica (cepillos, escobas, cuerdas, tapetes, etc.).
3. En base a los datos obtenidos se recomienda la elaboración de proyectos de factibilidad para la industria papelera en nuestra región.
4. De acuerdo a los parámetros obtenidos, y al tipo de pulpa que se vaya a obtener, se recomienda controlar el tiempo, la concentración de la sosa, el pH y la temperatura como se indica en los diferentes resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación. Para la industrialización del plátano.
5. La elaboración manual de papel, es una alternativa para fomentar el empleo para los pobladores que viven en las regiones del VRAE, por lo que se pueden realizar papeles decorativos, a partir de la pulpa obtenida.

## **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.**

1. JOSEPH A. (2004). El papel. Técnicas y métodos tradicionales de elaboración. España: Parragón Ediciones. Barcelona.
2. G.A. SMOOK. (1990). Manual para técnicos de pulpa y papel. España: Edit. Norvac. Madrid.
3. MARTÍNEZ A. (2010). Cultivo del Plátano. Perú: Editorial San Marcos. Lima – Perú.
4. GONZALES. Andrés. (2001). Factibilidad de uso de fibra de raquis de palma aceitera para elaborar papel. Colombia. Universidad Autónoma del Caribe.
5. HERNANDEZ LARA. (2008) Elaboración de papel artesanal a partir de caña Guadua. Ecuador: Pontificia Universidad Católica de Ecuador
6. SHREVE (1998). Industrias de procesos químicos y procesos de química Industrial. Editorial Dossat
7. CASEY, J. (1991). "Pulpa y Papel: química y tecnología química". México: Editorial Limusa.
8. PAPELNET. (2005) CELULOSA. <http://www.papelnet.cl/celulosa/que-es-el.htm>. (Julio 2013)
9. MEJÍA, E. (2003). "Producción de pulpa y papel artesanal de totora".
10. GEORGE, A. (1988). "Manual de procesos químicos en la industria". Bogotá: Editorial McGraw-Hill 5ª edición,
11. NEUMAN, G. (1994). "Manual para la elaboración de papel hecho a mano a partir de fibras naturales". Ecuador: Publicaciones Banco Central del Ecuador.
12. McCABE - SMITH (1990). "Operaciones Básicas de Ingeniería Química". México: Editorial McGraw Hill.
13. PERRY, Jhon (1986). "Manual del Ingeniero Químico". México: Editorial. McGraw Hill - Sexta Edición.
14. DÍAZ HORACIO (1990). "El Mundo del Papel". España: Editorial Dossat – Almería.

15. WIKIBOOKS, PROCESAMIENTO DE PAPEL (2007)  
[http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos\\_ambientales/Procesamiento\\_de\\_pulpa,\\_papel\\_y\\_madera#Reducir\\_de\\_los\\_desechos](http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales/Procesamiento_de_pulpa,_papel_y_madera#Reducir_de_los_desechos). (Julio 2013)
16. ICARITO. (2006) PROYECTO EDUCACIÓN  
<http://www.icarito.cl/enciclopedia/articulo/educacion-tecnologica/procesos-productivos/2010/08/74-9281-9-4-el-papel.shtml> (Julio 2013)
17. TEXTOS CIENTÍFICOS, (2009) PROCESO KRAFT  
<http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/kraft>. (Junio 2013)
18. NELSON COBBA. (2011) PRODUCCIÓN DE PAPEL  
<http://nelsoncobba.blogspot.com/2008/03/proceso-de-elaboracion-de-papel.html> (agosto 2013)
19. SCRIBD. (2009) PROCESOS DE PAPEL  
<http://es.scribd.com/doc/47415782/Proceso-Productivo-Celulosa-Kraft>
20. KAY TESCHKE Y PAUL DEMERS. (1999) Industria del papel y de la pasta de papel. México: Editorial. McGraw Hill
21. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1988). TAPPI 264 om 88. Preparación de madera para análisis químico. USA
22. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1993). TAPPI 203 om-88. Alfa, Beta y Gamma celulosa en pulpa. USA
23. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1988). TAPPI 220 om-88. Lignina de madera y pulpa insoluble en ácido. USA
24. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1993). TAPPI 211 om-85. Cenizas en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525° C. USA
25. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1985). TAPPI 236 om-85. No de Kappa en pulpa. USA
26. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1992) TAPPI 525 om-92. Determinación de blancura y opacidad. USA
27. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1994). TAPPI 412- om 94. Preparación de madera para análisis químico – humedad. USA
28. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1943). TAPPI T213 OM-43. Puntos sucios. USA

29. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1950). TAPPI T214 m-50. MÉTODO DEL PERMANGANATO. USA
30. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1985). TAPPI T 236-CM-85. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE KAPPA. USA

**ANEXOS**

## ANEXO 01

### CALCULO DEL INDICE DE KAPPA MUESTRA 01

% NaOH	muestra	TIEMPO	pH coccion	pH 1er lavado	pH blanqueo	peso	V tiosulfato de sodio		P	Conc. N	0.2025	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
							V gastado blanco	V gastado pulpa		f	Ind. Kappa Calculado			
20	M1	40	11.98	9.98	7.54	1.5243	158	136.9	42.7275	0.98467	27.60	25	27.6	3.588
18	M1	40	11.91	9.79	8.06	1.5589	158	134.9	46.7775	0.99336	29.81	27.5	28.84	3.7492
15	M1	40	11.88	9.56	8.06	1.5369	158	115	87.075	1.07979	61.18	26.1	60.31	7.8403
13	M1	40	11.72	9.51	7.25	1.5658	158	110.9	95.3775	1.0976	66.86	26.3	65.73	8.5449
10	M1	40	11.68	9.06	7.68	1.5236	158	114.7	87.6825	1.0811	62.22	27.5	60.2	7.826
8	M1	40	11.5	9.05	7.09	1.5356	158	118	81	1.06676	56.27	26	55.54	7.2202
5	M1	40	9.15	8.35	7.24	1.5569	158	117.9	81.2025	1.0672	55.66	28	53.49	6.9537

## ANEXO 02

### CALCULO DEL INDICE DE KAPPA MUESTRA 02

% NaOH	muestra	TIEMPO	pH coccion	pH 1er lavado	pH blanqueo	peso	V tiosulfato de sodio		P	Conc. N	0.2025	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
							V gastado blanco	V gastado pulpa		f	Ind. Kappa Calculado			
20	M2	50	11.95	9.87	7.1	1.548	158	138.4	39.69	0.97815	25.08	27	24.43	3.1759
18	M2	50	11.92	9.75	8.41	1.5789	158	135.8	44.955	0.98945	28.17	27	27.44	3.5672
15	M2	50	11.86	9.46	8.24	1.5928	158	119.4	78.165	1.06068	52.05	27	50.7	6.591
13	M2	50	11.73	9.44	7.36	1.5273	158	117.8	81.405	1.06763	56.90	27	55.42	7.2046
10	M2	50	11.65	9.06	7.18	1.5489	158	125.89	65.02275	1.03249	43.34	27	42.21	5.4873
8	M2	50	11.52	9.01	7.08	1.5568	158	121.9	73.1025	1.04982	49.30	27	48.02	6.2426
5	M2	50	9.41	8.28	7.08	1.5487	158	127.5	61.7625	1.0255	40.90	27	39.84	5.1792

### ANEXO 03

#### CALCULO DEL INDICE DE KAPPA MUESTRA 03

% NaOH	muestra	TIEMPO	pH cocción	pH 1er lavado	pH blanqueo	peso	V tiosulfato de sodio		P	Conc. N	0.2025	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
							V gastado blanco	V gastado pulpa		f	Ind. Kappa Calculado			
20	M3	60	12.07	9.88	7.36	1.5361	158	141.9	32.6025	0.96295	20.44	26	20.17	2.6221
18	M3	60	11.9	9.79	7.86	1.5236	158	138.5	39.4875	0.97772	25.34	26	25.01	3.2513
15	M3	60	11.85	9.41	7.5	1.5511	158	121.1	74.7225	1.0533	50.74	25.8	50.21	6.5273
13	M3	60	11.71	9.28	7.15	1.511	158	121.4	74.115	1.05199	51.60	23.8	52.4	6.812
10	M3	60	11.65	9.05	7.09	1.5369	158	138.4	39.69	0.97815	25.26	26	24.93	3.2409
8	M3	60	11.52	8.83	7.06	1.503	158	131.1	54.4725	1.00986	36.60	26	36.12	4.6956
5	M3	60	9.25	8.26	7.09	1.5647	158	135.9	44.7525	0.98901	28.29	26	27.92	3.6296

### ANEXO 04 CALCULO DEL ÍNDICE DE KAPPA MUESTRA 04

% NaOH	muestra	TIEMPO	pH cocción	pH 1er lavado	pH blanqueo	peso	V tiosulfato de sodio		P	Conc. N	0.2025	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina
							V gastado blanco	V gastado pulpa		f	Ind. Kappa Calculado			
20	M4	70	11.96	9.98	7.42	1.5428	158	144.05	28.24875	0.95361	17.46	25	17.46	2.2698
18	M4	70	11.91	9.78	7.65	1.5478	158	141.9	32.6025	0.96295	20.28	25	20.28	2.6364
15	M4	70	11.85	9.12	7.45	1.5604	158	133.3	50.0175	1.00031	32.06	25.1	32.02	4.1626
13	M4	70	11.72	9.06	7.25	1.5225	158	132.9	50.8275	1.00204	33.45	29	31.71	4.1223
10	M4	70	11.63	9.1	7.11	1.5289	158	140.25	35.94375	0.97012	22.81	24.8	22.87	2.9731
8	M4	70	11.5	8.44	7.14	1.5244	158	142.2	31.995	0.96165	20.18	26	19.92	2.5896
5	M4	70	9.35	8.22	7.66	1.3569	158	145.3	25.7175	0.94818	17.97	26	17.74	2.3062

## ANEXO 05 CALCULO DEL INDICE DE KAPPA

% NaOH	muestra	TIEMPO	pH coccion	pH 1er lavado	pH blanqueo	peso	V tiosulfato de sodio		Conc. N	0.2025	TEMPERAT URA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina	v2-v1	%PENTOSAS	Nro de permanganato	indice de blanqueabilidad corregido con linea de tendencia	nro permanganato formula		
							V gastado blanco	V gastado pulpa												
20	M1	40	11.98	9.98	7.54	1.5243	158	136.9	42.7275	0.98467	27.60	25	27.6	4.14	M1	21.1	12.84	24.21	13.46	18.7
	M2	50	11.95	9.87	7.1	1.548		138.4	39.69	0.97815	25.08	27	24.43	3.6645	M2	19.6	11.66	24.81	13.91	17.06
	M3	60	12.07	9.88	7.36	1.5361		141.9	32.6025	0.96295	20.44	26	20.17	3.0255	M3	16.1	9.48	27.28	15.79	14.48
	M4	70	11.96	9.98	7.42	1.5428		144.05	28.24875	0.95361	17.46	25	17.46	2.619	M4	13.95	8.04	28.55	16.8	12.54
18	M1	40	11.91	9.79	8.06	1.5589	158	134.9	46.7775	0.99336	29.81	27.5	28.84	4.326	M5	23.1	13.82	22.39	12.15	19.29
	M2	50	11.92	9.75	8.41	1.5789		135.8	44.955	0.98945	28.17	27	27.44	4.116	M6	22.2	13.06	22.67	12.35	18.62
	M3	60	11.9	9.79	7.86	1.5236		138.5	39.4875	0.97772	25.34	26	25.01	3.7515	M7	19.5	11.8	25.27	14.25	17.37
	M4	70	11.91	9.78	7.65	1.5478		141.9	32.6025	0.96295	20.28	25	20.28	3.042	M8	16.1	9.4	27.07	15.63	14.55
15	M1	40	11.88	9.56	8.06	1.5369	158	115	87.075	1.07979	61.18	26.1	60.31	9.0465	M9	43	26.98	9.76	4.44	29.21
	M2	50	11.86	9.46	8.24	1.5928		119.4	78.165	1.06068	52.05	25.8	51.51	7.7265	M10	38.6	23.23	12.18	5.73	27.09
	M3	60	11.85	9.41	7.5	1.5511		121.1	74.7225	1.0533	50.74	25.8	50.21	7.5315	M11	36.9	22.79	13.6	6.52	26.74
	M4	70	11.85	9.12	7.45	1.5604		133.3	50.0175	1.00031	32.06	25.1	32.02	4.803	M12	24.7	14.83	21.34	11.41	20.69
13	M1	40	11.72	9.51	7.25	1.5658	158	110.9	95.3775	1.0976	66.86	26.3	65.73	9.8595	M13	47.1	29.08	6.96	3.07	30.36
	M2	50	11.73	9.44	7.36	1.5273		117.8	81.405	1.06763	56.90	26	56.16	8.424	M14	40.2	25.32	11.65	5.44	28.25
	M3	60	11.71	9.28	7.15	1.511		121.4	74.115	1.05199	51.60	23.8	52.4	7.86	M15	36.6	23.22	14.16	6.85	27.32
	M4	70	11.72	9.06	7.25	1.5225		132.9	50.8275	1.00204	33.45	29	31.71	4.7565	M16	25.1	15.49	21.61	11.6	20.56

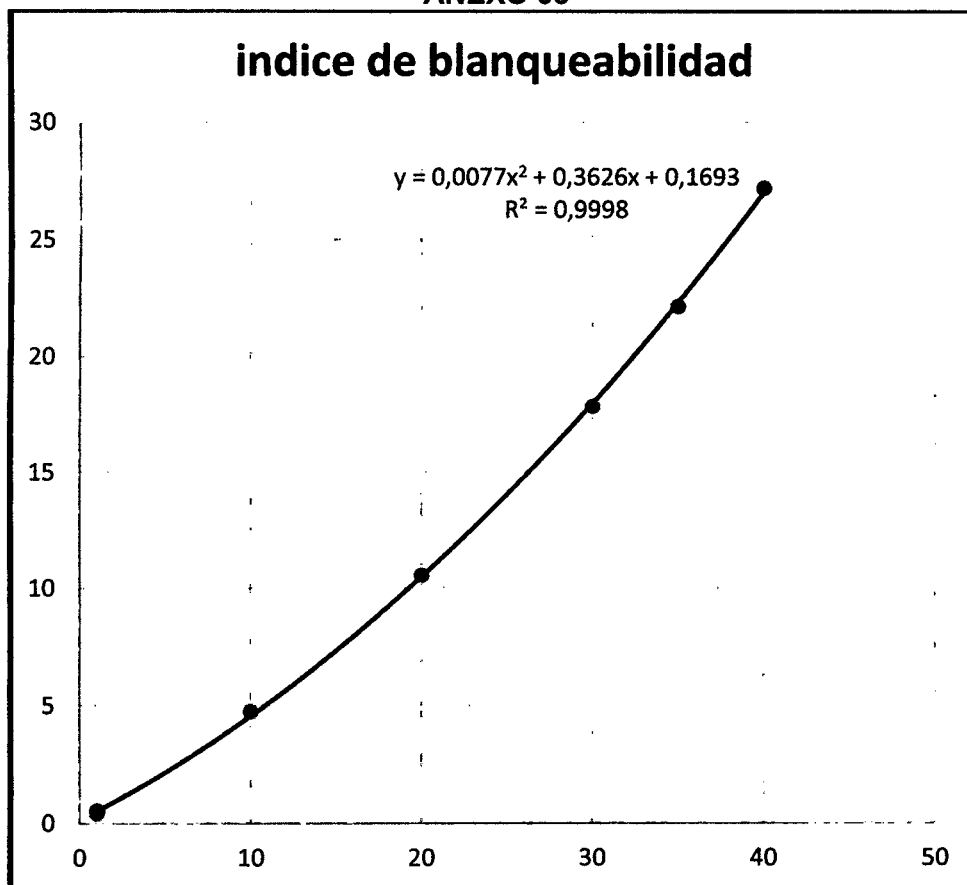
## ANEXO 06 CALCULO DEL INDICE DE KAPPA

% NaOH	muestra	TIEMPO	pH coccion	pH 1er lavado	pH blanqueo	peso	V tiosulfato de sodio		P	Conc. N	0.2025	Ind. Kappa Calculado	TEMPERATURA promedio	Ind. Kappa Corregido	%lignina	v2-v1	%PENTOSAS	Nro de permanganato	indice de blanqueabilidad corregido con linea de tendencia	nro permanganato formula
							V gastado blanco	V gastado pulpa												
10	M1	40	11.68	9.06	7.68	1.5236	158	114.7	87.6825	1.0811	62.22	27.5	60.2	9.03	M17	43.3	27.42	9.65	4.39	29.18
	M2	50	11.65	9.06	7.18	1.5489		125.89	65.02275	1.03249	43.34	27	42.21	6.3315	M18	32.11	19.73	16.72	8.38	24.41
	M3	60	11.65	9.05	7.09	1.5369		138.4	39.69	0.97815	25.26	26	24.93	3.7395	M19	19.6	11.75	24.99	14.04	17.33
	M4	70	11.63	9.1	7.11	1.5289		140.25	35.94375	0.97012	22.81	24.8	22.87	3.4305	M20	17.75	10.61	26.33	15.05	16.17
8	M1	40	11.5	9.05	7.09	1.5356	158	118	81	1.06676	56.27	26	55.54	8.331	M21	40	25.05	11.72	5.48	28.1
	M2	50	11.52	9.01	7.08	1.5568		121.9	73.1025	1.04982	49.30	25	49.3	7.395	M22	36.1	22.19	14.07	6.8	26.5
	M3	60	11.52	8.83	7.06	1.503		131.1	54.4725	1.00986	36.60	26	36.12	5.418	M23	26.9	16.9	20.69	10.97	22.31
	M4	70	11.5	8.44	7.14	1.5244		142.2	31.995	0.96165	20.18	26	19.92	2.988	M24	15.8	9.36	27.68	16.11	14.31
5	M1	40	9.15	8.35	7.24	1.5569	158	117.9	81.2025	1.0672	55.66	28	53.49	8.0235	M25	40.1	24.76	11.5	5.36	27.59
	M2	50	9.41	8.28	7.08	1.5487		127.5	61.7625	1.0255	40.90	27	39.84	5.976	M26	30.5	18.69	17.76	9.04	23.63
	M3	60	9.25	8.26	7.09	1.5647		135.9	44.7525	0.98901	28.29	26	27.92	4.188	M27	22.1	13.12	22.94	12.54	18.85
	M4	70	9.35	8.22	7.66	1.3569		145.3	25.7175	0.94818	17.97	26	17.74	2.661	M28	12.7	8.36	33.38	20.85	12.75

### ANEXO 07

N° de permanganato (X)	índice de blanqueabilidad (Y)
1	0.43
10	4.75
20	10.56
30	17.85
35	22.15
40	27.2

### ANEXO 08



## ANEXO 08

DETERMINACION DE % DE ALFA CELULOSA						
MUESTRA	V1 (mL)	V2 (mL)	N sulfato ferroso	A	W	%ALFA CEL.
M1	28	81.5	0.112	10	1.0698	23.2657
M2	29		0.109		1.0748	27.0578
M3	31.5		0.115		1.0859	27.4565
M4	30.5		0.108		1.0568	28.5961

DETERMINACION DE % DE GAMMA CELULOSA						
MUESTRA	V3 (mL)	V4 (mL)	N	A	W	% GAMMA CEL.
M1	52	71	0.109	25	5.6878	1.9953
M2	53		0.112		5.5897	1.9764
M3	54		0.115		5.4025	1.983
M4	56		0.1198		5.4756	1.7984

DETERMINACION DE % BETA CELULOSA			
MUESTRA	%ALFA CEL.	% GAMMA CEL.	% BETA CEL.
M1	23.2657	1.9953	74.739
M2	27.0578	1.9764	70.9658
M3	27.4565	1.983	70.5605
M4	28.5961	1.7984	69.6055

## ANEXO 09

### EVALUACIÓN DE LA HARINA DE RAQUIS

	HOJAS	RAQUIS	CASCARA VERDE	PSEUDOTALLO
% HUMEDAD	81,4	68,5	58,1	92
% MATERIA SECA	18,6	31,5	41,9	8
% CENIZA	0,92	3,42	2,23	0,49
% FIBRA	6,2	23,7	7,7	6,7

FUENTE: OBTENCIÓN DE HARINA DE RÁQUIS DEL PLÁTANO Y EVALUACIÓN DE SU CALIDAD -Botero - 2008

## ANEXO 10

### COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL PLÁTANO

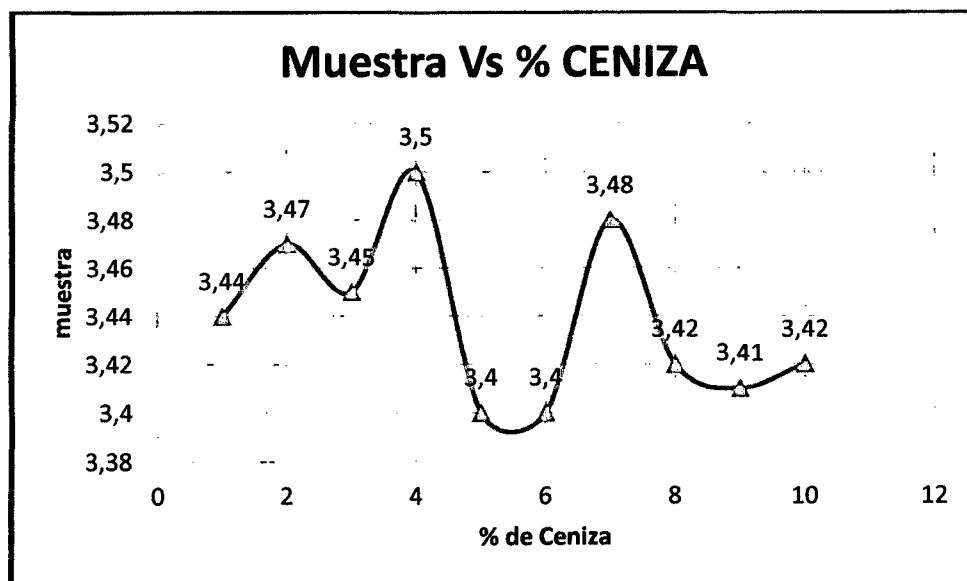
COMPONENTE	Cormo	Seudotallo	Hojas
Materia seca(%)	13.05	6.05	19.07
Humedad	86,5	93,4	80,3
Proteina(%)	2,4	3,2	8,2
Carbohidrato(%)	56,3	49	28,7
N(%)	0,38	0,52	1
P(%)	0.007	0,1	0,12
K(%)	2,35	2,9	3,6
Ca(%)	0,34	0,82	1,7
Mg(%)	0,95	0,88	0,92

Fuente. CORPOICA

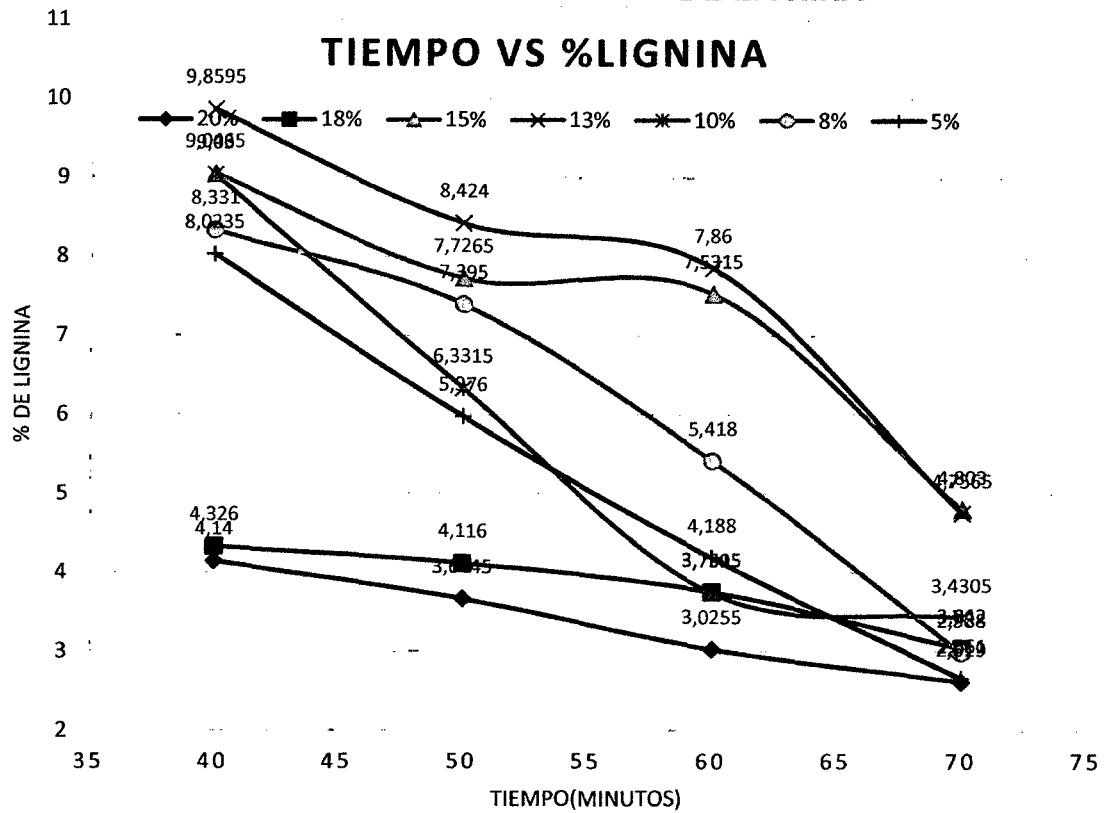
**ANEXO 11**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA RAQUIS**

<b>Análisis fisicoquímico</b>	<b>Resultado</b>
% Humedad	7,5
% Materia Seca	92,5
% Nitrógeno	2,05
% Proteína	12,8
% Carbohidratos	84,5
% Grasa	0,1
% Cenizas	2,1
% Fibra	23,02

**ANEXO 12**  
**PORCENTAJE DE CENIZA**



**ANEXO 13**  
**GRAFICO TIEMPO vs PORCENTAJE DE LIGNINA**



**ANEXO 14**  
**COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE PLANTAS NO LEÑOSAS**

				No	%	celulosa
	Humedad	Ceniza	Solubles	extraíbles	humedad	
Muestra	%	% B.H.	%B.H.	% B.H. M.V.	en M.V. No	K.Seifert
					extraíbles	% B.S.L.E.
AMERO	79	2,6	8,5	7,6	21,5	34,7
BUCHON	91,7	1,2	2,6	3,9	6,3	13,3
PLÁTANO	94,2	0,9	2,8	0,2	11	46,5
PINUS RESINOSA	0	0,2	9,7	0	0	44,8
PICEA GLAUCA	0	0,4	3	0	0	48

**BH: Base Húmeda MV:Material Vegetal BSLE:Base seca libre de extraíbles**

Fuente Análisis del Proceso de Fabricación del Papel Facultad de Artes UNAL Bogotá 1998.



## ANEXO N° 16

### PRUEBAS PARA CONTENIDO DE CENIZA

El contenido de cenizas es una medición aproximada de las sales minerales y otros materiales inorgánicos presentes en el material fibroso o material lignocelulósico o en la pulpa.

Se pesó un gramo base seca del material colectado de la malla 60, que previamente se acondicionó hasta alcanzar un equilibrio con el ambiente, después se aplicó la Técnica TAPPI 211 om-85; para esto el crisol se puso en un horno a  $105 \pm 3^\circ \text{C}$  por dos horas, después se pasó al desecador y se pesó anotando este dato. Se pesó 1 g base seca del material y fue colocado en el crisol; este se calcinó en el mechero con una flama baja. Se transfirió el crisol con la muestra a la mufla a una temperatura no mayor de  $100^\circ\text{C}$ , la temperatura se incrementó gradualmente hasta alcanzar  $575^\circ\text{C}$ , manteniéndola constante por un periodo de 3 horas, la calcinación se indicó por la ausencia de partículas negras. Se cubrió el crisol y se enfrió en un desecador para posteriormente pesarlo. El cálculo del contenido de cenizas se realizó de la siguiente manera:

$$\% \text{ CENIZA} = \frac{A \cdot 100}{B} \qquad \text{Ec. 4.1.}$$

Donde:

A = Peso de cenizas, en gramos

B = Peso base seca la muestra de prueba, en gramos

## ANEXO N° 17

jopalomino@eternit.com.pe

### Evaluación de Muestra Celulósica

jopalomino@eternit.com.pe (jopalomino@eternit.com.pe)

Agregar a contactos

25/03/2014

.Fotos

Para: jejack79@hotmail.com

De: **jopalomino@eternit.com.pe**

Enviado: martes, 25 de marzo de 2014 08:28:55 p.m.

Para: jejack79@hotmail.com

Previo saludo Jack:

Remito las evaluaciones correspondientes a la Muestra M1, celulósica enviada:

<b>Grados Shopper Riegler</b>	<b>SR Å°</b>	<b>= 62</b>
<b>Densidad</b>	<b>d</b>	<b>= 1.01 g/L</b>
<b>Longitud de Fibra</b>	<b>ELF</b>	<b>= 2.96 mm</b>

- Distribución de mallas: Método Bauer determinación de Longitud de Fibra.

<b>Peso de muestra =</b>	<b>10g</b>	<b>Factor Corrección</b>
malla 10	7.50g	3.30
malla 14	0.94g	2.80
malla 28	0.62g	2.05
malla 100	0.65g	1.10
malla -100	0.29g	0.27

Observaciones:

- \* Al deshidratarse la consistencia se muestra muy flexible.
- \* Dificultad para deshidratarse.
- \* Dificultad de Drenado.

Atentamente,

**JOHNNY PALOMINO MENDOZA**  
SUPERVISOR DE PRODUCCION

Tel: (511) 619-6400 Anexo: 229

Nextel:

Cert: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001



an **etex** company

## ANEXO N° 18

jopalomino@eternit.com.pe

### ·Evaluación de Muestra Celulósica

jopalomino@eternit.com.pe (jopalomino@eternit.com.pe)

Agregar a contactos

12/04/2014

·Fotos

Para: jejack79@hotmail.com

De: **jopalomino@eternit.com.pe**

Enviado:sabado,12 de abril de 2014 10:15:05 p.m.

Para: jejack79@hotmail.com

Jack:

Te envío los resultados de las evaluaciones correspondientes a la Muestra M2, celulósica:

<b>Grados Shopper Riegler</b>	<b>SR Å°</b>	<b>= 65</b>
<b>Densidad</b>	<b>d</b>	<b>= 1.15 g/L</b>
<b>Longitud de Fibra</b>	<b>ELF</b>	<b>= 2.23 mm</b>

#### Distribución de mallas: Método Bauer determinación de Longitud de Fibra.

<b>Peso de muestra =</b>	<b>10g</b>	<b>Factor Corrección</b>
malla 10	6.38g	2.90
malla 14	1.46g	2.95
malla 28	0.95g	2.36
malla 100	0.73g	1.05
malla -100	0.48g	0.26

#### Observaciones:

- \* Al deshidratarse la consistencia se muestra poco flexible.
- \* Dificultad para deshidratarse y drenarse.
- \* No apto para papelería blanco
- \* Recomendable para papeles de decoración y otros.

Atentamente,

**JOHNNY PALOMINO MENDOZA**

**SUPERVISOR DE PRODUCCION**

Telf: (511) 619-6400 Anexo: 229

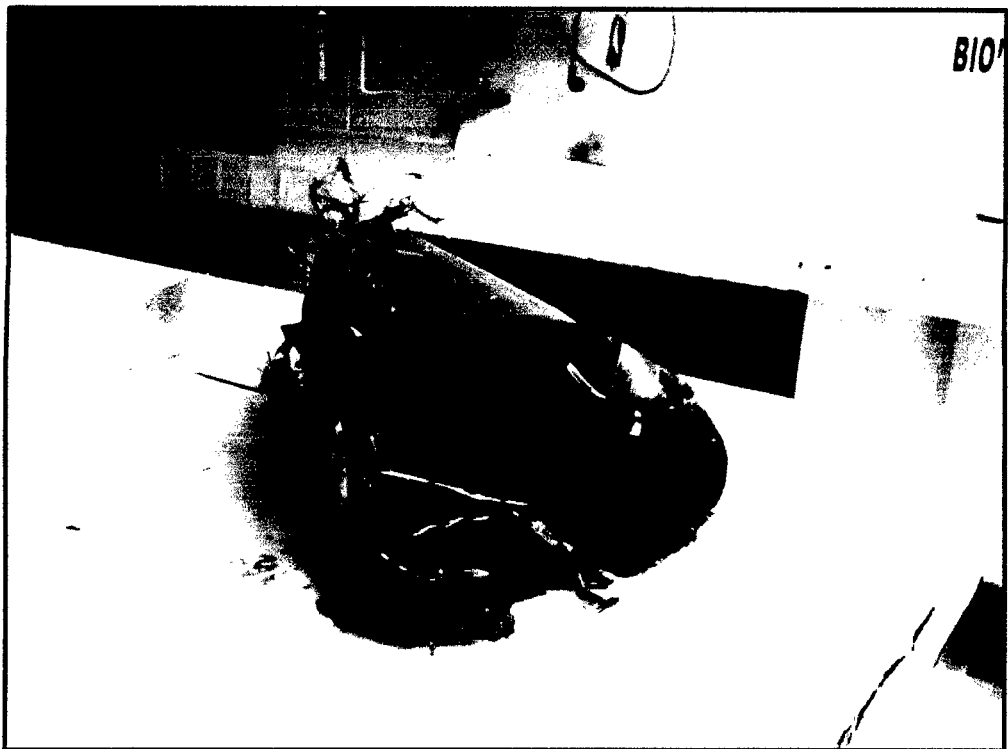
Nextel:

Cert: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001

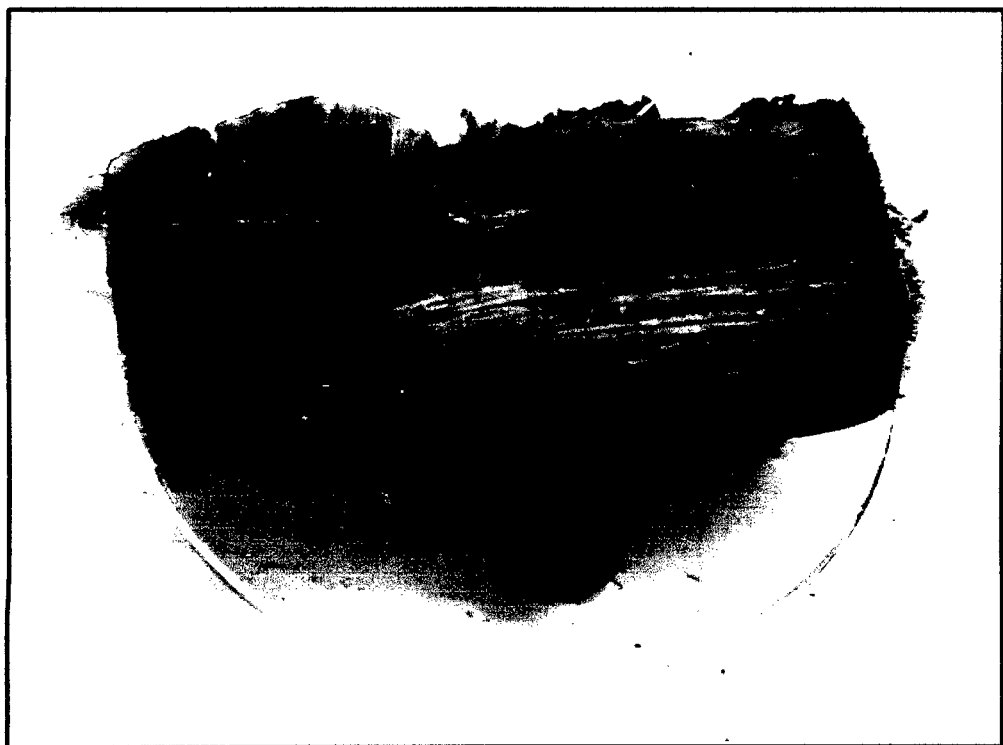


an **etex** company

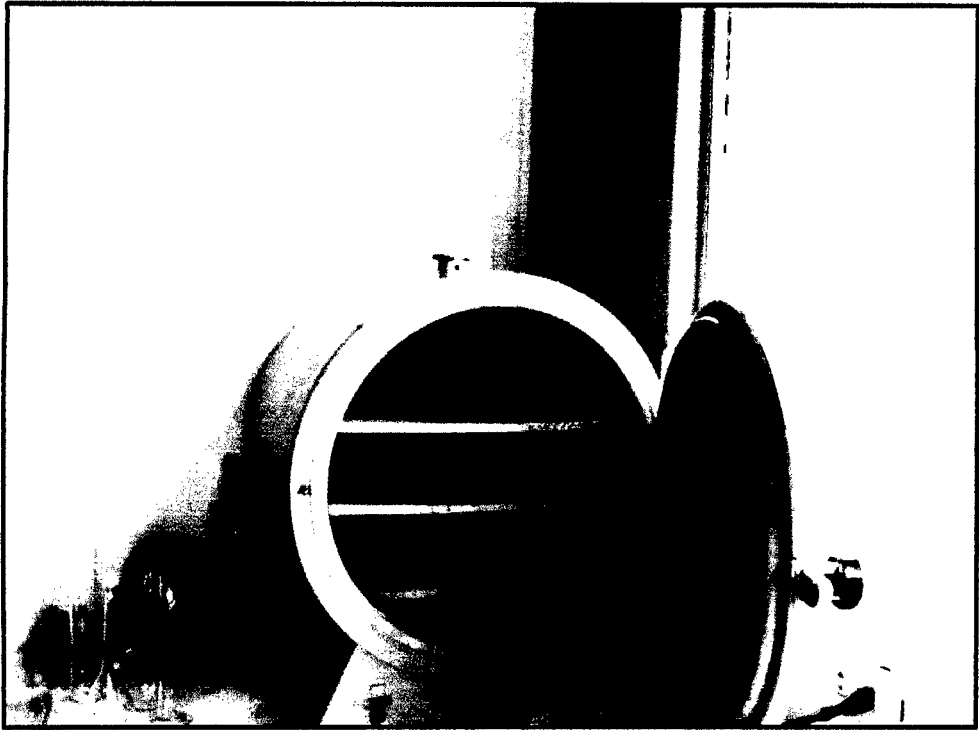
**ANEXO 19 : PANEL FOTOGRAFICO**



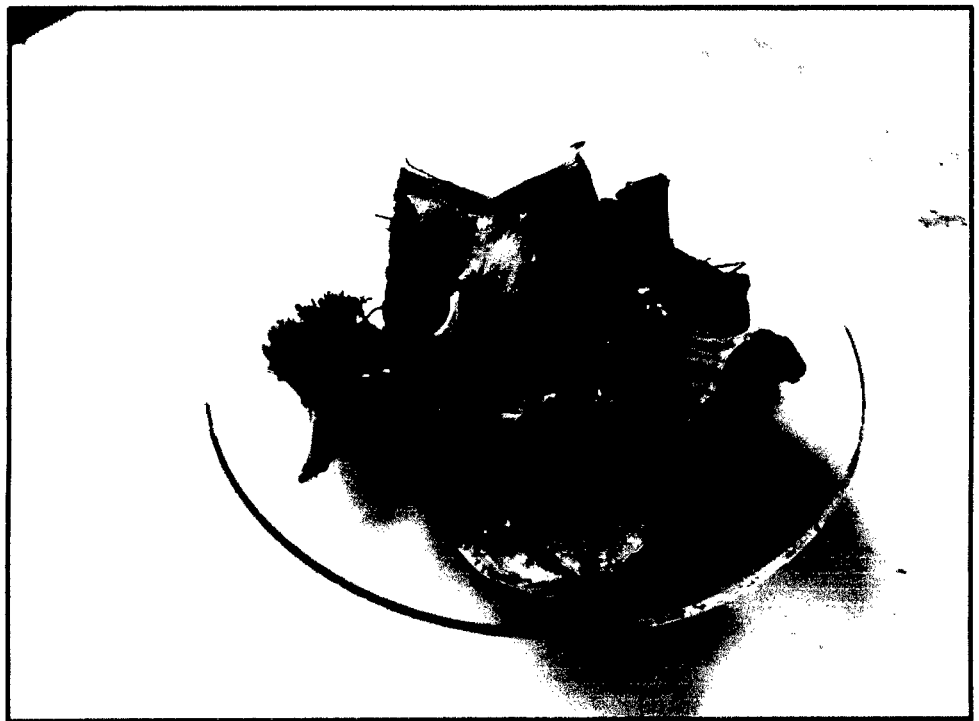
**SEUDO TALLO DEL PLATANO ANTES DE LA EVALUACION FISICO - QUIMICA**



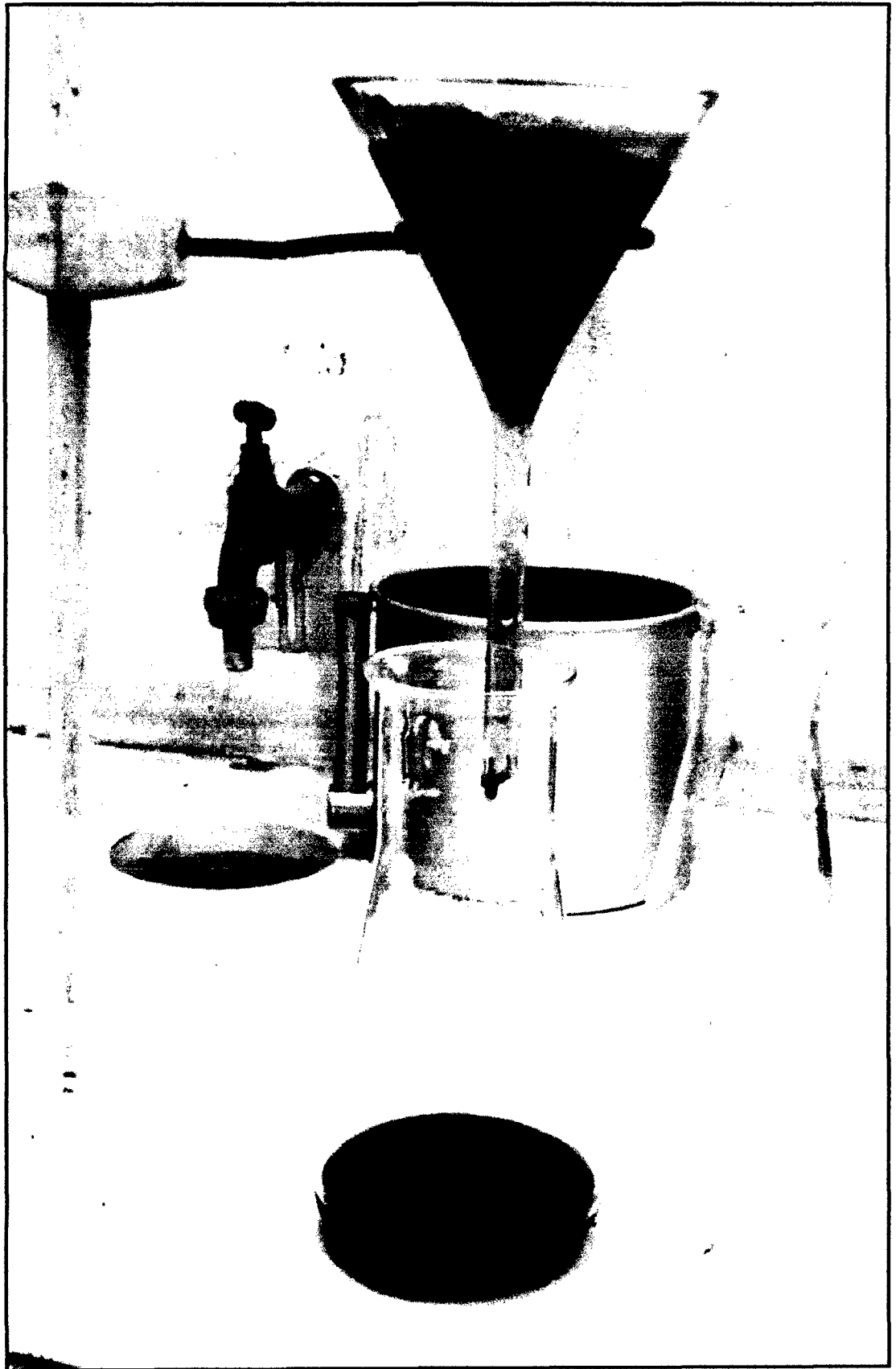
**RAQUIS SIN CORTEZA PREVIA AL ANALISIS DE LABORATORIO**



DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LA MUESTRA DE RAQUIS



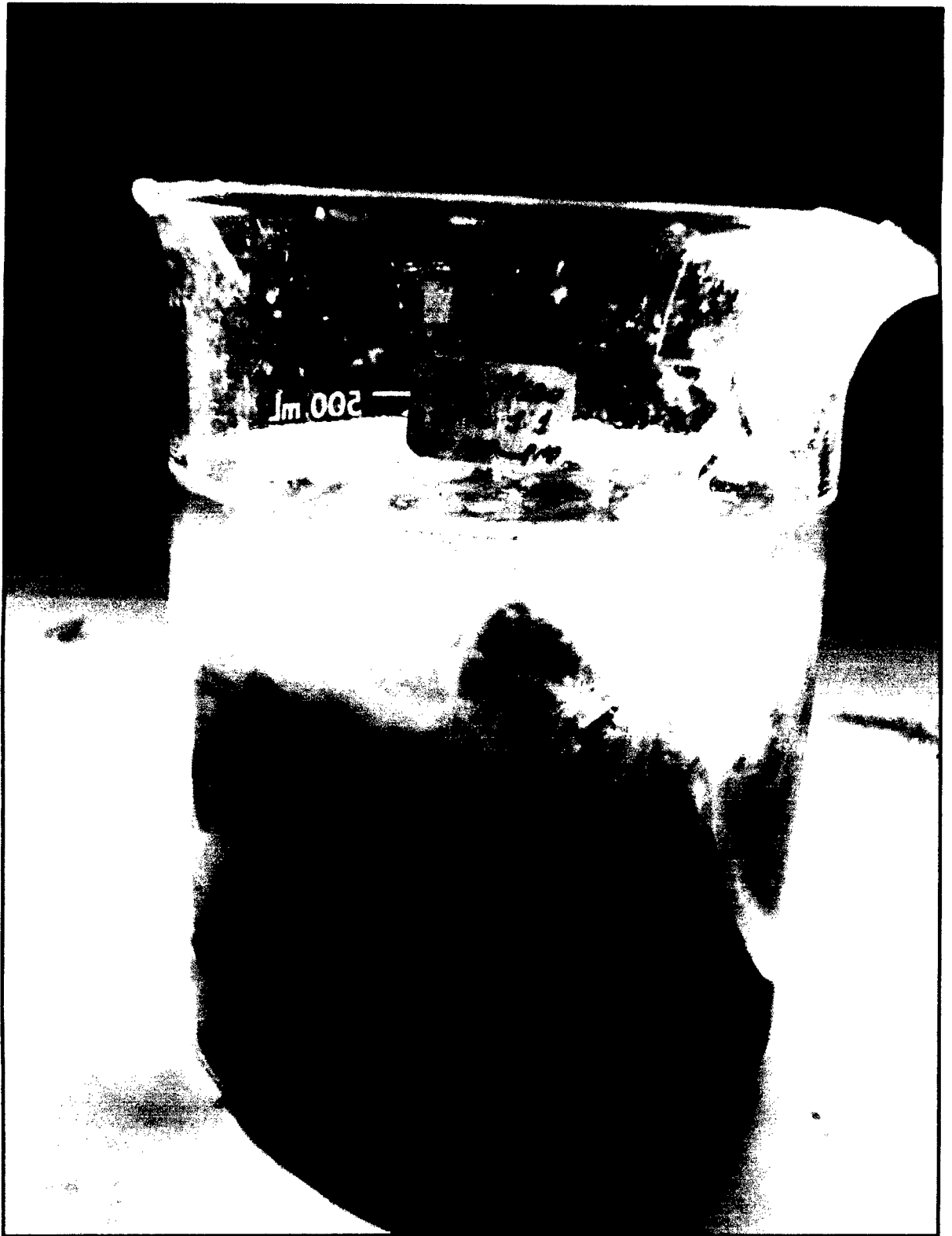
MUESTRA SECADA DE LA RAQUIS DE PLATANO



FILTRADO DE LA LIGNINA



MUESTRA DE LA RAQUIS DE PLATANO ANTES Y DESPUES DEL BLANQUEO



PROCESO DE BLANQUEO DE LA PULPA



OBTENCION DE LA PULPA A PARTIR DE LA RAQUIS DE PLATANO



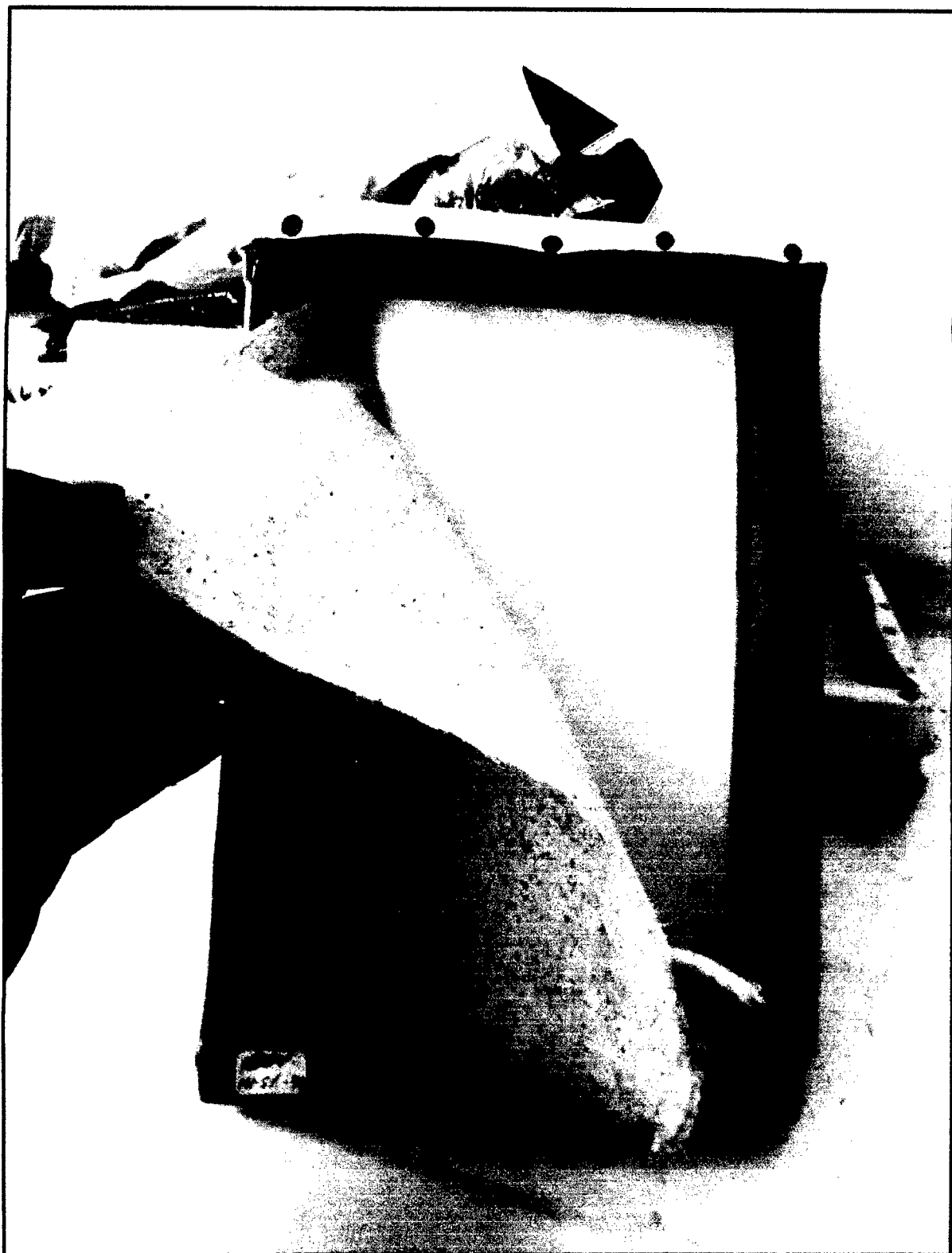
PRIMERAS PRUEBAS OBTENIENDO PAPEL A PARTIR DE PULPA DE PAPEL



VACIADO DE LA PULPA DE RAQUIS EN LOS BASTIDORES PREVIO A LA OBTENCION DE PAPEL  
ARTESANAL



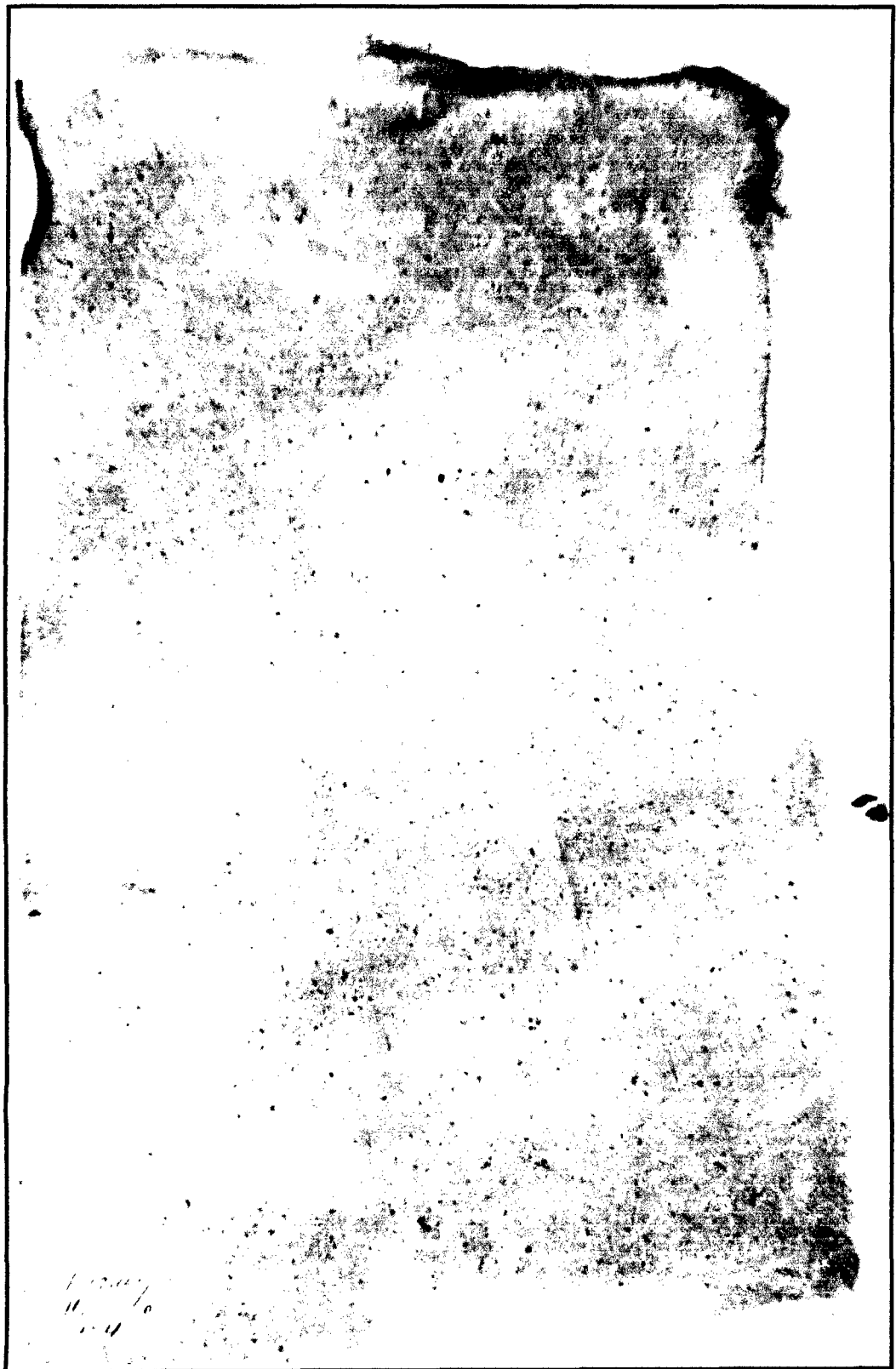
EXTRACCION DEL PAPEL OBTENIDO A PARTIR DE LA PULPA DE RAQUIS DE PLATANO.



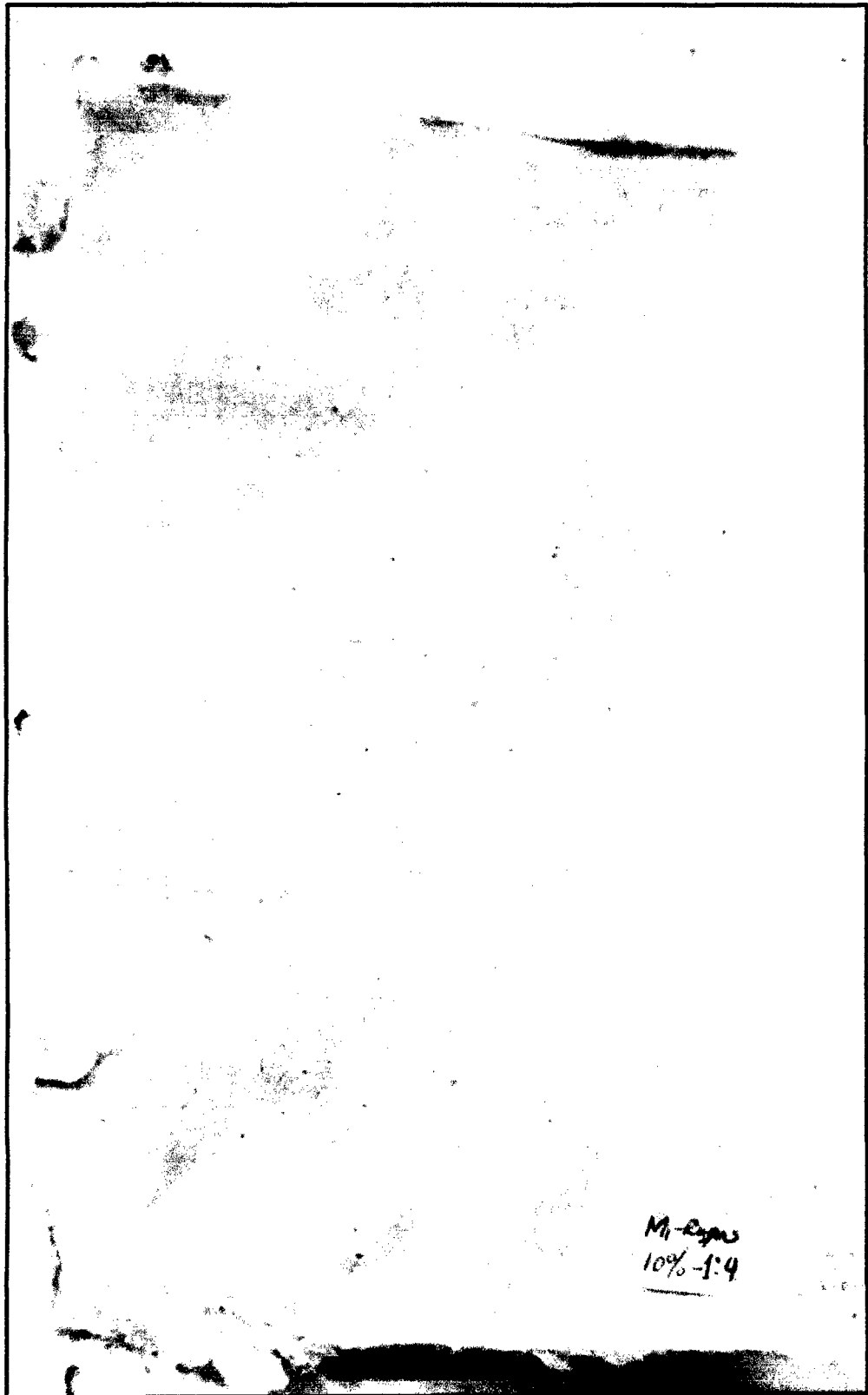
EXTRACCION DEL PAPEL OBTENIDO A PARTIR DE LA PULPA DE RAQUIS DE PLATANO.



OBTENCION DEL PAPEL APARTIR DE LA PULPA DE RAQUIS DE PLATANO A DIFERENTES  
PARAMETROS



OBTENCION DEL PAPEL APARTIR DE LA PULPA DE RAQUIS DE PLATANO A DIFERENTES  
PARAMETROS



OBTENCION DEL PAPEL APARTIR DE LA PULPA DE RAQUIS DE PLATANO A DIFERENTES  
PARAMETROS



OBTENCION DEL PAPEL APARTIR DE LA PULPA DE RAQUIS DE PLATANO A DIFERENTES  
PARAMETROS

BIBLIOTECA E INFORMACION  
CULTURAL  
U.N.S.C.H.