

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y ÓPTICAS
DEL PAPEL TIPO GLASSINE OBTENIDO A PARTIR DE FIBRAS DE
TOTORA (*Schoenoplectus tatora*)”**

TESIS

PRESENTADA POR

DAVID CONDORI QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO - PERU

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS****ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y ÓPTICAS
DEL PAPEL TIPO GLASSINE OBTENIDO A PARTIR DE FIBRAS DE
TOTORA (*Schoenoplectus tatora*)”**

TESIS PRESENTADA POR

DAVID CONDORI QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ing. M.Sc. Luis Alberto Jiménez Monroy

PRIMER MIEMBRO

Ing. M.Sc. Alejandro Coloma Paxi

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. M.Sc. Yony Mayta Hanco

PATROCINADOR

Ing. M.Sc. Lizandro G. Fernández Castro

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

Con perdurable gratitud y reconocimiento
a mis padres: FERNANDO Y CIRIA
por su sacrificio en dar
lo mejor en mi vida



A mis hermanos Fredy y Roxana
Por su apoyo y cariño

AGRADECIMIENTO

Para el autor, es un honor dirigir los agradecimientos más profundos y especiales a las siguientes personas:

Los docentes y laboratoristas de la escuela profesional de ingeniería agroindustrial, de la universidad Nacional del Altiplano-Puno, pues a ellos y ellas debo mi formación profesional.

A mi director Lizandro Fernández, por guiarme desinteresadamente en el presente trabajo de investigación y de la misma manera a los miembros del jurado revisor por que con sus exigencias y aportes se fue mejorando la calidad de dicha investigación.

A mis compañeros de estudio con quienes pase momentos de mucha alegría y también de momentos difíciles, durante el transcurso de mi formación y que me dieron su aliento durante la ejecución del presente trabajo quienes forman parte de mi vida y que siempre los llevo en mis mas bellos recuerdos universitarios.

Con eterna gratitud al P. Luis Zambrano, por su incondicional apoyo y motivación en la culminación del presente trabajo y a todos mis amigos y amigas de la parroquia Pueblo de Dios de Juliaca por su aliento y confianza.

A entidades como RNT (Reserva Nacional del Titicaca) por su aporte y recomendaciones, especialmente a David Aranibar y Edwin Gutierrez.

Al señor Omar Balcona director del museo de la totora, por su apoyo con la embarcación y navegación en la toma de muestra in situ.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	2
2.1 El papel	2
2.1.1 Evolución histórica	2
2.1.2 Concepto del papel	2
2.1.3 Tipos de papel	3
2.1.4 Proceso de elaboración a nivel industrial	5
2.2 Descripción del papel glassine	7
2.2.1 Descripción de las principales propiedades para el papel glassine	7
2.2.1.1 Gramaje	7
2.2.1.2 Espesor	8
2.2.1.3 Densidad	9
2.2.1.4 Índice de rotura	10
2.2.1.5 pH	10
2.2.1.6 Lisura	11
2.2.1.7 Opacidad	11
2.2.1.8 Color	12
2.2.2 Especificaciones técnicas para el papel glassine	13
2.2.3 Parafinado del papel	13
2.3 Estructura del papel	14
2.4 Conservación del Papel	15
2.5 Microbiología del Papel	16
2.6 Disolvente utilizado para la obtención del papel	17
2.6.1 Hidróxido de sodio	17
2.6.2 Hipoclorito de sodio	17
2.7 Generalidades sobre la totora	18
2.7.1 Descripción de la totora	18

2.7.2 Ubicación y extensión	19
2.7.3 Clasificación	20
2.7.4 Morfología	21
2.7.4.1 Raíces	21
2.7.4.2 Rizoma	21
2.7.4.3 Tallo	22
2.7.4.3 Inflorescencia	22
2.7.5 Distribución, biometría y hábitat	23
2.7.5.1 Distribución, existencia y potencial de la totora	23
2.7.5.2 Biometría de la totora	25
2.7.5.3 Hábitat y competencia vegetal	25
2.7.6 Importancia y usos de la totora	26
2.7.6.1 Importancia	26
2.7.6.2 Usos de la totora	26
2.7.7 Composición química y bioquímica de la totora	26
2.8 La Celulosa	28
2.8.1 Estructura de la celulosa	29
2.8.2 Naturaleza química de la celulosa	30
2.8.3 Tipos de celulosa	30
2.8.4 Derivados de la celulosa	31
2.8.5 Propiedades físicas y químicas de la celulosa	32
2.9 La Lignina	33
2.9.1 Aspectos químicos de la formación de la lignina	35
2.9.2 Propiedades físicas de la lignina	36
2.9.3 La lignina transfiere color a la madera	36
2.10 Fibras vegetales utilizadas para la producción de pulpa	37
2.10.1 Fibras madereras	37
2.10.2 Fibras no madereras	38
2.11 Normatividad	39
2.11.1 Normatividad en la industria papelera	39
2.11.2 Normatividad medio ambiental y recursos naturales	39

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Población y muestra	40
3.2 Materiales	41
3.2.1 Materia prima	41
3.2.2 Insumos	41
3.2.3 Equipos	41
3.2.4 Materiales de laboratorio	41
3.2.5 Reactivos	42
3.3 Métodos experimentales	43
3.4 Métodos de análisis	50
3.4.1 Determinación de la celulosa	50
3.4.2 Determinación de la lignina	50
3.4.3 Determinación del gramaje	51
3.4.4 Determinación del espesor	51
3.4.5 Determinación de la densidad	52
3.4.6 Determinación del índice de rotura	52
3.4.7 Determinación del pH	52
3.4.8 Determinación de la lisura	53
3.4.9 Determinación de la opacidad	53
3.4.10 Determinación del color	53
3.5 Metodología del diseño experimental	54
3.6 Diseño del experimento	54
3.7 Variables de estudio	56
3.8 Variables de respuesta	56
3.9 Modelo estadístico	57

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	59
4.1 Determinación de celulosa y lignina	59
4.2 Efecto del disolvente y tiempo de deslignificación sobre el contenido de lignina	64
4.3 Resultados de las principales características del papel tipo glassine obtenido con fibras de totora	65
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	76



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 01. Máquina papelera. Alessandri, 2004	6
Fig. 02. Papel glassine. Imagen tomada de la empresa guangliang, 2008	7
Fig. 03. Totorales en las orillas del Lago Titicaca. Bahía de Puno. 2010.	19
Fig. 04. Imagen satelital parcial de la bahía de Puno. Flores y Ocola, 2007	20
Fig. 05. La celulosa.	28
Fig. 06. Estructura de la celulosa	29
Fig. 07. Estructura de la lignina, hemicelulosa y celulosa. Fernández, 2005	35
Fig. 08. Flujograma del proceso de determinación de celulosa y lignina en las fibras de totora. Elaboración propia	43
Fig. 09. Flujograma del Proceso de deslignificación mediante la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y Tiempos de remojo en las fibras de totora Elaboración propia.	46
Fig. 10. Flujograma del proceso de obtención del papel tipo glassine a partir de fibras de totora. Elaboración propia, 2009	48
Fig. 11. Diseño del experimento para la obtención de papel tipo glassine a partir de los tallos de totora (<i>Schoenoplectus tatora</i>). Elaboración propia	55
Fig. 12. Contenido promedio de celulosa y lignina de las fibras de totora.	59
Fig. 13. Línea de tendencia por regresión polinomial del contenido de celulosa en las fibras de totora	60
Fig. 14. Línea de tendencia por regresión polinomial del contenido de lignina en las fibras de totora	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Márgenes aproximados de gramaje y espesor de papeles comerciales. Casey, 1991	9
Tabla 02. Parámetros técnicos del papel glassine siliconado. Tomado de la empresa Guangliang, 2008	13
Tabla 03. Especificaciones técnicas para el papel kraft. Indecopi, 2003	13
Tabla 04. Límites microbiológicos. Quispe, 2005 (Norma sanitaria, 2003)	16
Tabla 05. Variaciones periódicas de la superficie (ha) ocupada por la totora en el lago Titicaca. Reyes y Saéz, 2004	24
Tabla 06. Composición química de la totora. Mejía, 2001. Imbabura Ecuador	26
Tabla 07. Composición bioquímica de la totora. Reyes y Saéz, 2004	27
Tabla 08. Porcentajes de Rendimiento, Evaluaciones de Resistencia a la Explosión, Gramaje y Espesor del Papel. Simbaña, 2001	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Análisis de varianza para celulosa.	61
Cuadro 02. Análisis de varianza para lignina.	63
Cuadro 03. Prueba de Duncan para lignina.	63
Cuadro 04. Análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y tiempos en la deslignificación.	64
Cuadro 05. Prueba de Duncan para tiempos de remojo de las fibras de totora	65
Cuadro 06. Resultados obtenidos de las pruebas físicas químicas y ópticas del papel obtenido.	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. Fotografías del proceso de elaboración del papel glassine	77
Anexo II. Fotografía: comparación de la muestra patrón y la muestra obtenida	80
Anexo III. Biometría de los tallos de totora	80
Anexo IV. Procedimiento para determinar % de celulosa	80
Anexo V. Procedimiento para determinar % de lignina	82
Anexo VI. Resultados del análisis de celulosa y lignina	84
Anexo VII. Datos transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje de celulosa y lignina obtenidos en el análisis proximal.	85
Anexo VIII. Resultado del análisis de lignina para evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de hidróxido de sodio (NaOH) y tiempos en la deslignificación.	86
Anexo IX. Datos transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje de lignina (anexo VII) obtenidos en el análisis proximal.	87
Anexo X. Resultados microbiológicos del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora y papel glassine patrón	88
Anexo XI. Efecto de la concentración de hidróxido de sodio en la deslignificación.	89
Anexo XII. Resultado del rendimiento de las fibras de totora en papel final (sin parafinado).	90
Anexo XIII. Estimación del costo de producción	91
Anexo XIV. Tabla Munsell.	91
Anexo XV. Imagen de la lectura de un micrómetro	92
Anexo XVI. Mapa de ubicación de los totorales en el Lago Titicaca sector peruano	93
Anexo XVII. Imágenes sobre la quema de totorales en el lago Titicaca	94
Anexo XVIII. Dinámica del crecimiento de los totorales.	95
Anexo XIX. Composición de la pared celular	96

RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación fue obtener papel tipo glassine a partir de fibras de totora, para lo cual se evaluó el contenido de celulosa y lignina en tres estados de crecimiento fenológico: Antes de la floración, durante la floración y post floración. La totora fue cosechada en el mes de agosto del 2009, en el sector Chimu, Puno-Perú. El análisis proximal del contenido de celulosa y lignina se realizó por el método de Van Soest, en el Laboratorio de Análisis Nutricional de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, así como los análisis físicos, químicos y ópticos. Verificándose que el contenido de celulosa fue de 76.6% en promedio, mucho mayor al 33% límite mínimo para seleccionar fibras papeleras. Del análisis se determinó que de los tres estados fenológicos evaluados el mayor contenido de celulosa y lignina se presentó antes de la floración, sin embargo en la prueba de Duncan al 0.05 % de significancia se determinó que entre los tres estados fenológicos estudiados no presentan diferencias significativas respecto al contenido de celulosa. La mejor concentración del disolvente de Hidróxido de Sodio (NaOH) fue al 8 % para un tiempo de 24hs. Las principales características físicas, químicas y ópticas determinadas del papel tipo glassine obtenido a partir de fibra de totora, fueron las siguientes: Gramaje 55.31g/m², espesor 0.0028mm, densidad 19.75g/cm³, índice de rotura 0.11 J.m²/g, pH 7.85, lisura 80%, opacidad 10%, color blanco gris transparente y un rendimiento del 44.2% de papel, aproximándose a un noventa por ciento a la muestra patrón. El análisis microbiológico realizado dio por resultado que el papel obtenido está dentro de los límites permisibles microbiológicos. Concluyéndose que es viable obtener papel tipo glassine y otros tipos de papel a partir de la fibra de totora, considerando la gran cantidad de biomasa de totorales existentes en sus diferentes estados de crecimiento fenológico.

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas como una fuente principal de fibras son esenciales para la fabricación del papel por su alto contenido en celulosa, que es la principal materia prima. En la actualidad se vienen obteniendo de la madera (eucalipto, pino y otros) que son recursos tardíos. Con el presente trabajo de investigación se propone un aprovechamiento sostenible y sustentable de la totora (*Schoenoplectus tatora*), que es un vegetal renovable a corto tiempo, que produce un promedio de 225 T / ha y que se pueden efectuar hasta tres cortes por año.

La totora es una planta inaprovechada y mal manejada parcialmente, según Aranibar (2008) los ribereños del lago Titicaca solo hacen uso del 2% del total de hectáreas existentes y no aciertan qué hacer con el resto de hectáreas de totorales y optan por quemarla, según los ribereños para que ésta vuelva a rebrotar, ignorando que con ello se genera mucha contaminación, extinción de la fauna silvestre y de algunas especies de plantas. Ante esta problemática se presenta una alternativa de aprovechamiento, con la elaboración de papel tipo glassine obtenido a partir de las fibras de totora.

Por otro lado el problema de la contaminación en el mundo a causa del alto consumo de plásticos como envases, nos motiva a promover el uso de envases biodegradables a partir de la celulosa para la obtención de diferentes tipos de papel como glassine, tissue, cartones, envases tetrapak utilizados ampliamente en la agroindustria, es una alternativa que contribuirá a la reducción de la contaminación ambiental.

El uso potencial que tiene el papel glassine es debido a sus propiedades de resistencia a la permeabilidad de las grasas y la humedad para la conservación de alimentos, es decir como envolturas y envases por ejemplo en barras de chocolate, bombones y tofes, por lo tanto los objetivos del presente trabajo fueron:

1. Determinar la mejor época de crecimiento fenológico de la totora en la que se encuentre mayor porcentaje de celulosa y su contenido en lignina.
2. Determinar los niveles de concentración de sosa cáustica y tiempos de remojo para la deslignificación de las fibras de totora.
3. Evaluar las propiedades físicas (gramaje, espesor, densidad, índice de rotura), químicas (pH) y ópticas (lisura, opacidad y color) del papel obtenido tipo glassine.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1 EL PAPEL

2.1.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

“El papel es un material tan importante para la vida moderna que, a veces nos olvidábamos de que en un tiempo no existía. De hecho el papel se invento mucho después que la escritura” (Rocha y Roth, 1994. 5).

Dice la historia que para los egipcios, era muy importante la durabilidad de sus documentos, por eso escribían sobre piedra. En cambio sus vecinos babilonios, habitantes de la Mesopotamia asiática, eligen la arcilla que podían moldearse en pequeñas tablitas, fáciles de transportar. En Asia se emplearon hojas de árboles y palmeras y es por eso que las hojas de papel llevan ese nombre (Cf. Rocha y Roth, 1994. 6).

Las hojas de papiro, hechas prensando el tejido medular de un junco, *Cyperus papyrus*, se utilizaron para escribir en fecha tan remota como los de 3000 a. C. en Egipto. En china se empleaban tiras de bambú o de madera para escribir y dibujar sobre ellas, hasta que se descubrió el papel, descubrimiento que se atribuye a Tsai Lun en el año 105 a. C. El papel original se hacia en China con trapo, fibra de corteza y bambú. Los trozos de bambú se remojaran durante más de 100 días, y después se hervían en una lechada de cal durante casi 8 días con sus noches, para liberar las fibras. El arte de hacer papel llegó finalmente a Persia hacia el año 751 d.C. desde donde pasó a los países del Mediterráneo, de donde los moros llevaron a Europa la industria en el siglo XII. (Casey, 1990.).

2.1.2. CONCEPTO DEL PAPEL.

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa mas cargas y aditivos, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol y según su longitud se habla de fibras largas de aproximadamente de 3 a 5mm y fibras cortas de 0.75 a 2 mm. Para poder elaborar un

papel, el vegetal debe presentar como mínimo un 33% de celulosa en su composición estructural (Casey, 1990).

La materia prima fundamental para fabricar el papel es la celulosa, a partir de vegetales que tengan un contenido de 33% como mínimo en su estructura, de hecho se puede decir que el papel es una lamina constituida por entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (minerales, colas, almidón, colorantes.) que permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado, además debe tener un 10% de lignina (Quispe, 2005).

El papel se encuentra en clasificado dentro de la llamada Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIUU) con el código 2101- 06 Norma Técnica UZ 02 sobre el papel reciclado para escritura (INDECOPI, 2003).

2.1.3 TIPOS DE PAPEL

- 1) **Papeles de escritorio:** Son papeles bien encolados y resistentes que deben tener una superficie fina, ser blancos y no deben volverse amarillentos con el tiempo, con amplio gramaje: de 60 a 150 g/m². En esta clasificación puede incluirse por ejemplo al papel oficio, secante, vegetal, carbón.
- 2) **Papeles de imprenta:** Generalmente no son muy finos; pueden contener cargas minerales y pasta de madera, también pasta del papel reciclado que le dan opacidad a las tintas de imprenta. Para los diarios, que emplean grandes cantidades de este papel, no son necesarias unas características especiales, ya que en este caso el papel se obtiene con porcentajes considerables de pasta de madera mecánica, que es la más económica. También pueden mencionarse los papeles pigmentados, tales como el papel lustre, papel de regalo.
- 3) **Papeles mecano-técnicos:** Cubren una amplia gama desde los papeles de embalaje a los papeles higiénicos. Son papeles de producción elevada que se fabrican en máquinas de anchos superiores y gran velocidad. A veces son bastos, sin tratamiento de depuración de pastas y sin blanqueo, ni cola.
- 4) **Papeles para envases y embalajes:** Existen diferentes tipos que desde el muy fino (papel seda) hasta el grueso y consistente papel café (papel kraft), tissue, glassine, envases tetrapak, cartones, etc. (Fernández, 2003)

Según Pérez (2001) existen diversos tipos de papel para envases, estos son los siguientes:

- a) **Papel kraft.** Es muy resistente, por lo que se utiliza para la elaboración de papel tissue, papel para bolsas, sacos multicapas y papel para envolturas, asimismo, es base de laminaciones con aluminio, plástico y otros materiales.
- b) **Papel pergamino vegetal.** Resistencia a la humedad así como a las grasas y a los aceites. Es utilizado para envolver mantequilla, margarina, carnes, quesos, etcétera. Así como para envasar aves y pescados. También se utiliza para envolver plata y metales pulidos
- c) **Papel GLASSINE.** Estos papeles son muy densos y tienen un alto grado de resistencia al paso de las grasas y los aceites. Este papel es translúcido y calandrado logrando una superficie con acabado plano; puede hacerse opaco adicionando pigmentos, también puede encerarse laquearse y laminarse con otros materiales. Son muy utilizados para envolturas, sobres, materiales de barrera y sellos de garantía en tapas. En la industria alimenticia se utilizan con frecuencia. De igual manera, se emplean para envasar grasas y aceites, tintes para impresión como también en productos para pintar.
- d) **Papel tissue.** Son elaborados a partir de pulpas mecánicas o químicas, y en algunos casos de papel reciclado. Pueden ser hechos de pulpas blanqueadas, sin blanquear o coloradas. Este papel se utiliza para proteger algunos productos eléctricos, envases de vidrio, herramientas, utensilios, zapatos y bolsas de mano. Como papeles de grado no corrosivo son utilizados para envolver partes metálicas altamente pulidas.
- e) **Papeles encerados.** Brindan una buena protección a los líquidos y vapores. Se utilizan mucho para envases de alimentos, especialmente repostería y cereales secos, también para la industria de los congelados y para varios tipos de envases industriales.

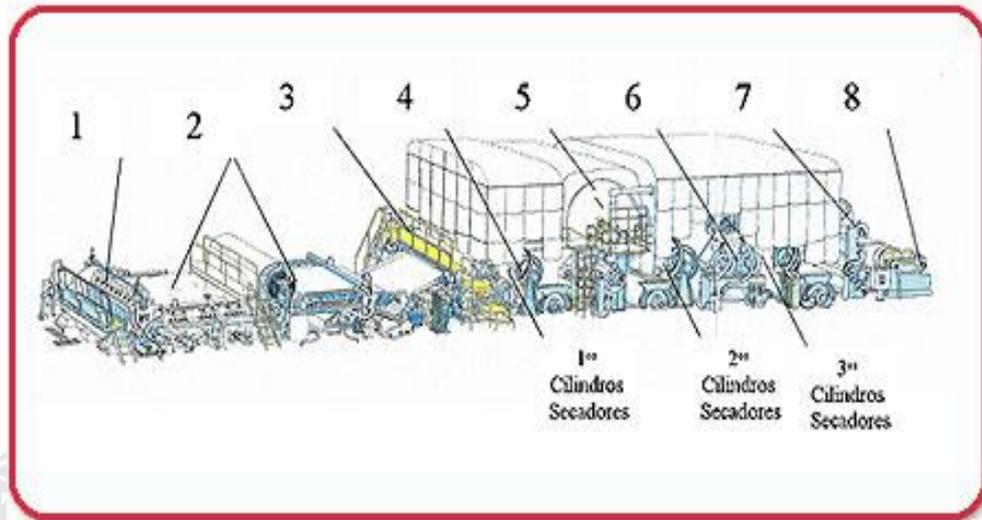
2.1.4 Proceso de elaboración de papel a nivel industrial

Alessandri (2004) nos muestra que el proceso de elaboración de papel se inicia con la madera proveniente de los árboles, mediante el proceso denominado “kraft”.

- A) **Tala de árboles.** Se procede a talar árboles de fibra corta como el eucalipto y el pino principalmente.
- B) **Descortezado.** El descortezado se realiza en una máquina denominada descortezador, proceso en el cual se procede a retirar las cortezas del árbol.
- C) **Chipeado.** Se realiza en una máquina denominada chipeador el cual consiste en reducir de tamaño los troncos del árbol a tamaños más pequeños.
- D) **Digestión.** Proceso en el que se digiere la lignina, el cual se realizara en un digestor continuo en un proceso cíclico cerrado utilizando para ello el proceso denominado Kraft.
- E) **Clasificación y Acondicionamiento.** En esta etapa se clasifican las pastas y se acondicionan para los diferentes tipos de papel utilizando para ello cargas y aditivos según sea el papel a obtener.
- F) **Lavado.** Es el proceso en donde se retiran algunas impurezas haciendo uso de agua tratada con el cual se reiteran las sales alcalinas que pueden causar floculaciones en el proceso.
- G) **Secado.** Se realiza para poder reducirla humedad de la pasta para el papel y formar el papel como tal.
- H) **Embalado.** Es la ultima etapa del proceso para lo cual se usa rollos de embalaje.

MAQUINA PAPELERA

Figura 01. Maquina Papelera



Fuente: Alessandri, 2004

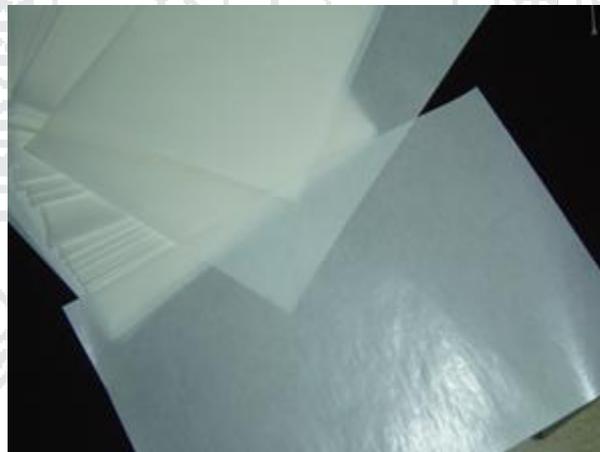
- 1. Cajón de entrada.** La pasta acuosa que contiene las fibras cae sobre una tela móvil donde se produce la formación de la hoja por el entrecruzamiento de las fibras.
- 2. Tela.** El exceso de agua de la pasta acuosa se elimina a través de la tela por gravedad y vacío.
- 3. Prensas Secadoras.** La hoja de papel pasa por prensas que por presión y succión eliminan parte del agua.
- 4. Cilindros Secadores.** La hoja de papel húmeda pasa por distintos grupos de cilindros secadores que por calor la secan.
- 5. Monolúcido.** Es un cilindro de gran diámetro cuya función es la de entregar una cara del papel más lisa y brillante.
- 6. Prensa Encoladora.** El papel recibe un baño de almidón con el cual se sella la superficie de éste.
- 7. Lisa.** Son rodillos de acero por los cuales pasa el papel proporcionándole tersura y un espesor homogéneo al ancho.
- 8. Bobinadora.** El papel se enrolla en el pope de la máquina para luego ser bobinado y/o cortado a las medidas requeridas.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PAPEL GLASSINE

Este papel recubierto es un tipo de papel súper calandrado. Está directamente recubierto con silicona pura de alta calidad, y tiene una fuerza estable de desprendimiento, especialmente cuando es usado en situaciones de alta velocidad. Características principales: Cierta grado de transparencia, alta consistencia, superficie lisa y bien presionada, intensidad de desprendimiento estable y buena resistencia a altas temperaturas. Fabricado principalmente con pulpas químicas de madera, con alto grado de hidratación. Este papel es resistente a las grasas y tiene una alta resistencia al paso del aire y de muchos aceites esenciales.

El papel glassine es totalmente neutral (sin ácidos) y es tan seguro que hasta la fecha se sigue utilizando para alimentos. Actualmente lo encontramos en las envolturas de los chocolates, que pueden venir en color café, rojo o en blanco; parece papel encerado.

Figura 02. Papel Glassine



Fuente: Tomado de la empresa Guangliang, 2008

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES

2.2.1.1 Gramaje.

El peso es uno de los detalles más comunes relativos al papel. Debido a que éste se usa en forma de hoja y su área tiene más importancia que su volumen, según Casey

“El peso del papel se expresa como gramos por metro cuadrado (g/m^2) en el sistema métrico y se denomina gramaje”.

El peso del papel puede medirse en una balanza especialmente graduada. Esta debe tener una sensibilidad por lo menos de 0.1gramos; se requerirá una sensibilidad mayor (0.01g ó 0.001) si las muestras por pesar miden menos de un metro cuadrado.

El peso afecta principalmente las propiedades físicas y muchas de las propiedades ópticas del papel. “Es imposible mantener el peso del gramaje exacto especificado. La práctica comercial permite una variación del ± 5 por ciento del peso especificado” (Casey, 1991).

El contenido de humedad afecta relativamente en el peso base de un papel a otro, mucho depende de la humedad relativa del aire con el que está en contacto. Debido a que el gramaje o el peso base se expresa siempre como el peso total del papel incluyendo la humedad. Según los estudios debe determinarse el peso en condiciones estándar si se requiere que sea comercial. La condición estándar utilizada en Estados Unidos es de una humedad relativa del 50 por ciento, con temperatura de 23°C .

El procedimiento acerca de la medición del gramaje se describe con todo detalle en el método estándar ISO 536.

2.2.1.2 Espesor.

“El espesor es la distancia perpendicular entre dos superficies planas bajo una presión constante y uniforme” (Espinoza, *et al* 2003). Se mide con un instrumento denominado micrómetro y las unidades de medida se expresa en micras ($1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$), puntos o mm.

La mayoría de los micrómetros utilizados en Estados Unidos aplica una presión de 0.5 atmosferas (50 kPa. pulg^2). Debido a que el papel es comprimible, esta diferencia en presión da una pequeña diferencia en el calibre. Las dimensiones de los yunques, la magnitud de la presión del pie, la velocidad y el tiempo de aplicación de la presión de pie afectan los resultados finales de las mediciones del calibre y la mayoría de los micrómetros no cumplen las condiciones correspondientes a estos parámetros (Cf. Casey, 1991.).

"El espesor del papel depende de su peso base, sin embargo papeles del mismo gramaje pueden tener diferente espesor, dependiendo de su composición fibrosa, la refinación que se le haya dado a la pasta, la compresión a la que haya sido sometida la hoja durante el proceso de fabricación, tanto en el prensado como en el calandrado y la porosidad". (Fernández, 2005).

El procedimiento se describe con todo detalle en el método estándar TAPPI T411. Así como en la norma ISO 534.

Tabla 01. Márgenes aprox. de gramaje y espesor de papeles comerciales

Tipo de papel	Gramaje (g)	Espesor (μm)
Papel glassine	30 a 75	25 a 70
Bond, para escribir	50 a 115	65 a 150
Sacos para cemento	120 a 195	230 a 635

Fuente: Casey, 1991

2.2.1.3 Densidad.

"La densidad se expresa en gramos por centímetro cubico, y se calcula dividiendo el peso en gramos por metro cuadrado entre el espesor en micras. Con frecuencia se le denomina densidad aparente, porque incluye los espacios de aire del papel, y se calcula con base en el espesor medido, el cual es ligeramente superior al espesor real". (Casey, 1991).

Algunos autores concuerdan que la densidad de la hoja final, le afectan muchos factores como la cantidad de unión de fibras, la presencia de materiales (cargas y aditivos) que llenan los huecos de la hoja y el calandrado. El efecto de las diferentes pulpas en la densidad de la hoja tiene relación con la finura y la flexibilidad de la fibra. En general, las pulpas tratadas al sulfato producen hojas con una densidad superior a la de las pulpas tratadas al sulfito y señalan también que las pulpas tratadas con hidróxido de sodio (sosa cáustica) producen hojas de muy baja densidad.

2.2.1.4 Índice de Rotura.

La resistencia a la rotura o ruptura se mide con un instrumento llamado sensor de fuerza que mide la cantidad de trabajo realizado para romper el papel a una distancia fija, aplicando una fuerza perpendicular al área de tensión. La muestra de papel se sujeta entre dos mordazas en dirección de la rotura.

Según Casey, (1991) la resistencia a la tensión, como medida en la industria del papel, no es una resistencia a la tensión verdadera ya que mide la carga de ruptura, por unidad de ancho, en lugar de hacerlo por unidad de área. Sería más apropiado emplear la expresión “resistencia de ruptura” al hablar de esta prueba.

La cantidad y la calidad de unión de las fibras es el factor más importante entre los que afectan a la resistencia a la ruptura. “La energía requerida para romper un número de uniones de fibras se utiliza como medida la resistencia de la hoja y el coeficiente de dispersión del papel como medida del grado de ruptura de la unión”. (Casey, 1991).

2.2.1.5 pH.

El pH define el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material. En este caso los papeles de pH bajo (por debajo de 7), son ácidos por lo tanto se autodestruyen y este puede manifestarse por la decoloración, pérdida de su resistencia o cambios en sus propiedades químicas. Los papeles de pH 7 o neutrales, tienen mejores oportunidades de vida útil. Los papeles alcalinos (de pH 7 a 8.5 aprox.) tienen el mayor potencial de larga vida. (Cf. Pérez, 2001)

La acidez del papel es importante debido a sus efectos en la permanencia. La acidez puede determinarse como la cantidad de acidez soluble en el agua (o de alcalinidad) o como la concentración de ion hidrógeno (pH) del extracto del papel. La concentración de hidrógeno (pH) indica más la estabilidad del papel que la acidez total (Casey, 1991).

2.2.1.6 Lisura.

La lisura es una propiedad que influye tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel. Desde el punto de vista de la impresión del papel, se refiere a la perfección de la superficie de un papel y al grado en que su uniformidad se asemeja a la superficie de un vidrio plano. Se dice que el papel tiene una textura lisa o rugosa, significando que las irregularidades de su superficie son pequeñas o grandes. En la industria del papel, con frecuencia se denomina acabado o satinado a la calidad de la superficie del papel o lisura.

La lisura se refiere al contorno superficial del papel. Tiene relación con el brillo, ya que tanto éste como la lisura resultan afectados por el calandrado, pero las dos propiedades no son la misma cosa. Quizá el método más preciso para medir la lisura es mediante un microscopio equipado con un ajuste micrométrico del enfoque, mediante el cual se enfoca el microscopio sobre una zona reducida de la superficie del papel, anotándose a continuación la lectura del micrómetro. A continuación se corre el papel una distancia pequeña predeterminada, para enfocar de nuevo el microscopio y anotar la nueva lectura obtenida. De esta manera se obtiene un cuadro completo y exacto acerca de la superficie del papel, pero el método es lento y aburrido, y solo adecuado para su aplicación en trabajos de investigación. (Casey, 1991).

2.2.1.7 Opacidad.

La opacidad se determina mediante el total de luz transmitida. La transparencia tiene relación con la opacidad, pero difiere en el sentido de que se determina por la cantidad de luz que se transmite sin dispersión. Cuando la luz se transmite difusamente y es dispersada, el objeto es translucido. Casi todos los papeles son translúcidos; es decir, permiten el paso de luz, pero dicha luz está dispersa. La parte de luz que se refleja especularmente determina el brillo y la parte de luz que refleja difusamente determina el color y la blancura. La parte de luz que se transmite determina la opacidad y la transparencia (Cf. Casey, 1991).

Cuando la luz es absorbida por un objeto, en este caso el papel, se convierte en otro tipo de energía, en general, energía térmica. Un papel perfectamente opaco es aquella

que resulta totalmente impenetrable al paso de la luz visible. El papel negro puede considerarse “opaco”; la mayoría de los cartones son opacos.

La opacidad del papel disminuye al aumentar la unión entre fibras y aumenta a medida que el espesor sea mayor, este se puede calcular mediante mediciones ópticas.

2.2.1.8 Color.

“El color es algo que ‘vemos’. El color es invisible en ausencia de luz. La luz se requiere para ‘ver’. Cuando la luz entra en una hoja de papel, es dispersada por refracción y reflexión interna. Una parte de luz es absorbida, otra parte es transmitida y el resto se refleja difusamente” (Casey, 1991). La porción de luz que es absorbida determina el color del papel, por ejemplo un cuerpo perfectamente negro absorberá toda la luz y la reflectancia difusa será igual a cero, en cambio un cuerpo perfectamente blanco no absorberá la luz, y la reflectancia difusa será del 100 por ciento. Sin embargo, en la práctica cualquier papel que refleje más del 50 por ciento de la luz, a todas las longitudes de onda, es considerado blanco por parte de la mayoría de las personas.

Para medir el color del papel, puede realizarse por métodos psicológicos, físicos o psicofísicos. Las propiedades psicológicas se refieren a la impresión visual del observador que puede distinguir variaciones reducidas en tono, difíciles de medir con los mejores instrumentos ópticos. Las propiedades físicas se miden con instrumentos ópticos, por ejemplo, el espectrofotómetro registrador. Las propiedades psicofísicas se miden físicamente, pero se interpretan psicológicamente usando valores. (Cf. Casey, 1991).

En el sistema Munsell, el color es tridimensional, utiliza esta circunstancia para expresar el color en función de sus tres propiedades: valor o claridad, croma o saturación y matiz.

“Las distintas propiedades de un papel, son interdependientes, es decir, están relacionadas entre sí, por lo que no pueden modificarse sin afectar el comportamiento de los demás” (Perez, 2001).

2.2.2 Especificaciones técnicas para el papel glassine.

Tabla 02. Parámetros Técnicos del papel Glassine siliconado

Colores	Blanco, amarillo claro, azul claro
Gramaje	60g/m²-80g/m²
Calibre	0.055-0.068mm
Resistencia a la tensión	2.8 kN/m
Transparencia	48%
Ancho	1030mm/1092mm
Largo	3000m-8000m.
Humedad	6 %

Fuente: Tomado de la empresa Guangliang, 2008

(Disponible en la web. <http://www.siliconeliner.es/1-glassine-paper-2.html>)

Tabla 03. Especificaciones Técnicas para el papel kraft

REQUISITOS	MINIMO	NORMAL	MÁXIMO
Gramaje (g/m²)	71	75	79
Índice de rasgamiento (Nmxm²/g)	60	-	-
Densidad (g/m³)	-	56	-
Espesor (mm)	1.4	1.6	1.8
pH	8.0	8.5	9
Humedad (%)	-	7	8

Fuente: Indecopi, 2003

2.2.3 Parafinado del papel

Las Parafinas son productos de cera derivados del petróleo, compuestos principalmente por hidrocarburos de cadena recta sin ramificaciones, con un peso molecular promedio entre 360 y 420 y con cadenas de 18 a 40 átomos de carbono.

Generalmente, Las parafinas son sometidas a procesos de refinación (eliminación del aceite) para dar como resultado una amplia variedad de grados, que se clasifican tomando como base su punto de fusión (58° - 68°C). Se caracterizan por su estructura “macrocrystalina”.

Las Parafinas son conocidas por su alta pureza, excelente brillo y olor discreto. Poseen propiedades termo-plásticas y de repelencia al agua, por lo que son ampliamente utilizadas para protección en aplicaciones diversas, tales como empaques de cartón para la industria alimenticia, recubrimiento de quesos y frutas, así como en el encerado de papel para preservar la integridad de las mercancías que son empacadas o envueltas con este material donde el producto debe llegar en condiciones óptimas al consumidor final. Por sus propiedades combustibles son utilizadas como materia prima esencial para la manufactura de velas y veladoras. Otras aplicaciones incluyen la fabricación de cosméticos, crayones, adhesivos, papel carbón, textiles, tintas, pinturas, así como en la industria de la fundición.

Efecto del encerado en la opacidad, “si el papel se impregna con parafina u otro material similar cuyo índice de refracción se aproxima al de la celulosa (1.5), se reduce en gran medida la opacidad del papel” (Casey, 1991).

2.3 ESTRUCTURA DEL PAPEL

La mayoría de los papeles se elaboran con fibra o pasta de celulosa suspendida en el agua. La celulosa por su propiedad higroscópica absorbe fácilmente el agua; por lo tanto, el papel absorberá agua, a menos de que se le de algún tratamiento especial para reducir la potencia absorbente de la celulosa. “La celulosa es blanca; por ello, el papel será blanco, a menos de que contenga lignina como una impureza. La celulosa es higroscópica; por tanto, el papel será higroscópico, y captará y soltará líquido, con cambios en la humedad relativa. Una fibra de celulosa se expande y se contrae al cambiar el contenido de humedad; por lo tanto, el papel se expandirá y contraerá con los cambios de la humedad relativa. Una fibra de celulosa tiene la habilidad de

formar uniones de hidrógeno; por ello, las fibras pueden unirse en el papel sin requerir la adición de adhesivos. Una fibra de celulosa tiene una resistencia alta, es flexible y arde” (Mejía, 2000).

“El papel es una estructura tridimensional, y cuando se le produce en un proceso continuo sus propiedades diferirán notablemente en las tres dimensiones” (Casey, 1991)

2.4 CONSERVACIÓN DEL PAPEL

Numerosos son los agentes que causan el deterioro, tanto vivos como inanimados, endógenos como exógenos. Microorganismos, tales como hongos y bacterias, pueden atacar la estructura del papel, debilitándolo o destruyéndolo. Cucarachas, lepismes (insecto nocturno que roe el papel, cuerpo cilíndrico cubierto de escamas plateadas, antenas largas), termitas (hormigas blancas), piojillos del libro constituyen los insectos que generalmente dañan los papeles.

No debemos olvidar que el máximo destructor de papeles, tanto en forma activa como por negligencia, es el hombre.

La humedad relativa ambiente tiene singular importancia dadas las propiedades higroscópicas del papel; niveles altos favorecen el desarrollo de microorganismos y bajos, al resecar el papel, lo tornan quebradizo. Es conveniente que se mantenga entre 40 y 55 % de humedad relativa ambiente. La temperatura debe tener valores no superiores a 15° C. se consideran adecuados, pues por encima de ellos se aceleran los procesos de envejecimiento y degradación y también se favorece el desarrollo de hongos y bacterias.

El pH es un factor muy importante para la conservación del papel. Los papeles que presentan acidez, están condenados a convertirse en polvo. Debilita la resistencia del papel. Los papeles con pH superior a 7 no ocurren esos riesgos, y esa reserva alcalina los protege en el tiempo contra la acidez exógena (parte externa del órgano). Cabe señalar que papeles que tienen un pH por debajo de 5, se amarillenta y deteriora rápidamente. (Mejía, 2000).

2.5 MICROBIOLOGÍA DEL PAPEL

Las bacterias pueden causar serias dificultades en la industria del papel. Así por ejemplo, la presencia de las bacterias de hierro puede causar malos olores y un sabor degradable, otros tipos como el *Thiobacillus*, causan la corrosión, deficiente calidad y uniformidad de la pulpa, pérdida de tiempo en la producción, menor eficiencia del equipo, mal acabado del producto y de la aceptación del cliente (Simposium, 2003).

Las bacterias que pueden contaminar el papel son las del tipo *Salmonella*, las cuales son potencialmente peligrosas como fuente de enfermedad para el hombre, bien de modo directo o en forma indirecta mediante la contaminación secundaria del producto terminado de los equipos utilizados en el proceso de producción (Quispe, 2005).

Especies como: *Aerobios mesófilos viables*, *Mohos*, *Levaduras*, *Staphilococcus aureus*, *E. Coli*, de alguna manera están presentes en la superficie del papel debido al contacto con el medio ambiente, pero en una forma inactiva y que cuando se dan las condiciones como la humedad estos microorganismos entran en actividad produciendo el deterioro del papel (Curtis, 1986).

2.5.1 Aspectos microbiológicos del papel

Es de mucha importancia considerar los niveles permisibles según Normas sanitarias sobre los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad. (Ver anexo X)

Tabla 04. Límites Microbiológicos

MICROORGANISMOS	LIMITE PERMISIBLE (ufc/ml)	LIMITE MAXIMO (ufc/ml)
Mesófilos Aerobios Viables	10^3	10^3
Mohos y Levaduras	10^2	10^4
Staphilococcus Aureus	10^2	10^3
E. Coli	10	10^2

Fuente: Quispe, 2005 (Extraído de Norma Sanitaria, 2003)

Los microorganismos son seres que tienen vida, por lo tanto requieren de un medio adecuado para desarrollarse. Se debe entender que cada especie de microorganismo puede ir adaptándose a las condiciones del medio, pero en un medio bajo en humedad es decir menor al 13% en el caso de alimentos. Se puede asegurar que algún microorganismo se desarrolle con normalidad, puede estar en estado inactivo en el medio, en esas condiciones es recomendable reducir la actividad de agua del alimento. (Laura, 1998)

2.6 DISOLVENTES UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL PAPEL

2.6.1 Hidróxido de Sodio (NaOH): El nombre de sodio proviene del italiano (*sosa*), cuyo símbolo es (Na) y cuyo peso molecular es de 40g/mol, tiene aspecto y olor; sólido blanco e incoloro, N° de identificación ONU: sólido, granulado, seco o escamas: 1823; en solución: 1824. Sustancia corrosiva clase 8.

Es un álcali utilizado en la industria del papel ya que tiene la propiedad de disolver y/o separar la lignina de la celulosa en los vegetales. El hidróxido de sodio rompe enlaces de hidrógeno de la celulosa volviéndola en una estructura más simple, ayuda a la microfoculación de las microfibras de celulosa debido a la forma y composición de los cristales el cual permite una mayor deslignificación (Quispe, 2005).

Límite de exposición permisible del hidróxido de sodio. La norma actual de la OSHA para el hidróxido de sodio es 2 mg de hidróxido de sodio por metro cúbico de aire (mg/m^3) promediados sobre un turno de trabajo de ocho horas. El NIOSH recomendó cambiar el límite de exposición permisible a un techo de $2\text{mg}/\text{m}^3$ sobre un período de 15 minutos.

2.6.2 Hipoclorito de Sodio (NaCl). El hipoclorito fue prácticamente el único agente empleado para el blanqueo hasta los años 30, al aplicar comercialmente el cloro elemental como agente blanqueador de pulpa. Este procedimiento se reveló muy interesante cuando se aplicó a las pulpas Kraft, las cuales alcanzaban un grado de blancura muy alta, pues la acción del cloro sobre la pulpa es el de eliminar la lignina, compuesto muy abundante en las pulpas Kraft. El principal problema para la

implantación del método al cloro era la resistencia de los materiales, lo que se pudo resolver con la aparición del acero inoxidable (May, 2009).

Los hipocloritos son sales del ácido hipocloroso (HClO₂) que han encontrado amplio uso en la industria y el hogar, los más importantes son hipoclorito sódico (agua de la barraque) y el hipoclorito potásico (agua de javelle), ambos son oxidantes fuertes utilizados para blanqueo de celulosa, fibras textiles y como desinfectante (May, 2009).

2.7 GENERALIDADES SOBRE LA TOTORA

2.7.1 Descripción de la Totora.

Los totorales considerado ecosistema lacustre, conformado por la macrófita *schoenoplectus totora*, ocupa áreas acuáticas en las orillas del lago Titicaca hasta una profundidad de 4m. Donde existe un fondo fangoso rico en nutrientes. La totora considerada como flora acuática emergente, alberga en su asociación a diferentes tipos de flora y fauna que interactúan entre si en los procesos de reproducción, alimentación, desarrollo, cobijo y protección de las diferentes especies. (Apaza, 2003)

La totora es una macrófita o planta acuática emergente que vive en aguas poco profundas, arraigada al substrato, carente de hojas, cuyos tallos emergen del agua, alcanzando alturas entre 2 a 3 m. es una planta vivaz, cuyos tallos se secan en el período frío y seco, entre mayo a octubre (6 meses), iniciando el rebrote en la época de transición a partir de órganos “subterráneos” o rizomas, que persiste en la época fría. (Florez, R. y Ocola, J, 2007)

Scirpus totora knth “totora”, es una planta semi acuática que crece a las orillas del lago Titicaca en suelos fangosos, alcanza hasta una altura de 4 metros, variando el diámetro del tallo desde 3cm cerca a la raíz hasta 3mm, en el ápice. (Ticona, 1979).

Existe otra especie denominada por Mac Bride como *Schoenoplectus californicus*; este nombre corresponde a una planta de menor tamaño. Anuales, fasciculadas, con raíces fibrosas, o perennes de talla mediana o grande, generalmente rizomatozas.

Frisancho, (1992), menciona que en las costas del lago Titicaca, existieron hace veinte años los verdaderos bosques de totora, llamados totorales, especialmente en la región de Puno, Huata y Capachica, pero por las sequías constantes que se sucedieron por varios años, disminuyó los niveles del lago, están formándose nuevos totorales.

La totora es ampliamente utilizada por los campesinos de la región desde la base del tallo “chullo”, que es comestible, hasta los tallos cortados que se ofrecen al ganado como forraje (Reyes y Saez,2004).

Figura 03. Totorales en las orillas del Lago Titicaca



Fuente: Bahía de Puno. 2010

2.7.2 Ubicación y extensión.

La Reserva Nacional del Titicaca está ubicada en las aguas continentales del Lago Titicaca, en las Provincias de Puno y Huancané del Departamento de Puno, a una altitud promedio de 3810 m.s.n.m. Su ubicación geográfica se encuentra según las siguientes coordenadas:

Coordenadas geográficas:

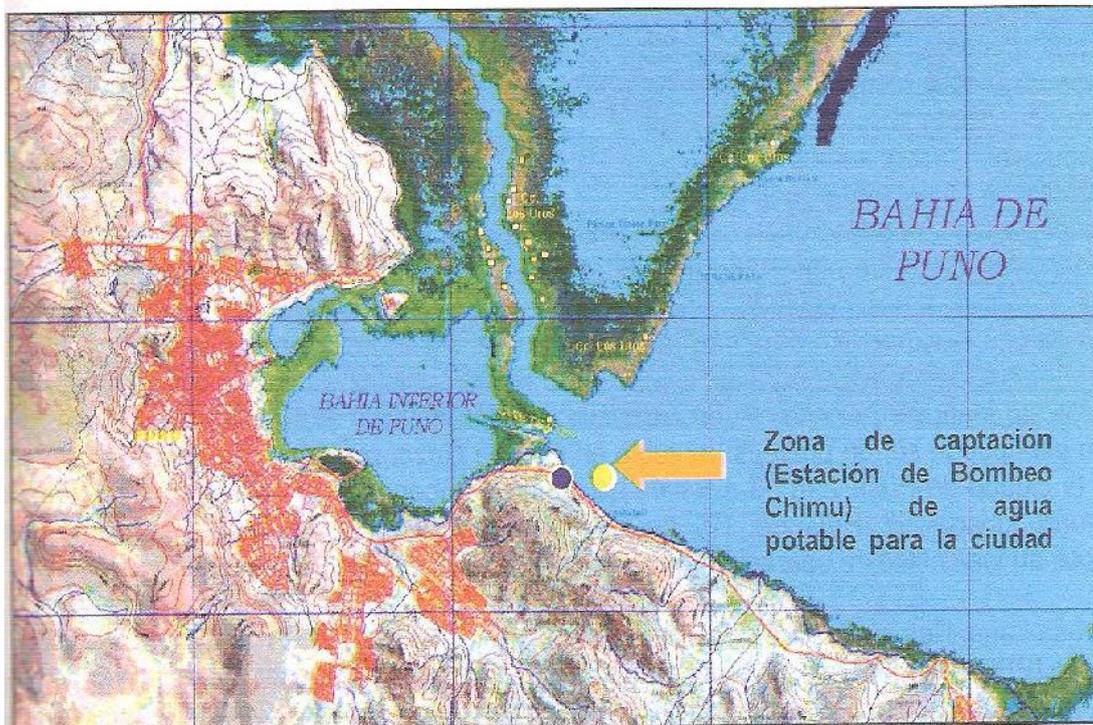
Latitud: 15°16'21'' – 15°50'20'' (LS)

Longitud: 70°02'10'' – 69°46'23''

Tiene una superficie de 36180 ha., comprende dos sectores que no tienen continuidad física, ubicados en:

- Sector Ramis: Con 7 030 hectáreas comprende los totorales del margen derecho de los ríos Ramis y Huancané e incluyen las lagunas de Yaricoa (130 ha) y Sunuco (50 ha) a la margen izquierda del río Huancané Ramis.
- Sector Puno: Con 29 150 hectáreas y abarca los totorales comprendidos hacia el norte de la Isla Estévez y la península de Capachica.

Figura 04. Imagen Satelital parcial de la bahía de Puno (540 km²)



Fuente: Flores y Ocola, 2007

2.7.3 Clasificación.

La totora se incluye dentro del orden Cyperales de la familia Cyperaceae. El nombre científico que recibe es *schoenoplectus californicus* ssp. *Tatora*, pero comúnmente se la conoce como tutura, en aymará y quechua o Tatora en castellano.

Es una macrófita del grupo de las helófitas, atendiendo a su forma de crecimiento, es decir, es una planta emergente que crece en lugares húmedos o inundados. La totora, en estado juvenil, aparece sumergida y solo cuando su crecimiento se lo permite emerge erguida (Reyes y Saez, 2004).

2.7.4 Morfología.

Las características morfológicas indican que es una planta herbácea formada por dos clases de tallos, una subterráneo (rizoma) y otro aéreo (Reyes y Saez, 2004).

La altura de la planta es de 3,2 a 4 m, pero según Iltis y Mourgiart, (1991) citado por Reyes y Saez, (2004) han encontrado ejemplares de hasta 6 m de alto y diámetro de 1 a 4 cm.

2.7.4.1 Raíces

Las raíces de la totora, por su origen, son adventicias, de forma fibrosa y no desarrollan pelos radiculares, se originan en el tallo subterráneo de rizoma maduro o joven, conformando penachos relativamente delgados y entremezclados y que dan anclaje a la totora en el substrato del fondo. El diámetro de cada raíz es variable de acuerdo a la edad de la totora, alcanzando un máximo de 3 mm. (Reyes y Sáez, 2004).

2.7.4.2 Rizoma

En el rizoma se observa una corteza blanca con muchos haces libero leñosos. Su crecimiento es horizontal y paralelo al substrato, distinguiéndose por presentar nudos (yemas) cada 2 a 6 cm, de donde brotan los tallos, las yemas están protegidas por hojas transformadas como pequeñas escamas de incoloras a color amarillo llamadas catáfilas, en la parte inferior se desarrollan las raíces adventicias, que llegan a entrecruzarse, conformando una masa radicular, que cuando crece mucho, forma el llamado “quille” de un espesor que puede alcanzar de 0,5 hasta más de 3 m, dependiendo de la edad de la totora (Reyes y Sáez, 2004).

El rizoma contiene sustancias de reserva que le permite sobrevivir en períodos de sequedad, y cuando retornan las condiciones de humedad las yemas dan origen a nuevos tallos aéreos mientras por la parte inferior se inicia el crecimiento de las raíces adventicias (Reyes y Sáez, 2004).

2.7.4.3 Tallo

El tallo nace en los nudos del rizoma, en forma de cilindro cortical de poco espesor, sin ramificaciones, denominado propiamente “totora”, en general tiene sección circular, algunas veces presenta una sección triangular en la parte superior y apical.

El tallo presenta las siguientes partes:

- Tallo aéreo:
Parte que sobre sale del lecho acuático y se encuentra dentro y fuera del agua.
- Tallo subterráneo:
Parte que se encuentra en el sustrato, entre el rizoma y la superficie del lecho acuático.

El tallo aéreo posee una epidermis con cloroplastos en la parte que inciden los rayos solares, cerca de este se encuentran los tejidos vasculares. En el interior presenta un parénquima, esponjoso no clorofiliano, se trata de tejidos simples primitivos diferenciados y especializados, que pueden cambiar de funciones. Este tejido parenquimático llamado “parénquima”, contiene aire, que circula por él, y regula el nivel de aire/agua, que permite al tallo sobresalir del agua, debido a su poco peso. El tejido parenquimático, realiza funciones de almacenamiento, respiración y fotosíntesis.

Cada cuatro meses los tallos crecen de 60 a 140cm o más, de altura, en función del sustrato, hábitat y periodo climático. Este desarrollo corresponde a totorales que son cosechados periódicamente (Reyes y Sáez, 2004).

2.7.4.4 Inflorescencia

La totora tiene una inflorescencia compuesta tipo umbela, llamada en forma vernacular “pancara” o “panq’ara”, que se caracteriza por que las primeras ramificaciones dan lugar a su vez a otra umbelas pequeñas y a la umbelilla que se

encuentra en sus ejes terminales. Tiene un número variable de flores, en las que cada eje terminal está cubierto de una bráctea escamosa de color café oscuro de 3 a 5 mm de longitud.

La flor esta rodea por un conjunto de hojas pequeñas transformadas que rodean a los verticilos fértiles de las flores, que carecen de sépalos y pétalos.

En un período anual, la totora presenta dos floraciones, al margen de que siempre existen algunos tallos floríferos todo el año. La primera se presenta en abril a junio, y la segunda, de septiembre a diciembre, de manera coincidente con la época primaveral, no muy diferenciada en la región (Reyes y Sáez, 2004).

2.7.5 Distribución, Biometría y Hábitat

2.7.5.1 Distribución, Existencia y Potencial de la Totora

Según Aranibar (2008) la RNT alberga 36,180 hectáreas de totorales y una biomasa de 1'900,000 toneladas, pero de este total solo se hace uso del 2%. Dentro del lago Titicaca la totora se reparte en un 61.6% en territorio peruano y un 38.4% en el boliviano. En términos de biomasa los porcentajes son para cada territorio es respectivamente de 63.7% y 36.3%.

La distribución de la totora también puede estudiarse dividiendo en lago en dos zonas, la bahía de Puno y el lago menor, como lo sugieren algunos autores. En la primera, la totora representa el 50% de las macrófilas existentes y en la segunda el 30%. Estudios anteriores realizados por Collot *et al* (1983), citado por Reyes y Sáez, (2004) muestran que la totora en la bahía alcanzaba un valor significativamente mayor, de un 80% del total de las macrófilas, con un peso seco calculado de 400.000 toneladas, lo que sugiere una considerable pérdida.

Es importante mencionar que los cambios climáticos que ocurren en la zona, así como los cambios estacionales (inundaciones, sequías, etc.), influyen en la presencia o ausencia de totorales. Otro parámetro, no natural en este caso, que influye de manera alarmante en la variación de la superficie de los totorales es la sobre utilización que el hombre ejerce sobre ellos. La totora del lago Titicaca ha sufrido una disminución permanente debido al abuso del hombre sobre este recurso, por la

quema, ingreso de los animales, falta de reimplantes en las zonas que lo necesitan, por falta de cuidados y otros aspectos.

De este modo, se observa en la Tabla 05 la variación de la superficie de totorales durante los años 1950-2000. Se presentan estimaciones que se realizaron a partir de imágenes satelitales y fotografías aéreas, así como trabajos de campo *in situ* en distintos estudios (Intecsa, 1993; PELT, 2000) y que aquí se recuperan y se agrupan.

Tabla 05. Variaciones Periódicas de la Superficie (ha) ocupada por la Totorá en el Lago Titicaca

Año	Perú	Bolivia	total	Variación (%)	
1950	52.885	Sin datos			
1970	52.070	7.062	59.132		
1985	44.090	16.940	61.030	+3,21%	
1992	24.667	15.389	40.056	-34,37%	-2,62%*
	44.090*	15.338*	59.428*		
2000	26.640*	11.989*	38.629*	-3,56%	-3,5%*

*Datos extraídos de PELT, 2000 y calculados a partir de ellos

Fuente: Reyes y Saéz, 2004

La totora y la vegetación acuática en general han mostrado un desarrollo creciente desde el año 1950 hasta 1985, correspondiendo a una tendencia general de la elevación del nivel del lago.

La Tabla 05 muestra claramente cómo las totoras del Perú sufren sobre utilización extrema entre 1985 y 1992 (-44%). Y en general, la reducción total de la especie para todo el lago Titicaca en los años comprendidos entre 1985 y 2000, fue del 34%, es decir que se ha perdido un total de 22.401ha en estos años, proceso que deteriora peligrosamente el equilibrio ecológico del ecosistema del lago.

La pérdida de totora en Bolivia es de 418ha/año. A este paso, si no se hace un uso racional y se toman acciones de repoblamiento, en poco tiempo puede desaparecer la totora con el consiguiente daño ecológico irreparable.

La superficie potencial de plantación alcanza a 61.000 ha con las cuales casi se triplicarían los totorales y las perspectivas económicas de los pobladores.

2.7.5.2 Biometría de la Totorá

La totora presenta diferente densidad o biomasa según donde se encuentre dentro del lago, y en cada caso entra en asociación con diferentes especies vegetales. Los espacios principales de ubicación son en la desembocadura de los afluentes al lago, su crecimiento es más probable si la superficie de asentamiento es plana (Lescano, 2001) y también presenta una repartición de su biomasa en función de la profundidad de las aguas. El 48% de totorales se encuentra entre las cotas de 3.808 a 3.810 m y corresponden a totorales densos. (Ver anexo III)

La totora aparece conformados al menos tres tipos de totorales:

- a) **Total denso:** Se considera a los totorales en esta categoría cuando la densidad está entre 250 – 300 tallos aéreos / m².
- b) **Total semidenso:** dentro de esta categoría se agrupan los totorales con un número de tallos aéreos / m² entre 50 y 250.
- c) **Total ralo:** por último los representantes de los totorales menos densos son aquellos que no superan los 50 tallos aéreos / m².

2.7.5.3 Hábitat y Competencia Vegetal

El hábitat de la totora está limitado a la zona andina, particularmente al lago Titicaca, lago Uru Uru, los salares del Poopó y Coipasa, sus humedales y lagunas menores.

Las condiciones ideales para el crecimiento de totora son principalmente la existencia de agua permanente y a niveles constantes con una profundidad máxima de 5,5m. También necesita de una suave pendiente y suelos limo- arcillosos con materia orgánica, que facilitan el desarrollo de su sistema radicular. Suelos de tipo areno-arcilloso-orgánico también permiten su crecimiento. Los arenosos o pedregosos son negativos, por cuanto no permiten el enraizamiento de las totoras y estas son removidas y arrastradas por el oleaje (Reyes y Sáez, 2004).

2.7.6 Importancia y uso de la totora

2.7.6.1 Importancia.

La totora y los llachos (macrófitos) desde tiempos ancestrales constituyen recursos de vital importancia para la población asentada en la Reserva Nacional del Titicaca y el anillo circunlacustre que constituye la zona de amortiguamiento, el cual involucra a poblaciones de comunidades, parcialidades, centros poblados y familias organizadas de los distritos de Puno, Paucarcolla, Huata, Coata, Capachica, la Península de Chucuito y en el Sector Ramis conformado por los distritos de Taraco y Huancané (Gutiérrez, 2004).

2.7.6.2 Uso de la totora.

La totora es utilizada de diferentes maneras como por ejemplo, para la alimentación animal, construcción de viviendas, consumo humano, molde para quesos, medicina tradicional, combustible, substratos, fabricación de balsas, fabricación de quesanas, artesanías e infinidad de usos en la actividad pecuaria. (Cf. Apaza, 2003)

2.7.7 Composición química y bioquímica de la totora

La composición química de la totora se observa en la Tabla 06, dentro de ésta cabe añadir como componente fundamental la celulosa, que está en un mayor porcentaje.

Tabla 06: Composición química de la totora (*S. californicus*)

Imbabura - Ecuador

Composición	Contenido
Hemicelulosa	30.71 %
– Celulosa	66.79 %
Lignina	27.8 %

Fuente: Mejía, 2001. Imbabura-Ecuador

La composición bioquímica de la totora se presenta en la Tabla 07, dentro de ésta cabe añadir como componente fundamental, los carbohidratos, que aparecen en forma de glucosa y almidón en abundancia.

Tabla 07: Composición Bioquímica de la Totora

Composición	Porcentaje
Proteínas	6,03%
Calcio	0,34%
magnesio	0,49%
Fósforo	0,28%
Yodo	0,78%

Fuente: Reyes y Sáez, 2004.

Tabla 08. Porcentajes de Rendimiento, Evaluaciones de Resistencia a la Explosión, Gramaje y Espesor del Papel.

Muestra / Método	Rendimiento Pulpa Papel %	Resistencia a la explosión (lbs/pulg ²)	Gramaje (g/m ²)	Espesor (mm)
Totora Método de la sosa	26.10	4.3	60.2	0.192
Totora Método al sulfito	38.20	12.10	59.80	0.172
Totora Método al sulfato	31.80	14.10	61.70	0.186

Fuente: Análisis de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, 2001 (Datos extraídos)

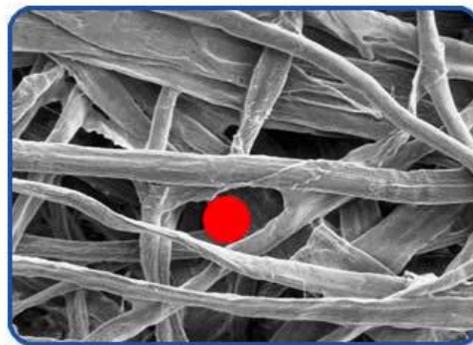
Como se muestra en la Tabla 08, la evolución del papel artesanal de totora da buenos resultados y se obtiene un papel para aplicaciones de tarjetería y papel de embalaje Según Simbaña, (2001)

2.8 LA CELULOSA

La celulosa es un polímero completamente lineal cuya unidad básica es la D-glucosa que se enlaza sucesivamente a través de un enlace glucosídico en la configuración (1-4), para formar moléculas de celobiosa que es la unidad mas pequeña que se repite exactamente en la cadena polimérica (Fig. 06). Cada unidad estructural (-D-glucopiranososa) contiene tres grupos hidroxilo libres (uno primario y dos secundarios). Las moléculas de celulosa tienen una fuerte tendencia a formar enlaces por puentes de hidrógeno intra e intermoleculares. (Roncero, 2001)

La celulosa es la principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20-25 mm., las de Pino 2-3 mm. y las de Eucalipto 0,6-0,8 mm.. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. (Fernández, 2005)

Figura 5. La celulosa



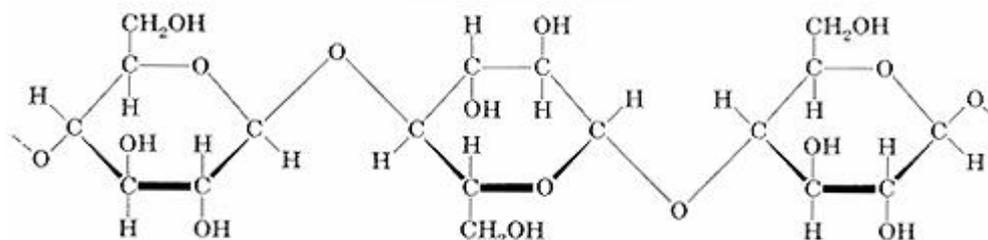
Las fibrillas (fibras) de celulosa tienen distintas formas y tamaños. El círculo rojo representa una partícula de 20 μ de diámetro.

La celulosa (C₆H₁₀O₅)_n es el constituyente de la fibra de las plantas, las mismas que son sustancias blancas, insolubles de los disolventes ordinarios, solubles en hidróxido cúprico amoniacal, en álcali cáustico con disulfuro de carbono y solución clorada de cloruro de zinc.

Desde el punto de vista químico, la celulosa es un polisacárido formado exclusivamente en unidades de D-glucosa a través de un enlace acetal, en el carbono

4 se diferencia del almidón. En 1,4-glucosídico presentado por G da las sucesiones de glucosa. (Fernández, 2005).

Figura 6. Estructura de la Celulosa



La unión en cadena de "n" moléculas de β -glucosa forma un polisacárido. Mientras mayor sea "n", mayor será la longitud de la fibra de celulosa. El algodón es la forma natural más pura de las fibras de celulosa, con un valor de "n" superior a 6000.

Las propiedades de los materiales celulósicos están relacionadas con el grado de polimerización de la molécula de celulosa. La resistencia del papel es debida en parte a la resistencia individual de las cadenas de celulosa, que puede disminuir por la degradación de éstas. La celulosa es esencialmente blanca por lo que no requiere blanqueo. No obstante, durante el blanqueo de la pasta para eliminar el color de otros componentes, se puede producir la degradación de la celulosa, por lo que se reduce el rendimiento y se puede producir una disminución de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra. Esta degradación puede ser de tipo hidrolítico, oxidante, alcalino, térmico, microbiológico o mecánico. (Roncero, 2001)

2.8.1 ESTRUCTURA DE LA CELULOSA

La estructura molecular de la celulosa se aisló por primera vez y caracterizada como sustancia química en la década de 1830, por el destacado químico agrícola francés Anselme Payen. Este llegó a la conclusión más o menos correcta, de que la celulosa y el almidón eran sustancias isoméricas, ya que ambas daban el resultado del análisis del mismo contenido de carbono e hidrógeno, y al ser hidrolizadas ambas producían D-glucosa. Han indicado que la celulosa tiene tres grupos hidroxílicos libres por unidad de: $(C_6H_{10}O_5)$, esta fórmula indica que los grupos hidroxílicos libres en la celulosa están situados en las posiciones 2, 3, 6 y las posiciones 1, 4, 5 están unidas

por enlaces químicos. Para determinar el peso promedio molecular de la celulosa, se aplican métodos habituales correspondientes a los polímeros, incluyendo la osmometría, las mediciones de dispersión de la luz ultracentrifugado, la penetración de gel, y las determinaciones viscosimétricas (McGinnis y Shafizadeh , 1991).

La unidad básica de la molécula de celulosa es la unidad de glucosa. La unidad de glucosa está constituida por los elementos químicos carbono, hidrógeno y oxígeno.

2.8.2 NATURALEZA QUÍMICA DE LA CELULOSA

La reactividad química de la celulosa se relaciona a los tres grupos oxhidrilo (grupos OH de la unidad de glucosa. Estos grupos reaccionan rápidamente ante la humedad, los colorantes y acabados especiales. Los productos químicos, como los blanqueadores que provocan la descomposición de la cadena molecular de la celulosa, casi siempre atacan al átomo de oxígeno y provocan en él una ruptura.

Las fibras naturales de celulosa se clasifican de acuerdo a la parte de la planta de la que provienen (fibras de la semilla, fibras de tallos o líber y fibras de hojas).

La molécula de celulosa es una cadena lineal larga de unidades de glucosa: la longitud de esta cadena es un factor que influye en la resistencia de la fibra (Fernández, 2005).

Los árboles son la principal fuente de fibras naturales para más del 90% de la producción de celulosa a escala mundial; el restante 10% de las fibras es aportado por otras plantas tales como pastos, bambúes, bagazos, algodones, linos, cáñamos y otros (Fernández, 2005).

2.8.3 TIPOS DE CELULOSA

Dependiendo del proceso de producción, las celulosas se clasifican en los siguientes tipos:

- a) **Celulosa Química:** Se obtiene a partir de un proceso de cocción química de la madera altas temperaturas y presiones, cuyo objetivo es disolver la lignina contenida en la madera con una solución alcalina,

liberando las fibras. Dependiendo de los aditivos químicos usados en la cocción, existen celulosas químicas kraft y al sulfito, siendo la primera la más utilizada a escala mundial. La celulosa química se caracteriza por tener un rendimiento total relativamente bajo, es decir, sólo entre un 40% y un 60% del material original (madera) queda retenido en el producto final (fibras), el resto (lignina) se disuelve en la solución alcalina para ser posteriormente quemada y generar la energía térmica y eléctrica necesaria en los procesos productivos. Estas celulosas son más resistentes, ya que las fibras quedan intactas, son más fáciles de blanquear y menos propensas a perder sus cualidades en el tiempo.

- b) **Celulosa Mecánica:** Se obtiene a partir de un proceso en el cual la madera es molida y triturada mecánicamente, siendo sometida a altas temperaturas y presiones. Posteriormente la pasta es clasificada, lavada y eventualmente blanqueada. Este proceso requiere un alto consumo de energía eléctrica. La celulosa mecánica se caracteriza por tener un alto rendimiento, normalmente entre un 85% y un 95%, pero la lignina remanente en el producto es susceptible a oxidarse, generando el color amarillo que caracteriza los diarios viejos. Los principales usos de estas celulosas son la fabricación de papel para periódicos y papeles para impresión y escritura de menor calidad.

2.8.4 DERIVADOS DE LA CELULOSA

Son varias las modificaciones derivadas de la celulosa, que se producen en grandes cantidades, las que se utilizan para la producción industrial de: fibras, películas, plásticos, explosivos, recubrimientos y espesadores. La producción de derivados comerciales más importantes de la celulosa. La producción de derivados de celulosa requiere en general una materia prima que cuente con un elevado contenido de celulosa, técnicamente denominado alfa celulosa. El contenido de alfa celulosa de una determinada materia prima se mide por la cantidad de celulosa que permanece sin disolverse en una solución de hidróxido de sodio al 18%. (Casey, 1991).

A. HEMICELULOSA

El nombre de hemicelulosa lo sugirió Schulze en 1891, para designar a los polisacáridos extraíbles de las plantas mediante álcali acuoso.

En general, las hemicelulosas son sustancias insolubles en agua, solubles en álcali, y se hidrolizan más fácilmente en ácidos que lo que ocurre con la celulosa. Estructuralmente, las hemicelulosas difieren de la celulosa en que son ramificadas y tienen un peso molecular más bajo.

Las hemicelulosas que se encuentran en el tallo o tejido de apoyo de las plantas leñosas son xilanas modificadas, galactoglucomannanas, y arabinogalactanas (McGinnis y Shafizadeh, 1991).

2.8.5 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA CELULOSA

Las propiedades físicas y químicas que se miden de la celulosa tienen que ver con variables que son relevantes para predecir su desempeño una vez que se convierta en papel. En el papel, las fibras de celulosa individuales se conforman en una red, tal como se puede ver en el borde roto de una hoja. Estas fibras se adhieren unas a otras por enlaces de hidrógeno. Estos enlaces son débiles comparados con los enlaces iónicos y los enlaces covalentes. Por tanto, los papeles son diferentes a los "Textiles", en que las fibras se mantienen juntas por el entramamiento mecánico, en que las fibras se enlazan mediante agentes que forman enlaces químicos fuertes o por fusión térmica. Ahora bien, la celulosa es un carbohidrato, que forma naturalmente un polímero (cadena de unidades químicas iguales, más de 2000 eslabones en el caso de la celulosa). En la madera, la fibra celulosa se mantiene adherida por una sustancia denominada Lignina. En el proceso de producción de celulosa química, la mayor parte de la lignina es removida de manera de hacer solubles las fibras y de evitar que al oxidarse la lignina le dé un color amarillo al papel (cosa que pasa con el papel periódico que no se hace con celulosa química sino que con pulpa mecánica). También existe la hemicelulosa que consiste en carbohidratos mucho más cortos (principalmente pentosanos).

Por tanto, según Fernández (2005) las principales propiedades que se miden de la celulosa son:

- a) Volumen Específico: Es el inverso de la densidad. En general se prefiere fibras con alto volumen específico debido a que permite hacer una hoja de igual espesor con un menor peso.
- b) Índice de Tensión: Mide la resistencia a la tracción que tiene un papel con esa celulosa.
- c) Índice de Rasgado: Mide la energía que es necesaria para rasgar un papel, tal como se hace cuando se corta una hoja con las manos.
- d) Largo de fibra: Mide el largo promedio de las fibras de celulosa (en milímetros).
- e) Drenabilidad: Mide la facilidad con que la celulosa evacua el agua que contiene. Es importante para producir papel dado cuando se forma la hoja el contenido de agua es de entre 98% y 99% en peso.
- f) Contenidos de finos: Mide la cantidad de elementos no-fibra en la celulosa.
- g) Viscosidad: Mide la fricción interna de una mezcla de agua con fibras de celulosa. Es un indicador del grado de polimerización (largo de las cadenas) de las fibras de celulosa.
- h) Contenido: Distribución en peso del contenido de la celulosa. Por tradición el contenido se clasifica en alfa-celulosa: celulosa propiamente tal; beta-celulosa: celulosa degradada (acortada) y algo de hemicelulosa; gamma-celulosa: principalmente hemicelulosa; lignina; cenizas: y compuestos de silicio; y extraíbles: que consisten en ácidos resinosos y ácidos grasos.

2.9 LA LIGNINA

La palabra lignina proviene del termino latino “*lignum*”, que significa leño. La lignina es la única fibra no polisacárido que se conoce. Es el constituyente que confiere a la madera su característica leñosa, es el responsable de la rigidez de la pared celular de los vegetales y es el encargado de darle el color característico gris a los vegetales cuando estas dejan de tener vida, forma parte de la fibra cruda de los

alimentos. La lignina protege a los elementos vasculares de la madera contra el colapso celular (Casey, 1991).

La fórmula de la lignina es $C_9H_{8.83}O_{2.37} (OCH_3)_{0.96}$ y un peso molecular de aproximadamente 8000. El contenido de lignina aumenta conforme la planta alcanza su madurez el contenido puede variar desde un 2% aproximadamente en forrajes no maduros, hasta un 15% en forrajes maduros. El tratamiento con álcali permite el desdoblamiento de la ligadura de celulosa-lignina (Mayer, 1997).

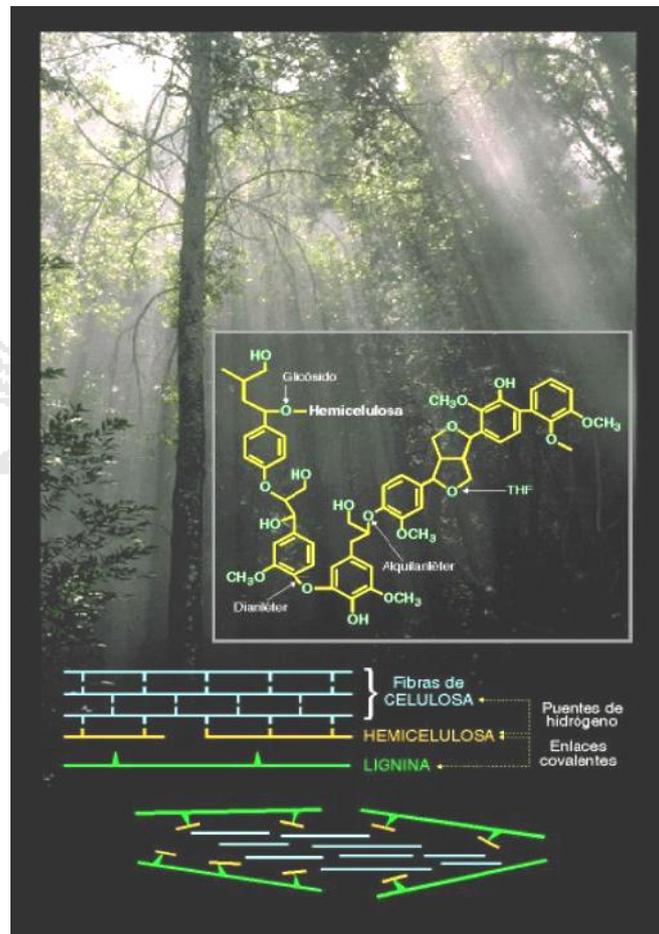
La lignina es un heteropolímero tridimensional formado por monómeros del tipo fenil propano. Los tres anillos aromáticos más frecuentes encontrados son los alcoholes coniferílico, cumarílico y sinapílico. La composición en monómeros varía con la especie y los enlaces entre estas unidades son múltiples y muy diversos (Linden, G. y Lorient, D, 1994)

La lignina es un compuesto de base aromática de color gris pardo, el resto de la madera está constituido por las sustancias extractivas (azúcar residual, ceras, grasas solubles) y algo de material silicio

La formación de lignina se observa en función de sus aspectos biológicos y bioquímicos. La lignina protege a los elementos vasculares de la madera contra el colapso celular, al reforzar mecánicamente las paredes de la célula, la lignina tiene un papel importante como agente de refuerzo mecánico aplicado a la totalidad del árbol. La lignina es un componente estructural que suministra a la madera sus propiedades únicas como las elásticas y de resistencia. La lignina está concentrada en capas tangenciales concéntricas con el eje de la célula. (Casey, 1991).

La lignina constituye un 25% de las paredes celulares de las plantas, junto con la celulosa y las hemicelulosas. Es una sustancia aromática que contiene grupos OH libres y del 15 al 20% de grupos metóxilos, a los que se debe la formación del alcohol metílico en la destilación seca de la madera. La lignina adquiere la coloración amarilla por sales de anilina, reacción que sirve para comprobar su presencia en el papel. (Glasser, 1991).

Figura 7. Estructura de la Lignina, Hemicelulosa y Celulosa



Fuente: Fernández, 2005

2.9.1 ASPECTOS QUÍMICOS DE LA FORMACION DE LA LIGNINA

La función y la aparición de la lignina son de interés para conocer los aspectos químicos fundamentales de la lignificación y se dividen en tres secciones:

- 1.- Biosíntesis de los precursores.
- 2.- Polimerización deshidrogenativa.
- 3.- Polimerización no deshidrogenativa.

Los precursores de la lignina se forman por conducto de la ruta correspondiente al ácido químico. Este ácido es formado por fusión del ácido fosfoenolpirúvico y eritrosa-4-fosfato, y pasa a convertirse en el principal escalón de la biosíntesis de los

aminoácidos L-tirosina y L-fenilalanina, que están formados por afinación reductora. La hidroxilación en etapas por hidroxilasas, y en su momento la mutilación por O-metil-transferasa, son los que transforman los ácidos cinámicos en ácidos hidroxi-cinámicos conocidos como precursores de lignina. La amplitud de la hidroxilación y la mutilación tiene un impacto importante en la estructura de la lignina. (Glasser, 1991).

2.9.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LIGNINA

Las ligninas son polímeros insolubles en ácidos y en álcalis fuertes, que no se digieren ni se absorben y tampoco son atacados por la microflora del colon.

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

2.9.3 LA LIGNINA TRANSFIERE COLOR A LA MADERA

Efectivamente la lignina es una molécula orgánica compleja que forma polímeros. Su función en los vegetales es mantener las células unidas.

Los procesos de producción de celulosa liberan las fibras individuales mediante la disolución químicas de la lignina (celulosa química) o mediante su ablandamiento por calor (pulpa mecánica).

La lignina es inestable a la luz. Cuando la lignina se expone a los rayos UV del espectro cercano (i.e. luz del día), ésta se torna amarilla. Esto se produce por la oxidación de algunos radicales fenólicos (C_6H_5O) que se convierten en un cromóforo amarillo de la quinona.

La celulosa pura es cristalina. La lignina le otorga mayor resistencia a la pulpa al formar polímeros que se entrelazan con las fibras de celulosa.

2.10 FIBRAS VEGETALES UTILIZADAS PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA

Las fibras papeleras son células fusiformes de paredes más o menos gruesas con sus extremos reducidos, prosénquimáticos, acompañadas en la pulpa por otras partes constitutivas, como células de parénquima, vasos, pelos, epidermis, células de rayos medulares, los que en algunos casos sirven para caracterizar su procedencia. (Fernández, 2005)

De hecho, se puede decir que el papel es una lámina constituida por un entramado tridimensional de fibras de celulosa y otras sustancias (cargas minerales, colas, almidón, colorantes, etc.) que permiten mejorar las propiedades del papel y hacerlo apto para el uso al que está destinado.

Las fibras de celulosa son un constituyente esencial de los tejidos vegetales, cuya función es la de dar resistencia a los mismos. La celulosa para la fabricación de papel se obtiene principalmente de madera (55%), de otras fibras vegetales denominadas no madereras (9%) y de papel recuperado (16%).

2.10.1 FIBRAS MADERERAS:

Proviene de diferentes especies de árboles y son las fibras más utilizadas por la industria papeleras.

La importancia de la madera como materia prima para la industria papeleras radica en que contiene alrededor de un 50% de celulosa.

En función del tamaño de las fibras que proporcionan las diferentes especies se puede realizar una nueva clasificación en:

- a. **Fibras cortas:** provienen de árboles de madera dura, como el eucalipto y algunas especies de frondosas (abedul, chopo, arce o haya) y su longitud está comprendida entre los 0,75 mm. y los 2 mm. de largo, conteniendo además un porcentaje más elevado de celulosa.

- b. **Fibras largas:** provienen de árboles de madera blanda, fundamentalmente coníferas como el abeto y el pino, y su longitud está comprendida entre los 3 y 5 mm., resultando la pasta de papel más resistente.

2.10.2 FIBRAS NO MADERERAS

“Provienen de diferentes especies de arbustos. En los países industrializados se utilizan para producir papeles especiales, sin embargo, en otros países son la principal materia prima para la fabricación de papel, así en China suponen el 60% de las fibras utilizadas para la producción de papel. Estas fibras presentan un gran potencial de desarrollo para sustituir a las fibras madereras” (Fernández, 2005).

Las fibras de origen agrícola constituyen una materia prima alternativa a la utilización de madera debido a su gran tasa de crecimiento y adecuación a diferentes suelos, contribuyendo además a evitar las deforestaciones incontroladas que presentan serios problemas ecológicos y a eliminar un contaminación del aire provocado por la quema de los residuos de las cosechas como es el caso de la totora. “Uno de los principales problemas que muestra este tipo de materia prima es la baja calidad del papel obtenido, debido principalmente a que representan un gran contenido en material no fibroso. Por ejemplo la paja de trigo contiene aproximadamente un 50% en fibras, siendo el resto elementos no fibrosos tales como células de parénquima de pared delgada (30%), vasos cilíndricos y anillados (5%) y aglomerados de células epidérmicas (15%). Este material no fibroso no tiene ningún carácter papelerero y además consume reactivos, dificulta la circulación de lejías durante la cocción, colma las mallas de las telas finas dificultando el desgote y puede dar problemas en la formación de la hoja” (Roncero, 2001)

Las especies más utilizadas son:

- a. Algodón: las fibras tienen una longitud superior a los 12 mm. y se utilizan en la fabricación de papeles finos de escritura.
- b. Cáñamo: las fibras tienen una longitud superior a los 5 mm. y proceden de cordeles viejos y otros desperdicios. Sirven como materia prima para la producción de papel de fumar.

- c. Lino: las fibras tienen una longitud entre 6 y 60 mm. y se usan para fabricar papel moneda.
- d. Paja de cereales: estas fibras se utilizan en la producción de envases para huevos, botes y tubos de papel.

2.11 NORMATIVIDAD

2.11.1 NORMATIVIDAD EN LA INDUSTRIA PAPELERA

- NORMAS TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry)
- NORMAS ISO (International Organization for standardization)
- NORMA TECNICA PERUANA

2.11.2 NORMATIVIDAD MEDIO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

- Para recordar: el código del medio ambiente y los recursos naturales (decreto legislativo N° 613 del 08/09/1990)
- Ley de creación del consejo nacional del ambiente CONAM (ley N° 26410 del 22/12/1994)
- Ley marco para el crecimiento de la inversión privada (decreto legislativo N° 757 del 13/11/1991)
- Ley orgánica de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (Ley N° 26821 del 26/06/1997)
- Ley de áreas naturales protegidas (Ley N° 26834, del 17/06/1997)
- Ley de creación de la reserva nacional del Titicaca (D.S. N° 185-78-AG, del 31/10/1978)
- Ley general de Aguas (Decreto ley N° 17752 del año 1969)
- NORMA LEGAL. Reconocimiento del aprovechamiento sostenible de la totora en el Lago Titicaca. DECRETO SUPREMO N° 009-2006-AG.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población fue recogida en las riberas del lago Titicaca en el sector Chimú (Puno-Perú), se tomaron los tallos en tres distintos estados de crecimiento fenológico (antes de la floración, durante la floración y post floración). El método de muestreo fue el propuesto por la RNT que consiste en tomar la muestra con un cuadrante de madera de 1m², encerrando así una población 280 tallos de totora por metro cuadrado para luego cortarlas desde una embarcación con un instrumento cortante.

El asesoramiento para la toma de muestra y la información necesaria sobre la totora se realizó en la Reserva Nacional del Titicaca (RNT).

Calculo del tamaño de la muestra de tipo probabilístico al Azar (Ávila, 2009)

Para determinar el tamaño de muestra tomamos el tamaño de la población que son 280 tallos de totora por metro cuadrado en promedio, la muestra es de tipo probabilístico al azar. La estimación muestral deberá tener un error máximo de 0.11% y un nivel de confianza del 95%. Cuya formula es la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 Npq}{E^2(N-1) + Z^2 pq}$$

Simbología:	Valores
N = Población	280
P = Probabilidad de éxito	0.5
Q = Probabilidad de fracaso	0.5
Z = Nivel de confianza	1.96
E = Error máximo	0.11
n = Tamaño de la muestra	62

3.2 MATERIALES

3.2.1 Materia Prima. Se utilizó como materia prima las fibras de totora previamente seleccionadas y clasificadas.

- 100g de tallos seco de totora antes de la floración
- 100g de tallos seco de totora durante la floración
- 100g de tallos seco de totora post floración

3.2.2 Insumos

- Almidón (1%)
- Cola sintética (1%)

3.2.3 Equipos

- Mufla MIN LR – 201/A 15
- Estufa THELCO MDL 16 – Temp. Range To 200°
- Cocina a gas marca Solgas
- Balanza analítica marca Sartorius, Cap. 0-1000g, error de pesado 0.1mg
- Espectrofotómetro UV- 1203, marca Shimadzu
- Cuenta colonias
- Molino de disco – tornillo con eje sin fin, marca Moliner, Cap. 50Kg
- Licuadora marca Oster cap. 1L
- Prensas

3.2.4 Materiales de Laboratorio

- Tubos de ensayo
- Erlenmeyers
- Pinzas
- Baguetas de vidrio
- Crisoles
- Vasos de precipitado

- Campana de desecación
- pH – metro digital marca pH-meter 28
- Moldes de madera
- Micrómetro Leybol Aleman, Cap. 0-15mm y 1-100mm
- Sensor de Fuerza
- Tabla Munsell
- Tamices marca Tyler, numero 4 y 5
- Mechero Bunsen
- Papel filtro #
- Envases de vidrio con tapa hermética
- Embudos
- Placas Petri
- Cinta métrica
- Agua destilada

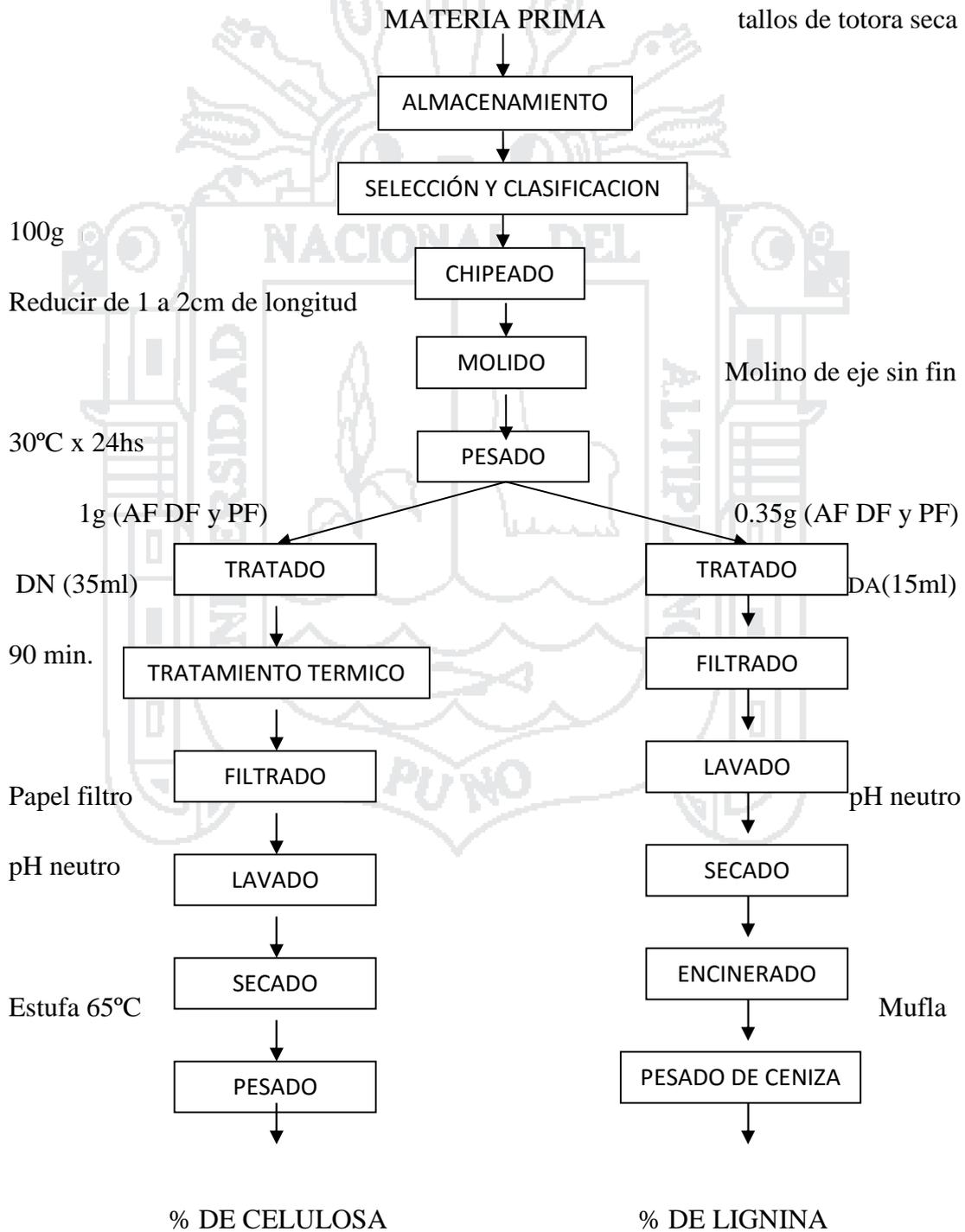
3.2.5 Reactivos

- Solución de Fibra Detergente Neutro
 - Lauril sulfato de sodio (50%)
 - Etilendiaminotetracetato disódico (10%)
 - Bromato de sodio decahidratado (15%)
 - Fosfato acido disodico anhidro (20%)
 - Etilen glicol monoetil éter (5%)
- Solución de Fibra Detergente Acido
 - Etilendiaminotetracetato disódico (10%)
 - Bromato de sodio decahidratado (10%)
 - Fosfato acido disodico anhidro (8%)
 - Ácido sulfúrico al (72%)
- Hidróxido de sodio (NaOH) al 8%
- Hipoclorito de sodio al 5%

3.3 MÉTODOS EXPERIMENTALES

Los métodos experimentales utilizados en este trabajo se muestran a continuación:

Figura 08. Flujoograma del proceso de determinación de celulosa y lignina en las fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*)

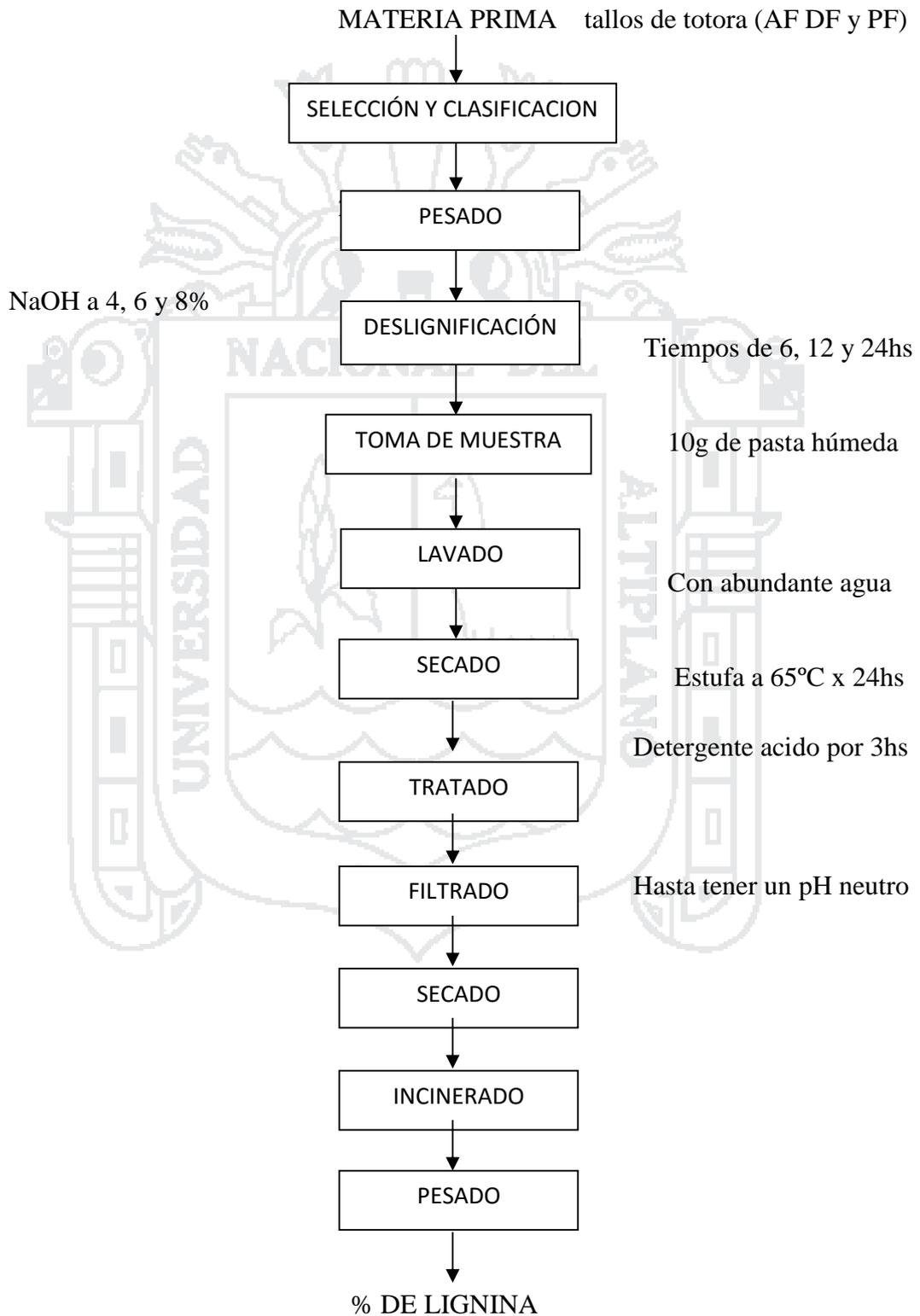


A) Descripción del Proceso de Determinación de Celulosa y Lignina (Fig. 8)

- **Materia prima.** La materia prima que se utilizó fueron los tallos de totora seca en tres diferentes estados de crecimiento fenológico (antes de la floración, durante la floración y post floración).
- **Almacenamiento.** Se almacenaron los tallos de totora en un ambiente bajo en humedad y exento de contaminación como el polvo y otras sustancias extrañas.
- **Selección y clasificación.** Se seleccionaron los tallos de totora sanos y enteros y seco, se clasificaron en tres diferentes estados de crecimiento fenológico es decir por edades (3, 6 y 12 meses aproximadamente) en una cantidad de 100g por estado y se procedió a rotular.
- **Chipeado.** Para este proceso se utilizó una tijera, con la finalidad de reducir el tamaño de los tallos de totora, haciéndose cortes de entre 1 a 2cm de largo.
- **Molido.** Para el molido se utilizó un molino de disco con eje sin fin para que la chips de totora o fibras sean aun más pequeñas en longitud.
- **Pesado.** Se realizó el pesado en una balanza de precisión, en cantidades de 1g por tratamiento (9 muestras) para el caso de determinación de la celulosa y 0.35g por tratamiento (9 muestras) para el caso de la lignina.
- **Tratado.** Para el caso de determinación de celulosa consistió en tratar con detergente neutro 35ml para 1g de fibra molida de totora, éste se mezcló en un tubo de ensayo. Para el caso de determinación de lignina consistió en tratar con detergente ácido, primero se pesó 0.35g de fibra molida de totora, se colocó en un crisol, luego se vertió 35ml de detergente ácido y se deja en reposo durante tres horas.
- **Tratamiento térmico.** Para el caso de la celulosa, consiste en la cocción de la fibras de totora ya tratada con ácido detergente y mezclada en tubos de ensayo en baño María, por un tiempo de 1 hora y media con el fin de ablandar y separar la lignina y otros componentes de la celulosa.

- **Filtrado.** En el caso de determinación de celulosa, es una operación que consiste en separar o filtrar el detergente neutro de la pasta de totora ya tratada en un erlenmeyer, embudo y papel filtro de la misma manera para el caso de determinación de la lignina.
- **Lavado.** Se procedió a lavar con bastante agua destilada utilizando una piseta lavándola por los bordes del papel filtro, mientras esta se va filtrado, hasta llegar a un pH neutro
- **Secado.** Se utilizó una estufa a temperatura controlada 60°C por 24hs con el fin de que el secado sea uniforme, este proceso se hizo para determinar la celulosa.
- **Incinerado.** Se utilizó una mufla, este proceso consistió en someter a la fibra de totora tratada con detergente ácido, lavada y secada e incinerada a una temperatura de 200°C por 24 horas con el fin de obtener ceniza. Este proceso se realizó únicamente para determinar la cantidad de lignina.
- **Pesado.** Finalmente se pesó y registro la cantidad de celulosa y lignina respectivamente en una balanza de precisión, para luego reemplazar los datos en la formulas determinadas (ver Pg. 60) para ambos casos y determinar su porcentaje.

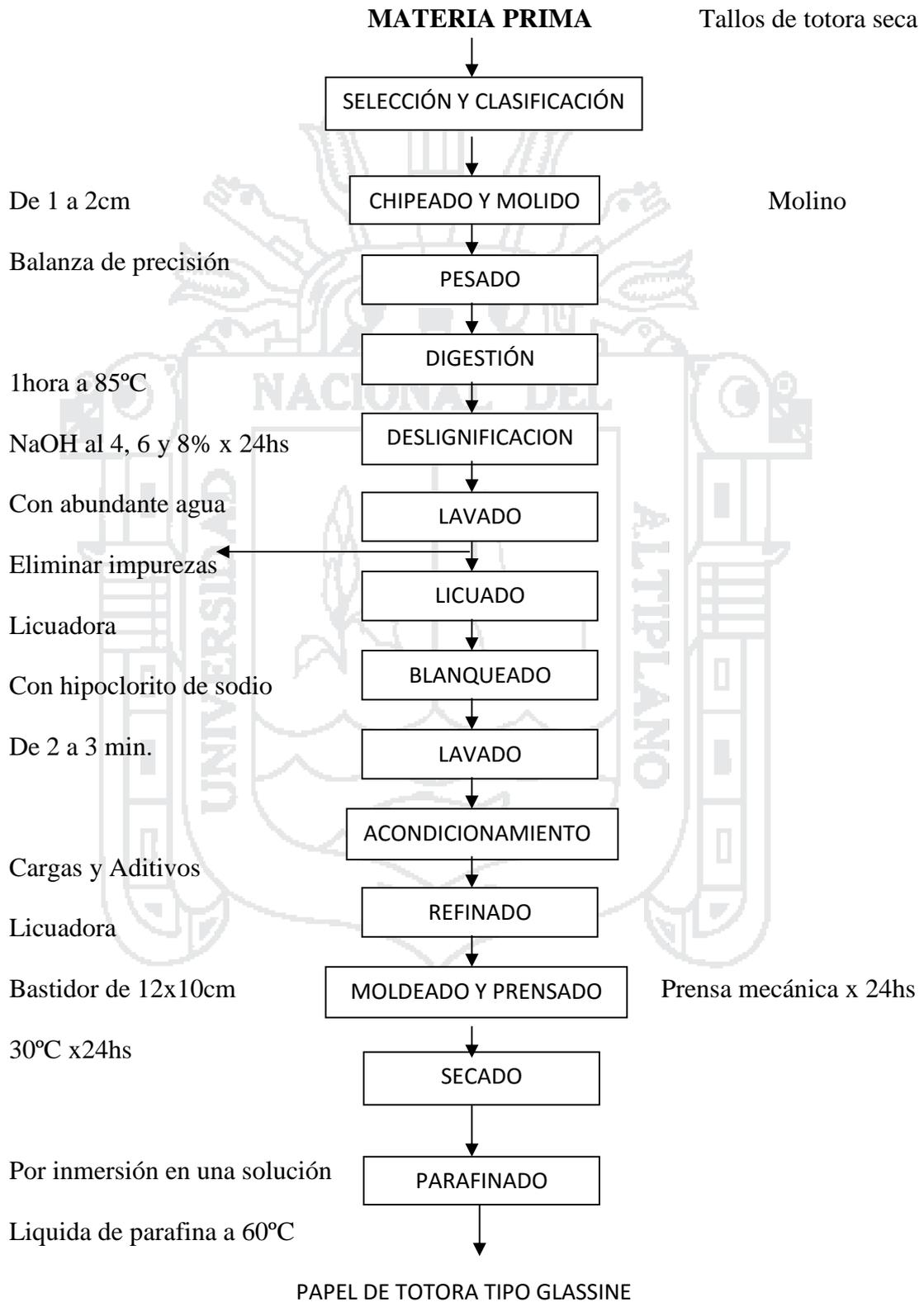
Figura 09. Flujograma del Proceso de deslignificación mediante la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y Tiempos de remojo en las fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*)



B) Descripción del proceso de deslignificación mediante el Efecto de la concentración de Hidróxido de Sodio (NaOH) y Tiempos de remojo (Fig. 9).

- **Materia prima.** La materia prima que se investigó fueron los tallos de totora en tres diferentes estados de crecimiento (antes de la floración, durante la floración, después de la floración y en estado seco).
- **Selección y clasificación.** Se seleccionaron tallos sanos y enteros y se clasificaron según su estado de crecimiento es decir por edades (AF, DF y PF).
- **pesado.** Se realizó el pesado de las fibras de totora en una cantidad de 20g para cada tratamiento, en una balanza de precisión.
- **Deslignificación.** Se realizó el tratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) al 4, 6 y 8% de pureza y controlando a la vez los tiempos de remojo (6, 12 y 24 hs).
- **Toma de muestra.** se procedió a tomar muestras en proceso de deslignificación de cada tratamiento (AF DF y PF), en sus diferentes concentraciones (4, 6 y 8 %) y en determinados tiempos de remojo (6, 12 y 24hs). Haciendo un total de 27 muestras.
- **Lavado.** Se procedió a lavar en un tamiz en chorro de agua
- **Secado.** Se realizó con la finalidad de obtener pasta seca y posteriormente pesar 1 gramo de cada muestra.
- **Tratado.** Se procedió a mezclar la muestra (pasta de totora 1g) en 15ml de Detergente ácido durante 3 horas.
- **Filtrado.** El filtrado se realizó utilizando papel filtro, embudo y un erlenmeyer para eliminar el detergente ácido residual hasta llegar a un pH neutro.
- **Secado.** Se realizó con la finalidad de quitarle la humedad para posteriormente incinerarlas.
- **Incinerado.** Se realizó con la finalidad de obtener ceniza el cual determinara la cantidad de lignina aun presente después de un previo tratamiento de deslignificación en diferentes concentraciones de hidróxido de sodio y tiempos de remojo.
- **Pesado.** Se realizó con el fin de obtener la cantidad de lignina.

Fig.10. Flujograma del proceso de obtención del papel tipo glassine a partir de fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*)



C) Descripción del proceso de obtención del papel tipo glassine a partir de fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*) (ver anexo I)

- **Materia prima.** Se utilizaron los tallos de totora extraídos de las riberas del lago Titicaca sector Chimu-Puno, en tres estados de crecimiento (AF, DF y PF)
- **Selección y clasificación.** Se seleccionaron tallos sanos y enteros y se clasificaron tallos en sus diferentes estados de crecimiento es decir por edades (AF, DF y PF).
- **Chipeado y molido.** Se realizó este proceso con el fin de reducir el tamaño de los tallos de totora en chips de 1 a 2 cm, para luego ser molidas en un molino manual.
- **Pesado.** Se pesó 20g de fibra molida de totora en una balanza de precisión.
- **Digestión.** Se realizó a fuego directo, en un recipiente hermético, (20g de fibra molida de totora en 500ml de agua) con el fin de ablandar las fibras, durante 1 hora
- **Deslignificado.** En este proceso para un litro de agua, se añaden 80g de NaOH (8%), una vez diluida se agrega los 20g de fibra de totora, para que esta pueda deslignificarse (durante 24hs). Es decir la lignina es separada de la celulosa.
- **Lavado.** Se lavó utilizando abundante agua, para reducir las impurezas y residuos de NaOH. El lavado se realiza hasta llegar a un pH neutro.
- **Licuada.** Las fibras deslignificadas se sometieron a un proceso de refinado (licuada) con el fin de poder uniformizar y mezclar las partículas de celulosa.
- **Blanqueado.** Con hipoclorito de sodio al 5% de pureza (para 1 litro de agua 10ml de hipoclorito), con la finalidad de blanquear la pulpa y nuevamente lavarla.
- **Acondicionamiento.** En este proceso se añadió aditivos (almidón y cola sintética 1%), con la finalidad de conseguir que el papel sea resistente y flexible.
- **Refinado.** Realizado en una licuadora con el fin de homogenizar la pulpa, evitar floculaciones y reducir el tamaño de las fibras de celulosa.
- **Moldeado y prensado.** Se utilizó bastidores contruidos a base de madera de 12cmx 10cm. El prensado se realizó haciendo uso de prensas mecánicas.
- **Secado.** El secado se realizó por transferencia de calor, utilizando telas poliéster para cubrir el papel húmedo y una plancha eléctrica, por un tiempo de 15 min.
- **Parafinado.** Finalmente se realizó el parafinado, que consiste introducir el papel seco, en un recipiente con parafina líquida (a una temperatura de 60°C) por 2seg. obteniéndose de esta manera el papel tipo glassine a partir de fibras de totora.

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1 Determinación de la celulosa.

Según Goering y Van Soest (1972) se basa en la aplicación de detergente neutro con la finalidad de determinar la cantidad de celulosa. El procedimiento para determinar fue la siguiente: Preparar la solución Detergente Neutro (DN), pesar 0.35g de muestra molida, medir 35ml de Solución Detergente Neutro en tubos de ensayo, diluir la muestra en la solución, hervir en baño maría por una hora y media, filtrar en papel filtro previamente pesado, lavar con agua destilada hasta tener un pH neutro, secar en estufa a 65°C por 24 horas y finalmente pesar cuidadosamente. (Anexo IV)

En este caso se determinó en las fibras de totora, para calcular el porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(C.V) - (P.C+F)}{P.M} \times 100$$

Donde: C.V = Crisol vacío

P.C = Peso del crisol

F = Fibra

P.M = Peso de la muestra

3.4.2 Determinación de la lignina.

Se realizó, como en el caso anterior, con la finalidad de determinar la cantidad de lignina presente en las fibras de totora a través del método químico de Van Soest (1972). La metodología para determinar fue la siguiente: Preparar la solución Detergente Acido (DA), pesar un 1g de muestra y colocarlo en un crisol previamente seco y pesado, adicionar 15ml de la solución (DA), mover con espátula o varilla de vidrio cada hora (durante 3 horas), filtrar en embudo de vidrio Bunsen, lavar con bastante agua destilada hasta llegar a un pH neutro, secar en estufa a 65°C por 24 horas e incinerar en una mufla, finalmente pesar la cantidad de ceniza.(ver anexo V)

En este caso se determinó la cantidad de lignina en las fibras de totora. Para calcular el porcentaje se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{(P.C+F) - (P.C+C)}{P.M} \times 100$$

Donde: P.C = Peso del crisol

F = fibra

C = Ceniza

P.M = peso de la muestra

3.4.3 Determinación del gramaje (g/m²).

El gramaje del papel obtenido se calculó con el método físico citado por Casey (1990). Para ello se tomó una muestra del papel obtenido, se procedió a calcular el área de la superficie y luego fue pesada en una balanza de precisión. Para lo cual se utilizó la siguiente formula.

$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Masa}}{\text{Área}}$$

3.4.4 Determinación del Espesor (mm).

Se realizó con la finalidad de conocer el espesor de la superficie del papel obtenido y poder compararlo con la muestra patrón. El método fue el sugerido por Casey (1990), que consiste en realizar una lectura directa del espesor del papel a través del instrumento denominado micrómetro.

Primero, se colocó el papel en posición vertical al pie del micrómetro, girando hasta que esta presione ligeramente. En seguida, se anotó los datos que mostraban las líneas del tambor micrométrico (la primera línea lectura 0,001mm, si es la segunda línea, suman 0,002mm y así sucesivamente). Cada vuelta al cilindro mostrara 0.5 mm. (ver anexo XV)

3.4.5 Determinación de la Densidad (g/m^3).

Para determinar la densidad se utilizó el método físico citado por Casey (1990), que consiste en pesar el papel en una balanza de precisión y luego calcular el volumen, que se obtiene multiplicando el espesor del papel (medido con un micrómetro) por el área de la superficie. Se reemplazó en la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

3.4.6 Determinación del índice de rotura ($\text{J}\cdot\text{m}^2/\text{g}$).

El índice de rotura se determinó también mediante el método citado por Casey (1990), primeramente se calculó el área del papel, luego el peso en una balanza de precisión y finalmente el trabajo necesario, para este último se utilizó un sensor de fuerza. Se empleó la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de rotura} = \frac{(\text{Trabajo})(\text{Área})}{\text{Masa}}$$

3.4.7 Determinación del pH

Se determinó con la finalidad de poder conocer la vida útil del papel a través de una lectura directa con el uso de un pH-metro. El método que se utilizó fue el sugerido por Casey, (1991) que consiste en tomar la muestra es decir la solución final de pulpa de fibras de totora en recipientes pequeños (vaso precipitado de 100ml), luego se efectuó la medida del pH, colocando el electrodo en el vaso dentro de la solución hasta que se estabilizó y finalmente tomar apuntes de los datos obtenidos.

3.4.8 Determinación de la lisura

Se determino con la finalidad de conocer la apariencia superficial y al grado en que su uniformidad se asemeja a la muestra patrón. El método utilizado fue el óptico y el de fricción al tacto, propuesto por Casey (1991), el óptico que consistió en observar la superficie del papel obtenido a partir de fibras de totora y friccionar con el tacto (con las yemas de los dedos).

3.4.9 Determinación de la opacidad

Se determinó por espectrofotometría, es un método analítico citado por Casey (1991) que utiliza los efectos de la interacción de las radiaciones electromagnéticas con la materia (átomos y moléculas) para medir la absorción o la transmisión de luz por las sustancias. Para determinar la opacidad por este método se controló la cantidad de luz que transmitió de un lado al otro del papel a una longitud de onda de 500nm, luego se registra los datos obtenidos y este se expresa en porcentaje.

3.4.10 Determinación del Color

Para medir el color del papel se realizó por el método psicológico estas se refieren a la impresión visual del observador, para lo cual se utilizó la tabla Munsell.

El sistema Munsell, consistió en identificar el color en función de sus tres propiedades: valor o claridad, croma o saturación y matiz. Colocando la muestra de papel por detrás de la tabla de colores, y así observar por los orificios que ésta contiene y finalmente identificar dentro que rango de colores se encuentra dicha muestra (ver anexo XIV).

3.5 METODOLOGÍA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

La metodología para la obtención del papel tipo glassine a partir de tallos de totora, constan de tres etapas:

ETAPA I. Consistió en la evaluación de la mejor época de crecimiento fenológico de la totora en la que contenga mayor porcentaje de celulosa y contenido en lignina en sus distintos tratamientos: antes de la floración (AF), durante la floración (DF) y post floración (PF).

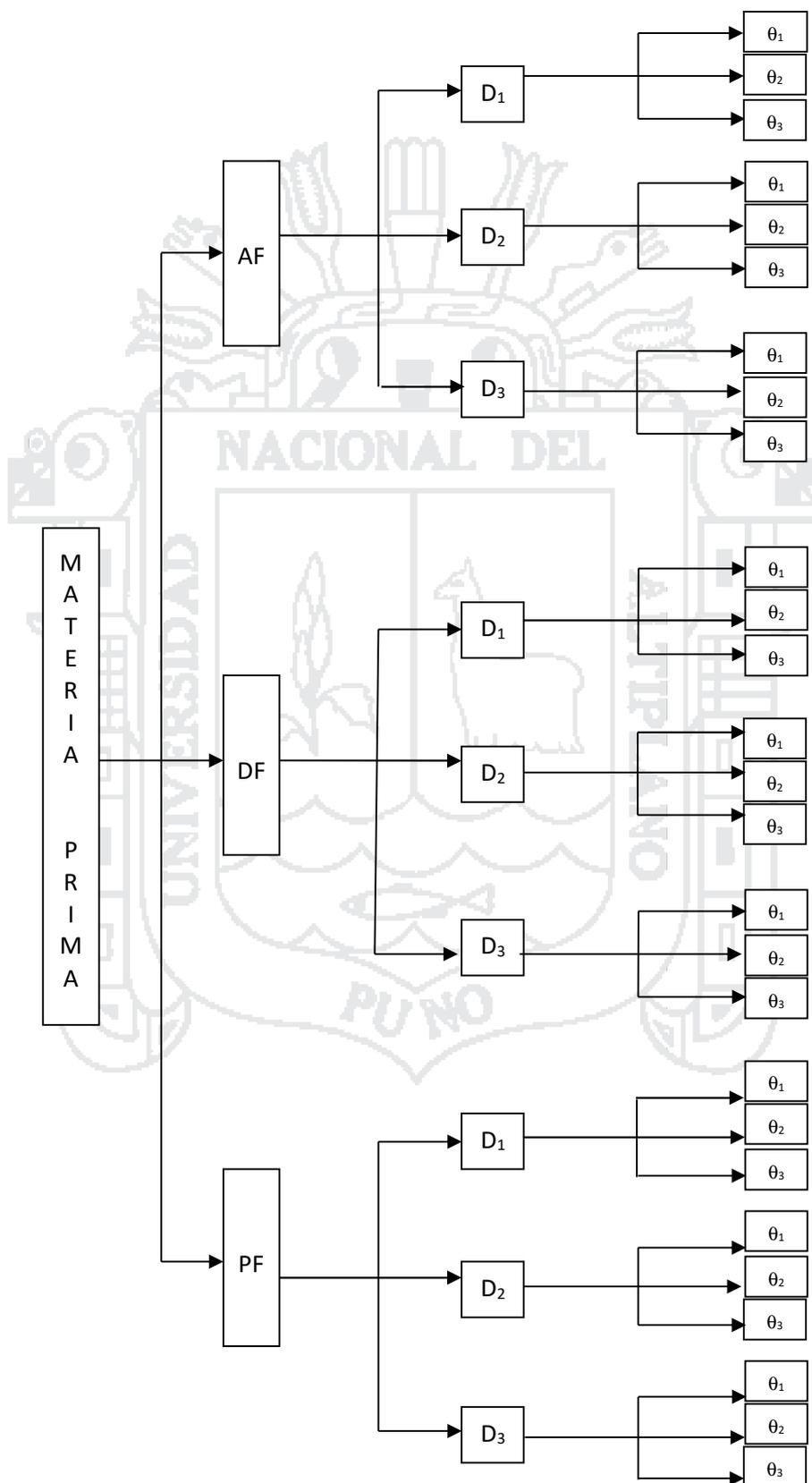
ETAPA II. Consistió en la evaluación del efecto de la concentración del disolvente (hidróxido de sodio) y de los tiempos en la deslignificación.

ETAPA III. Consistió en la obtención del papel tipo glassine (una vez obtenida la pulpa se le adicionaron cargas, fue moldeado, secado y parafinado) y finalmente se evaluó las propiedades físicas químicas y ópticas, para luego ser comparadas con el papel glassine patrón.

3.6 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo de acuerdo al diseño experimental mostrada en la figura 11, en el cual se encuentran los tratamientos antes de la floración (AF), durante la floración (DF) y post floración (PF) en el que se determinó el contenido de celulosa y lignina, luego se encuentra los tratamientos de las concentraciones del disolvente hidróxido de sodio al 4, 6 y 8 % y así como los tiempos de 6, 12 y 24 hs. en la deslignificación de las fibras de totora.

Figura 11. Diseño del experimento para la obtención de papel tipo glassine a partir de los tallos de totora (*Schoenoplectus tatora*).



LEYENDA

a) Estado de madurez

AF = Antes de la Floración

DF = Durante la Floración

PF = Post Floración

b) Disolvente

D₁ = Hidróxido de Sodio (4%)

D₂ = Hidróxido de Sodio (6%)

D₃ = Hidróxido de Sodio (8%)

c) Tiempos

θ_1 = 6 hs

θ_2 = 12 hs

θ_3 = 24 hs

3.7 VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables en estudio son las siguientes:

- Época de crecimiento fenológico de la totora en % celulosa y lignina (AF, DF y PF).
- Concentración de sosa cáustica (4, 6 y 8 %)
- Tiempo de deslignificado (6, 12 y 24hs)

3.8 VARIABLES DE RESPUESTA

Las variables de respuesta que se evaluaron son las siguientes:

- Gramaje del papel obtenido.
- Espesor del papel obtenido.
- Densidad del papel obtenido
- pH del papel obtenido.
- Índice de rotura del papel obtenido.
- Aceptación sensorial: lisura, opacidad y color

TRATAMIENTOS

a) Contenido de Celulosa y Lignina

T ₁	T ₂	T ₃
AF	DF	PF

b) Deslignificación

D ₁			D ₂			D ₃		
θ ₁	θ ₂	θ ₃	θ ₁	θ ₂	θ ₃	θ ₁	θ ₂	θ ₃

3.9 MODELO ESTADÍSTICO

Para los respectivos análisis de datos se tomaron en cuenta los objetivos del presente trabajo, utilizando los métodos estadísticos siguientes: Diseño completamente al azar (DCA), Diseño bloque completamente al azar (DBCA) y la prueba de comparación múltiple de Duncan. (Ibáñez, 2003)

- a) **Contenido de celulosa y lignina.** Para seleccionar la mejor época de la totora que contenga mayor contenido de celulosa se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), el cual se ajusta al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Porcentaje de celulosa y lignina

μ = media general

τ_i = variación entre estado de crecimiento

E_{ij} = variación entre observaciones

b) Evaluación del efecto del disolvente y tiempos de deslignificación.

Para evaluar la concentración que pueda deslignificar más eficientemente separando la celulosa de la lignina y así poder evaluar el efecto del disolvente y los tiempos. Se utilizó el siguiente arreglo factorial, que se ajusta al siguiente modelo matemático:

$$\gamma_{ij} = \mu + \beta + C + T + CT + \varepsilon$$

Donde:

γ_{ij} = Cantidad de deslignificación

μ = Media general

β = Variación entre estados de crecimiento

C = Variación entre concentraciones hidróxido de sodio

T = Variación entre tiempos de tratamiento

CT = Interacción entre concentraciones y tiempos

ε = Error experimental

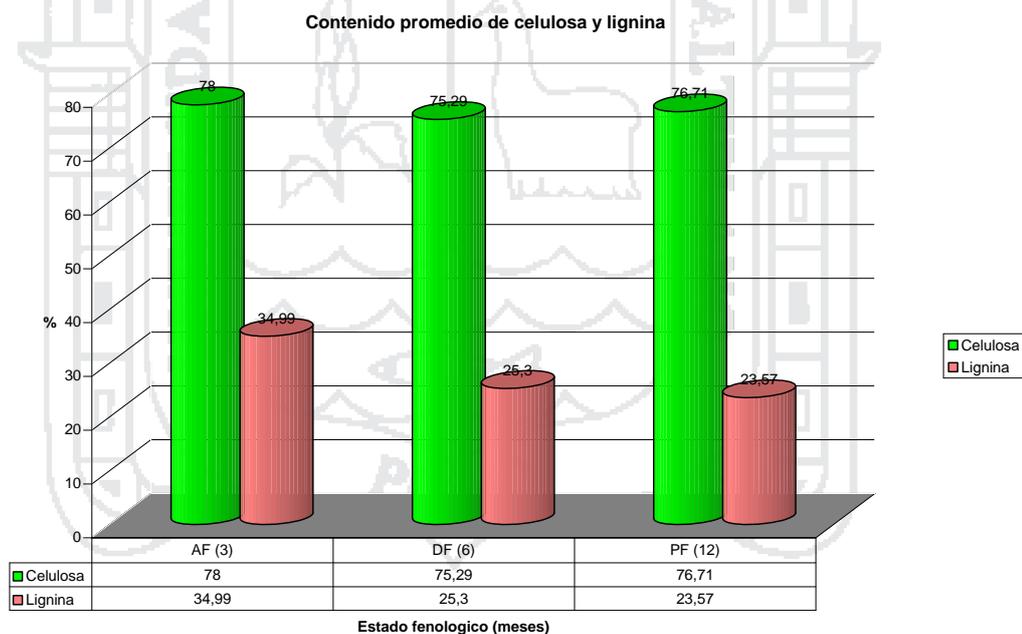
Para determinar las principales características del papel tipo glassine obtenido, se realizó una comparación aproximada de acuerdo a normas establecidas y haciendo simultáneamente comparaciones respecto a un papel glassine patrón.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 DETERMINACIÓN DE CELULOSA Y LIGNINA

Las fibras vegetales seleccionadas, es decir las fibras de totora clasificada, cortada y molida, se prepararon muestras de 2g por tratamiento, se sometió al análisis proximal con el fin de determinar los porcentajes de celulosa y lignina presentes en dicha fibra. En la figura 12 se presentan los resultados promedios de los análisis químicos realizados a la fibra de totora en tres estados de crecimiento fenológico (antes de la floración, durante la floración y post floración).

Figura 12. Contenido promedio de celulosa y lignina de las fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*)



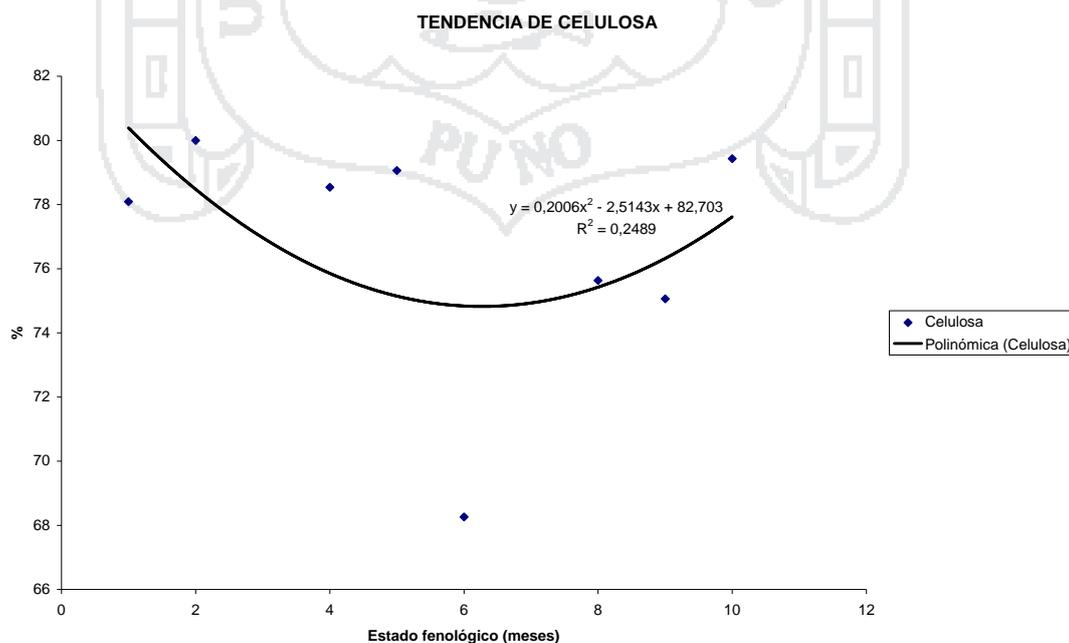
Fuente: Elaboración propia (datos extraídos del Anexo VI)

En la figura 12 se observa que el mayor promedio en contenido de celulosa, presenta antes de la floración (AF) con 78 %, esto debido a su etapa de crecimiento ya que el tallo de totora no presenta hojas, seguido de post floración (PF) con 76.71 %, y durante la floración con 75.29 % como mínimo. Y haciendo un promedio general, tendríamos un 76.66% en contenido de celulosa de las fibras de totora.

En la figura 12, se observa que el mayor contenido de celulosa y lignina con 78 y 34.99% respectivamente y se dio en la muestra antes de la floración. Este valor indica que la fibra de totora cumple con el requisito mínimo del 33% de celulosa recomendado por Casey (1990) para elaborar papel, este mismo requerimiento recomienda Austing, (1990).

Mejía (2001) reportó un contenido de 66.79% de celulosa y 27.80% de lignina en la totora (*Shoenoplectus californicus*) extraídas de las riberas del lago San Pablo del Ecuador, siendo ésta otra especie. Esto indica que la totora (*Shoenoplectus. tatora*) de las riberas del sector de Puno-Perú tiene un contenido de celulosa mucho mayor (78%), respecto al contenido de lignina se encuentra dentro de los valores obtenidos. La diferencia en contenido de celulosa probablemente sea genético (por el tamaño de las totoras de la especie *californicus* que suelen ser más pequeñas que la especie *tatora*) y por el tipo de suelo en el que se encuentran estas.

Figura 13. Línea de tendencia por regresión polinomial del contenido de celulosa en las fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*)



En la figura 13 se observa una curva de regresión cuadrática ajustada ($Y = 0,2006X^2 - 2,1514X + 82,703$), y un coeficiente de determinación bajo ($R^2 = 0,2489$), por lo que indica que el ajuste no es bueno, según Ibáñez (2009), para fines de predicción se recomienda el coeficiente de determinación ajustado al menos de 0.7 para que el modelo sea aceptable y confiable.

La curva indica también que antes de la floración tiene un alto contenido de celulosa y a medida que esta va floreciendo tiende a bajar seguramente por la reacción biológica y/o química que ocurre en la etapa del florecimiento, después la curva tiende a subir aumentando el contenido de celulosa.

De acuerdo al análisis proximal realizado y estos a su vez transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje (anexo VII), el estudio químico es corroborado con los resultados del análisis de varianza (ANVA), como se observa en el Cuadro 01.

Cuadro 01. Análisis de varianza para celulosa

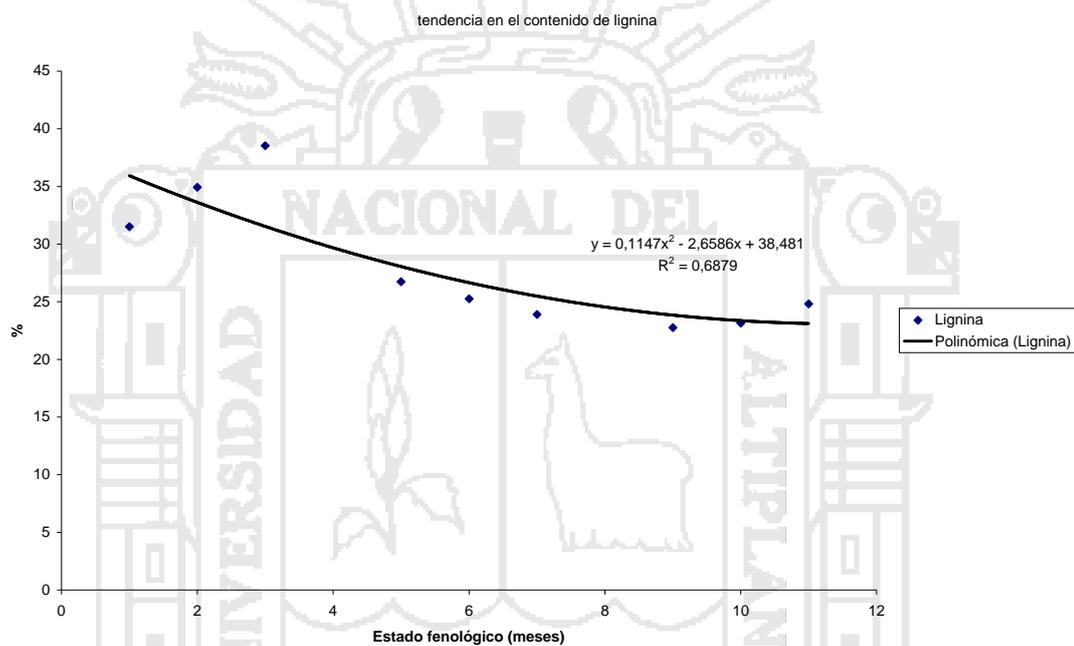
F de V	GL	SC	CM	Fc	Ft	P 0.05
Estado fenológico	2	4.58	2.29	0.34	5.14	n.s.
Error experimental	6	40.90	6.82			
total	8	45.48				

C.V. = 4.27%

En el Cuadro 02 se puede estimar que estadísticamente los estados de crecimiento fenológico de la totora no presentó diferencia significativa, respecto al contenido de celulosa, esto no implica que en el caso de su aprovechamiento para darle un valor agregado como es el caso de la elaboración de papel tipo glassine, se pueda cosechar como materia prima, en cualquier estado de crecimiento fenológico, sino que hay otros factores como por ejemplo la altura y volumen máximo que llega en la madurez fisiológica que se deben tener en cuenta antes de cosecharlas para este fin, que

afectan directamente o indirectamente, por ejemplo si se cosecha antes de la floración se gana tiempo, pero se pierde el rendimiento, la productividad. Es decir se tienen que tomar en cuenta muchos factores internos y externos, antes de su uso en la industria papelera.

Figura 14. Línea de tendencia por regresión polinomial del contenido de lignina en las fibras de totora (*Schoenoplectus tatora*)



En la figura 14 se observa una curva de regresión polinomial ajustada, en donde indica que antes de la floración tiene un alto contenido de lignina ya que a esta etapa el tallo de la totora es rígida, signo de mayor presencia de lignina y a medida que esta va creciendo y floreciendo tiende a bajar seguramente por la reacción biológica y/o física (aumenta en volumen), y la curva tiende a seguir bajando después de la floración, esto debido al envejecimiento de la planta y por lo tanto el debilitamiento de su estructura, disminuyendo el contenido de lignina.

Según Glasser (1991), indica que de no ser por la lignina no sería necesario aplicar reactivos fuertes alcalinos o ácidos para la deslignificación química de la madera a fin de obtener pulpa y productos de papel. La deslignificación es la meta más importante en la producción de pulpa o pasta de celulosa.

De acuerdo al análisis proximal con los datos transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje (anexo IX), el estudio químico es corroborado con los resultados del análisis de varianza (ANVA), como se observa en el Cuadro 02.

Cuadro 02. Análisis de varianza para Lignina

F de V	GL	SC	CM	Fc	Ft	P 0.05
Estado fenológico	2	87.68	43.84	24.49	5.14	*
Error experimental	6	10.75	1.79			
total	8	98.43				

C.V. = 4.19 %

En el Cuadro 02 se puede valorar que estadísticamente los estados de crecimiento fenológico presentan diferencias significativas (P 0.05) respecto al contenido de lignina.

Cuadro 03. Prueba de Duncan para Lignina

Estado fenológico	Promedio (%)	P 0.05
AF	36.23	a
DF	30.39	b
PF	29.04	b

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 03 se observa la prueba de Duncan al 0.05 % de nivel de significancia, en el cual existe un predominio en el contenido de lignina en el estado de crecimiento Antes de la Floración con 36.23%, seguido de durante la floración con 30.39% y post floración con 29.04%

Según Austing (1990), el contenido de lignina no debe ser mayor al 15%; entonces se puede mencionar que la fibra de totora tiene que ser necesariamente deslignificada.

4.2 EFECTO DEL HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) Y TIEMPO EN LA DESLIGNIFICACIÓN, SOBRE EL CONTENIDO DE LIGNINA

En el anexo XI se muestra gráficamente la tendencia lineal de la concentración de hidróxido de sodio en la deslignificación.

Los resultados de la determinación del análisis proximal del efecto de la concentración de hidróxido de sodio (NaOH) y los tiempos de remojo en la deslignificación, sobre el contenido de lignina en las fibras de totora, con datos transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje (Anexo IX) se presentan en el análisis de varianza (ANVA).

Cuadro 04. Análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración de hidróxido de sodio y tiempos en la deslignificación

F de V	GL	SC	CM	Fc	Ft	Significancia 0.05 %
Bloque	2	212.3458	106.1729	27.45	3.63	**
A	2	23.6041	11.8020	3.05	3.63	n.s
B	2	38.5035	19.2517	4.97	3.63	*
AxB	4	15.2970	3.8243	0.98	3.01	n.s
Error	16	61.8741	3.8671			
Total	26	351.6245				

C.V. = 0.26 %

En el Cuadro 04, el análisis de varianza (ANVA) indica que no hay diferencia significativa para la concentración de hidróxido de sodio (factor A), en cambio si hay diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al tiempo (factor B), sin embargo la interacción no presento diferencia alguna, esto implica que los dos factores son independientes.

Cuadro 05. Prueba de Duncan para tiempos de remojo

Estado fenológico	Promedio (%)	P 0.05
AF	31.35	a
PF	25.81	b
DF	25.07	b

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro 06 se observa la prueba de Duncan al 0.05 % de nivel de significancia, que existe un predominio en el contenido de lignina en el estado de crecimiento Antes de la Floración con 31.35%, seguido de post floración con 25.81% y durante la floración con 25.07%

Según Austing (1991) el papel debe tener menos del 15% de lignina en su estructura con el fin de poder conferirle una flexibilidad y resistencia que caracteriza al papel.

4.3 RESULTADO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PAPEL TIPO GLASSINE OBTENIDO CON FIBRAS DE TOTORA

Cuadro 06. Resultados obtenidos de las pruebas Físicas Químicas y Ópticas

PRINCIPALES CARACTERISTICAS	Papel tipo glassine obtenido a partir de fibra de totora	Muestra patrón Papel glassine
A. Gramaje (g/m ²)	55.31	50.14
B. Espesor (mm)	0.0028	0.0015
C. Densidad (g/cm ³)	19.75	33.43
D. Índice de Rotura (J.m ² /g)	0.11	0.28
E. pH	7.85	7.00
F. Lisura	80%	100%
G. Opacidad	10%	11.8%
H. Color (Sistema Munsell, 10YR 8/1)	Blanco gris transparente	Blanco claro transparente

Fuente: Elaboración Propia, 2010 (ver imágenes del papel en anexo II)

- A. El peso del papel tipo glassine obtenido fue de 55.31g/m^2 y el gramaje de la muestra patrón es de 50.14 g/m^2 la diferencia es mínima y se encuentra dentro de los parámetros (ver tabla 01).

Según Casey (1991) el contenido de humedad afecta al peso base del papel, depende de la humedad relativa del aire con el que está en contacto. Debido a que el gramaje o el peso base se expresa siempre como el peso total del papel incluyendo la humedad, debe determinarse el peso en condiciones estándar si se requiere que sea reproducible, la práctica comercial permite una variación del ± 5 por ciento del peso especificado. Según algunos estudios realizados la condición estándar utilizada en Estados Unidos es de una humedad relativa del 50 por ciento, con temperatura de 23°C . En este trabajo de investigación no se controló estos parámetros sin embargo la humedad relativa en el lugar que se experimentó (Puno-Perú) es de aproximadamente 50% y a una temperatura de 15 a 20°C .

El procedimiento que se utilizó a cerca de la medición del gramaje se describe con todo detalle en el método estándar ISO 536.

- B. En el cuadro 05 se observa que el espesor obtenido del papel tipo glassine es casi el doble, comparado con el espesor de la muestra patrón. Casey, (1991) indica que la mayoría de los micrómetros utilizados en Estados Unidos aplica una presión de 0.5 atmósferas ($50\text{ kPa} \cdot \text{pulg}^2$). Debido a que el papel es comprimible esta diferencia en presión manifiesta una pequeña diferencia en calibre. La magnitud de la presión del pie, la velocidad y el tiempo de aplicación afectan los resultados finales de las mediciones del calibre y la mayoría de los micrómetros no cumplen las condiciones correspondientes a estos parámetros; probablemente el espesor obtenido (0.0028mm) tenga un pequeño margen de error.

El procedimiento que se utilizó se describe con todo detalle en el método estándar TAPPI T411. Así como en la norma ISO 534.

- C. Según Casey, (1991) a la densidad de la hoja final le afectan muchos factores como: la cantidad de unión de fibras, la presencia de materiales que llenan los

huecos de la hoja y el calandrado. El efecto de las diferentes pulpas en la densidad de la hoja tiene relación con la finura y la flexibilidad de la fibra. En general, las pulpas al sulfato producen hojas con una densidad superior a la de las pulpas al sulfito. Las pulpas a la sosa producen hojas de muy baja densidad.

En este trabajo se utilizaron las pulpas a la sosa (NaOH), es por ello que probablemente la densidad que se obtuvo fue baja 19.75g/cm^3 en comparación con los resultados de la muestra patrón 33.43 g/cm^3 (ver Cuadro 05). Este, a su vez, está relacionado al espesor y gramaje obtenidos.

Según Indecopi, (2003) en las especificaciones técnicas para el papel Kraft (Tabla 03) la densidad normal es de 56g/m^3 . Este papel tiene un gramaje y espesor mayor que el papel glassine.

- D.** La resistencia a la rotura del papel tipo glassine obtenido fue $0.11\text{ J.m}^2/\text{g}$ y la resistencia de la muestra patrón fue $0.28\text{ J.m}^2/\text{g}$, es decir resistió el doble de lo obtenido con fibras de totora, esto se debe a la fuerza de cohesión de las fibras en el momento de prensado y la cantidad y calidad de aditivos que contiene la muestra patrón, resultando de esta manera más resistente.

La cantidad y la calidad de unión de las fibras, indica Casey, (1991) es el factor más importante entre los que afectan a la resistencia a la tensión. La energía requerida para romper un número de uniones de fibras se utiliza como medida la resistencia de la hoja y el coeficiente de dispersión del papel como medida del grado de ruptura de la unión.

Casey, (1991) indica que la resistencia a la rotura o ruptura se mide con un instrumento de sensor de fuerza que mide la cantidad de trabajo realizado para romper el papel a una distancia fija, aplicando una fuerza de tensión en este caso 6.14Nm , en un área de 99cm^2 y con un peso de 0.5476g . La muestra de papel se sujetó entre dos mordazas en dirección de la rotura.

- E.** En el Cuadro 05 se indica el valor del pH obtenido 7.85 y el valor de la muestra patrón 7.00, que quiere decir según algunos autores que tiene un potencial de larga vida útil, ya que se encuentra dentro de los parámetros.

Según Pérez, (2001) el pH define el grado de acidez, alcalinidad o neutralidad química de un material. Los papeles de pH bajo (por debajo de 7) que son ácidos, se autodestruyen. Los papeles de pH 7 o neutrales, tienen mejores oportunidades de vida. Los papeles alcalinos (de pH 7 a 8.5 aprox.) tienen el mayor potencial de larga vida.

Según Casey, (1991) la falta de permanencia en el papel puede manifestarse por la decoloración del mismo, pérdida de su resistencia o cambios en sus propiedades químicas. Al evaluar la permanencia debe prestarse atención a los cambios en la celulosa (cambios químicos) y a los cambios en el papel (propiedades físicas)

- F.** La lisura obtenida fue ligeramente lisa ya que el papel ha sido parafinado. Este proceso le dio una textura mas lisa, rellenando las superficies imperfectas o poros del papel.

Según Casey (1991) la lisura es una propiedad que influye tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel. Desde el punto de vista de la impresión del papel se refiere a la perfección de la superficie de un papel y al grado en que su uniformidad se asemeja a la superficie de un vidrio plano. En la industria del papel con frecuencia se denomina acabado o satinado a la calidad de la superficie del papel o lisura.

- G.** En el cuadro 05 se reporta que la opacidad del papel obtenido fue del 15.25%, esto indica que tiene una transparencia del 84.75%, casi cercana a la muestra patrón papel Glassine. La opacidad depende mucho del color, espesor y gramaje del papel.

Según Casey, (1991) la opacidad se determina mediante el total de luz transmitida. La transparencia tiene relación con la opacidad, pero difiere en el sentido de que se determina por la cantidad de luz que se transmite sin

dispersión. Cuando la luz se transmite difusamente y es dispersada, el objeto es translúcido. Casi todos los papeles son translúcidos; es decir, permiten el paso de luz, pero dicha luz está dispersa. La parte de luz que se refleja especularmente determina el brillo y la parte de luz que refleja difusamente determina el color y la blancura. La parte de luz que se transmite determina la opacidad y la transparencia. Un cuerpo perfectamente negro absorberá toda la luz y la reflectancia difusa será igual a cero. Un cuerpo perfectamente blanco no absorberá la luz, y la reflectancia difusa será del 100 por ciento.

- H.** El Cuadro 05 indica que el color obtenido según el sistema Munsell es blanco. El color del papel puede medirse por métodos psicológicos, físicos o psicofísicos. Las propiedades psicológicas se refieren a la impresión visual del observador. Las propiedades físicas se miden con instrumentos ópticos, por ejemplo, el espectrofotómetro registrador. Las propiedades psicofísicas se miden físicamente, pero se interpretan psicológicamente usando valores. (Casey, 1991).

Según Casey, (1991) el sistema Munsell, utiliza esta circunstancia para expresar el color en función de sus tres propiedades: valor o claridad (8), croma o saturación (1) y matiz (10YR) (Casey, 1991).

Según Casey, (1991) el color es algo que “vemos”. El color es invisible en ausencia de luz. Para “ver” se requiere la luz. Cuando la luz entra en una hoja de papel es dispersada por refracción y reflexión interna. Una parte de luz es absorbida, otra parte es transmitida y el resto se refleja difusamente. La porción que es absorbida determina el color del papel. Un cuerpo perfectamente negro absorberá toda la luz y la reflectancia difusa será igual a cero. Un cuerpo perfectamente blanco no absorberá la luz y la reflectancia difusa será del 100 por ciento. Sin embargo, en la práctica cualquier papel que refleje más del 50 por ciento de la luz a todas las longitudes de onda, es considerado blanco por parte de la mayoría de las personas.

Casey, (1991) indica que la medida del color al ojo de un observador adiestrado, puede distinguir variaciones reducidas en tono, difíciles de medir con los mejores instrumentos ópticos.

Pérez (2001) indica que las distintas propiedades de un papel son interdependientes, es decir, están relacionados entre sí, por lo que no pueden modificarse sin afectar el comportamiento de los demás.



CONCLUSIONES

- El mayor contenido en promedio de celulosa y lignina presentó: Antes de la floración, con un valor de 78% y 34.99% respectivamente, superando el requisito mínimo del 33% de celulosa para elaborar papel.
- La mejor concentración del disolvente de Hidróxido de Sodio (NaOH) para separar la celulosa de la lignina en las fibras de la totora (*Schoenoplectus tatora*) y poder obtener papel tipo glassine fue al 8 % y en un tiempo de 24hs. Para la concentración de hidróxido de sodio no hubo diferencia significativa, en cambio para el factor tiempo si tuvo diferencia significativa, es decir a mayor tiempo mayor deslignificación. La interacción entre concentración y tiempo no presento diferencia alguna, esto implica que los dos factores son independientes.
- Las principales propiedades físicas, químicas y ópticas del papel tipo glassine, obtenido a partir de fibras de totora fueron: Gramaje 55.31g/m², Espesor 0.0028mm, Densidad 19.75g/cm³, Índice de rasgamiento 0.11 J.m²/g, pH 7.85, Lisura 80%, Opacidad 10%, Color blanco gris transparente según comparación con la muestra patrón se aproxima en un noventa porciento.

RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones acerca de la obtención de papel o cartón a partir de totora desechable, en estado de pudrición, ya que ésta no tiene utilidad.
- Realizar investigaciones en relación a la obtención de la pulpa para el papel haciendo uso de la biotecnología para la deslignificación.
- Realizar investigación respecto a la deslignificación con los hongos *basidiomycetes* llamados de pudrición blanca, ya que son los únicos capaces de degradar la lignina en forma eficiente.
- Diseñar un equipo de secado de papel a nivel de laboratorio ya que se tuvo mayores dificultades en el proceso de secado.
- Realizar estudios respecto a los residuos de deslignificación, ya que se encuentra diluida en gran parte la lignina y éste podría ser muy bien aprovechado como, por ejemplo, en la obtención de alcohol u otros derivados.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. ALCAZAR, Jorge. 2002. Diccionario Técnico de Industrias Alimentarias. Impresiones Cibercopy. Cusco – Perú. pg.112,383
2. ALESSANDRI, J. 2004. Producción del papel. Ed. Empresas CMPC. Chile. Pg. 60-80
3. APAZA, Percy. 2003. La Totora en el Contexto Altiplánico. GTZ Cooperación Alemana al Desarrollo.
4. ARANIBAR, David.2008.Fuego afecta la Biodiversidad de la zona protegida.[queman 1,400 hectáreas de totora del Titicaca]. Puno-Perú. Diario Peru.21 (AÑO VII – N° 2220).Pag.18
5. ARIVILCA, M. 2003. Soportabilidad del Recurso Totora (*schoenoplectus tatora*) para la alimentación animal y sus efectos de sus cortes en la Reserva Nacional del Titicaca. Informe final. RNT Puno - Perú.
6. AVILA, Lucio. 2009. metodología de investigación. Ed. UNA-PUNO-Perú. Pg. 57
7. CASEY, James. P. 1990. Pulpa y Papel, Química y tecnología química. Volumen 1.Ed. Limusa. México. Pg. 50- 200
8. CASEY, James. P. 1991. Pulpa y Papel, Química y tecnología química. Volumen 2.Ed. Limusa. México. Pg. 197- 380
9. CASEY, James. P. 1991. Pulpa y Papel, Química y tecnología química. Volumen 3.Ed. Limusa. México. Pg. 321- 484
10. ESPINOZA, Elí. FONSECA, José. y SOTO, Deysi. 2003. Control de calidad de envases y embalajes de alimentos. 1ra edición Tacna – Perú. Pg.37
11. FERNÁNDEZ, Lizandro. 2003. Industria de la Pulpa Papel y Cartones. Ed. UNA-PUNO. Perú. Pg. 10-60
12. FERNANDEZ, Lizandro. 2005. “Elaboración de cartones a partir de brozas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y paja de Cebada (*Hordeum vulgare* L.)” Tesis. Ed. UNA-PUNO. Perú.
13. FLORES, R. Y OCOLA, J. 2007. Contaminación y Gestión Ambiental de la Bahía Interior de Puno – Lago Titicaca: Realidad Crítica y Aportes. Edición. UNA – PUNO. Perú. Pg. 19,67,83-108,231

14. GLASSER, W. 1991. Lignina en: Pulpa y Papel, Química y Tecnología, Volumen I, Tercera Edición. Editorial JohnWiley.México.pp:71- 496.
15. GOERING, H.K. y VAN SOEST, P.J. 1972. Análisis de fibra de forrajes. Ed. Lima-Perú. Pg. 13-18
16. GUTIERREZ, Edwin. 2008. Fuego y Quema de Totorales en la Reserva Nacional del Titicaca. Puno-Perú. Pg.5-7
17. IBAÑEZ, Vladimiro. 2009. Análisis y Diseño De Experimentos. Ed. UNA-PUNO. Perú. Pg. 103.
18. INDECOPI. 2003. Norma Técnica Peruana. Itintec 271.002. Papeles y Cartones
19. LAURA, 1998. Microbiología de los alimentos. Segunda edición. Ed Acribia, S.A. Zaragoza España. Pg 10-65
20. LESCANO, A. 2001.Conservacion, uso y manejo de la totora.pg. 293-304, en Aguirre,c., c. Miranda y Y. Verhasselt (Eds.). Contribución al Conocimiento del sistema del lago Titicaca. RNT Puno-Perú.
21. LINDEN, G. Y LORIENT, D. 1994. Bioquímica Agroindustrial Revalorización Alimentaria de la Producción Agrícola. Primera Edición. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España. Pg. 316
22. MALAGA, V. Y POMA, O. 1995. “Obtención de Pulpa para papel de seis variedades forestales no maderables”. Tesis. UNA-PUNO. Perú.
23. MUNSELL, 1954. Determination of Soil Color Charts. Ed.baltimore 18, Maryland. U.S.A.
24. PEREZ, Matías. 2001. Tipos de papel utilizados para un envase. España
25. MAY, Alberto. 2009. Aplicaciones Usos y Manejo del Cloro. Ed. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Orizaba-Veracruz. Pg. 17
26. MAYER, L. 1997. Industria Química Orgánica. Segunda parte. Ed. Roberte. S.A. México. Pg. 16-35.
27. MEJÍA, E. 2000. Producción de pulpa y papel artesanal de totora. Investigador Asociado al Centro Nacional de Fibras Naturales PUCE-I. Ecuador.

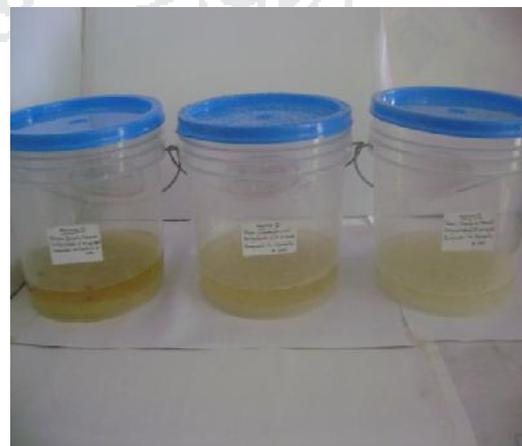
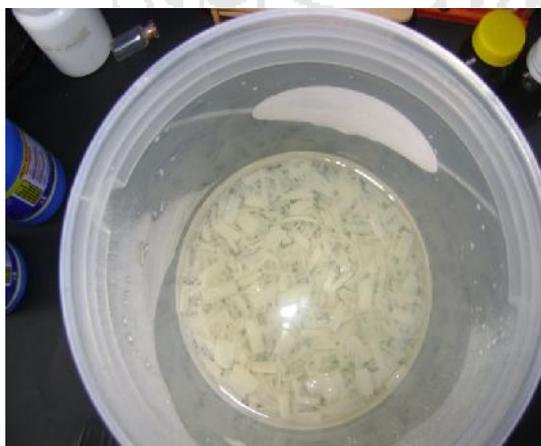
28. MCGINNIS, G., SHAFIZADEH, F., 1991. Celulosa y Hemicelulosa. En: Pulpa y papel. Química y Tecnología Química. 3era edición. Editorial John Wiley. México. pp:29- 34.
29. NORMA LEGAL. 2006. Reconocen derechos de posesión, uso y usufructo, ancestrales y tradicionales de pueblos originarios vinculados al aprovechamiento sostenible de la totora, los llachos y recursos naturales en los sectores Puno, Ramis y Lago Titicaca. DECRETO SUPREMO N° 009-2006-AG.
30. QUISPE, Guido. 2005. "Evaluación de las propiedades del papel Kraft obtenido a partir del tallo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*). Tesis. FCA. Ingeniería Agroindustrial UNA- PUNO. Perú. Pg.2,8,9,30-32
31. REYES, J. Y SAEZ, C. 2004. La Totora: Un recurso de uso múltiple de los humedales alto andinos. RNT. Puno-Perú. Pg. 103-118.
32. ROCHA, R. Y ROTH, O. 1994. El Libro del Papel. Ed. MELBOOKS. Sao Paulo-Brasil. 5-6
33. RONCERO, Blanca. 2001. "Obtención de una Secuencia 'TCF' con la Aplicación de Ozono y Enzimas, para el blanqueo de pastas madereras y de origen agrícola. Optimización de la etapa Z. análisis de los efectos en la fibra celulósica y sus componentes". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de ingeniería textil y papelera Terrassa- España. 15-30
34. SIMBAÑA, Andrés. 2001. "Usos y Aprovechamiento Actual de la totora (*Schoenoplectus californicus*) en Imbabura". Pontificia Universidad Católica del Ecuador. sede Ibarra.
35. tomado de la empresa Guangliang, 2008. disponible en (<http://www.siliconeliner.es/1-glassine-paper-2.html>) revisado el 20.12.09
36. Bekk y Gurley, 2000. tomados de "Properties of Paper: An Introduction". William E. Scott. TAPPI Press. Disponible en (<http://www.uilmac.com.mx/laboratorio/lisura.html>) revisado el 05.01.10



ANEXO I

Fotografías del proceso de elaboración del papel tipo glassine







ANEXO II

Fotografía: comparación de la muestra patrón y la muestra obtenida



Foto1: muestra patrón papel glassine comercial

Foto2: muestra del papel tipo glassine obtenido con fibras de totora

ANEXO III

Biometría de los tallos de totora

Características	Antes de la floración	Durante la floración	Post floración
Edad (meses)*	3	6	12
Peso (g/tallo)*	3.97	9.32	11.88
Diámetro (cm)*	0.5	1	1.2
Altura (m)*	1.6	2	2
Estructura	Triangular	Triangular	Semicircular
Color	Verde Claro	Verde amarillento	Amarillo café

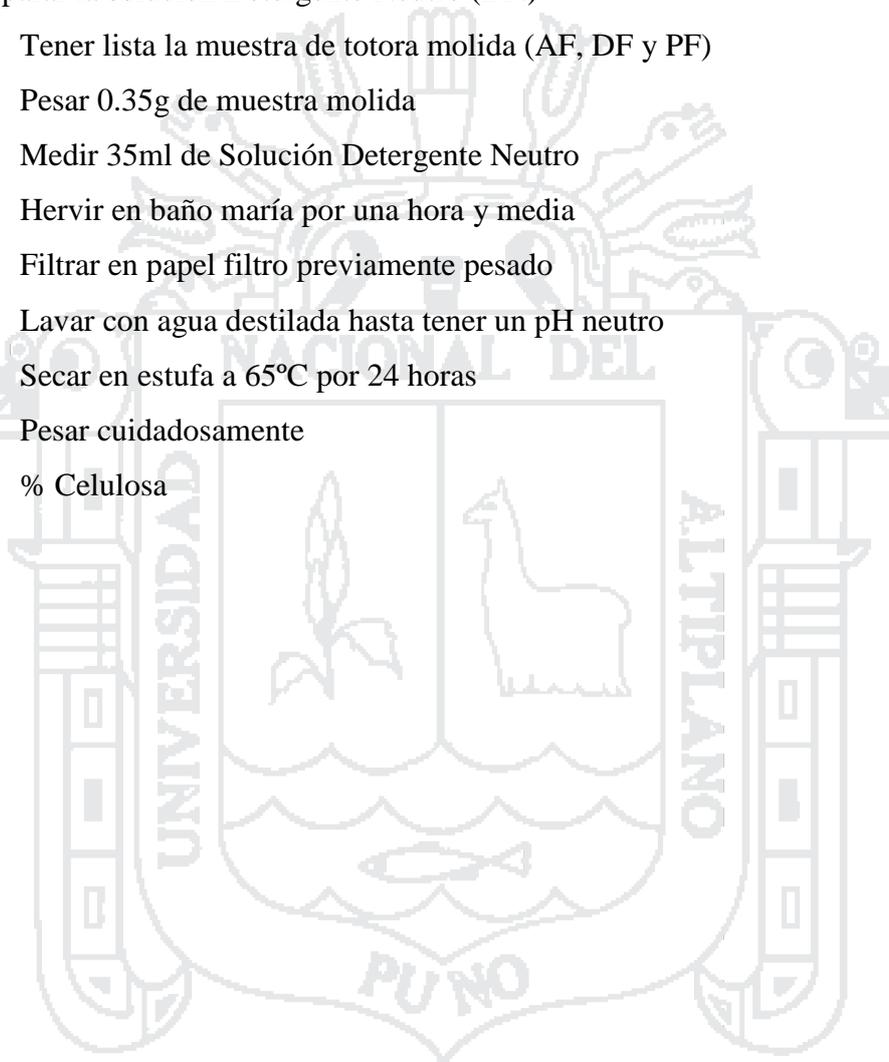
Fuente: Elaboración propia (* Tallos de totora en estado seco – promedio)

ANEXO IV

PROCEDIMIENTO: Para determinar % de Celulosa

1º Preparar la solución Detergente Neutro (DN)

- Tener lista la muestra de totora molida (AF, DF y PF)
- Pesar 0.35g de muestra molida
- Medir 35ml de Solución Detergente Neutro
- Hervir en baño maría por una hora y media
- Filtrar en papel filtro previamente pesado
- Lavar con agua destilada hasta tener un pH neutro
- Secar en estufa a 65°C por 24 horas
- Pesar cuidadosamente
- % Celulosa



Fotografías del proceso de determinación de celulosa

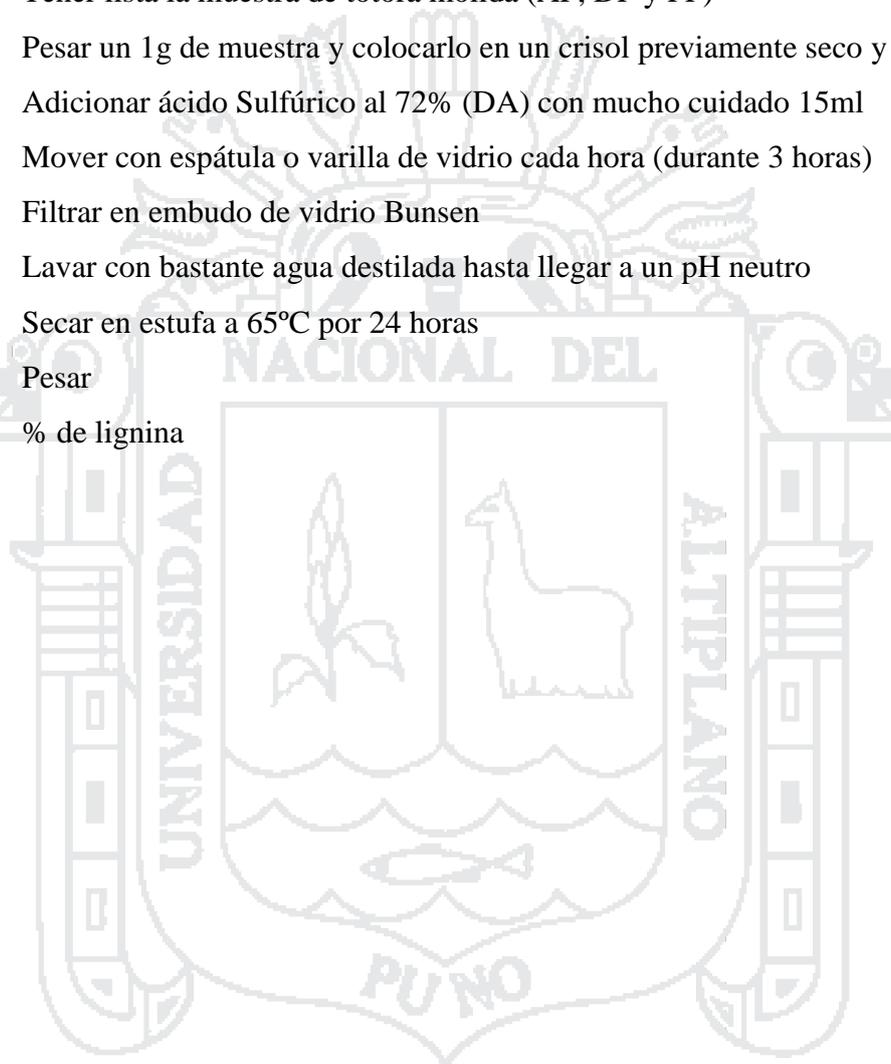


Anexo V

PROCEDIMIENTO: Para determinar % de Lignina

1º Preparar la solución Detergente Acido (DA)

- Tener lista la muestra de totora molida (AF, DF y PF)
- Pesar un 1g de muestra y colocarlo en un crisol previamente seco y pesado
- Adicionar ácido Sulfúrico al 72% (DA) con mucho cuidado 15ml
- Mover con espátula o varilla de vidrio cada hora (durante 3 horas)
- Filtrar en embudo de vidrio Bunsen
- Lavar con bastante agua destilada hasta llegar a un pH neutro
- Secar en estufa a 65°C por 24 horas
- Pesar
- % de lignina



Fotografías del proceso de determinación de lignina



ANEXO VI

Resultados del análisis de celulosa y lignina

N° de Análisis	Muestras	(%) Celulosa	(%) Lignina
01	Antes de floración (R1)	75.91	31.51
	Antes de floración (R2)	78.09	34.94
	Antes de floración (R3)	80.00	38.54
	Promedio	78.00	34.99
02	Durante la floración (R1)	78.54	26.74
	Durante la floración (R2)	79.06	25.26
	Durante la floración (R3)	68.26	23.90
	Promedio	75.29	25.30
03	Post floración (R1)	75.63	22.76
	Post floración (R2)	75.06	23.14
	Post floración (R3)	79.43	24.82
	Promedio	76.71	23.57

Fuente: Laboratorio de Análisis Nutricional de la F.C.A – UNA – PUNO. 2010

ANEXO VII

Datos transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje de celulosa y lignina (anexo V) obtenidos en el análisis proximal.

N° de análisis	muestra	Celulosa	Lignina
01	Antes de floración R1	60.60	34.14
	Antes de floración R2	62.10	36.21
	Antes de floración R3	63.44	38.35
02	Durante la floración R1	62.37	31.11
	Durante la floración R2	62.80	30.20
	Durante la floración R3	55.73	29.87
03	Post floración R1	60.40	28.52
	Post floración R2	60.07	28.73
	Post floración R3	63.08	29.87

ANEXO VIII

Resultado del Análisis de lignina para evaluar el efecto de las concentraciones del hidróxido de sodio (NaOH) y tiempos de remojo en la deslignificación

Nº	Muestra	[] De Disolv. NaOH	Obsv.	Tiempos (h)	% Lignina
01	T. Antes de floración	4%	1	6	32,39
02	T. Antes de floración	4%	2	12	28,95
03	T. Antes de floración	4%	3	24	29,93
04	T. Antes de floración	6%	1	6	28,90
05	T. Antes de floración	6%	2	12	28,44
06	T. Antes de floración	6%	3	24	24,10
07	T. Antes de floración	8%	1	6	31,35
08	T. Antes de floración	8%	2	12	24,02
09	T. Antes de floración	8%	3	24	16,87
10	T. Durante floración	4%	1	6	18,06
11	T. Durante floración	4%	2	12	17,48
12	T. Durante floración	4%	3	24	17,11
13	T. Durante floración	6%	1	6	17,78
14	T. Durante floración	6%	2	12	15,36
15	T. Durante floración	6%	3	24	15,05
16	T. Durante floración	8%	1	6	22,87
17	T. Durante floración	8%	2	12	20,25
18	T. Durante floración	8%	3	24	17,82
19	T. Post floración	4%	1	6	22,48
20	T. Post floración	4%	2	12	21,91
21	T. Post floración	4%	3	24	21,37
22	T. Post floración	6%	1	6	19,93
23	T. Post floración	6%	2	12	19,42
24	T. Post floración	6%	3	24	17,10
25	T. Post floración	8%	1	6	18,14
26	T. Post floración	8%	2	12	16,09
27	T. Post floración	8%	3	24	14,79

Fuente: Laboratorio de Análisis Nutricional de la F.C.A – UNA – PUNO. 2010

ANEXO IX

**Datos transformados al arco seno raíz cuadrada del porcentaje de lignina
(anexo VII) obtenidos en el análisis proximal.**

Obs.	Concentración de hidróxido de sodio	Tiempo de remojo	Estado fenológico		
			Antes de la Floración(AF)	Durante la Floración(DF)	Post Floración(PF)
1	4%	6	34.70	25.18	28.32
2	4%	12	32.52	24.73	27.90
3	4%	24	33.15	24.43	27.56
1	6%	6	32.52	24.95	26.49
2	6%	12	32.20	23.11	26.13
3	6%	24	29.40	22.87	24.43
1	8%	6	34.08	28.59	25.18
2	8%	12	29.33	26.78	23.66
3	8%	24	24.27	24.95	22.63

ANEXO X

Resultados microbiológicos del papel tipo glassine obtenido a partir de fibras de totora y papel glassine patrón

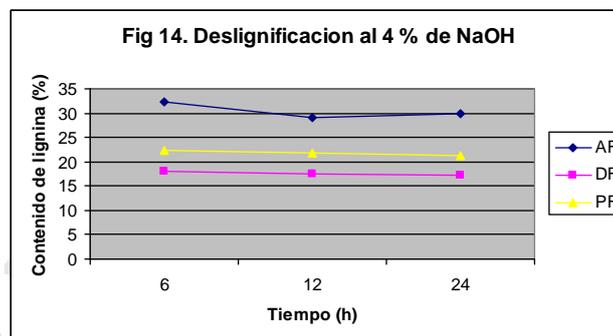
Análisis microbiológico	Papel tipo Glassine obtenido con fibra de totora	Papel glassine patrón para envolturas de chocolate, tofes
Mesófilos Aerobios viables	10,4 x10 ² ufc/g	15,5 x10 ² ufc/g
Recuento de mohos y levaduras	40ufc/g	108ufc/g
Recuento de <i>Staphilococcus aureus</i>	02ufc/g	27ufc/g
E. Coli	03coliformes totales/g	11x10 ² coliformes totales/g

Fuente: Laboratorio de Microbiología- F.C.A - UNA – PUNO, 2010.

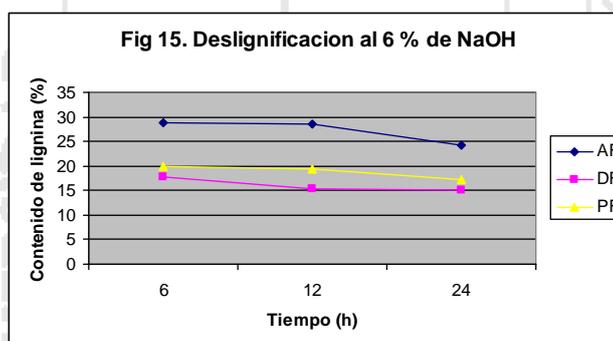
Los resultados mostrados indican que el papel obtenido se encuentra dentro de los límites permisibles. En el caso del recuento en placa de *Staphilococcus aureus* se encontró 02ufc/g mucho menos que lo encontrado en el papel patrón, se puede mencionar que se debe a un buen manejo y un mínimo manipuleo del papel al momento de la toma muestras. Podemos decir lo contrario respecto a la muestra patrón ya que ésta fue adquirida en el mercado, no sabiendo muy bien su procedencia y tiempo desde que se elaboró y a los medios que estuvo expuesta. Por tal razón se encontró 27ufc/g del recuento en placa de *Staphilococcus aureus*. Esto se muestra claramente, por ejemplo, en la presencia de E.Coli en la muestra patrón que fue 11 x10²coliformes/g este valor es altísimo comparado con el papel tipo glassine obtenido que fue 03coliformes/g, lo cual indica claramente que el papel patrón fue contaminado.

ANEXO XI

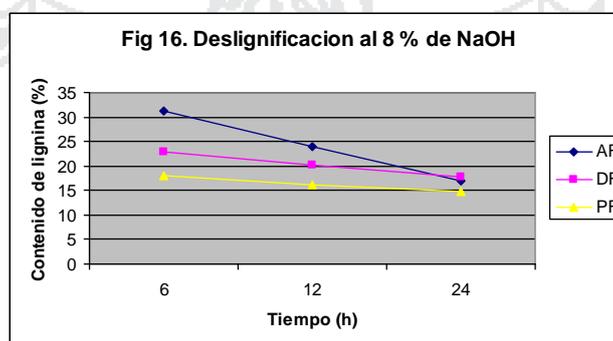
Efecto de la concentración de hidróxido de sodio en la deslignificación



En la figura anterior se observa que en una concentración del 4 % de hidróxido de sodio (NaOH), no hay diferencia significativa, es decir la deslignificación es baja.



La figura anterior presenta que en una concentración del 6 % de hidróxido de sodio (NaOH), se mantienen casi constantes hasta las 12 horas, a las 24 se reduce ligeramente el contenido de lignina.



La figura anterior presenta que en una concentración del 8 % de hidróxido de sodio (NaOH), se obtiene el mayor grado de deslignificación, hasta 14.79 % en contenido de lignina en el estado post floración.

ANEXO XII

Resultado del rendimiento de las fibras de totora en papel final (sin parafinado)

Insumos	Cantidad	Rend.= peso del papel / peso de la fibra
Peso de la muestra seca totora molida	10g	44.2%
Peso de la pasta en húmedo*	50.4g	
Almidón (1%)*	1g	
Cola sintética (1%)*	1g	
Hidróxido de sodio	20g	
Agua	500ml	
Total peso de pasta final	52.4g	
Peso del papel obtenido	4.42g	

Fuente: Elaboración Propia, 2010. (*se suman estos valores para obtener el peso de la pasta final)

El cuadro anterior indica claramente que el rendimiento es del 44.2% en papel, este resultado probablemente sea debido a que gran parte del contenido de lignina se diluyó en la disolución de hidróxido de sodio y que algunas unidades de celulosa, hemicelulosas, entre otros componentes, hayan sido degradadas por el hidróxido de sodio, que es un álcali muy fuerte.

Simbaña, (2001) reportó que el rendimiento de pulpa para papel con el método de la sosa fue del 26.10% (Tabla 08), este resultado obtenido es mucho menor al que se obtuvo 44.20%, quizás sea por la concentración alta (mayor del 8%) de sosa que aplicaron para deslignificar la pulpa.

ANEXO XIII

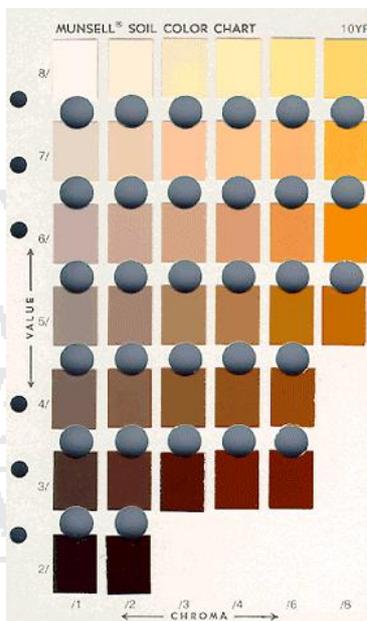
Estimación del costo de producción

Costo de producción estimado para 100g de papel tipo glassine obtenido con tallos de totora				
Insumos	p/u	Cantidad	Unidad de medida	Costo de prod. (S/.)
Costos variables				1.626
Tallo de totora		120	g	0.12
Sosa caustica al 8%		80	g	0.80
Almidón		1	g	0.003
goma sintética		1	g	0.003
Costos fijos				0.906
Depreciación de moldes		0.01	soles	0.20
Depreciación de equipos				0.50
Total				1.626

Fuente: Elaboración Propi

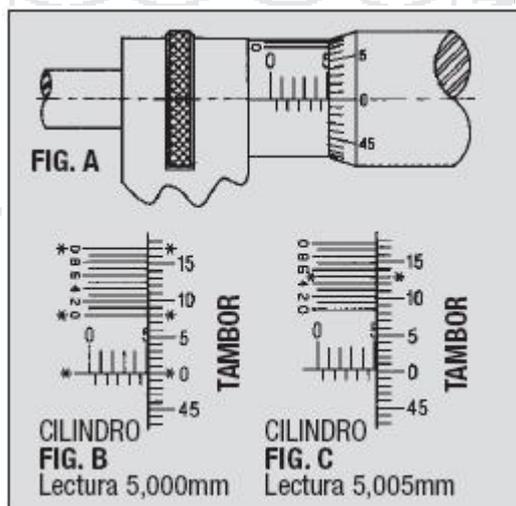
ANEXO XIV

Tabla Munsell



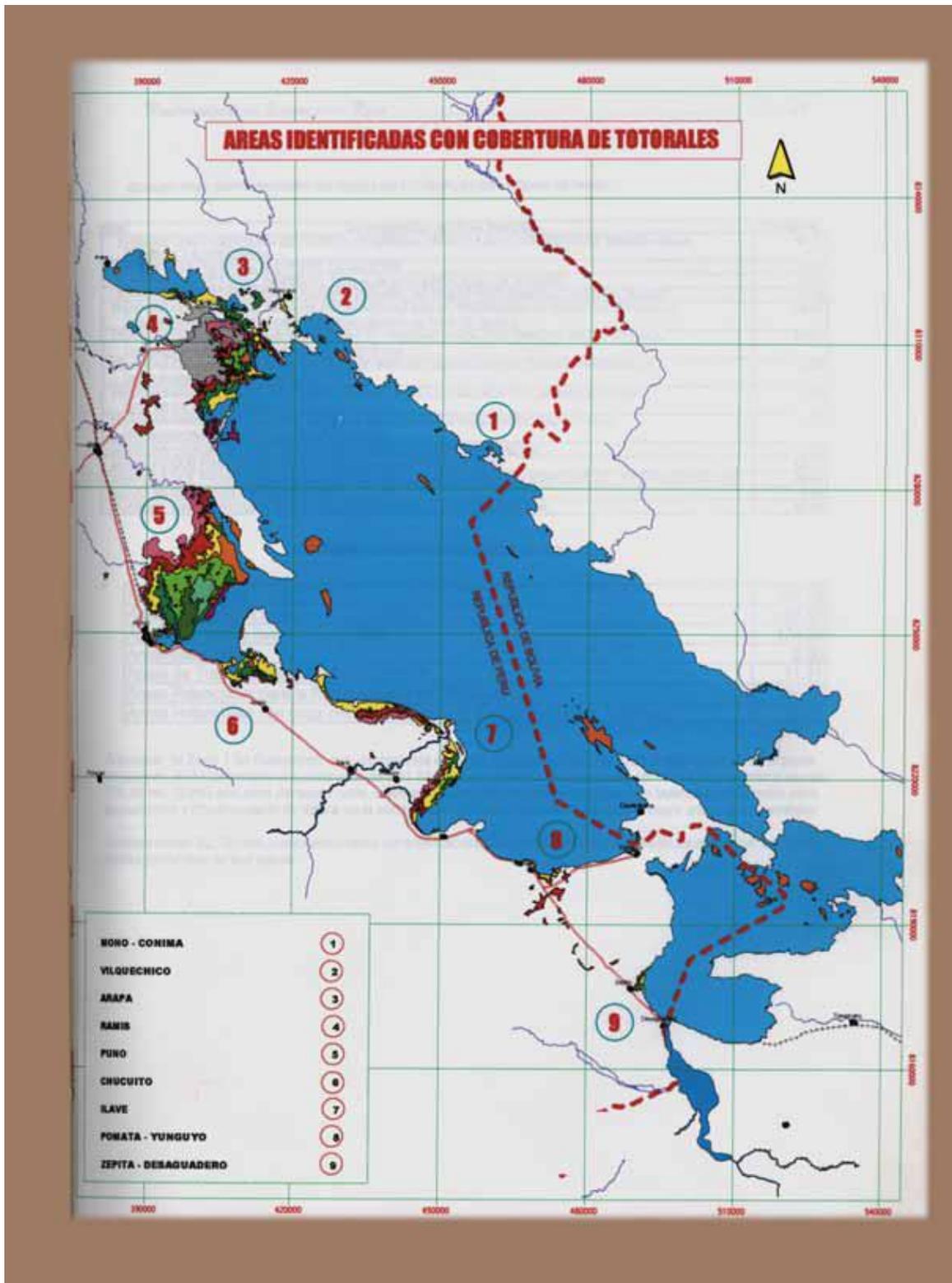
ANEXO XV

Imagen de la lectura de un micrómetro



ANEXO XVI

Mapa de ubicación de los totorales en el Lago Titicaca sector peruano



Anexo XVII

Imágenes sobre la quema de totorales en el lago Titicaca





ANEXO XVIII

Dinámica del crecimiento de los totorales

Biometría de la totora de acuerdo al lugar de ubicación en el Lago Titicaca

Provincia	Producción Kg/m²	Productividad TM/Ha./año	Densidad Tallos m²	Altura de Tallos m.
Chucuito	9.6	96	284	1.53
Yunguyo	8.0	80	264	3.18
El Collao	10.6	106	385	1.85
Puno	11.25	112.50	345	2.37
Huancané	8.50	85	388	1.97
Azangaro	8.00	80.00	250	2.80
PROMEDIO	10.22	102.27	336	2.08

Fuente: Evaluación de la totora en el Perú- Proyecto Conservación de la Biodiversidad – ALT.

Anexo XIX

Composición de la pared celular

