



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPEL  
A PARTIR DE UNA FIBRA DE RICINUS COMMUNIS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**P R E S E N T A:**

**HUERTA MORENO ROBERTO CARLOS  
SÀNCHEZ MARMOLEJO VERÒNICA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
Q. CELESTINO ESCALONA SILVA  
CIUDAD DE MÉXICO, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Índice:

	No Pagina
Capítulo1	1
1.0 Generalidades.	2
1.1 Propiedades la higuera.	2
1.2 Elaboración de papel.	4
1.3 Diversos métodos de obtención de papel.	7
1.3.1 Pulpas mecánicas.	8
1.3.2 Pulpas semiquímicas.	13
1.3.3 Pulpas químicas.	17
1.3.4 Propiedades importantes del papel	24
Capítulo 2	26
2.0 Procesos de mayor importancia comercial en la fabricación de papel.	27
2.1 Proceso Kraft para obtener pulpa a partir de madera	27
2.2 Procesos no maderables para la obtener pulpa para papel.	31
2.2.1 Pulpa de Paja	31
2.2.2 Pulpa de Trapo	33
2.2.3 Pulpa de Bagazo de caña.	37
2.2.4 Pulpa de Sosa en frio.	41
Capítulo 3	42
3.0 Etapa Experimental	43
3.1. Material y Reactivos	43
3.2. Equipos	43
3.3. Metodología experimental	44
Capítulo 4	57
4.0 Resultados obtenidos en la evaluación de algunas propiedades de las hojas elaboradas a partir de la fibra Ricinus Communis.	58
4.1 Características más relevantes de las hojas.	58
4.2 Determinación de la humedad	58
4.3 Determinación de Espesor	60
4.4 Determinación de brillo	61
4.5 Propiedad química Determinación de pH	61
4.6 Determinación de color	63
4.7 Diferencia de gramaje por unidad (comparación)	64
4.8 Entrelazado de fibra	65
4.9 Comparativo en incidencia de luz ultravioleta.	66
4.10 Ascensión capilar	66
• Conclusiones.	69
• Bibliografía.	71

## Capítulo 1

### RESUMEN

Se consideran especies no maderables todos los productos que constituyen la parte no leñosa de la vegetación en un ecosistema en el que puede haber aprovechamiento forestal. En esta zona de vegetación no maderable nosotros encontramos la posibilidad de ayudar a la industria papelera con la alternativa de utilizar una fibra no maderable (higuerilla) para ayudar al abasto de este importante material que se utiliza día a día en todo el mundo.

De tal manera el siguiente trabajo, cuyo propósito principal se concentra en presentar una alternativa para la fabricación de papel a partir de una fibra vegetal no maderable, compuesta de fibras celulósicas de (higuerilla) la cual nos permite formar hojas de papel por el alto contenido de fibra de esta planta.

En este trabajo de Tesis experimental lo desglosamos en 4 etapas muy importantes por la cual tendremos un capítulo por cada etapa de esta investigación las cuales son.

1. Investigación del método más adecuado para obtener papel.

Esta etapa implica la investigación de las propiedades y contenidos de la **Ricinus Communis** para la toma de decisión de que esta planta es adecuada y viable como alternativa para la obtención del papel. Tal como la investigación de la fabricación de papel en la cual revisaremos todos los métodos de elaboración de papel más importantes, pero enfocándonos en los procesos de papel a partir de una fibra no maderable.

2. Obtención de pulpa celulósica y fabricación de papel

Esta etapa está dividida en 3 secciones que van desde la obtención de pulpa, la preparación de la pasta y la elaboración de papel. Ya que el desarrollo de

la metodología del proceso semiquímico que utilizamos es del de pulpa sosa en frío. En donde se somete a una fuente vegetal a un proceso mecánico y posteriormente a la digestión de la fibra con un licor de cocción constituido por sosa caustica llevándose a cabo en un digestor.

Para la preparación de la pasta el mezclado y batido con los aditivos y cargas que se ponen para mejorar la calidad de papel. Mientras que la elaboración de papel tenemos las etapas de formación, drenadas, prensadas y secadas todo en referencia a las hojas de papel.

3. Evaluación de algunas propiedades del papel fabricado.

Esta etapa se realizó mediante el empleo de técnicas de evaluación que se sustentan por la investigación bibliográfica, normas. De tal manera que los métodos utilizados para la determinación de propiedades físicas, químicas y mecánicas, nos permitieron determinar algunas propiedades de la pulpa obtenida, conociendo de esta manera ciertas características de dicho papel.

4. Beneficios de esta alternativa.

Esta etapa nos ayuda a saber que la alternativa que se plantea en este trabajo es viable y sustentable ya que este papel posee características adecuadas, que a pesar de no ser del mismo grado que un papel comercial, permiten crear criterios de selección de uso final, los cuales contemplan su utilización como papel artesanal, papel absorbente o en caso de una mezcla de esta pasta, con otra pasta celulósica de mejor calidad proveniente de papel reciclado para tener un buen papel para la industria de imprenta de periódicos, industria papelera de escritura o dibujo.

**Alcance:**

Este trabajo está enfocado como una alternativa para la producción de papel a partir de una fibra natural (higuerilla). Es parte de la maleza y crece a las orillas de los canales en casi todo el territorio Mexicano adaptandose a varios climas, y se le toma en cuenta por el alto contenido en fibra.

**Objetivos:**

- Considerar una alternativa para la elaboración de papel a partir de fibras no maderables, como es fibra de Ricinus Común.
- Desarrollar un método para la elaboración de papel a partir de (higuerilla).
- Obtener pulpa de papel a partir de la fibra natural y elaborar papel a nivel laboratorio a partir de higuerilla.
- Realizar la medición de algunas propiedades al papel elaborado con fibra de (higuerilla) como: gramaje, humedad, pH, brillo, ascensión capilar, determinación de color.

## **Introducción:**

El papel se le puede definir como una conjunto de fibras de celulosa (hidrato de carbono, específicamente un polisacárido compuesto por glucosa, producido en los vegetales por medio de la fotosíntesis) que conforman mediante su disposición, un tramado, cuya espesor y tamaño será concedido por la *forma*, en el caso de la producción artesanal, o por la maquina continua, en el caso de la producción industrial, constituyendo de esta manera laminas planas de múltiples características y calidades dependiendo de la función a la cual serán designadas, sobresaliendo la del material de escritorio sobre las demás. Sus métodos de elaboración durante el transcurso de la historia han ido variando, sin embargo, su materia prima principal, la celulosa, no se ha podido sustituir aun.

Este trabajo tiene como finalidad encontrar una alternativa para la elaboración de papel a partir de una fibra no maderable, como sabemos la tala de árboles está en incremento y uno de los factores que contribuyen a esto es que la demanda de papel sigue en aumento.

Debido a la demanda de papel es imperativo encontrar alternativas costeables para la obtención de celulosa a partir de otras fibras, por lo cual se considera que este proyecto es viable, porque a partir de esta planta de maleza, es una buena alternativa para la producción de papel debido a su alto contenido de celulosa, siendo una fibra resistente, fácil de reproducir, adaptándose a varios climas y llegando a su madurez en poco tiempo.

Cabe señalar que la materia prima se encuentra en varios canales del Estado de México la cual es una planta de desecho y por ello existen grandes cantidades.

Los factores para su crecimiento son poca agua y mucha luz solar, el tiempo de crecimiento es corto comparado con los árboles por lo que nos da una materia prima de muy bajo costo dando mayor rentabilidad al método de obtención de pulpa propuesto.

# CAPITULO 1

## 1.0 Generalidades.

### 1.1. Propiedades de la higuerrilla.

#### La Higuerrilla (*Ricinus comunis*).

El cultivo prospera desde el nivel del mar hasta los 2.500 m de altura, pero conforme aumenta la altitud, decrece el contenido de aceite.

La higuerrilla requiere una época seca definida después de la floración y su requerimiento de agua durante la etapa de crecimiento es de 600 a 800 mm. Prospera bien en suelos de mediana o alta fertilidad, profundos, sueltos, permeables, aireados bien drenados, con altas cantidades de nutrientes y con un pH sobre 5.5 (óptimo 6-7), aunque no soporta la alcalinidad. En **México** el potencial productivo de la Higuerrilla es alto, ya que se pueden utilizar tierras ociosas que por falta de agua o tierra semiárida no son utilizadas para producir productos alimenticios.

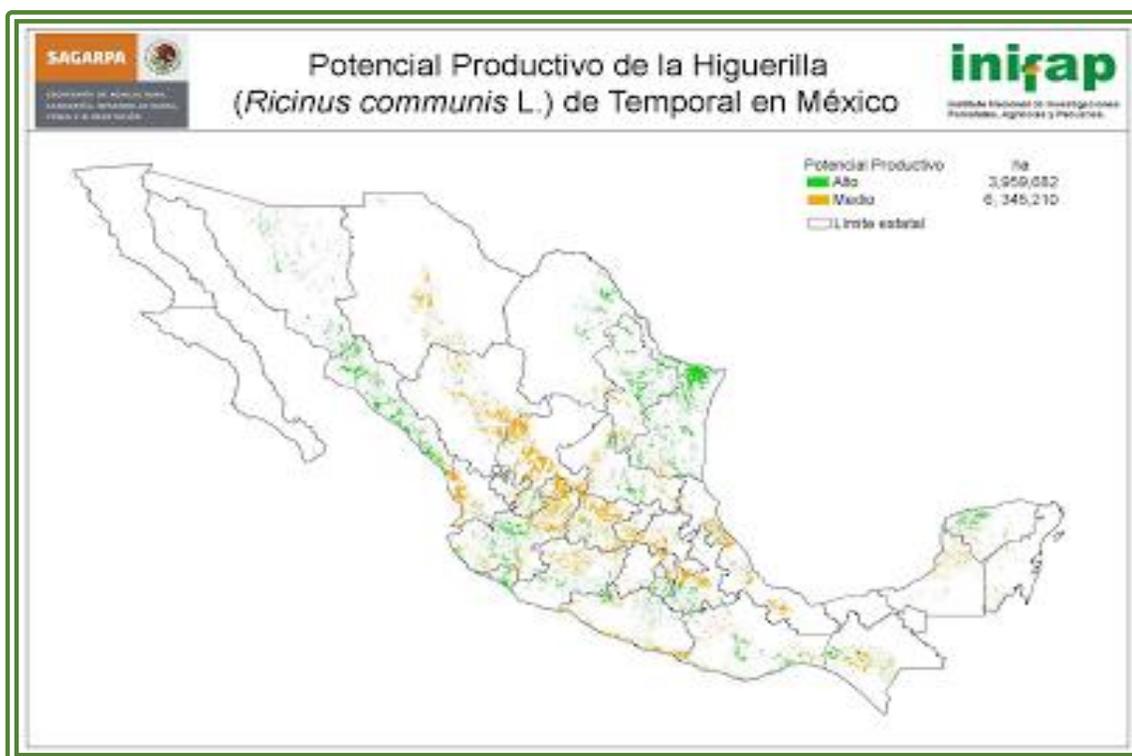


Figura 1. Mapa del potencial de cultivo de la higuerrilla.

La fibra natural Higuierilla (*Ricinus comunis*), es un arbusto perenne diclino monoico (vive más de dos años; florece y produce semillas más de una vez), puede alcanzar hasta 6 m de altura; de raíz superficial; tallo engrosado y ramificado, cilíndrico, hueco, color verde-vinoso, recubierto por una delgada corteza con una tenue capa de cera. Que es una planta que tiene pocos usos y se considera de desperdicio, por lo cual se consideró que será una alternativa viable para la elaboración de papel de escritura cabe señalar que también se seleccionó ya que tiene una cantidad de 20 % de celulosa en toda la planta. El cultivo tiene en promedio tres años de vida, empieza a germinar a los 10 o 15 días, a los 6 o 7 meses empieza a dar sus primeros frutos. Se suele obtener entre 4 y 6 ton por Hra. Llega a alcanzar 10 metros de altura.



Figura 2. Fotografía de la Higuierilla (*Ricinus Comunis*)

La higuierilla es una planta posiblemente originaria de la India ò de África que se encuentra distribuida en diversos países del mundo. Se adapta fácilmente a diferentes ambientes, pero lo que sí es seguro es que es originaria de regiones tropicales y por ello no se adapta bien en los lugares muy fríos o por lo menos debe ser cultivada en la época caliente, debido a su gran rusticidad y resistencia a la sequía. Pertenece a la familia de las Euforbiáceas, la misma de la yuca. Es un arbusto perenne diclino monoico (vive más de dos años, florece y produce semillas más de una vez) puede alcanzar hasta 6 metros de altura, de raíz superficial, tallo

engrosado y ramificado, cilíndrico, hueco, color verde-vinoso, recubierto por una delgada corteza con una tenue capa de cera.

La temperatura ideal para su cultivo está en el rango de 20 a 30 °C, y no soporta heladas en cualquier etapa del cultivo. Es una planta heliófila, es decir, debe ser sembrada a plena exposición solar, ya que si es sembrada a la sombra su crecimiento y producción es perjudicado sensiblemente. La puede producir con poca disponibilidad de agua, pero su productividad puede ser mucho mayor si el agua estuviese disponible en mayor cantidad. Es decir, esta planta no es capaz de producir en condiciones de escasez acentuada de agua.

El tallo generalmente es hueco cuando la planta es joven, pero tiende a ser leñoso cuando es ocupado por un tejido esponjoso a medida que la planta madura.

En este sentido, se considerada como una alternativa, dado su alto contenido en fibra, es una materia prima, empleada en este proyecto para la elaboración de papel.

## **1.2 Elaboración de papel.**

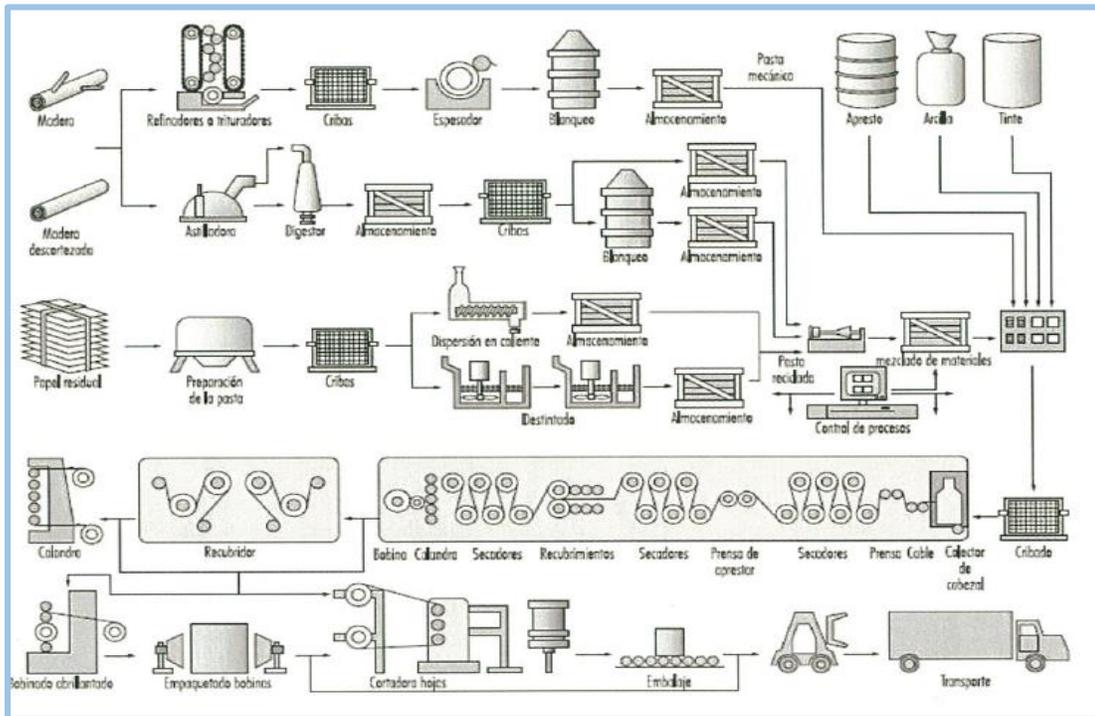
El papel consiste en un tejido o enlazado de fibras vegetales con alto contenido de celulosa que han sido tratadas. El papel y los productos relacionados con él se elaboran a partir de celulosa presente de plantas, estas fibras pueden venir de diferentes vegetales como: algodón, paja, cereales, caña de azúcar, arboles, etc. Pero actualmente la mayor parte de la producción mundial del papel proviene de la madera.

En la figura 3 se puede observar el proceso de preparación pasta y papel.

La industria pastero-papelera se puede dividir en tres categorías:

- Fábricas de pasta, en las que la materia prima es el vegetal y el producto final la pasta seca.

- Fábricas integradas de pasta y papel, en las que la materia prima está constituida por vegetal, más pastas adicionales que intervienen y el producto final es el papel.
- Fábricas de papel, en las que la materia prima la constituyen las pastas y el producto final el papel.



**Figura 3. Diagrama gráfico del proceso de fabricación general para la obtención de pasta y papel.**

En general , y de acuerdo a la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México (ICEX,2014), la industria del papel se divide en tres grupos:papeles de escritura e impresión, cartones para envases y embalaje, y papel tisú (facial y sanitario), de los cuales el segundo es el de mayor demanda (60%), y entre los otros dos se distribuye el restante (40%) (escritura e impresión 21 - 23%; facial y sanitario 17 – 19 %).

México consume en promedio 5,370,000 toneladas de papel al año y la producción de papel ha incrementado en un 46% en los últimos 9 años. Se cortan alrededor de 500,000 árboles diariamente para obtener la pulpa para la producción de papel (hoy en día cerca del 40% de la madera extraída a nivel mundial es utilizada para producir papel).

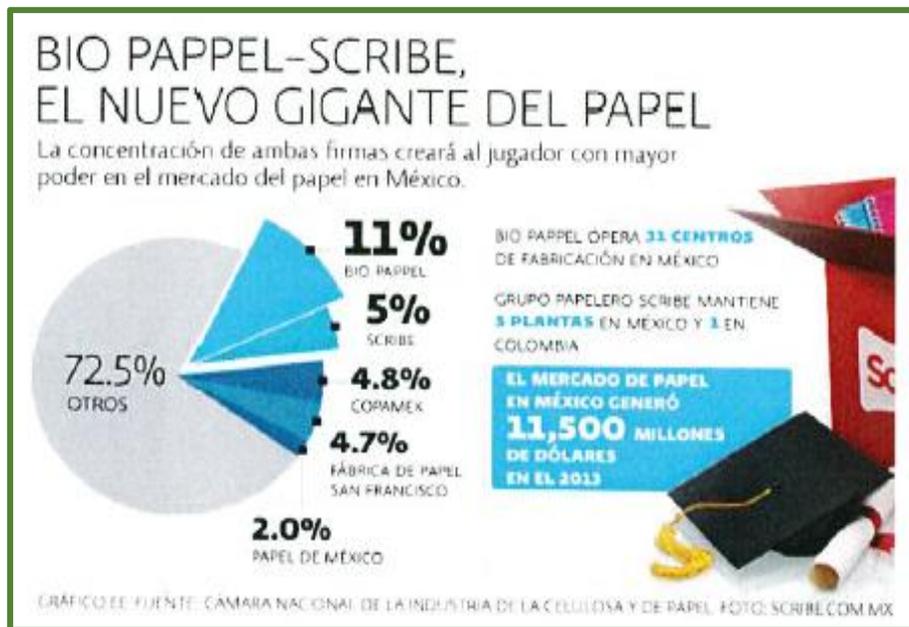


Figura 4. Grafico de demanda del papel.



Figura 5. Esquema de la importancia del papel.

### 1.3 Diversos métodos de obtención de papel.

Los procesos de elaboración de la pasta difieren en el rendimiento y la calidad del producto, y en los métodos químicos, en los productos químicos utilizados y en la proporción que puede recuperarse para reutilización.

Para la obtención del papel, es necesaria la obtención de suspensión de fibras celulósicas con unas características determinadas en cuanto a tamaño de fibras, distribución de tamaños, composición, flexibilidad, resistencia. Para obtener estas características, se aplican sobre la materia prima diferentes procedimientos en

caminados a obtener una pulpa de características adecuadas o apropiadas para el uso del producto terminado, tratando siempre de obtener el mayor rendimiento posible, es decir cantidad de pulpa obtenida por tonelada de fibra celulósica empleada y cantidad de reactivos empleados para obtener una tonelada de pulpa. Existen varios procedimientos, los cuales se han ido desarrollando y mejorando a lo largo del tiempo los cuales presentan ventajas e inconvenientes que han de ser evaluados conforme al tipo de producto final que se desea obtener, teniendo en cuenta parámetros tales como resistencia mecánica del papel a la ruptura, al rasgado, al plegado, rugosidad, blancura, deteriorable, entre otros.

Se mencionarán los diversos métodos para la obtención de pulpas para papel:

- Pulpas mecánicas.
- Pulpas semiquímicas.
- Pulpas químicas.

### **1.3.1 Pulpas Mecánicas**

El primer proceso para obtener pulpa a partir de madera, se inventó en 1884, en Alemania. Este se conoce como proceso de pasta mecánica o pasta de madera. Un alemán, Keller, observó que los nidos de las avispas estaban compuestos por pequeñas fibras de madera que, entretrejidas, formaban un cuerpo burdo de papel. Por sugestión de Keller, un fabricante de papel y maquinista práctico, llamado Voelter, construyó una máquina e inventó un proceso para convertir, por molienda, la madera en pulpa, mismo que ahora se conoce como proceso Keller-Voelter.

Este método de elaboración de pasta, es el más antiguo. Las pastas mecánicas se producen triturando troncos descortezados contra una piedra o entre placas metálicas giratorias, esto para separar las fibras. La acción de las máquinas es que separa las fibras de celulosa a través de la ruptura por lo que la pasta resultante es más débil que la separada químicamente. La lignina que es la encargada de unir la celulosa con la hemicelulosa no se disuelve, simplemente se ablanda, permitiendo que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera. Se añade agua para

facilitar el proceso y también para refrigerar las piedras giratorias recalentada por la intensidad de la fricción de los troncos presionados contra ella. Conforme el proceso sigue es necesario añadir agua fresca al sistema así que hay que eliminar algo de agua.

El rendimiento suele ser superior al 85%. Algunos métodos mecánicos de formación de pasta también usan productos químicos (pastas quimiomecánicas) sus rendimientos son más bajos por que eliminan más cantidad de materiales no celulósicos. La pasta atraviesa unas finas cribas, lo que permite solo el paso de las fibras, depurando de todo material extraño, como por ejemplo polvo o arena. Después se cuelan las fibras obtenidas. El único cambio químico que ocurre durante el proceso es una ligera hidratación de la celulosa debida al largó tiempo de contacto con el agua tibia.

La pasta se obtiene aportando energía mecánica, sin consumo de reactivos químicos. Solo se disuelven aquellos componentes de la madera solubles en agua.

La pasta mecánica se diferencia de la pulpa química en que contiene prácticamente toda la lignina de la madera original, no existiendo en ella las fibras como entidades individuales, sino por el contrario como grupos y fragmentos de fibras. El rendimiento se eleva a aproximadamente un 90-95% de la madera original en contraste con casi 50% en caso de la pulpa química.

La pasta mecánica es baja en resistencia comparada con las pulpas químicas. Debido a que la pasta mecánica contiene prácticamente la totalidad de la madera, los papeles fabricados con ella se deterioran en cuanto a su resistencia. Así, los papeles producidos a partir de esta pulpa tiendan a decolorarse cuando son expuestos a la luz, el calor o simplemente, con el paso del tiempo. Este fenómeno, conocido como “reversión de blancura”, puede comprobarse exponiendo un periódico a la luz del sol. La lignina presente en las hojas hará que se torne amarillo. Por esta razón, la pulpa de pasta mecánica se utiliza únicamente en papeles relativamente impermanentes, tales como papel de periódico, libros baratos, revistas, guías telefónicas, papel higiénico. Para todos estos usos la pasta mecánica tiene propiedades deseables como bajó costo buena calidad para la impresión,

elevada opacidad. Las cualidades para la impresión son buenas, debido a la masa alta, gran suavidad, elasticidad y buena absorción de tinta.

Las pastas mecánicas como se menciona son obtenidas por molido o desfibrado con una muela, con agua en aspersion o a presión, de madera descortezada. Si se puede hacer la pasta mecánica con madera tratada es to es que se somete a la madera a una cocción de vapor con lo cual se obtienen pastas con fibras más resistentes.

Un procedimiento más perfeccionado, que se aparta del desfibrado tradicional, produce la pasta llamada pasta mecánica de refinador, que se obtiene moliendo trocitos de madera en un refinador de discos, haciéndolos pasar entre dos discos próximos con la superficie áspera, de los cuales uno o los dos tiene un movimiento de rotación. Una de las mejores cualidades de este tipo de pasta se produce por refinado de trocitos de madera que se han sometido previamente a un simple tratamiento térmico para ablandar y permitir una separación más fácil de las fibras. El producto resultante tiene una calidad superior a la de la pasta mecánica tradicional.

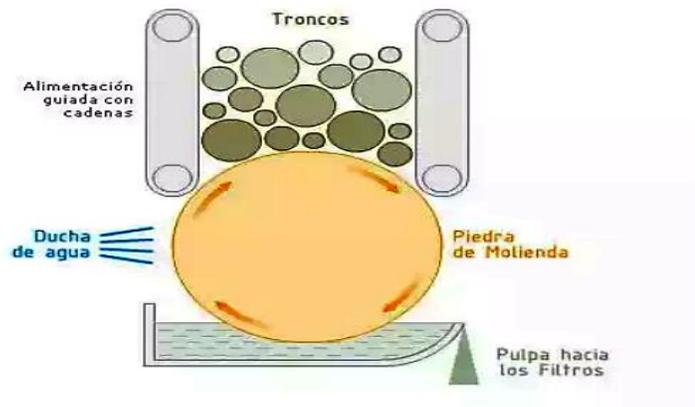
Los principales tipos de pasta mecánica de madera son:

- **La pasta mecánica de desfibrador (SGW).**

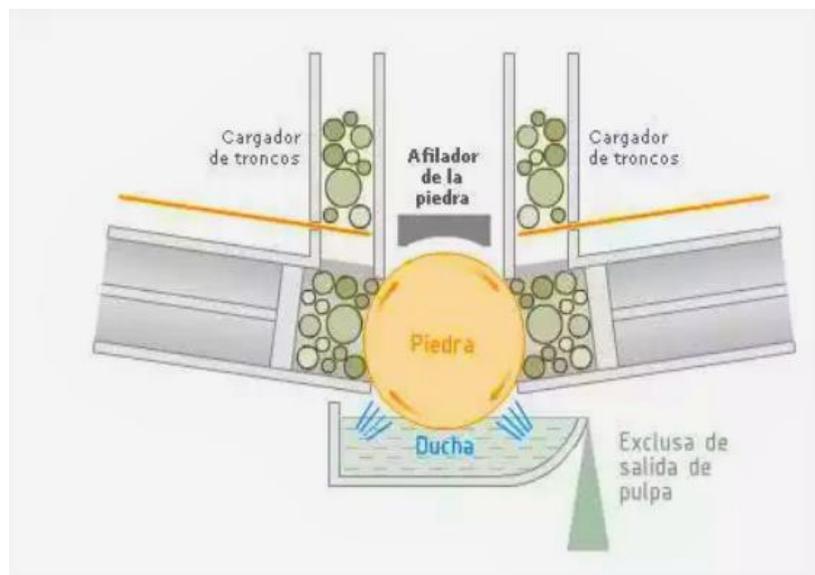
La pulpa mecánica tradicional (Stone GroundWood, SGW), el método más antiguo de producción de celulosa, que comenzó a utilizarse en 1840 que se obtiene a partir de troncos o de bloques tratados a la presión atmosférica en desfibradores de muelas. El rendimiento de este proceso es alto, ubicándose en el rango 94-97%, Esto significa que la pulpa producida tiene aún muchos de los componentes químicos de la madera, incluyendo lignina, hemicelulosas, resinas y otros. La lignina presente en las hojas hará que se torne amarillo.

- **La pasta mecánica de desfibrador a presión (PGW).**

La pulpa mecánica presurizada (Pressurized GroundWood, PGW) es la variante más moderna de la pulpa SGW, que se obtiene a partir de troncos o de bloques tratados a presión en desfibradores de muelas. El rendimiento de estos procesos es alto, ubicándose en el rango 94-97%. Esto significa que la pulpa producida retiene aún muchos de los componentes químicos de la madera, incluyendo lignina, hemicelulosas, resinas y otros. La lignina presente en las hojas hará que se torne amarillo.



**Figura 6. Proceso de producción de pulpa mecánica SGW.**



**Figura 7. Proceso de producción de pulpa mecánica PGW.**

- **La pasta mecánica de refinador (RMP).**

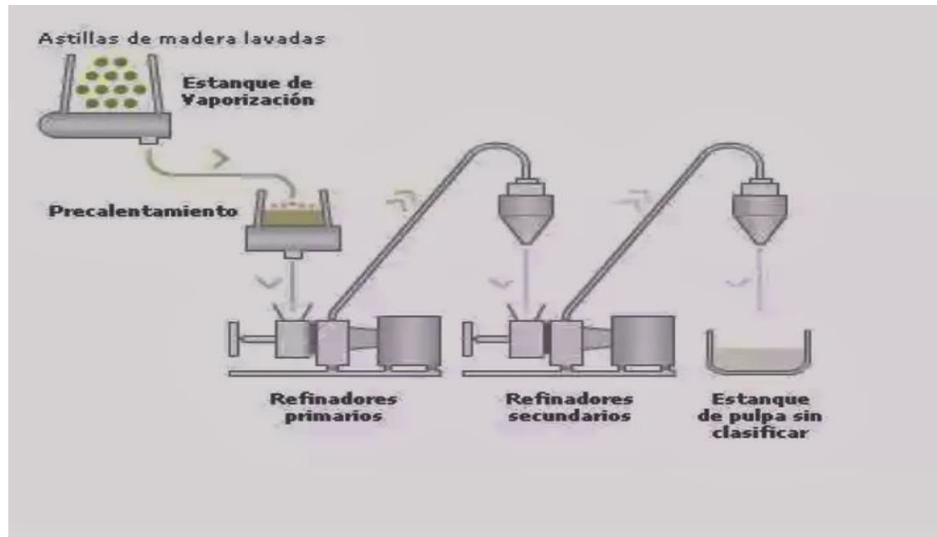
La pulpa mecánica refinada (Refiner Mechanical Pulp, RMP), desarrollada a fines de los '50s que se obtiene a partir de virutas o leños pequeños en refinadores que trabajan a la presión atmosférica, normalmente a un 30% de consistencia, es decir, en una mezcla que contiene un 30% en peso de fibra y un 70% en agua. Se pueden utilizar entre una y tres estaciones de refinado en serie. La primera estación de refinado es presurizada, pero la segunda y tercera pueden operar a presión atmosférica. Después de la última estación de refinado, la pasta pasa por un proceso de clasificación y normalmente es alimentada en forma directa a la máquina papelera. Las fibras son mucho menos dañadas que en el caso anterior, tienen en promedio una mayor longitud y exhiben en consecuencia, mucho mejores atributos de resistencia. Este proceso también está dentro del segmento de las pulpas de "alto rendimiento", siendo éste de 95-97%.

- **La pasta termomecánica (TMP).**

La pulpa termomecánica (ThermoMechanical Pulp, TMP), desarrollada a principios de los '70s que se obtiene en refinadores a partir de virutas o de leños, después de un tratamiento térmico de la madera con vapor a presión elevada, normalmente a un 30% de consistencia, es decir, en una mezcla que contiene un 30% en peso de fibra y un 70% en agua. Se pueden utilizar entre una y tres estaciones de refinado en serie. La primera estación de refinado es presurizada, pero la segunda y tercera pueden operar a presión atmosférica. Después de la última estación de refinado, la pasta pasa por un proceso de clasificación y normalmente es alimentada en forma directa a la máquina papelera. Las fibras son mucho menos dañadas que en el caso anterior, tienen en promedio una mayor longitud y exhiben en consecuencia, mucho mejores atributos de resistencia. La principal ventaja que tiene el proceso TMP con respecto al RMP es la incorporación de una etapa inicial de ablandamiento de las astillas, impregnándolas y calentándolas con vapor antes de la refinación. De esta manera, se facilita la separación de la celulosa y se reduce el daño a las fibras. Este

proceso también está dentro del segmento de las pulpas de “alto rendimiento”, siendo éste de 93-97%.

Por regla general, la pasta mecánica no se utiliza sola, pues las fibras son relativamente cortas, lo que supone la obtención de productos poco resistentes. En la fabricación del papel, se emplea frecuentemente una mezcla de pastas químicas.



**Figura 8. Proceso de producción de pulpa mecánica RMP Y TMP.**

### 1.3.2 Pulpas semiquímicas.

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

En la producción sólo mecánica y en la termomecánica de pulpa, las maderas suaves tienden a quebrarse para producir fibrillas con buenas propiedades en cuanto a la formación de enlace de las hojas. Sin embargo, las maderas duras, por razón de su estructura fibrosa más rígida, no forman dichas fibrillas. Es por ello que para el procesado mecánico de maderas duras es imprescindible recurrir a métodos de pretratamiento químico que mejoren las propiedades de las fibras, sometiéndolas posteriormente a un refinado mecánico.

- **Proceso a la sosa fría**

Del proceso semiquímicos (o quimicomecánicos) el proceso a la sosa fría es el más antiguo. Consiste en el refinado mecánico de las astillas una vez remojadas en una disolución de sosa, durante un período de tiempo de entre 30 y 120 min, dependiendo del tipo de madera y a temperatura ambiente. De esta forma, las astillas se ablandan debido a la absorción acelerada que experimenta la hemicelulosa y las zonas amorfas de la estructura celulósica (las más fácilmente accesibles), produciendo una hinchazón de las mismas que debilita la estructura de la madera.

La temperatura de aplicación de este proceso no puede ser superior a 25°C si no se quieren obtener pulpas oscurecidas (válidas sólo para la fabricación de cartón), pero a esta temperatura la velocidad de impregnación de la madera por la sosa, sobre todo en maderas duras y densas es lenta, por lo que a veces se lleva a cabo bajo presiones de hasta 10 atm.

El rendimiento de madera a pasta es de entre el 87 y el 92% para maderas duras, y el consumo de sosa, aunque variable en función de la madera, está alrededor de 60 kg de sosa cáustica por tonelada de pulpa para la producción de papel de periódico. El costo de este procesado es menor que el de la pasta mecánica, pues, aunque es necesario contar con el gasto en productos químicos, éste se compensa ampliamente con el ahorro energético de la desfibración. El licor utilizado en la impregnación puede volver a ser utilizado de nuevo, añadiéndole la cantidad adecuada de sosa, hasta un máximo de 15 o 20 ciclos, ya que más usos supondrían un oscurecimiento de la pasta. Las características del papel obtenido por este método son muy similares a las de los obtenidos por métodos mecánicos, y sus aplicaciones son las mismas, aunque este método está casi en desuso debido a las mejores propiedades obtenidas por otros métodos similares.

- **Proceso al sulfito básico**

Este proceso se lleva a cabo en el tratamiento de maderas suaves o maderas duras de baja densidad (como el álamo y el eucalipto). El licor empleado para la extracción está compuesto de sulfito sódico ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) y por una serie de productos que consigan regular el pH del medio a valores de entre 9 y 12; estos compuestos son carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). La acción del sulfito en medio básico es similar a la de la sosa, es decir, acelera el proceso de hidratación de la celulosa, y por consiguiente ablanda la madera, pero presenta la ventaja frente a ésta de producir pulpas más blancas y generar papeles más resistentes.

Las condiciones de operación son más severas que en el proceso a la sosa, pues se lleva a cabo a alta temperatura (proceso quimicotermodinámico), entre 130 y 170°C, temperatura a la cual la impregnación de las astillas de madera es muy efectiva, lo que acelera la velocidad del proceso y facilita el posterior refinado. El rendimiento del proceso, expresado en porcentaje de pulpa obtenido por cantidad de madera empleada, se sitúa en torno al 60%.

Por una parte, el consumo energético total es ligeramente superior al del proceso mecánico, y el rendimiento es inferior (60% frente a 90%), pero por el contrario, la calidad de la pulpa obtenida es muy superior, ya que puede ser empleada en la producción de papeles de altas exigencias de resistencia mecánica, en contraposición con la debilidad de la pasta mecánica. Es por ello que dependiendo del producto que se desee obtener, se empleará uno u otro método.

- **Proceso al bisulfito**

En este proceso se emplea bisulfito sódico para promover la separación de la lignina de las fibras celulósicas en una etapa previa al refinado mecánico final. La acción del bisulfito sobre la lignina produce la sulfonación de las moléculas de lignina, generando ácidos lignosulfónicos más hidrofílicos, de manera que la fibra puede hincharse y absorber agua. Para producir una pulpa quimicomecánica de alta resistencia aplicando maderas duras de elevada densidad resulta necesario un alto

grado de sulfonado, debiendo cocerse las astillas para obtener un rendimiento elevado (de hasta el 85%).

Durante el proceso es importante mantener los valores de pH entre 4 y 6, pues en ese rango se obtienen las pulpas más resistentes y más blancas, lo que es importante a la hora de fabricar el papel. Además, para conseguir un buen impregnado de las astillas en reactivos, este proceso se lleva a cabo bajo presiones de entre 5 y 10 kg/cm<sup>2</sup> y en ausencia de aire. Pues bien, si la temperatura habitual de transición vítrea es de 120 a 150°C, en las astillas tratadas previamente por el procedimiento del bisulfito, ésta se rebaja hasta 70 a 90°C, debido al cambio en la estructura química ocasionado. Es por ello que deben controlarse las temperaturas alcanzadas en la etapa de refinamiento mecánico, a fin de no superar dichos límites, que perjudicarían considerablemente la calidad de la pulpa.

Con el proceso al bisulfito se puede regular el rendimiento y la calidad de la pulpa obtenida, pues tiempos altos de impregnación supondrán bajos rendimientos (45 a 60%), pero calidades similares a la de las pastas químicas (alta calidad y resistencia mecánica); si el tiempo de impregnación es bajo, el rendimiento aumenta (80 a 85%), pero la calidad de la pulpa es similar a las pastas mecánicas (poca resistencia mecánica y deteriorabilidad).

#### ▪ **Proceso al sulfito ácido**

En este proceso se emplea una disolución de sulfito sódico a la que se le agrega cierta cantidad de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). La acción de este licor sobre las astillas de madera es la de sulfonar intensamente las moléculas de lignina, produciendo entonces que ésta sea más soluble en agua y pueda ser extraída fácilmente.

Las etapas que componen este proceso son, en primer lugar la impregnación a presión atmosférica de las astillas con el licor, cuyo pH se ajusta a valores entre 1.5 y 2. La impregnación dura alrededor de 60 min, y es seguida por la vaporización en un digestor de vapor a unos 120°C, el cual puede estar o no directamente acoplado al refinador mecánico.

La velocidad global del proceso es aproximadamente tres veces superior al tratamiento al bisulfito, y el grado de blancura de la pasta es elevado. El rendimiento obtenido está entre el 60 y el 70%, según los tiempos relativos en cada una de las etapas.

### **1.3.3 Pulpas químicas.**

Las pulpas químicas es el aislamiento de fibras de celulosa se producen disolviendo químicamente (con reactivos químicos) la lignina que contiene las fibras, con lo cual se separan estas sin dañarse de forma sustancial. Como en este proceso se eliminan muchos de los componentes no fibrosos, los rendimientos son normalmente del 40 al 55 % ya que se pierde la lignina y hemicelulosa. El procedimiento implica la cocción de las astillas y los reactivos en solución acuosa en un reactor que puede funcionar por lotes o de forma continua. En la cocción discontinua el digestor se carga de astillas a través de un contenido se cuece a temperatura y presión elevadas. En la digestión continua, las astillas precocidas con vapor se introducen en el digestor a un ritmo constante. Las astillas y los reactivos se mezclan en la zona de impregnación, en la parte superior del digestor, y entonces se van desplazando desde la zona superior de cocción a la inferior y a la zona de lavado, antes de soplarlas al tanque.

Cabe señalar que los métodos químicos se dividen en ácidos o alcalinos, según el pH del reactivo. Los métodos ácidos son más enérgicos, la separación de la celulosa es mejor se utiliza para obtener papeles de buena calidad, tienen el inconveniente de que no se puede emplear para maderas resinosas ya que a pH bajos los fenoles y ácidos de las resinas se condensan con la lignina formando complejos insolubles y coloreados que manchan las pastas.

En los métodos alcalinos por lo contrario esas sustancias se eliminan en las lejías residuales en forma de sales o fenolatos solubles. Esta es una de las razones por las que en un 80% se utiliza el proceso Kraft.

- PROCESO AL SULFITO

El método al sulfito fue descubierto hacia el año 1870 por B.C. Tilman, que observó que se podía producir una pulpa de aspecto brillante si se trataba la madera a altas temperaturas y presiones con ácido sulfúrico y bisulfito cálcico, pero debido a problemas de corrosión no se pudo montar una planta a gran escala hasta unos años más tarde, cuando se utilizaron digestores de cerámica calentados por vapor directo, lo que permitía construir unidades grandes, con lo que paso a convertirse en el método dominante aplicado a la producción de pulpas químicas.

Las ventajas principales de este proceso eran varias en los orígenes de su invención, entre ellas puede citarse:

- ✓ Alto rendimiento.
- ✓ Bajo costo de reactivos respecto a los métodos alcalinos.
- ✓ Alta blancura de las pulpas no blanqueadas, que permiten utilizarlas muchas veces directamente sin blanquear.
- ✓ Fácil blanqueabilidad de las pulpas con los agentes simples disponibles.

Por lo contrario, presentan ciertas desventajas evidentes

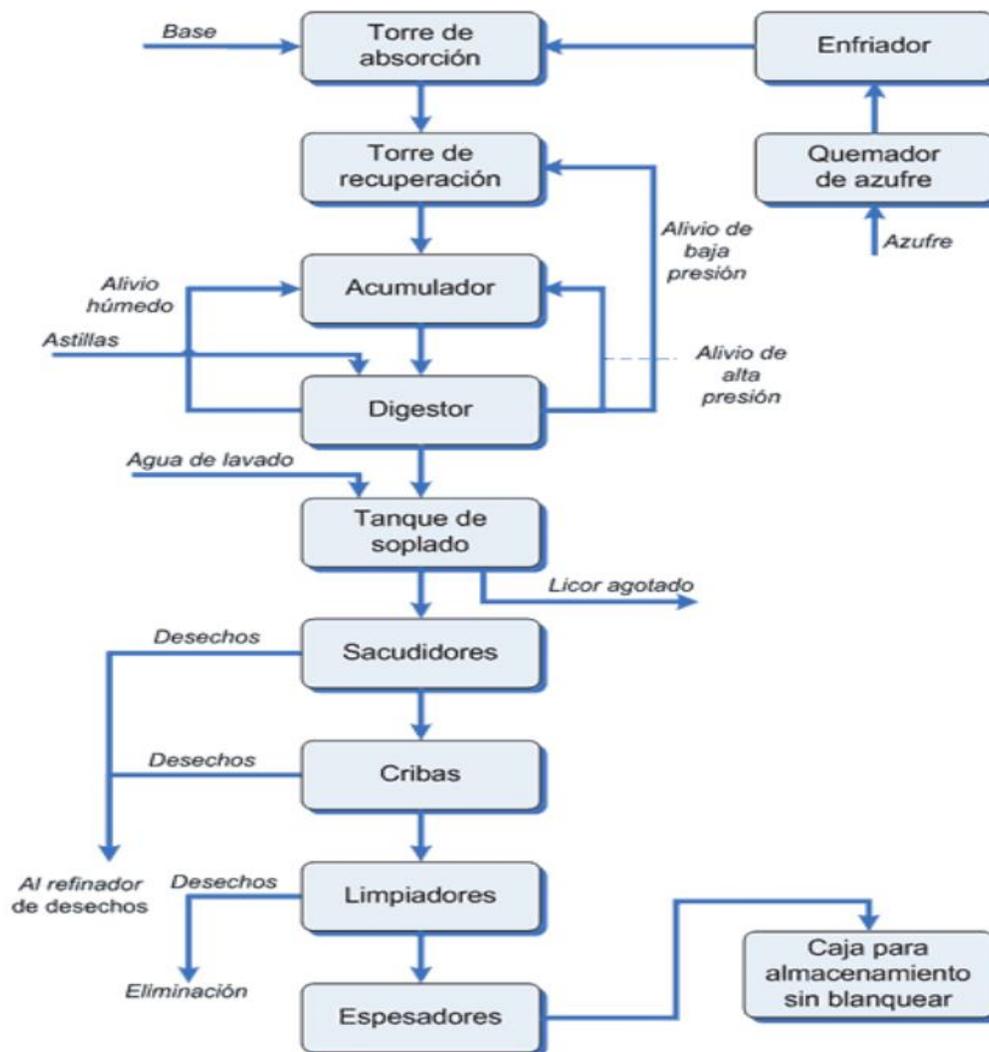
- ✓ Número reducido de especies leñosas que pueden ser utilizadas.
- ✓ Resistencia de pulpa reducida respecto a otros métodos químicos.

El proceso al sulfito fue un método químico más utilizado hasta los años 30 momento en el cual paso a ser desplazado por el proceso Kraff, debido a la calidad de la pulpa y del costo específico del proceso de fabricación y blanqueo, aunque en la actualidad se produce por este método alrededor de un 10 % de la producción mundial.

El proceso de producción se lleva acabado mezclando en el digestor las astillas de madera, previamente prevaporizadas con el licor de sulfito. Se calienta el digestor hasta la temperatura de cocción, utilizando una inyección de vapor residual hacia un acumulador para ser aprovechado, e la mezcla de astillas y licor gastado se descarga del digestor. El licor agotado se separa de la pulpa a través de los orificios existentes en el recipiente que las contienen, este licor agotado se regenera y se vuelve a utilizar en sucesivos ciclos. La pulpa obtenida se cierne para retirar los sólidos residuales.

El licor utilizado en el proceso al sulfito se obtiene fácilmente. Primero se quema azufre para producir dióxido de azufre(SO<sub>2</sub>), el cual se enfría a continuación y se absorbe en una disolución acuosa que contiene a su vez alguna sal básica, usualmente carbonatos, hidróxidos o sulfuros de metales alcalinos.

A continuación, se mostrará el diagrama de flujo del proceso químico al sulfito.



**Figura 9. Diagrama de flujo del proceso químico al sulfito.**

La elección de la base para el proceso, cuya función es regular el pH y aumentar la eficiencia del licor de cocción, es muy importante, pues en función de ella los rangos de temperatura y pH de operación son diferentes, siendo estos parámetros críticos para el buen funcionamiento del proceso. Los tipos de base que pueden ser empleadas se describen a continuación.

#### ❖ BASE DE CALCIO.

Fue la primera en ser utilizada, pues resulta ser barata y de alta disponibilidad, ya que se obtienen de la piedra caliza. El mayor problema para su utilización es que la solubilidad del sulfito de calcio ( $\text{CaSO}_3$ ) en función de la temperatura presenta un comportamiento inverso, es decir, se vuelve insoluble al aumentar la temperatura. En consecuencia, el intervalo de concentraciones del sulfito en el licor es reducido, lo que condiciona los rangos de pH a los que se pueden operar. Por otra parte. Los elementos calefactores se pueden recubrirse de incrustación solidas de dicha sal o de los correspondientes sulfato y carbonato. Además, se presenta el problema de la dificultosa recuperación de reactivos.

#### ❖ BASE DE MAGNESIO

La base de magnesio puede utilizarse sobre un amplio margen de pH, superior al del calcio, debido a la mayor solubilidad del sulfito de magnesio ( $\text{MgSO}_3$ ). La fuente de magnesio utilizada usualmente es el hidróxido de magnesio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), pues el carbonato reacciona lentamente con el dióxido de azufre, la mayor ventaja de la base de magnesio es que se puede recuperar fácilmente los reactivos quemando el licor en un horno, con lo que se obtienen oxido de magnesio y dióxido de azufre. Además, puede agregarse sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) al licor antes de entrar al horno para reponer las perdidas.

#### ❖ BASE DE SODIO

Tanto el sulfato como el bisulfito sódico presentan una gran solubilidad, por lo que tanto la absorción del dióxido de azufre como la producción de pulpa se simplifican, pues en las condiciones de operación no ocurre nunca la precipitación. El sodio se puede obtener fácilmente de la sosa caustica ( $\text{NaOH}$ ) o cenizas de sosa ( $\text{NaCO}_3$ ). Pero la mayor desventaja frente al magnesio es la dificultad de la recuperación de reactivos, pues ello supone el manejo de compuestos de azufre reducidos, que son fuente habitual de emisiones nocivas.

#### ❖ BASE DE AMONIO

El sulfito y bisulfito amónico son solubles en todo el rango de pH, se puede obtener fácilmente a partir de amoniaco liquido anhidro por disolución, pero se requiere instalaciones especiales de descarga y mezcla, adema de ser imprescindible un gran cuidado en el proceso de absorción con  $\text{SO}_2$  para impedir la fuga de vapores.

Como ventaja respecto a las demás bases presenta la mayor velocidad de designificación debido al pH ácido inducido por las sales de amonio, pero la pulpa obtenida presenta un color oscuro, por lo que se puede utilizar directamente en la producción de papel, aunque el proceso de blanqueo no se ve impedido por esta coloración. otra desventaja importante es que la recuperación del dióxido de azufre es muy dificultosa, y el amoniaco no se puede recuperar, ya que pasa a nitrógeno gas durante la incineración, por lo que el gasto de reactivos es mucho más elevado.

#### ❖ SIN BASE

El proceso al sulfito mediante disoluciones de dióxido de azufre en agua simplifica el proceso de producción de pulpa, a la vez que soluciona los problemas de incrustaciones y presencia de cenizas y facilita la recuperación del  $\text{SO}_2$ . Los inconvenientes son sobre todo la gran corrosividad de la disolución acuosas de dióxido de azufre, la necesidad de enfriamiento del licor para la recuperación y la alta presión parcial de  $\text{SO}_2$  necesaria para desplazar el equilibrio hacia la formación del bisulfito, necesario para producir la sulfonación de la lignina. Debido a estos inconvenientes este método no se utiliza industrialmente en la obtención de pulpas.

#### ❖ SULFITO ÁCIDO

Es la configuración inicial del proceso al sulfito, donde se utiliza una base de calcio, se trabaja a un pH de entre 1.2 - 1.5, consiguiendo por agregación de  $\text{SO}_2$  en exceso, trabajando a temperatura de entre 130 - 145°C y presiones moderadas de entre 5 – 7 atm. Este tratamiento no es

recomendable cuando se utilizan maderas resinosas o cuando las astillas contienen una cantidad relativamente elevada de corteza. A veces se produce malos olores por pérdida de dióxido de azufre, debido a su elevada presión parcial en el medio para conseguir pH tan bajos. Las pulpas producidas son baja resistencia y se utilizan para confeccionar papel de periódico, tejidos suaves y rayón.

#### ❖ BISULFITO

Se utiliza un licor que contiene igual cantidad de dióxido de azufre libre y combinado (en forma de  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_3^{-2}$ ,  $\text{HSO}_3^{-}$ ) de esta forma el licor tiene la composición real de bisulfito, sin contener el exceso de  $\text{SO}_2$ . El pH del medio se sitúa entre 3 – 5; Este procedimiento no se puede utilizar base de calcio por su baja solubilidad y se emplean bases de magnesio o sodio. El ciclo de cocción es más rápido (aproximado de 6 h) en comparación con el proceso ácido de (aproximado de 8 h), pero también se precisan temperaturas más elevadas de hasta  $170^\circ\text{C}$ . Este tipo de proceso admiten más tipos de madera, además, no degrada tanto la celulosa original. El mayor inconveniente es que la pulpa producida es un poco más oscura que en proceso ácido, y no se puede emplear directamente en la producción del papel sin ser blanqueada.

#### • PROCESO KRAFT

El proceso Kraft para la obtención de pulpa de papel es un proceso químico alcalino que deriva del proceso a la sosa. En este proceso, además de hidróxido de sodio se utiliza el sulfuro sódico, siendo estos agentes de cocción conocidos como lejías blancas. El proceso se lleva a cabo en digestores que pueden ser tanto discontinuos como continuos, en los que se introducen las astillas junto a las lejías blancas llevándose a cabo la cocción a elevada temperatura ( $150\text{-}170^\circ\text{C}$ ) y presión. De un modo general, el proceso tiene lugar con una concentración de reactivos del 16-20% (expresados como peso de  $\text{Na}_2\text{O}$ , en relación al peso de la madera) y sus rendimientos varían entre un 40 y 60%. La ventaja de este proceso es que

requiere tiempos de cocción relativamente bajos pues el sulfuro acelera la deslignificación reduciendo la degradación del material celulósico y produciendo así pastas de mejor calidad. La resistencia es su principal característica de donde deriva su nombre “Kraft”, del alemán resistencia. estas pulpas tienen la cualidad de que son más resistentes

#### **1.3.4 Propiedades importantes del papel.**

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible.

Según el proceso de elaboración de la pulpa de celulosa, esta se clasifica en mecánica o química, cada una de las cuales da origen a diferentes tipos de papel en cuanto a rigidez y blancura.

- **PROPIEDADES MECÁNICAS O DE RESISTENCIA**

La rigidez, resistencia, capacidad de absorción de agua. Son características que convierten al papel en un material apropiado para diversos usos, como, por ejemplo, para proteger objetos que necesitan ser transportados de un lugar a otro.

La rigidez depende de las fibras que forman el papel, ya que un papel producido con mayor contenido de fibra larga será más rígido que aquel fabricado con mayor cantidad de fibra corta. También el tipo de pulpa de celulosa usado afecta la rigidez que tendrá el papel. En este caso, la pulpa mecánica aporta más rigidez que la pulpa química. Otras propiedades mecánicas son la resistencia al rasgado, la resistencia superficial y la resistencia a la absorción de agua.

- **PROPIEDADES VISUALES**

La blancura, brillo y opacidad son propiedades importantes de presentación. Otras propiedades importantes son el gramaje, que indica el peso en gramos por metro cuadrado de papel, la estabilidad dimensional que es la capacidad del papel de mantener sus dimensiones originales al variar las condiciones

ambientales o al verse sometidas a esfuerzos y la humedad que es el contenido de agua como porcentaje del peso total.

Para una impresión impecable, el papel debe tener las siguientes propiedades intrínsecas: blancura, color, luminosidad, brillo, opacidad, porosidad, lisura, gramaje, densidad aparente, dureza y comprensibilidad, uniformidad de espesor, estabilidad dimensional, encolado, estructura interna.

- **CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PAPEL.**

Las propiedades que influyen directamente es la impresión son:

- ✓ Humedad absoluta
- ✓ Humedad relativa
- ✓ Absorbencia
- ✓ Acidez o alcalinidad
- ✓ Dirección de fibra
- ✓ Limpieza superficial
- ✓ Planicidad
- ✓ Resistencia a la tensión
- ✓ Resistencia al rasgado

Las propiedades que influyen en el producto impreso son:

- ✓ Resistencia al plegado
- ✓ Resistencia a la rigidez
- ✓ Resistencia al agua
- ✓ Resistencia a la luz y calor

Para un periódico, tamaño universal, el peso básico del papel es definido como el peso en gramos de una hoja de un metro cuadrado. Lo referente a la humedad trata sobre el contenido de humedad absoluta, expresado como porcentaje. El reventamiento mide la resistencia del papel cuando es sometido a una deformación a través de un diafragma de caucho. Es la resistencia a la tensión en todas las direcciones.

# CAPITULO 2

**2.0 Procedimientos de mayor importancia comercial en la fabricación de papel.**

Como ya se menciono anterior mente la pulpa de papel es el producto que resulta de la separación de las fibras de la madera u otros materiales fibrosos para el proceso global de transformación de las materias primas en papel. Sus propiedades y características, varían dependiendo de la fuente de fibras y del proceso de transformación dando los productos finales, papel y cartón, siendo el objetivo principal de ese proceso la liberación de las fibras por destrucción o debilitación de los enlaces que las mantienen unidas en una estructura bien enlazada.

### **2.1 Pulpa Kraft para obtener pulpa a partir de fibra maderable.**

El proceso Kraft fue descubierto por Dahl en 1879, que cuando observó que el álcali perdido en el proceso a la sosa era sustituido por sulfatos de sodio, en vez de por carbonato de sodio, el sulfato se reduce a sulfuro durante la incineración del licor gastado, por lo que realmente los agentes activos en el proceso son el sulfuro sódico y el hidróxido de sodio y no el sulfato (el sobre nombre Kraft proviene del alemán, donde significa fuerte, debido a las buenas características de la pulpa obtenida). El avance en el uso de este método ha sido imparable desde su invención, pues ya en los años 30 la producción mundial de pulpa Kraft igualaba el método del sulfito y a partir de ahí fue aumentando hasta nuestros días, donde es el proceso de producción mayoritario.

Las reacciones que tienen lugar durante la digestión Kraft no son totalmente conocidas, ya que la multiplicidad de compuestos presentes en el medio reactivo, y la complejidad de la lignina dificulta la determinación de las reacciones determinantes de la velocidad global: pero se sabe que la presencia de sulfuro acelera la disolución de lignina sin que aumente la degradación de la celulosa y que el ataque a las moléculas de lignina implica la formación de grupos que hacen a la lignina más soluble en el álcali.

Durante la digestión es importante obtener una alta densidad de masa de madera en relación al licor, es decir, es aconsejable que la mezcla de astillas y licor sea íntima. Para conseguirlo, se introducen las astillas y el licor simultáneamente, para así mejorar las propiedades lubricantes del licor y que las astillas resbalen entre sí y se asienten bien en el recipiente digestor. Además, es importante una perfecta

mezcla en el interior del reactor, ya que de lo contrario la cocción será desigual en todo el volumen, y el producto final sería heterogéneo, lo que se traduce en un elevado rechazo de la fracción de pulpa de tamaño más grueso en la etapa de cernido. Es por ello que la convección natural no es suficiente para obtener el grado de mezcla deseado, y se recurre a la convección forzada, inducida por la reducción súbita de presión en la parte alta del digestor, produciendo entonces la ebullición generalizada de la masa reaccionante, con lo que la mezcla está asegurada.

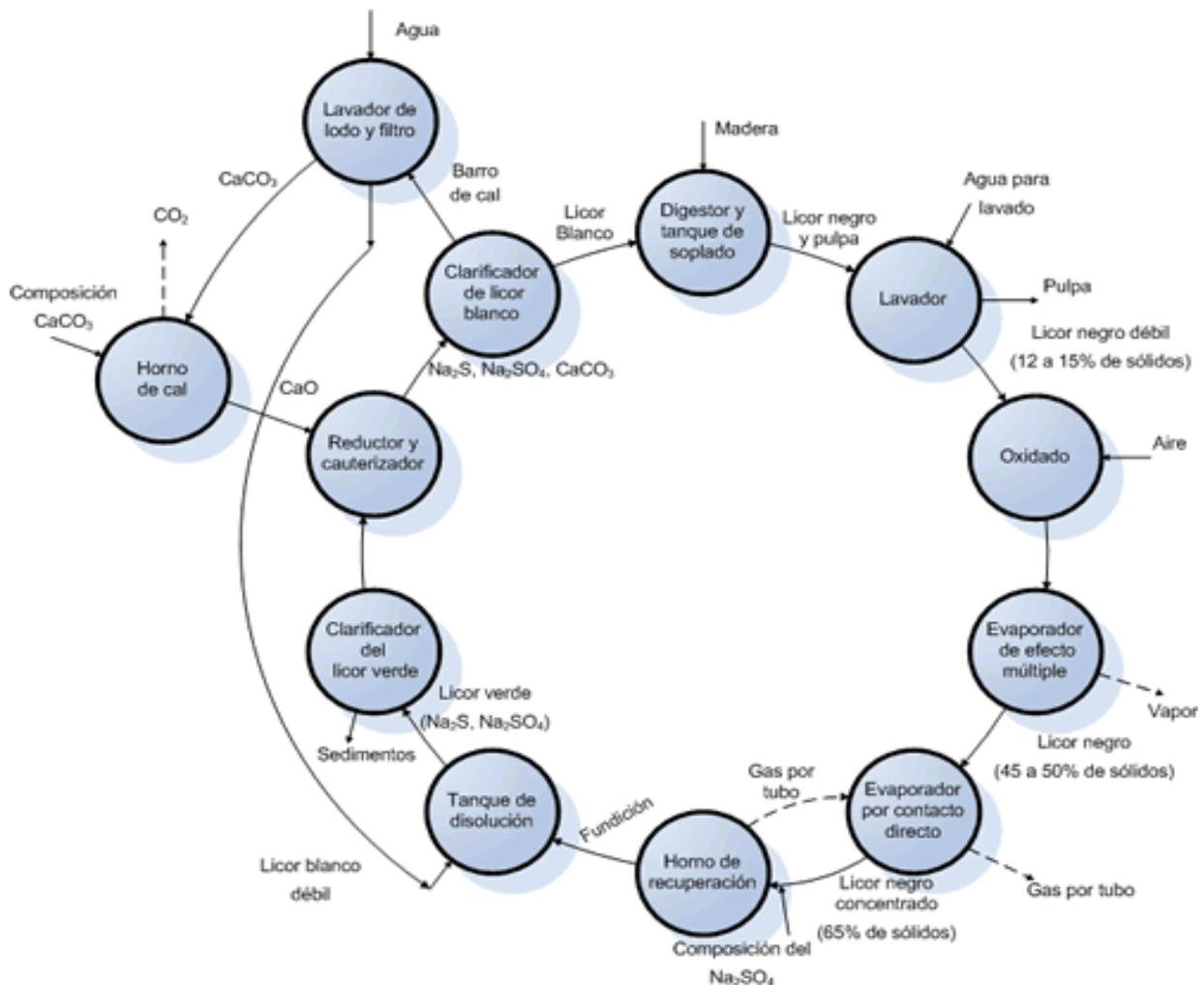
En cuanto a los requerimientos tecnológicos, el proceso al sulfato presenta la gran ventaja de ser mucho menos corrosivo que el empleado en el proceso al sulfito, por lo que los materiales empleados en la construcción de los equipos pueden ser más económico y duran más tiempo en activo (un tiempo típico para un digestor es de 20 años).

El procedimiento de operación en una fábrica de pulpa tipo Kraft es similar al proceso del sulfito. Primero se carga en un digestor las astillas y el **“Licor Blanco”**, simultáneamente para obtener una buena mezcla de ambos, y en proporción adecuada para la obtención del licor /madera elegido. A continuación, se calienta el digestor por vaporización directa hasta llegar a temperatura entre 160<sup>a</sup> 180°C, manteniéndose estas condiciones hasta alcanzar el grado deseado de cocción. Una vez terminada la cocción, la mezcla de pulpa y astillas no digeridas se separa para obtener solo la pulpa la cual pasa a una etapa de lavado.

El licor gastado, denominado licor negro, se pasa al ciclo de regeneración, allí, se mezcla con sulfato sódico y se oxida, para evitar olores indeseables (provenientes de compuestos sulfurosos). Una vez oxidado se incinera en un horno de recuperación, produciéndose una ceniza que contiene carbonato sódico y sulfuro sódico, los cuales se caustifican por agregado de cal apagada; de aquí se obtiene carbonato cálcico, que se regenera a cal viva por combustión. Además, el calor generado en los hornos se aprovecha para calentar la caldera, precalentar el vapor y para evaporar disolvente en la etapa de concentración del licor negro.

Para el proceso Kraft se puede utilizar todo tipo de maderas, pero las que mejor resultado dan son las maderas duras. El rendimiento obtenido es bajo para la pulpa

no blanqueada (sobre 52%), ya que se separa mucha cantidad de lignina (hasta 90%), pero la resistencia de la pulpa es muy alta. El color de las pulpas obtenidas en el proceso normal es más oscuro que las obtenidas por el procedimiento de sulfito, con lo que no pueden ser empleadas para fabricar papel de impresión, por lo que las pulpas sin blanquear se utilizan para la fabricación de papel de envolver y cartón, debido a su gran resistencia. Aun así, el proceso de blanqueo es fácil y eficiente para las pulpas Kraft, y su mayor aplicación es la fabricación de papel de imprimir.



**Figura 10. Diagrama de proceso Kraft de obtención de pulpa y ciclo de recuperación**

Como características del proceso, que lo han llevado a ser el más empleado, puede citarse, en resumen:

- Posibilidad de utilización de cualquier especie de madera, por lo que se consigue una gran flexibilidad al suministro de madera.
- Buena tolerancia en las astillas de una cantidad relativamente grande de corteza.
- Tiempos de cocción breves, con lo que aumenta la velocidad de proceso.
- Menores problemas de deposiciones solidas (alquitran)
- Excelente resistencia de la pulpa, debido a la alta concentración de lignina residual.
- Buen conocimiento y eficiencia del proceso de recuperación del licor gastado.
- Obtención de productos secundarios valioso: trementina y tall oli

Como inconveniente más notable cabe citar la dificultad de control de olores sulfurosos, los cuales aparecen a concentraciones de incluso partes por millones, y que son difíciles de enviar.

Este método consiste en la digestión de astillas de madera a temperatura elevada y presión en el “licor blanco”, que es una solución de sulfuro de sodio e hidróxido de sodio. El licor blanco químicamente disuelve la lignina que une las fibras de celulosa.

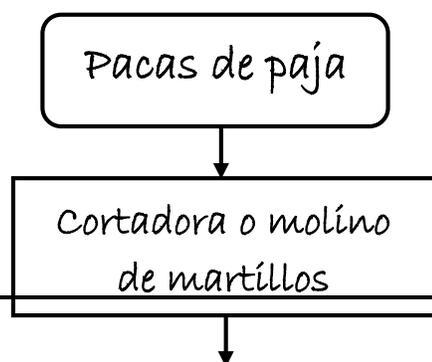
Hay 2 tipos de sistemas del digestor, por lote y continuo. Aunque las instalaciones más recientes son de digestores continuos. En un digestor de lotes, cuando la cocción es completa, el contenido del digestor se trasfiere a un tanque atmosférico, generalmente conocido como un tanque de soplado. Todo el contenido del tanque de soplado es enviado a las arandelas, la pulpa donde se separa el licor gastado de la cocción de la pulpa. La pulpa entonces procede a través de varias etapas de lavado y blanqueo posiblemente después que él es presionado y seca el producto terminado. El golpe del digestor no se aplica a sistemas de Digestor continuo.

## **2.2 Procesos no maderables para obtener pulpa para papel.**

### 2.2.1. Pulpa de Paja.

Entre las muchas fibras agrícolas utilizadas para la fabricación de pulpa, es importante la materia prima fibrosa para la industria mundial de la pulpa y el papel la primera utilización comercial fue en 1920.

Hasta fines de la década de 1950 prácticamente todo el papel corrugado se hacía a partir de la pulpa de paja. Se usaban digestores esféricos de 4.3 a 5.5 metros de diámetro, durante la cocción pueden calentarse con vapor directo y girar al mismo tiempo, se describe el ciclo típico de cocción en el siguiente diagrama.



**Figura 11. Diagrama de flujo en la fabricación de pulpa de paja**

La paja de preferencia picada o pasada por molino de martillo se carga al digestor rotatorio, siendo la carga promedio de 4 a 6 toneladas secas al aire. Durante el periodo de carga, se introduce la cal previamente suspendida en agua (el porcentaje

de cal varía de acuerdo al estado de la paja, grado de cocción y reactivos a utilizarse) en términos generales se usa de 4 a 10%.

Los reactivos complementarios que se pueden emplear incluyen la sosa caustica como a carbonato de sodio, azufre y sulfuro de sodio en cualquier combinación deseada.

La mayor parte de las fabricas llenan dos veces el digestor durante el ciclo de cocción. Después de la primera vez se cierra el digestor y se admite vapor por veinte o treinta minutos la paja se sujeta a este proceso de ablandamiento después se abre el digestor y se agrega una segunda carga de paja. En seguida se cierra el digestor y se calienta cuatro horas a una presión de vapor de 2.8 a 3.5Kg/cm<sup>2</sup>.

En 1940 se adapta el proceso modificando la cal por sulfito neutro. Se usa el mismo equipo el reactivo del licor de cocción se emplea sulfito de sodio en la cantidad de 6.63% y sosa caustica en 1.25% (sobre el peso de la paja) los rendimientos para el proceso al sulfito neutro son de 60 a 70%. Después que la paja cocida se vacía o descarga se sigue procesando a través del prensado, para extraer la mayor cantidad posible del licor gastado, desfibración, depuración, lavado y refinación para dejar en condiciones satisfactorias para la máquina de papel.

### **2.2.2 Pulpa de trapo**

Desde que los chinos inventaron la fabricación de papel, el trapo sea utilizado para este fin. Hasta 1860, las fibras de trapo (tanto de algodón como de lino) eran la fuente principal de materiales para fabricar papel, todos los papeles incluido el papel para periódico se hacían partir de 100% de trapo.

Durante los primeros días de la fabricación de papel hasta hace algunos años se utilizaba el trapo viejo, mientras que a partir de este trapo no se producía papeles tan resistentes como se podían hacer a partir de trapo nuevo.

La fibra producida a partir de trapo viejo estaba tan sucia que no podía usarse en papeles de alta calidad. El que la industria del papel con contenido de trapo, o como

se le puede llamar más apropiadamente, la industria del papel con fibra de algodón, constituye todavía una parte importante de la industria del papel.

Se entiende que el término "TRAPO" incluye materiales tales como hilos de lino, o algodón, linaza y cáñamo, algodón en rama y otras ramas textiles. La mayoría del trapo utilizado por la industria del papel con contenido de trapo son retazos nuevos de algodón que provienen de diversas fábricas textiles y talleres de ropa.

En total existen unas ochenta diferentes calidades de trapo que se colectan con regularidad y se venden a las fábricas, al escoger y empacar este trapo para la industria del papel, el comerciante trata de eliminar materiales tales como hule, metales, lanas y los diversos tipos de materiales sintéticos. El trato blanco sin blanquear es más caro ya que el trapo de color es más difícil de procesar y no se puede usar en todas las calidades del papel en términos generales a partir del trapo blanco o sin blanquear se pueden producir una mejor calidad de papel puesto que las condiciones de cocción y blanqueo son mucho menos drásticas.

Las propiedades deseables que los papeles de trapo deben poseer son máxima resistencia, máxima durabilidad, máxima permanencia, formación, color, textura, tacto, tactos finos, excelentes características de escritura y borrado. Debido a estas propiedades sobresalientes los papeles de trapo se usan extensamente para los siguientes fines:

- 1.-Papeles para moneda y seguridad.
- 2.-Ppóliza de seguros de vida, documentos legales.
- 3.-Papes para dibujos técnicos tales como dibujo, heliografías e impresiones finas.
- 4.-papeles bond de alta calidad, membretados, documentos bancarios, notariales y de contaduría pública
- 5.-Papeles ligeros especiales tales como papel para cigarrillos, papel carbón, biblia.

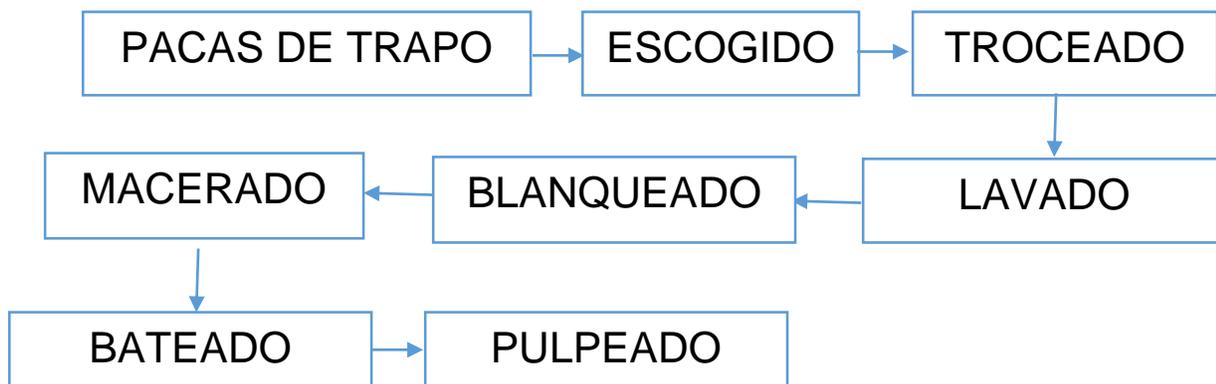
Después del escogido, el trapo se coloca en transportadores y se lleva las cortadoras en las cuales se reduce a pedazos más pequeños.

Estas cortadoras pueden rasgar el trapo a lo largo y luego cortarlo a mejores longitudes con una acción similar a la de una podadora de pasto. De las cortadoras el trapo se lleva a los separadores de polvo y luego a unos rodillos magnéticos para eliminar clavos, grapas, corcho latas y otros objetos metálicos. De esta manera el trapo queda ya listo para coserse, el trapo está constituido por 85% a 95% de celulosa, pero ciertos materiales deben eliminarse tales como las ceras naturales, aceites y almidones agregados en las fábricas textiles. La cocción se hace en grandes tambores cilíndricos o esféricos llamados hervidores de blanqueo con capacidad de cinco toneladas, el trapo se alimenta a través de bocas de acceso después, de que el hervidor está cargado, se agrega el licor de cocción. Este es por lo general una solución alcalina débil preparada a partir ya sea de cal, de una mezcla de cal y carbonato de sodio, o de sosa caustica. En algunos casos se emplean agentes humectantes y detergentes. Se usa una proporción aproximada de tres libras de licor de cocción por una libra de trapo. Después de tapar las bocas de acceso se admite vapor por los muñones y se levanta una presión aproximada (35lb/pulgada equivalencia 2.5Kg/cm). Durante el proceso de cocción el hervidor gira lentamente a una velocidad de un tercio de revoluciones por minuto el trapo puede cocerse de tres a 10 horas dependiendo de la calidad, entonces se descarga el vapor y el licor in recuperar el licor de cocción debido a su bajo contenido de productos químicos. Antes de vaciarse el trapo puede enjuagarse con agua limpia. El trapo, después de cocido pasa a las lavadoras que básicamente son pilas holandesas equipadas con cilindros lavadores. Después de una a dos horas cuando el trapo ya está limpio el operador de la pila lavadora baja el rodillo a modo de abrir el trapo y convertirlo en fibras. La pulpa queda lista para blanquear. En el caso del tapo blanco la operación de blanqueo es sencilla requiere tan solo adicionar 0.05% de hipoclorito de calcio o de sodio, se lleva a cabo un pH DE 8-9 se completa en medio de dos horas. Después del blanqueo la suspensión se vacía en pequeños tanques llamados drenadores dejando la pasta en la parte superior.

Se crea a partir de fibras de algodón, lino o cáñamo. Fue la principal forma de hacer papel hasta mediados del siglo XIX, cuando comenzó la producción de papel de pulpa de madera. En la primera mitad de este siglo se puede encontrar papeles de

trapo formados en máquina. El proceso para obtener la pulpa de trapo es el siguiente:

- Clasificación: se separa la materia prima por tipo de fibra y estado de la tela.
- Troceado: se cortan los retazos a un tamaño uniforme.
- Lavado: se limpian y eliminan impurezas
- Blanqueado: se eliminan tintas y colorantes.
- Macerado: se deja en remojo la tela en recipientes con agua.
- Bateado: se golpean las telas con mazos de madera mientras una corriente de agua limpia las impurezas hasta deshacerlas por completo con lo que se genera el desfibrado.
- Pulpeado: el material desfibrado se mezcla con agua hasta obtener una pasta, la cual se extrae de los contenedores por medio de un molde o malla permitiendo la filtración del agua, para después ser prensada y secada para obtener la hoja de papel de trapo.



**Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de pulpa de trapo.**

### **2.2.3 Pulpa de Bagazo de caña**

El proceso de fabricación de papel a partir del bagazo de la caña de azúcar inicia por decirlo así, con la salida del bagazo del ingenio azucarero o pequeños productores de azúcar de la zona de Ambuqui ya sea en granel o en pacas y es transportado hasta la planta de producción donde será almacenado y posteriormente procesado.

Se entiende por proceso productivo, a la transformación de insumos mediante una técnica de combinación de factores como: mano de obra, equipos y maquinaria, insumo, materiales y cuyo resultado final es un producto final para comercialización o un producto que sirve como materia prima para otro proceso productivo.

El almacenamiento es muy importante ya que debido a que la zafra no es de forma continua. Básicamente existen dos formas de almacenamiento de bagazo de caña de azúcar que son: en pacas, sueltos o a granel, pero el tipo de almacenamiento que nos interesa en esta oportunidad, es el almacenamiento a granel.

Posteriormente el bagazo después de ser almacenado es transportado hacia el sistema de desmenuzado o triturado, el triturador utilizado TRO 200 que sirve específicamente para moler materiales orgánicos, en este caso bagazo de la caña de azúcar, este triturador cuenta con un sistema de martillos el cual nos permite aprovechar al máximo la materia prima.

El proceso de lavado se efectúa sobre filtros o lavadoras de tambor o también llamados filtros al vacío y aquí es seleccionado el material pre triturado eliminando pedazos e impurezas.

El tambor está dividido en cinco partes o secciones:

- 1.- En la primera zona bajo el efecto del vacío se forma la hoja sobre el tambor.
- 2.- La segunda zona es el desagüe de las fibras.
- 3.- La tercera zona es la parte donde la pulpa se lava con agua.
- 4.- La cuarta zona, en esta se lleva a cabo la filtración.
- 5.- La quinta zona, en la cual se rompe el vacío y la hoja se descarga a un repulpeador.

El proceso de preparación de la pasta inicia con el pulper, que es una maquina capaz de disgregar la materia prima, bagazo de la caña de azúcar, separando la fibra virgen en fibras o haces de fibras de forma tal que puedan ser procesadas en las posteriores etapas. El pulper se utiliza para mezclar el bagazo de la caña de azúcar triturado y el agua para así obtener una pasta homogénea, por lo cual la maquinaria más adecuada es el Dumpulper, que tiene ventajas importantes a comparación de los otros pulper como son:

- Disminuye la necesidad de limpieza continua del pulper, puesto que extrae los contaminantes de la máquina y ahorra energía.
- Cuenta con dos aspas denominadas Spiropulper que permite una fuerte fricción entre las fibras dando como resultado una pasta exenta de impurezas
- Tiene una relación correcta entre agitación y trabajo mecánico, también entre consistencia entregada y desfibrado, todo esto mientras separa correctamente los contaminantes, al ritmo necesario para alimentar el proceso.
- La forma del rotor y su velocidad, las perforaciones de la grilla de salida, el caudal de salida, el nivel de trabajo y la forma en que se agrega el material están en un todo de acuerdo.
- Esta máquina cuenta con bastante elasticidad ya que permite una carga de trabajo oscilante, inicia una base de trabajo al agregar fibra y agua hasta cierto nivel, se espera su correcto desfibrado y se descarga parcialmente; se vuelve a carga agua y fibra, y así hasta terminar el proceso.

El material permanecerá en el pulper el tiempo necesario para que sea correctamente desfibrado y ese tiempo también influye sobre la penetración de agua dentro de la fibra. Estos factores son muy muy importantes para los procesos que se sucederán ya que influyen sobre la capacidad de trabajo de los refinadores y los cambios en la viscosidad y concentración de la pasta, que se producen necesariamente mientras las fibras absorben agua hacia su interior.

Después en una máquina de papel la pasta en suspensión se convierte en papel.

Prensa y secado una vez adquirida consistencia, se ha de eliminar toda humedad posible, para esta etapa se usa presión y calor. La presión se da por medio de pares de rodillos recubiertos de goma; entre los rodillos y la hoja de papel corre una cinta de fieltro que absorbe el agua escurrida por la presión del rodillo.

La prensa se coloca en la parte superior de la tela en contacto directo con el papel, que mediante presión va eliminando el exceso de agua, así el papel comienza a tener consistencia y se coloca en la sección de secadores.

Lisado. Una vez seco, las fibras se unen convirtiéndose finalmente en lo que consideramos papel, para ello utilizaremos una máquina de lisado.

Hay que considerar que el papel en base del bagazo de caña de azúcar requiere una lisura especial, esto se consigue presionado entre dos rodillos llamados lisas. Las calandras tienen varios rodillos de estos colocados uno sobre otros, algunos calentados a vapor y otros no metálicos.

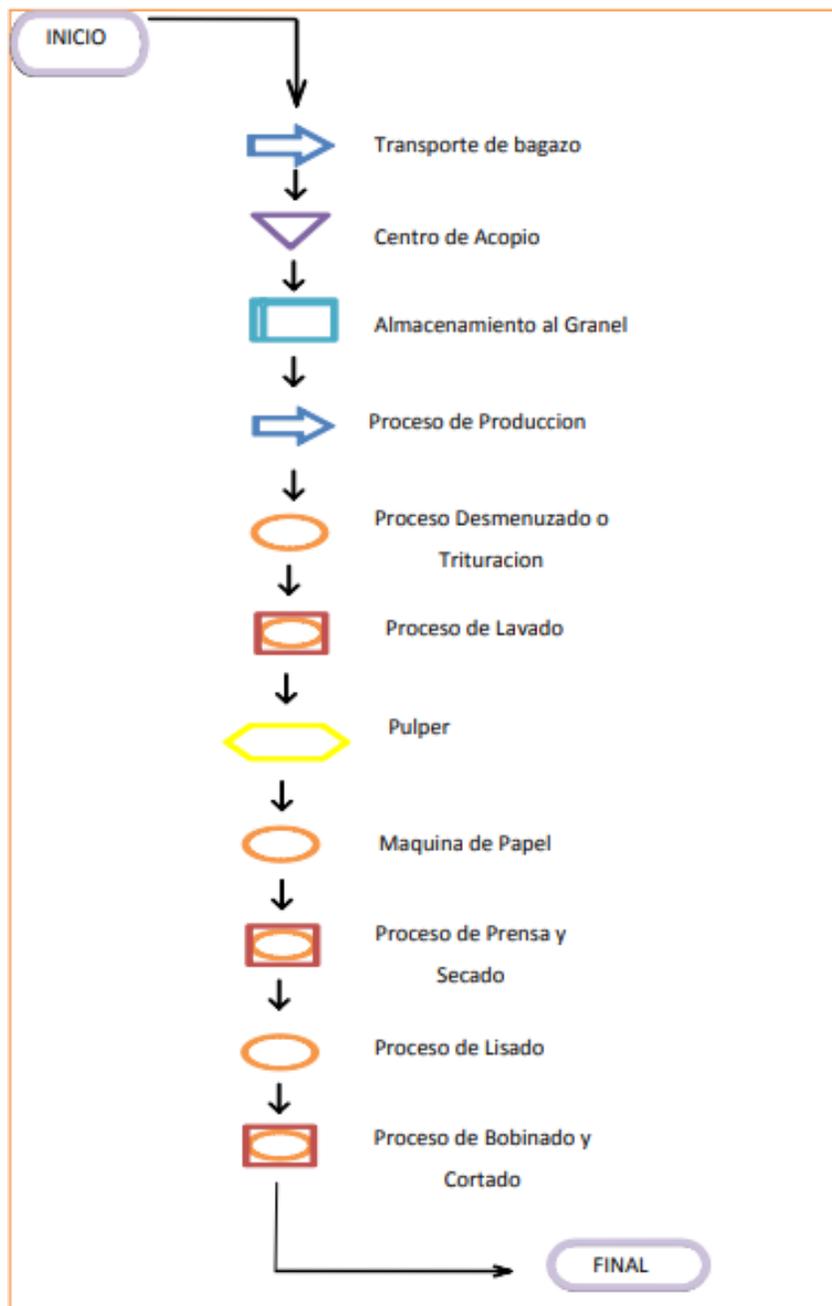
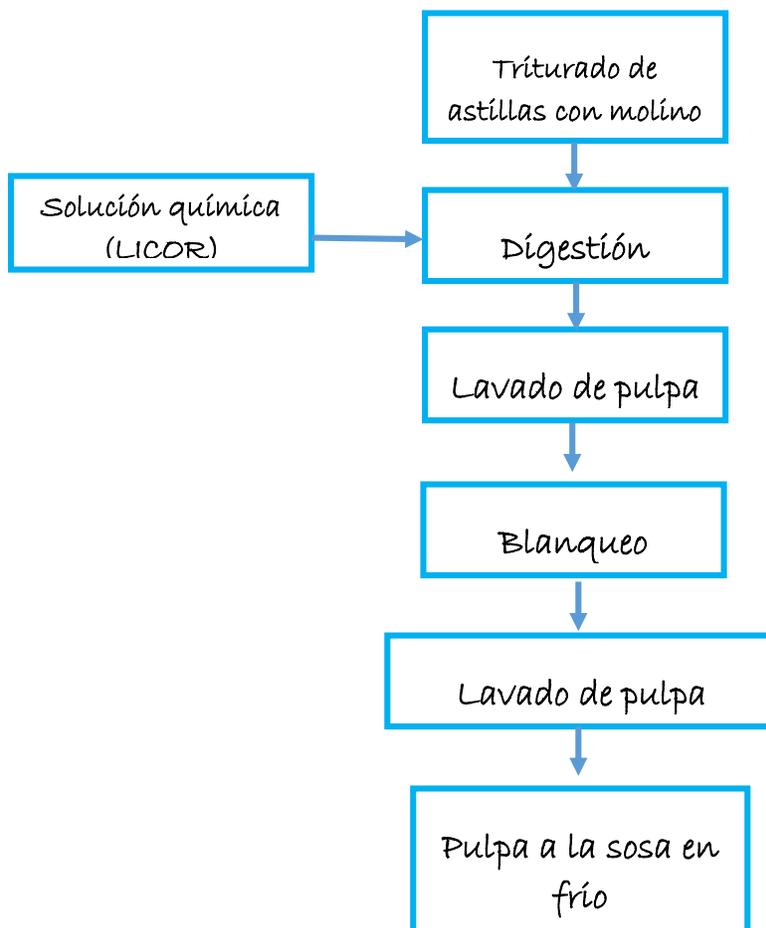


Figura 13. Diagrama de proceso de pulpa de Bagazo de Caña

### 2.2.4 Pulpa Sosa en frío.

Este método conocido como Soda Process, Soda fría que reduce a pulpa consiste básicamente de tratamiento de virutas con una solución de hidróxido de sodio, agregando un exceso de licor y Desfibración las virutas ablandadas en un molino de disco. El proceso funcionará satisfactoriamente en o ligeramente por encima de la temperatura ambiente. Un tratamiento químico de 1 a 2 horas es habitual pendientes a presión atmosférica. El tiempo de remojo puede ser acortado a 30 minutos o menos aplicando presión hidrostática al licor que rodea las fichas en el recipiente de tratamiento.



# CAPITULO 3

## 3.0 Etapa Experimental.

La aplicación de este proyecto experimental es la obtención de pulpa celulósica a partir de una fibra no maderable y obtención de papel a nivel laboratorio, la materia prima utilizada es **La Higuera (*Ricinus comunis*)** y

la cual se selecciono por su contenido de fibra, y la accesibilidad que tiene para cultivarse.

Después de revisar los diferentes procesos de obtención de pulpa para papel, se determinó tomar cómo base el proceso químico-mecánico de sosa en frío, el cual se emplea principal mente para fibras no maderables cómo lirio acuático, corona de piña, penca de plátano, entre otros.

### **3.1 Material y Reactivos.**

- NaOH (Hidróxido de sodio).
- NaClO (Hipoclorito de sodio)
- Resistol Blanco
- $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de calcio).
- $\text{H}_2\text{O}$ (Agua).
- Manta de cielo.
- Filtros y pellones.
- Recipientes de plástico.
- Vasos de pp de 4 Lt.
- Guantes de látex.
- Manta de cielo.
- Bastidores.
- Recipientes de plástico de 19 lt y 6 lt.
- Probeta de 2 Lt.
- Espátula.
- Tina de plástico.
- Recipiente metálico 10 Lt.

### **3.2 Equipo.**

- Parilla eléctrica con agitación.
- Balanza granataria y pesa de 1 kg.
- Licuadora.
- Molino manual mecánico de discos.
- Bastidores.
- Prensa manual.

### **3.3 Metodología Experimental.**

La metodología experimental que se llevó a cabo para este proyecto se basa en el proceso semiquímico de producción de pulpa a la sosa en frío, este proceso se eligió ya que ha dado resultados favorables en muchas fibras no maderables, Aunque cabe mencionar que al realizar un proceso semiquímico se lleva a cabo en dos etapas, siendo la primera un tratamiento químico que afecta la unión de las fibras y la segunda implica un tratamiento mecánico que es el desfibrado.

Con base al método semiquímico alcalino a la sosa en frío podemos describir de manera general la metodología para la obtención de pulpa celulósica a partir de Higuierilla para la obtención de hojas de papel a nivel laboratorio.

A continuación, se mostrará el diagrama del proceso de sosa para obtención de pulpa para papel a partir de la higuierilla.

Diagrama de bloques del proceso a la sosa

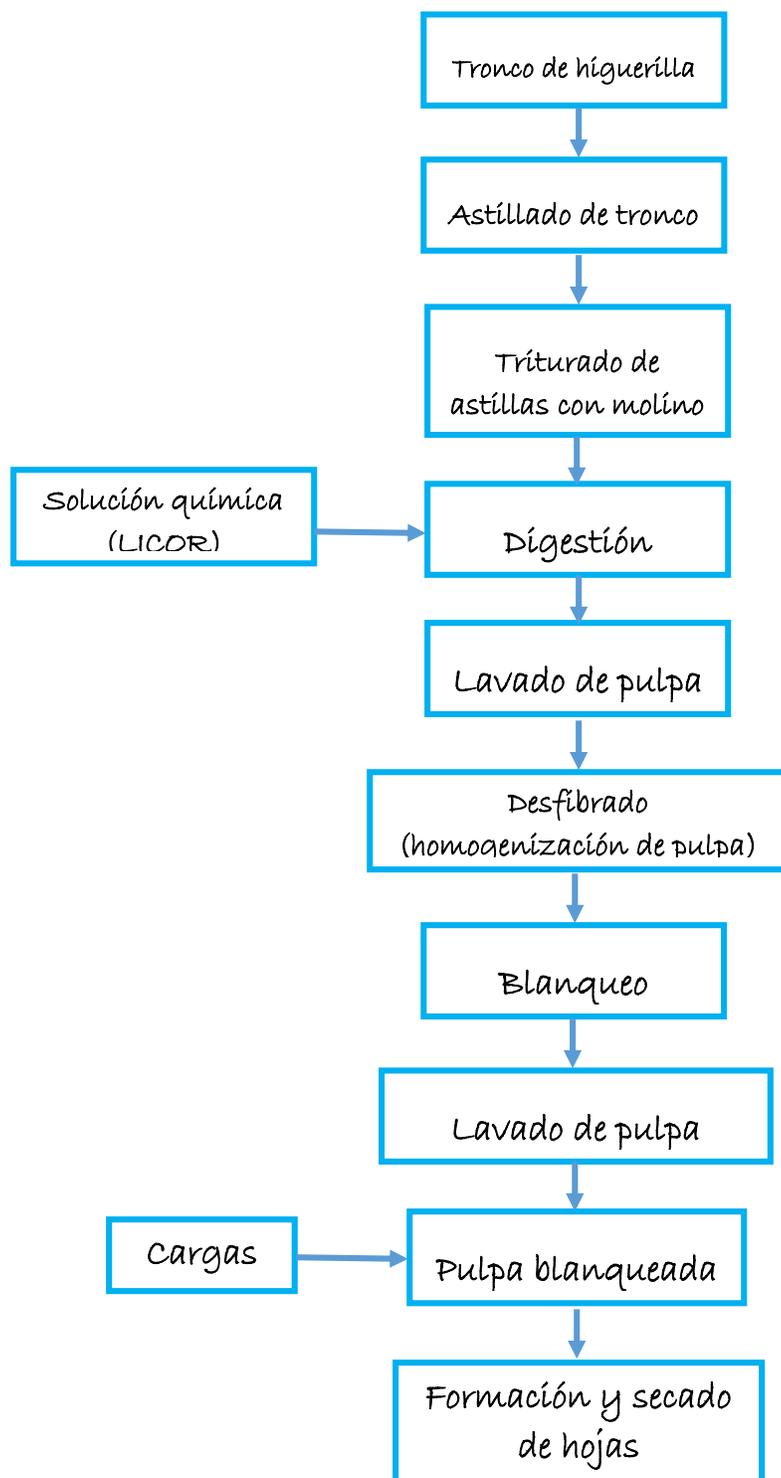
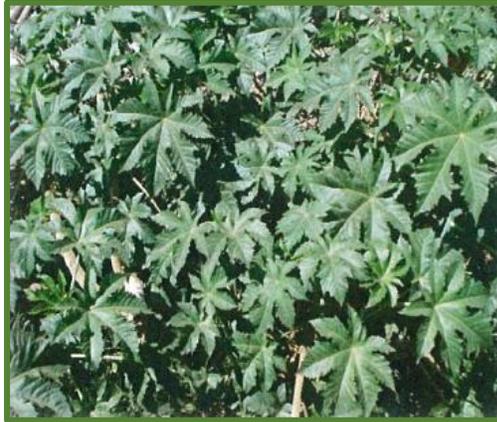


Figura 15. Diagrama de experimentación.

**i. Recolección de la materia prima.**

Esta fue recolectada del canal ubicado en Cuautitlán Izcalli Jardines de la Hacienda. En donde se recolectan las ramas quitándole las hojas y el fruto.



**Figura 16. Higuera (*Ricinus comunis*)**

**ii. Descortezado.**

Sin impurezas de corteza básicamente en limpiar el tronco para obtener tallos limpios.



**Figura 17. Troco sin descortezar**

**Tronco descortezado**

### iii. Astillado.

Consiste en cortar finamente el tallo limpio en pedazos pequeños de aproximadamente 2.5 a 3.5 cm de longitud. Con la finalidad de ayudar a la digestión ya que interactúa mejor con el licor de cocción.



Figura 18. Astillado del tronco de higuera con ayuda de un machete.

### iv. Proceso Mecánico (Triturado).

Esta operación permite obtener un tamaño de partícula menor que el de las astillas y esto facilita la obtención de la celulosa debido a que existe mayor área de contacto entre el solvente (solución de NaOH) y el sólido (la astilla finamente triturada). Cabe mencionar que este paso se cambió antes de la etapa química ya que es una materia prima dura y difícil de cocer.



Figura 19. Molino mecánico de discos para triturar las astillas de la higuera.

#### v. Elaboración de Solución (solvente).

Se prepara el licor de cocción mediante la disolución de sosa cáustica en agua, para una concentración del 20%.

Preparación de 6 Lt licor al 20% de NaOH: 1.200 Kg de NaOH se disuelven con 4.8 Lt de agua esto con ayuda del agitador magnético.

#### vi. Digestión (Extracción de la celulosa).

Se coloca en un recipiente de peltre de 10 lt astillas de higuera (*Ricinus comunis*) trituradas con los 6 Lt de solución de NaOH a 20%. Con ayuda de la parrilla se pondrá a calentar hasta una temperatura de 87°C a 100°C tratando de mantener la misma temperatura durante 3 hr.

**Nota:** El tiempo empezara a correr hasta alcanzar la temperatura.



**Figura 20. Digestión de la fibra de higuera con calentamiento eléctrico**

#### vii. Lavado.

Terminada la etapa de digestión se pone a enfriar para poder lavar la pulpa obtenida, esto también se realiza para retirar la sosa y sobre todo la lignina residual que aún se encuentre presente. Esto se lleva a cabo en el choro directo de agua con ayuda de la manta de cielo y guantes para protección para evitar pérdidas de materia prima y se depositan dentro de un recipiente plástico.

**Nota:** El licor de cocción agotada (utilizado) se neutraliza con ácido clorhídrico (HCl) al 1 M para su posterior eliminación.



**Figura 21. Pulpa de higuera lavada.**

**Licor agotado.**

#### **viii. Homogenización de fibra (licuado de pulpa).**

Se coloca un poco de la pulpa con agua para ayudar a la homogenización y se licua por al menos 2 minutos, se pasa por la manta de cielo para retirar el exceso de agua, se coloca la pulpa obtenida en un recipiente de plástico. Esto para ayudar a la separación de la fibra.



**Figura 22. Desfibrado mecánico de la fibra ya cocida.**

### ix. Blanqueado.

Se coloca en un recipiente de plástico de capacidad de 20 Lt la pulpa limpia, agregando agua hasta que cubra perfectamente la pulpa. Se agrega 5 Lt de Hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), se mezcla perfectamente la pulpa con el hipoclorito, dejar reposar 24 hr. La etapa de blanqueo es una reacción química entre el agente de blanqueo y el componente lignina presente en la fibra de higuera.



**Figura 23. Pulpa al inicio de la etapa de blanqueo. Pulpa al final de la etapa de Blanqueo.**

### x. Lavado (2).

Una vez que se blanqueó (Dejar que actué el cloro sobre la pulpa), se enjuaga con agua para eliminar residuos de lignina, residuos de hipoclorito e impurezas que llegara a tener la pulpa.

**Nota:** Se toma el pH de la solución donde se llevó a cabo el blanqueo la pulpa para saber si hay que neutralizar estos residuos para su posterior eliminación.



**Figura 24. Lavado de pulpa blanqueada.**

## **xi. Cargas.**

Se coloca en un recipiente de plástico de capacidad de 20 Lt la pulpa limpia, agregando agua hasta que cubra perfectamente ésta. Se agrega cargas para ayudar a la resistencia y acomodo de las fibras ya que dichas cargas se agregan para ayudar a llenar los espacios existentes entre las fibras celulósicas cuando se está formando la hoja también mejora la textura. Se colocaron 15 mL de Resistol con ayuda de una probeta y se pesan con una balanza granataria 20 gr de carbonato de calcio. Se agrega primero el carbonato de calcio a la suspensión de pulpa (contiene la pulpa de higuera limpia con aproximadamente 6 Lt de agua) se mezcla con una espátula metálica posteriormente se agrega el resistol se mezcla todo perfectamente de forma manual.

## **xii. Formación y secado de la hoja.**

Una vez que se agregaron los aditivos podemos empezar la formación de las hojas. Esta etapa tiene 4 pasos generales que son formación de la hoja en el bastidor, drenado, prensado, secado.

### **1) Formación de la hoja.**

La pulpa preparada con las cargas bien mezclada, se le drena toda el agua y se pone la pulpa en un recipiente de plástico. Se coloca en la tina de plástico 8 Lt de agua. Para ayudar el acomodo de las fibras se tiene que colocar el bastidor cubierto con agua una vez que el bastidor se encuentre sumergido se coloca una cantidad razonable de la pulpa dentro del bastidor, con ayuda de tu mano vas hacer ligeros movimientos horizontales y verticales para ayudar a la dispersión de la pulpa en todo el bastidor. Es importante mencionar que esta técnica nos funcionó mejor que la de la suspensión de la pulpa ya que la fibra se adhería más al bastidor. También es importante mencionar que estos movimientos ayudan al acoplamiento de las fibras para tener una mejor formación de la red fibrosa que es lo que nos da la formación de la hoja de papel. Cabe mencionar que a cantidad de pulpa que se agrega a cada formación de hoja fue tomada arbitrariamente.



**Figura 25. Formación de la hoja en el bastidor.**

## **2) Drenado.**

Una vez formada la hoja, se saca el bastidor de la tina con agua sin mover mucho dicho bastidor para evitar que se deforme la hoja, se mantiene elevado por encima de la tina para que salga la mayor cantidad de agua posible. Se coloca un pellón o un fieltro encima de la hoja formada para poder drenar la mayor cantidad de agua mediante la ayuda de una esponja que se pasa por debajo del bastidor. Una vez retirado el exceso de agua le pasa a desprender la hoja del bastidor esto con ayuda de la espátula ya que se pasa la espátula por las orillas del bastidor para desprender la hoja con un ligero golpe.



**Figura 26. Retiro de agua con esponja Hoja desprendida del bastidor**

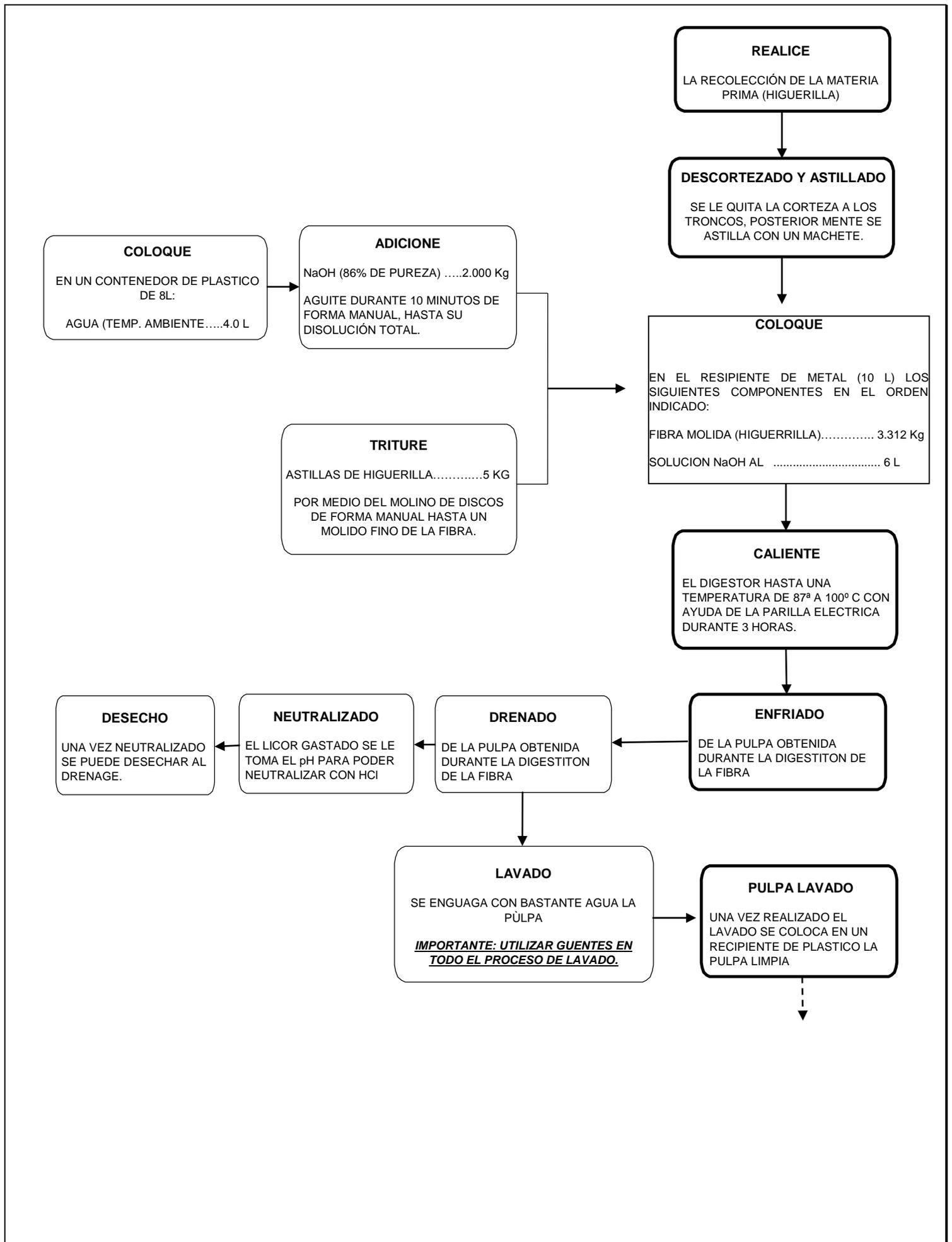
### **3) Prensado.**

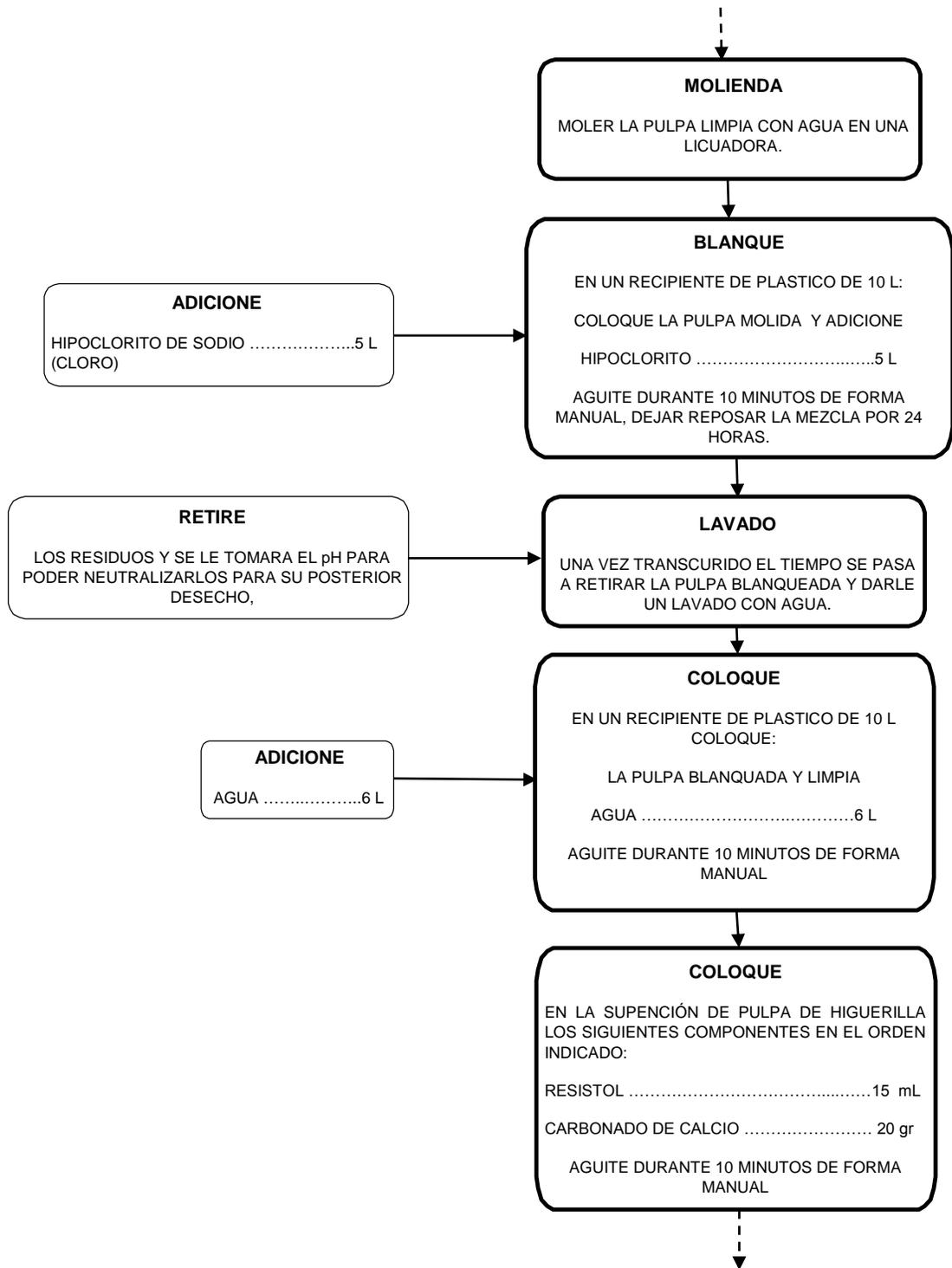
Después de la extracción de la hoja se procede a el prensado que consiste básicamente en la aplicación de presión a la hoja formada por medio de una prensa. Que fue elaborada con dos tablas de madera con un par de tornillos para ejercer la presión. Esta etapa nos llevó algunos minutos solo ejercimos la presión suficiente para lograr la eliminación del agua que aún se almacenaba después de la etapa de drenado ya que no se puede eliminar todo el contenido de agua.

### **4) Secado.**

Se separaron las hojas de papel y se colocaron en charolas para continuar con la etapa de secado. Esta etapa consiste en la eliminación del agua que se almacena en la estructura interna de las hojas esto fue mediante la evaporación de dicha agua por medio de la exposición de las hojas a la radiación solar. Hay que estar checando que la exposición del sol no sea excesiva ya que empieza a deformar las hojas si esto empieza a suceder la recomendación es poner peso en las hojas para mantener la forma.

A continuación se muestra el diagrama experimental para obtención de hojas de papel a nivel laboratorio a partir de pulpa de higuera (Ricinus Communis).







# CAPITULO 4

## **4.0. Resultados obtenidos de la calculación de algunas propiedades de las hojas elaboradas a partir de la fibra Ricinus Communis.**

### **4.1 Características más relevantes de las hojas.**

En este capítulo se explicarán los métodos utilizados para la evaluación de algunas de las propiedades de las hojas de papel elaborado con la fibra de Ricinus communis medidas y comparadas con hojas de la marca hp office (paper 8.5x11" 20 lb 92 500 hojas), además estos métodos se basan en normas NMX, TAPPI e ISO.

### **4.2. Determinación de la humedad**

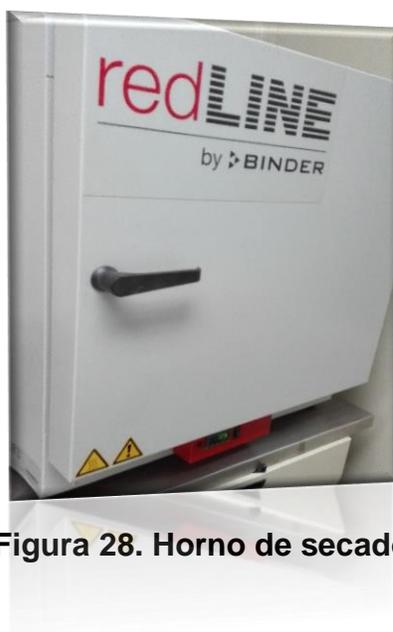
La humedad es una especificación importante del papel porque representa la relación celulosa-agua. Dicha relación se efectúa mediante la conservación de agua entre las fibras o dentro de las fibras; donde este último, puede poseer agua coloidal o capilar; afectando así el peso, la resistencia, la permanencia, la estabilidad dimensional y las propiedades eléctricas del papel. De tal manera que la humedad puede definirse como el valor porcentual (peso/peso) de agua evaporable contenida en una hoja de papel.

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V. y el procedimiento está basado en la norma NMX-N-016-SCFI-2011 "Determinación de humedad de los papeles y cartones por secado en estufa" ver anexo.

Se recortó la hoja de modo que se pudiese meter en un crisol, previamente los crisoles se colocaron a peso constante, y ya estando a peso constante se le pone un gramo de muestra de cada una de las hojas y se mete a una mufla a 105°C por una hora así al terminar dicho tiempo se ponen los crisoles en un desecador en lo que se enfrían a temperatura ambiente, se procede a pesar los crisoles.



**Figura 27. Crisoles en horno de secado**



**Figura 28. Horno de secado**

Se determina la humedad con la siguiente formula

$$\% \text{ Humedad} = \frac{wM - (wMC - wC)}{wM} \times 100$$

Donde:

wM= Peso de la muestra

wMC= Peso de la muestra seca más crisol

wC= Peso del crisol

Donde su porcentaje de humedad es

<b>Muestra</b>	<b>Wc</b>	<b>wM</b>	<b>wMC</b>	<b>% Humedad</b>
Hoja de Higuera 1	30.9755	1.2863	32.2279	2.64%
Hoja de higuera 2	34.4481	1.2008	35.6192	2.47%
				Promedio = 2.56 %

#### **4.3 Determinación de Espesor**

El espesor también es una de las especificaciones más comunes del papel, pues representa la voluminosidad que posee una hoja de papel. Su valor se determina a partir de la distancia perpendicular existente entre las dos principales superficies que posee. En el sistema métrico, se expresa en milímetros (mm) y éste posee una gran importancia, porque afecta casi todas las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel.

De igual manera que la prueba de gramaje, la prueba de espesor se realizó en la asociación mexicana de técnicos de las industrias de la celulosa y del papel, a. c. (atcp) mediante un procedimiento que se basó en la norma NMX-N-009-SCFI-2011 “Espesor y peso específico de papeles y cartoncillos” ver anexo.

1.-Se tomaron 10 hojas de papel

3.-Cada hoja de Higuierilla se le midió su espesor con ayuda del vernier obteniendo un promedio de: 1.2 mm, la hoja comercial tiene 0.16mm.



**Figura 29.**

**Vernier**

**Espesor de la hoja.**

#### **4.4 Determinación de brillo**

Esta prueba se puede ver el brillo que tiene nuestra hoja de papel a partir de higuierilla, así como la hoja comercial este equipo nos da las lecturas en tres diferentes ángulos.

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V.



**Figura 30. Brillometro**

El equipo con el que se mide el brillo nos da tres lecturas las cuales son a diferentes ángulos de incidencia y nuestros resultados son:

<b>Angulo:</b>	<b>20°</b>	<b>60°</b>	<b>85°</b>
<i>Hoja a partir de Higuierilla</i>	1.0	3.1	0.4
<i>Hoja comercial</i>	1.2	4.2	3.8

#### **4.5 Propiedad química Determinación de pH**

La determinación del pH en las hojas de papel es importante porque determina la permanencia del papel esto influye mucho cuando se quieren general documentos de mucha importancia que van a ser almacenados por un largo tiempo y así tenga la resistencia adecuada con respecto al tiempo, Además, su determinación se efectúa a partir del extracto de papel ya sea en caliente o en frío mediante la medición de los iones ácidos o básicos existentes en el extracto y que pueden estar derivados de:

5. Residuos del blanqueo que quedan en la pulpa.
6. La absorción de gases ácidos de la atmósfera.
7. La presencia de ácidos orgánicos que se encuentren en la pulpa.
8. Los agentes encolantes.
9. Los materiales de recubrimiento.
10. Los ácidos segregados por sudoración cuando el papel tiene contacto con la piel durante alguna operación de manejo.

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V. y el 'procedimiento está basado en la norma NMX-N-011-1965 "Determinación del pH en papel" ver anexo 1; cuya descripción fue la siguiente

Se determinó el pH en comparativo con la con la hoja comercial Hp

- 1.-Se pesaron 3g de muestra
- 2.-Se colocaron en un vaso de precipitado de 250ml
- 3.-Se le agrego 70 ml de agua destilada se agito durante 10 minutos
- 4.-Se les midió el pH con ayuda del potenciómetro a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  como se muestra en las imágenes.

$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O destilada}} = 7.26$

$\text{pH}_{\text{Hoja comercial}} = 8.18$

$\text{pH}_{\text{Hoja con Higuera}} = 6.94$



**Figura 31. Potenciómetro Medida de pH.**

#### **4.6 Determinación de color**

Esta prueba se puede medir las coordenadas del color que tiene nuestra hoja de papel a partir de higuera, así como la hoja comercial este equipo nos da las coordenadas de color.

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V.



**Figura 32. Colorímetro**

Se determinó el color con el colorímetro mostrado en la imagen el cual nos da las siguientes lecturas.

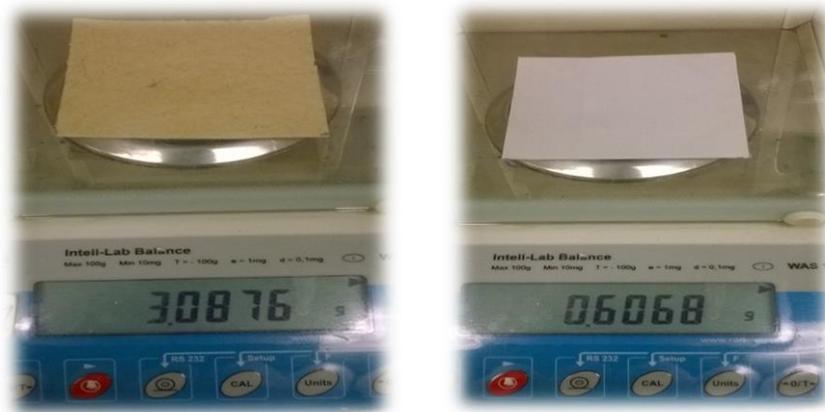
Color	H (ángulo)	L (luminosidad)	a (coordenada)	B (coordenada)	C (saturación de color 100% = negro 0% = blanco)
Hoja a partir de la Higuera	127.1	88.3	-1.0	+ 11.2	3
Hoja comercial Hp	92.5	90.6	-0.8	+17.7	17.7

#### 4.7 Diferencia de gramaje por unidad (comparación)

El peso es una de las especificaciones más comunes del papel, ya que su utilización se efectúa en forma de hoja y por ello, su área tiene más importancia que su volumen. De tal manera que el peso se expresa por unidad de área y en el sistema métrico se conoce como gramaje, siendo expresado en gramos por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>). Además, el peso posee una gran importancia, porque afecta todas las propiedades físicas y muchas de las propiedades ópticas y eléctricas del papel.

El gramaje se lleva a cabo en la asociación mexicana de técnicos de la industria de la celulosa y el papel a. c. (atcp) y este procedimiento está basado en las normas NMX-N-001-SCFI-2011 “Determinación de gramaje o peso base del papel, cartoncillo y cartón (peso por unidad de área)” ver anexo.

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V.



**Hoja de Higuierilla**                      **Hoja Comercial**

**Figura 33. Determinación de diferencia de gramaje.**

- 1.-Se tomaron 10 hojas de papel
  - 2.-Con una regla se midieron y se recortaron cuadros de 9x9cm
  - 3.-Cada hoja se pesó en una balanza analítica como se muestra en la figura
- Nuestra hoja elaborada con Higuierilla en comparación con la Hoja normal Hp (las dos se recortaron a 9cm x 9cm), tiene una diferencia de  $3.0876 - 0.6068 = 2.4808\text{g}$

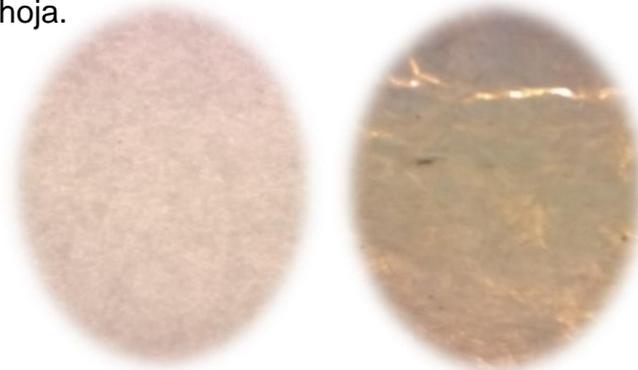
$$\text{Gramaje} = \frac{\text{Peso de la hoja en gramos}}{\text{Area de la hoja en metros cuadrados}}$$

<b>Hoja</b>	<b>Peso promedio de los cuadrados recortados</b>	<b>Área de la Hoja en m<sup>2</sup></b>	<b>Gramaje g/m<sup>2</sup></b>
<i>Hoja a partir de Higuera</i>	3.0876	0.08	38.1185
<i>Hoja comercial</i>	0.6068	0.08	7.4914

#### 4.8 Entrelazado de fibra

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V.

Se ponen a contra luz y se alcanza percibir como es que las fibras se entrelazan y como es que están compactadas lo que nos demuestra que en nuestra hoja nos faltó encolado ya que se alcanza a percibir espacios vacíos y que no está uniformemente la hoja.



**Hoja de Comercial**

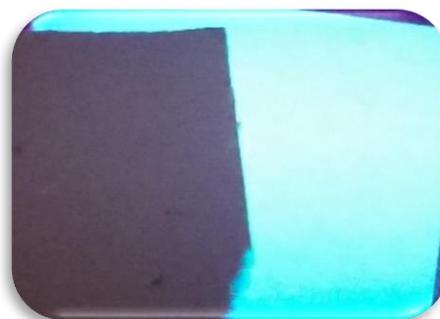
**Hoja Higuera**

**Figura 34. Determinación de estabilidad dimensional**

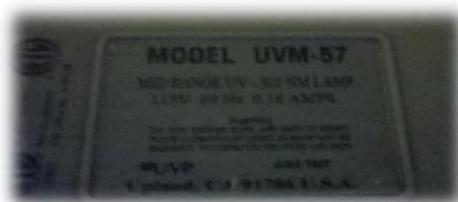
Comparativo de las Hojas visualmente se observa la diferencia de tejido de las fibras.

#### 4.9.-Comparativo en incidencia de luz ultravioleta.

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V. Se percibe claramente como tiene una mayor refracción la hoja comercial Hp ya que se aprecia que la hoja de Higuierilla de aprecia oscura.



**Figura 35. Comparativo en incidencia de luz ultravioleta**



**Figura 36. Modelo de lámpara ultra violeta**

#### 4.10.-Ascensión capilar

Esta prueba se elaboró en un laboratorio de control de calidad en la empresa FQ Speciality Chemicals S.A. de C.V.

Se recortaron tiras con un ancho de 1.5cm y una altura de 10cm y se sumergieron las puntas en una baso de precipitado con 10ml de agua.



**Figura 37. Ascensión capilar**

Se determinó la capilaridad y el ascenso del agua y en el cual en la Hoja que se hizo con Higuierilla tardo solo 1.5 minutos en ascender los 10 centímetros de altura

así que tiene excelentes propiedades absorbentes nuestro papel y la hoja comercial solo tuvo un ascenso de 2 centímetros.

### **RESULTADOS OBTENIDOS:**

El proceso que se utilizó en la obtención de papel a partir de higuera fue el adecuado para este tipo de fibra, pues encontramos que es una fibra dura, y al finalizar el proceso se obtuvo una pulpa con alto contenido en fibra de un color mostaza.

Habría que ayudar a la resistencia al doble y mejorar la técnica de la formación de la hoja debido a que la fibra tiene un alto contenido de almidón lo que ayuda a la adherencia con el bastidor. La ventaja de este método y de la elección de la materia prima fue por el bajo costo de ella y el contenido de fibra y lo comprobamos al ver el rendimiento que dio la fibra y la pulpa. Con respecto a la cantidad de hojas obtenidas ya que se obtuvieron 18 hojas de aproximadamente 8.5 x 11 pulgadas.

Se redujo el tiempo de cocción y la cantidad de reactivo, con la ayuda del molino mecánico, ya que nos permitía tener un mejor desfibrado y un mayor contacto entre la fibra y la solución química.

Este papel tiene características buenas en comparación a papeles comerciales, aunque se podría mejorar la calidad del producto con ayuda de un método al sulfito o bien que se ayudara con algunos aditivos y cargas para mejorar las deficiencias como es la resistencia al doble y la textura.

También se recomienda un tratamiento ácido al inicio de la elaboración ya que ayudara a neutralizar los almidones presentes en la materia prima para mejorar las cualidades de la pulpa.



**Figura 38. Moldeado de las fibras para convertir en hojas**



**Figura 39. Obtención de Hojas**

#### RESULTADOS EN BENEFICIO A LA SOCIEDAD:

Si este proceso para la obtención de papel se llevara a cabo a gran escala se tendría varios beneficios, como podar los canales y terrenos baldíos esto con la finalidad de mejorar la apariencia de dichos lugares. Cabe mencionar que al estar elaborando papeles con fibras no maderables contribuimos a no fomentar la excesiva tala de árboles en el país y así tener una nueva alternativa para la gran demanda de papel que existe en nuestro país.

## **CONCLUSIONES:**

Este trabajo de tesis tuvo como objetivo obtener una alternativa para la elaboración de papel a partir de una fibra no maderable, es decir que la fibra de la higuera utilizada en este trabajo es una alternativa viable por su alto contenido en fibra en comparativo con otras fibras no maderables como es la paja, algodón, nopal, piña, entre otros.

Para demostrar la viabilidad de la selección de la fibra y el método de elaboración de papel se optó por el método de sosa en frío dando una ligera modificación en temperatura de digestión, tiempo de digestión y concentración del licor ya que dicho método es el más usado en la industria, las modificaciones realizadas fueron para adaptar la fibra que se trabajó, las condiciones en que se realizó la investigación de este método fue adaptado a escala de laboratorio ya que es un método industrial.

Se observó que dicha modificación fue adecuada ya que se obtuvo una pulpa con características aceptables para las hojas obtenidas, esto lo comparamos con las hojas comerciales y se observa que tienen características similares como el porcentaje de humedad ya que su variación es de el 0.20%, respecto al análisis de determinación de brillo tenemos una diferencia del 20% por lo cual determinamos que se tiene una variación pequeña por mencionar algunas propiedades, lo cual demuestra que las hojas obtenidas tienen características similares a las hojas comerciales con lo cual para investigaciones posteriores se podría modificar el método con respecto a mejorar dichas variaciones para obtener hojas con características iguales a las comerciales y estos parámetros los obtenemos de las normas de calidad mexicanas de la industria papelera.

Considerando que estas hojas no poseen los estándares de una hoja comercial, pues lo propuesto como objetivo fue obtener hojas de papel a nivel laboratorio a partir de una fibra no maderable higuera y poder determinar la medición de variables al papel obtenido como gramaje, humedad, ph, brillo, asención capilar determinación de color.

Por otra parte, se puede concluir que este proyecto será el inicio de otros más para establecer métodos de obtención de pulpa a partir de higuera, primero a nivel planta piloto y posteriormente a mayor escala.

Uno de los beneficios primordiales a nivel ambiental es el empleo de plantas parásitas localizadas en los canales, que provocan contaminación al medioambiente y probables enfermedades causadas por insectos y microorganismos.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. Area, m. C. Panorama de la industria de celulosa y papel en iberoamérica. Misiones: red iberoamericana de docencia e investigación en celulosa y papel (riadicyp) 2008
2. Bajpai p. Environmentally friendly production of pulp and paper. John wiley & sons, usa, 2010.
3. Biermann c. J. Handbook of pulping and papermaking. 2a ed. Academic press. Usa. 1996.
4. Casey j. P. Pulp and paper chemistry and chemical technology. 3rd ed. Wiley interscience. New york, 1983
5. Casey, s.p. pulpa y papel: química y tecnología química vol. I , ii, editorial limusa méxico ,1990
6. Diseño de un proceso para la fabricación de papel reciclado ecológico a escala laboratorio usando peróxido de hidrógeno universidad de cartagena facultad de ingeniería programa de ingeniería química cartagena de indias, d.t. y c.2012 trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero químico director de tesis ing. Rodrigo ricardo
7. El papel. Su impacto sobre el medio ambiente y otros informes relativos al tema, se encuentran disponibles en greenpeace méxico: andalucía 218, col. Alamos, cp 03400.
8. Hunter d. Papermaking: the history and technique of an ancient craft. New york. 2011.
9. Karl-erik I. Eriksson. Biotechnology in the pulp and paper industry (advances in biochemical engineering biotechnology). Springer, germany, 2010.
10. Libby, e.c. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel tomo i , ii, editorial continental México , 1983
11. Perry's chemical engineers' handbook, 8th ed. New york. 2007.
12. Sánchez. L celulosa y papel. serie de apoyo académico división de ciencias forestales chapingo, méxico. 2010.
13. Smith m. The u.s. paper industry and sustainable production. The mit press, usa, 1997.
14. Sourcebook of methods of analysis for biomass and biomass conversion processes t. Milne, a.h. brennan, b.h. glenn, solar technical information program (u.s.) - 1990 - 341 pages.
15. Special considerations affecting improvements in the cold soda pulping process 1— by kenton j. Brown, chemical engineer forest products laboratory, 2— forest service u. S. Department of agriculture
- 16.** Un laberinto de papel. Fábricas de pasta de celulosa y conflicto socioambiental en el río uruguay doc. Anàl. Geogr. 2010, vol. 56/3 461-477 carlos reboratti universidad de buenos aires.