

**PROPUESTA PARA LA ELABORACIÓN DE PAPEL BIODEGRADABLE A PARTIR  
DE LA PLANTA DE PLÁTANO EN PROCOL S.A.S POR MEDIO DEL MÉTODO A LA  
SOSA**

**GINO ALESSANDRO SANTOS ROZO**

**Proyecto integral grado para optar por al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Asesor  
OSCAR LIBARDO LOMBANA CHARFUELAN  
Ing. Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2024**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del jurado 1**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá D.C. Febrero de 2024**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

**Presidente de la Universidad y Rector del Claustro**

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

**Consejero Institucional**

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

**Vicerrectora Académica**

**Dra. MARÍA FERNANDA VEGA DE MENDOZA**

**Vicerrector Administrativo y Financiero**

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

**Vicerrectora de Investigaciones y Extensión**

**Dra. SUSAN MARGARITA BENAVIDES TRUJILLO**

**Secretario General**

**Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ**

**Decana Facultad de Ingeniería**

**Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO**

**Directora Programa de Ingeniería Química**

**Ing. NUBIA LILIANA BECERRA**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
2.1 <i>Objetivo general</i>	13
2.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>14</b>
<b>4. GENERALIDADES</b>	<b>15</b>
4.1 <i>Estado actual de producción de planta en Procol</i>	16
4.1.1 Descripción del proceso	17
4.2 <i>Estado actual de elaboración de papel a base de desechos agrícolas</i>	28
4.3 <i>Residuos agrícolas</i>	29
<b>5. ANTECEDENTES EN LA UTILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE DESECHOS AGRÍCOLAS</b>	<b>31</b>
<b>6. ANTECEDENTES PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA PLANTA DE PLÁTANO</b>	<b>33</b>
<b>7. MARCO LEGAL EN EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS.</b>	<b>35</b>
<b>8. MARCO TEÓRICO</b>	<b>37</b>
8.1 <i>Influencia del clima sobre el plátano</i>	37
8.2 <i>Propiedades del papel</i>	38
<b>9. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA</b>	<b>42</b>
9.1 <i>Composición cáscara de plátano</i>	42
9.2 <i>Fibra Dietética.</i>	45
9.3 <i>Celulosa</i>	45
9.3.1 <i>Clasificación de la celulosa</i>	47
<b>10. ELABORACIÓN DE PAPEL</b>	<b>48</b>
10.1 <i>Procesos obtención pulpa</i>	49
10.1.1 <i>Proceso mecánico</i>	49
10.1.2. <i>Proceso químico</i>	52
<b>11. METODOLOGIA</b>	<b>74</b>

11.1 Selección del método de producción	79
11.1.1 Matriz PUGH para la determinación de producción.	79
11.1.2. Método a la sosa	80
11.2 Materia prima	81
11.2.1 Pretratamiento de la materia prima	82
11.2.2 Obtención de pulpa de papel	84
11.2.3 Determinación de alfa celulosa	87
<b>12. DIAGRAMA DE BLOQUES</b>	<b>90</b>
<b>13. PRESUPUESTO</b>	<b>95</b>
13.1 Costos de materia prima	96
13.2 Costos de mano de obra	97
13.3 Costos indirectos de fabricación	98
13.4 Inversión	98
<b>14. CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
<b>15. Recomendaciones</b>	<b>103</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo del proceso de producción de la empresa Productos Colombianos S.A.S.	18
<b>Figura 2.</b> Composición de restos del banano.	44
<b>Figura 3.</b> Estructura de la celulosa.	46
<b>Figura 4.</b> Sistema producción termomecánica de pulpa.	51
<b>Figura 5.</b> Proceso Kraft o de sulfato	53
<b>Figura 6.</b> Proceso Sulfito	55
<b>Figura 7.</b> Proceso a la sosa	57
<b>Figura 8.</b> Proceso de cocción	58
<b>Figura 9.</b> Variables en los procesos de cocción	59
<b>Figura 10.</b> Evaluación físico-mecánica y óptica de la pulpa kraft y a la sosa.	60
<b>Figura 11.</b> Blanqueo de la pulpa kraft y a la sosa.	62
<b>Figura 12.</b> Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro primera fase.	63
<b>Figura 13.</b> Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro segunda fase	64
<b>Figura 14.</b> Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro tercera fase.	65
<b>Figura 15.</b> Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro cuarta fase.	66
<b>Figura 16.</b> Blanqueo pulpa sosa libre de cloro primera fase	67
<b>Figura 17.</b> Blanqueo pulpa sosa libre de cloro segunda fase.	68
<b>Figura 18.</b> Blanqueo pulpa sosa libre de cloro tercera fase.	69
<b>Figura 19.</b> Blanqueo pulpa sosa libre de cloro cuarta fase.	70
<b>Figura 20.</b> Blanqueo pulpa sosa libre de cloro quinta fase	71
<b>Figura 21.</b> Blanqueo pulpa sosa libre de cloro sexta fase.	72
<b>Figura 22.</b> Evaluación fisicoquímica de las pulpas blanqueadas	73
<b>Figura 23.</b> Etapas de obtención de pulpa de papel	78
<b>Figura 24.</b> Proceso de obtención de pulpa de papel.	81
<b>Figura 25.</b> Variables que influyen en la obtención de pulpa de papel	86
<b>Figura 26.</b> Diagrama de bloques para la obtención de pulpa de papel. ¡Error! Marcador no definido.	
<b>Figura 27.</b> Balance de materia para la obtención de pulpa de papel.	92
<b>Figura 28.</b> Balance de masas.	93
<b>Figura 29.</b> Inversión proyectada	99

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Fuentes información buscadas para el objeto de estudio.	75
<b>Tabla 2.</b> Matiz PUGH para la determinación del proceso de producción.	79
<b>Tabla 3.</b> Materiales y equipos de la determinación de alfa celulosa.	88
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de Costos	95
<b>Tabla 5.</b> Costos de Producción - Materia Prima.	96
<b>Tabla 6.</b> Costos de Producción - Mano de Obra.	97
<b>Tabla 7.</b> Costos Indirectos de Fabricación.	98

## RESUMEN

El aumento de producción de papel que se presenta año tras año, el gasto energético, los índices de contaminación, la reducción de recursos naturales, la deforestación, el bienestar social, y la insuficiencia de la gestión de desechos generados durante la producción del papel, ha suscitado la obligación de investigar alternativas para la reutilización de residuos agrícolas los cuales representan más de la mitad de residuos sólidos en países de bajos ingresos, con el fin de emplearlos como un recurso para desarrollar otros productos útiles [1]. Es por eso, que este proyecto se enfatiza en una revisión bibliográfica del aprovechamiento de la planta del plátano, y es planteado para darle uso a los residuos vegetales producidos en la cosecha y poscosecha del mismo, considerando que en los cultivos se desperdicia el tallo y las hojas, los cuales se pueden aprovechar para usar la celulosa del vástago como materia prima para la elaboración de papel biodegradable. De ahí se planteó las siguientes preguntas de investigación ¿El método de sosa permite transformar desechos de la planta de plátano en el material de interés, cumpliría con las condiciones ópticas-físicas de papel?

Dicho lo anterior, los objetivos del trabajo se basaron en desarrollar una propuesta para el aprovechamiento de las cáscaras, tallo floral y/o racimo de la planta de plátano en la producción de papel biodegradable por medio del método a la sosa, a fin de ser considerado una alternativa viable por parte de diferentes actores de interés. De esta manera, se describe el proceso para la elaboración del papel que está compuesto por las siguientes etapas: digestión, filtración, blanqueamiento, laminado y determinación de alfa celulosa, donde influyen las variables de concentración del reactivo, tiempo, temperatura y relación de materia prima. Por lo anterior, se determina que a mayor concentración de hidróxido de sodio y tiempo de reacción la eliminación de lignina es más eficaz, así pues el papel que se consigue de la cáscara de plátano se considera como un papel vegetal útil para la copia de imágenes, la escritura y bolsas de alimentos con buenas características mecánicas y físicas, y propiedades ópticas seleccionadas. En ese sentido, se sugiere a la empresa PROCOL implementar este proceso adicional, como técnica paralela donde conseguirá beneficios económicos debido a que, dentro de sus gastos fijos, el retorno de la inversión en maquinaria e insumos sería ágil, esto a fundamento de los precios económicos en cuanto reactivos se refiere.

**Palabras claves: Papel biodegradable, planta de plátano, método a la sosa, fibras no maderables, pinzote.**

## 1. INTRODUCCIÓN

El incremento de las cantidades de papel requeridas para el año, el mundo actual, la demanda de oxígeno y protección del medio ambiente, seguridad, bienestar, la falta de reutilización del papel, como materias primas para la producción de este, nos estimula a investigar medios para valorar la disposición de los recursos naturales [66].

La fabricación de papel necesita el empleo de requiere recursos naturales: para producir una tonelada de este material es necesario 2 a 2,5 toneladas de madera y 30-40 metros cúbicos de agua. Igualmente, se usa energía eléctrica y gas metano para suministrar los equipos industriales empleados en las distintas etapas de producción y aditivos químicos contaminantes. Por otra parte, en la obtención de un kg de papel reciclado, teniendo en cuenta desde la recolección de residuos, hasta la distribución de producto en empresas, se emiten aproximadamente de 1,8 kg de CO<sub>2</sub> equivalente. En el caso de papel de fibra virgen, se valoran 3,3 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por cada kg de papel [3].

En el presente trabajo se propone principalmente el desarrollo de una propuesta para la transformación de material orgánico considerado como desecho en Procol, en un papel envoltura a base de la planta de plátano, de tal manera que se pueda aprovechar cantidades importantes la biomasa remanente del proceso de producción principal de la empresa. Aunque los bioplásticos pueden ser una opción para las envolturas de los patacones, continúan siendo materiales que para su descomposición requieren técnicas externas como los son exposición a químicos o altas temperaturas, generando que se pierda el interés del establecimiento, debido a que se espera implementar un material que una vez desechado, se descomponga fácilmente [5].

Para la elaboración de la envoltura se debe caracterizar el desecho, que para este caso es materia prima del presente trabajo; establecer si posee algún posible contaminante que pueda entorpecer la transformación de la misma, puesto que Procol considera como posibilidad que este papel funcione como envoltura de los alimentos que se comercializan. Cabe resaltar que el motivo del proyecto es desarrollar una propuesta para el aprovechamiento del material orgánico que se está desechando, y a su vez la transformación de estas materias a papel biodegradable mediante el método de sosa con el fin de satisfacer la necesidad de aprovechar lo que en un comienzo se consideraba como desecho y producir un producto final que en este caso es el papel.

En relación con lo anterior, y por buscar una nueva alternativa se plantea la siguiente pregunta: ¿El método de sosa permite transformar desechos de la planta de plátano en el material de interés, cumpliría con las condiciones ópticas-físicas de papel?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta para el aprovechamiento de las cáscaras, tallo floral y/o racimo de la planta de plátano en la producción de papel biodegradable.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Establecer las condiciones óptimas de la materia prima para el proceso de elaboración del papel.
2. Definir la metodología a escala laboratorio para la elaboración de papel biodegradable mediante la planta de plátano.
3. Determinar los costos asociados a la propuesta.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La demanda de productos con la ayuda del papel es de carácter general, ya que es una necesidad para la vida del mundo actual, también tiene una demanda permanente y en crecimiento progresivo. La industria del papel se esparce para reorientar su infraestructura en rumbo a disminuir el empleo de la celulosa de madera, para su producción y así ingresar a nuevos mercados, para reemplazar las nuevas exigencias de los clientes y el beneficio conveniente de la empresa, no obstante, la demanda se conserva gracias a la relevancia del producto [66].

Esta compañía tendría un valor agregado a diferencia de grandes y medianas empresas del mismo sector, además de seguir comercializando un excelente producto como lo es el patacón, entregaría a sus consumidores un producto con una envoltura reutilizable y biodegradable. Finalmente entraría en el mercado con un producto ecológico que tendrá como característica fundamental, el uso de la materia natural, de buena calidad, económica y principalmente de fácil acceso.

La industria papelera requiere de un alto grado de tecnología y necesita de relevantes inversiones en innovación, maquinaria y equipos tecnológicos. Por lo anterior, necesita de profesionales altamente competentes y expertos. Ámbitos como los soportes celulósicos, la biomasa, biorrefinería, biotecnología o la nanociencia configuran parte del presente y el futuro de este sector [75].

Considerando la importancia de la producción de papel es importante mencionar que el método de sosa se destaca en la eliminación de la lignina que une las fibras y libera fibras celulósicas, con el fin de conseguir un material con un rendimiento adecuado, como la resistencia, brillo y pureza del producto final. Así pues, se obtiene una alta calidad de fibra, menor consumo de energía y la capacidad de recuperación de las materias primas químicas modificadas en el procedimiento [37].

#### 4. GENERALIDADES

El aumento de producción de papel que se presenta año tras año, el consumo considerable de agua y energía, la emisión de gases efecto invernadero, los índices de contaminación, la reducción de recursos naturales, la deforestación, la necesidad de preservar el ambiente, el bienestar social, la generación de residuos sólidos y la insuficiencia de la gestión de desechos generados durante la producción del papel, ha suscitado la obligación de investigar alternativas para la reutilización de residuos agrícolas los cuales representan más de la mitad de residuos sólidos en países de bajos ingresos, con el fin de emplearlos como un recurso para desarrollar otros productos útiles [1] [2].

De esta manera, la producción de papel requiere el uso de importantes recursos naturales, por ende para elaborar una tonelada de este material se precisa de 2-2,5 toneladas de madera y 30-40 metros cúbicos de agua. A su vez, es necesario utilizar energía eléctrica y gas metano para el funcionamiento de las máquinas industriales empleadas en las diferentes etapas de producción y, conforme el tipo de papel, aditivos químicos contaminantes. Ante la técnica de obtención de un kg de papel contemplando desde la recolección de residuos hasta la distribución del artículo en establecimientos, se emiten aproximadamente de 1,8 kg de  $CO_2$  equivalente por cada kg de papel reciclado. Por otra parte, se emiten 3,3 kg de  $CO_2$  equivalente por cada kg de papel de fibra virgen [3] [4].

Actualmente Productos Colombianos S.A.S.-PROCOL utiliza plásticos de un solo uso para la envoltura de los patacones prefritos, sin embargo, la compañía tiene como objetivo implementar un material que se ajuste a las condiciones de transporte, teniendo en cuenta que estos productos son de consumo inmediato y no requieren de largos tiempos de almacenamiento. A pesar de que los bioplásticos pueden ser una alternativa para las envolturas de los patacones, siguen siendo materiales que para su descomposición requieren, en su mayoría, procesos externos como los son exposición a químicos o altas temperaturas, haciendo que se pierda el interés de la compañía, puesto que se desea implementar un material que una vez sea desechado, se

descompone con mayor facilidad. Es por esto que se hará un proceso alterno en la empresa, el cual concierne al aprovechamiento de los desechos orgánicos provenientes de la actividad principal de la compañía para la elaboración de papel biodegradable. Además de hacer uso de los residuos, se busca que el modo operativo sea cíclico, es decir, que el papel producido a partir de esta propuesta, tendrá como fin, ser envoltura de los patacones que se comercializan. Inicialmente se considera que además de aprovechar esta biomasa, la compañía disminuirá costos de inversión en otros materiales para la envoltura de estos alimentos, dando un valor agregado al producto [5].

#### **4.1 Estado actual de producción de planta en Procol**

Productos Colombianos S.A.S. es una compañía dedicada a la producción de alimentos a base de plátano verde y maduro de diversidad hartón que opera hace 10 años. Dentro de su catálogo de servicios manejan presentaciones de plátano pre frito, frito y en snack que reparten a considerables nichos donde se sobresalen restaurantes, casas de eventos, casinos y viviendas. Se localiza en la carrera 31B # 1A-24 de Bogotá D.C, tiene una única vía de acceso que da hacia la carrera y en sus alrededores se ubican instituciones educativas como el Liceo Rómulo Gallegos, Gimnasio Talentos y en su mayoría domicilios [2].

La empresa está compuesta de una extensión fraccionada en 4 zonas: acceso por escaleras, mesa de corte de empaques, baño y cuarto de operaciones, correspondiendo esta última de 22,5 m<sup>2</sup>. Tiene pisos de cerámica en todas las zonas excepto en el cuarto de operaciones donde es una capa de cemento recubierta por cartón. Las paredes están recubiertas de pintura blanca para vivienda residencial con ventanas en el cuarto de operaciones y en la vía de acceso de las escaleras. Los techos están recubiertos de la misma estructura que las paredes exceptuando el cuarto de operaciones que consta del tejado de la vivienda [2].

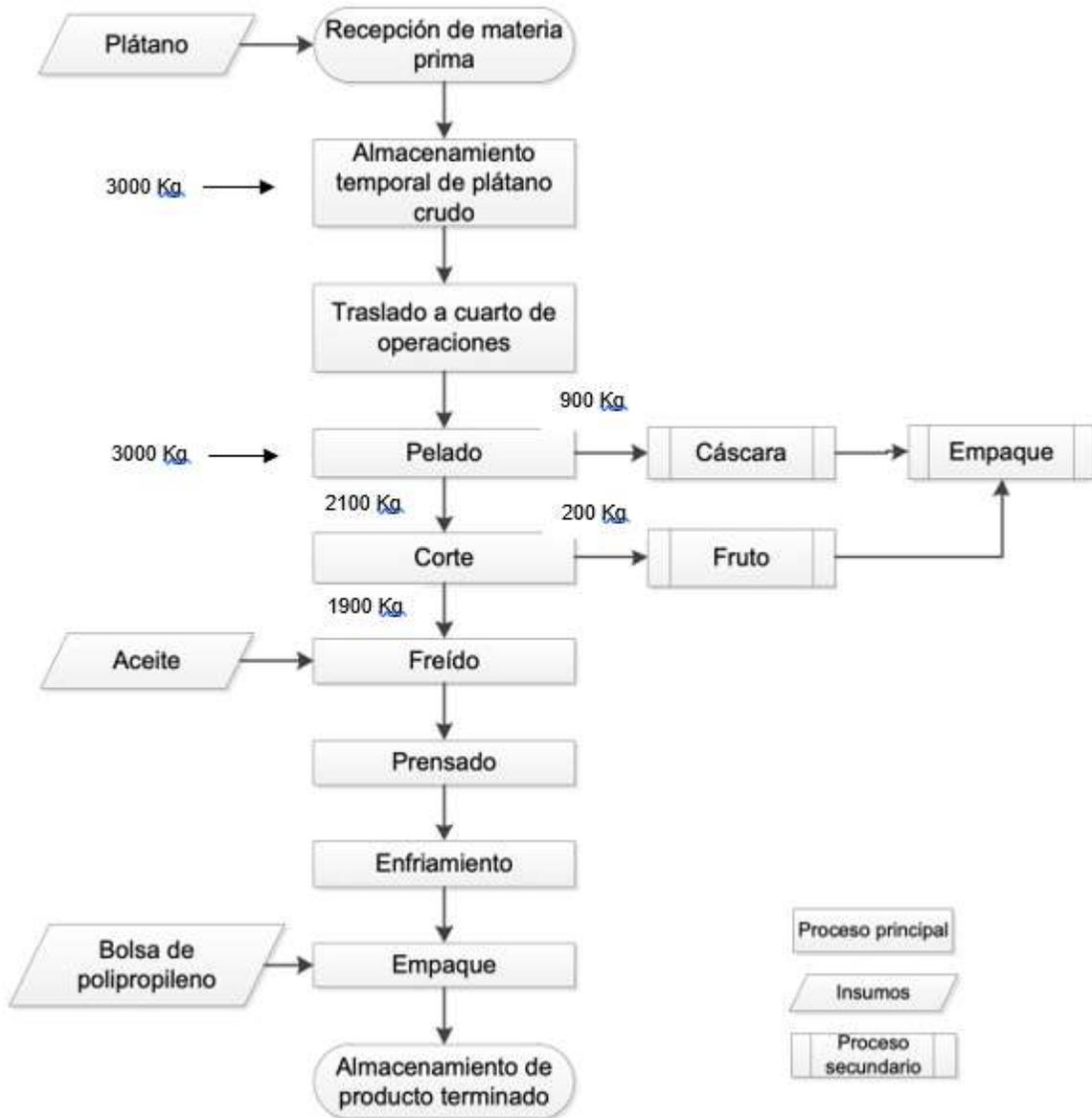
Como se indicó previamente la vía de acceso a la planta es a través de escaleras, las cuales conducen a la zona de corte de empaques que tiene inmediato acceso con el

baño y una división sin puerta hacia el cuarto de operaciones. En lo relacionado al cuarto de operaciones, se tienen a disposición los siguientes equipos: Freidora, aplanadora, zona de bandejas de enfriamiento, zona de residuos de la materia prima (bolsas de cáscara), refrigerador, mesa de pelado y cortado de materia prima, almacenamiento de empaques y selladora [2].

#### **4.1.1 Descripción del proceso**

En el siguiente diagrama se evidencia la sucesión lógica de las operaciones para conseguir el producto de interés:

**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de producción de la empresa Productos Colombianos S.A.S.



**Nota.** La figura representa proceso de producción de la empresa Productos Colombianos S.A.S. Tomado de: Propuesta de mejora del proceso de producción para la elaboración de patacón pre frito con plátano verde de la empresa Procol S.A.S. 2017. David Alejandro Osorio Roberto. p. 31.

De esta manera, se especifican cada una de las operaciones del diagrama a continuación:

**Recepción de materia prima:** está compuesta de tres fases que corresponden a recepción, almacenamiento temporal y traslado.

- Etapa 1. Recepción: El proveedor proporciona el pedido generalmente a horarios diurnos transportando el plátano en bolsas de plástico transparente de 20 kg que comprende los dedos separados del racimo. El vehículo empleado para el transporte de la materia prima es una camioneta sin refrigeración ni cuarto oscuro, lo que hace que la materia prima se mantenga expuesta a la temperatura del ambiente con cierto contacto de luz solar por los cristales del vehículo, y pueda presentar golpes durante su recorrido. El grado de maduración en el que se recibe la materia prima es 1 generalmente y la calidad que requiere la empresa es de primera y segunda, la cual se define a través de un análisis de color de piel y un control de calidad visual que comprende la redondez, longitud y forma general del plátano, lo que permite determinar la temperatura óptima para continuar un adecuado proceso de maduración [2] [6] [7].
- Etapa 2. Almacenamiento temporal: Un operario recibe los plátanos y con la asistencia del proveedor los transportan dentro de la residencia incorporándola al garaje, mientras terminan dicha operación la materia prima reposa sobre baldosa opaca a temperatura ambiente con cierta presencia de polvo, siendo este una posible fuente de microorganismos y contribuyendo a un mayor riesgo de contaminación cruzada si no se le hace un lavado previo [2].
- Etapa 3. Traslado: Se llevan los plátanos al cuarto de operaciones donde reposan a la temperatura de esté, el cual es superior a la temperatura del ambiente por la presencia de la freidora y la acumulación de los gases que el equipo produce en el establecimiento. Los plátanos para uso inmediato se mantienen a temperatura ambiente protegidos por el empaque con el que vienen, los que no son requeridos son almacenados en canecas de plástico de colores oscuros con tapa frecuentemente, en la mayoría de las ocasiones el plátano reposa en el cuarto de operaciones junto con el refrigerador. Asimismo, el plátano que no es utilizado

inmediatamente presenta una maduración más rápida por la acumulación del fruto en zonas estrechas donde se incrementa la presencia de gas etileno el cual es el encargado de que el plátano madure, además que la generación de dicho gas se acelera al retirar los dedos del tallo por lo que el proceso de maduración del fruto ha iniciado antes que la materia prima llegue al establecimiento, por lo cual no toda la materia prima está siendo aprovechada para la producción del producto actual: plátano pre frito de kilo, el cual requiere que el fruto ingrese con un grado de maduración entre 1 y 2 [2].

**Pelado:** se efectúa en el cuarto de operaciones, el cual tiene las siguientes características: cristales claros que permiten el paso de luz y temperatura mayor a la del ambiente. A su vez, las condiciones del ambiente como temperatura y humedad relativa cambian dependiendo del tiempo de uso de la freidora debido a que no se tiene un sistema de ventilación, lo que posibilita la acumulación de vapores producidos por el equipo en el cuarto. Dicha operación está constituida por las fases que compete a pelado, depósito de recipientes y manejo de residuos [2].

- Etapa 1. Pelado: En este punto el plátano tiene un grado de maduración mixto el cual se halla entre 1 a 2, es decir, un plátano verde capaz para fritura. El pelado de la materia prima lo desarrolla un operario quien es responsable de abrir las bolsas de diversos plásticos manualmente con el uso de guantes de nitrilo con los cuales manipula la fruta recién salida del empaque, es decir, no se hace una elección previa, sino que el operario según va usando el plátano va descartando aquellos que no cumplan con los requisitos mínimos de buen estado de la cascara [2].
- Etapa 2. Deposito en recipientes: El plátano que pasa por la etapa descrita previamente se deposita en contenedores de plástico aislados de la fuente de luz expuestos al ambiente de las instalaciones, presentando con el tiempo manchas oscuras en la pulpa por el tiempo que se demora en ser empleados el cual es entre 15 a 20 minutos. No obstante, el fruto puede presentar deshidratación en esta fase considerando que la mayor pérdida de peso la genera el oscurecimiento en ciertas partes que son descartadas en la siguiente etapa [2].

- Etapa 3. Manejo de residuos: Como en esta fase se separa la cascara del plátano el operario responsable del pelado tiene a disposición bolsas de plástico para depositar el residuo del proceso, esto produce que las bolsas estén próximas a la zona de pelado del fruto, contemplando que la etapa 1 y 3 se hacen simultáneamente. Las bolsas también son empleadas para depositar el fruto que muestra pardea miento y se extraen del cuarto de operaciones al finalizar las actividades diarias, lo cual exhibe tanto al producto crudo como al terminado y a los trabajadores a una contaminación cruzada constante debido a que la cascara posee los nutrientes indispensables para que los microorganismos que se puedan localizar en el aire tengan la conveniencia de reproducirse en estos desechos [2].

Cabe resaltar, que éste sería el punto de partida de donde se obtendría la materia prima para el proceso de producción de papel, con la siguiente salvedad; el almacenamiento del material justo antes de realizar el proceso de transformación, no debería ser en bolsas plásticas, sino en arrume de canastas perforadas, inclusive, según la línea de producción en la empresa, se podría acondicionar algún espacio con temperatura controlada, de esta manera se podría detener el proceso de descomposición de las cascara y tallos.

**Corte:** el operario responsable del pelado desarrolla esta operación, lo cual aclara el tiempo de espera de la materia prima en el contenedor. Este inicia a cortar el dedo en 3 y 4 partes conforme su tamaño y como se refirió previamente el fruto que presente pigmentación se le retiran las partes, las cuales son desechadas junto con la cascara. El tamaño del corte lo evalúa el operario lo cual explica que la porción promedio no se encuentra estandarizada y cambia levemente una de otra. El cuchillo que utiliza el operario se mantiene en constante uso y cuando no es manipulado reposa junto con la materia prima o en la mesa de trabajo favoreciendo la contaminación cruzada, donde el utensilio entra en contacto con la cascara, el fruto, el área de trabajo y los guantes que posee el operario. La mesa de trabajo se emplea para el corte y reposo de la materia prima en los contenedores, no obstante, el operario conserva la posición al pelar la

casaca lo que demuestra la ubicación de la bolsa de desechos de casaca y de materia prima pigmentada [2].

**Fritura:** El aceite se mantiene en los mismos envases que es vendido en el mercado el cual está compuesto de plástico amarillo, tapa enroscable y pared gruesa que le concede cierta conservación al aceite del aire y luz. Este insumo reposa en el piso de la sala de operaciones cerca con otros envases vacíos y próximo de la mesa de trabajo de pelado y cortado. El riesgo tanto de contaminación cruzada como alteración del aceite fresco por exposición a factores como luz, aire o humedad son componentes nocivos para la calidad de este y del plátano que entra en contacto en la fritura [2].

- Etapa 1. Calentamiento del aceite: La empresa tiene una freidora de doble cabina con capacidad para almacenar 24 litros de aceite en cada sección operando en la mayoría del día, es decir, 8 horas diarias fraccionados en dos ciclos de 4 horas respectivamente con una pausa de las operaciones entre 1 a 2 de la tarde para el almuerzo de los operarios. Esta operación evidencia que el aceite se conserva a una temperatura constante de 110°C durante el ciclo de operaciones la cual es inspeccionada por un sensor de temperatura interno. Mantener el aceite a temperaturas altas aligera las reacciones de oxidación, polimerización e hidrolisis, no obstante, a una temperatura medida de operación como las manipuladas actualmente las reacciones demoran más tiempo en empezar. Es importante mencionar que la temperatura de operación se encuentra por debajo del punto de humo general de los aceites de fritura (200-220°C min) por lo tanto se tiene un punto positivo por el parámetro de temperatura en la fritura [2].
- Etapa 2. Suministro del plátano: se recalca que el proceso de fritura es por inmersión y discontinuo, donde el fruto es cubierto en su totalidad por el aceite y el ingreso y egreso de materia prima se realiza manualmente por un operario, a su vez el tiempo que demora el plátano en el proceso varía entre 10 a 12 minutos. Este método de fritura discontinua muestra inconvenientes convirtiendo las características del proceso por la aireación, relación de masa materia prima/aceite, tiempo y superficie de contacto. La aireación trae consigo el

incremento de oxígeno en el aceite por su constante movimiento de los ciclos de fritura incrementando las reacciones de oxidación, polimerización e hidrólisis, la relación de masa empleado en procesos de fritura industrial es 1:6 generalmente y el alto volumen de aceite en la cabina genera una proporción entre 1:5 y 1:30 lo cual es una relación muy variable y dispareja produciendo mayor uso de aceite, gasto del mismo por el constante contacto con la materia prima y aceleración en las reacciones de oxidación, polimerización e hidrólisis, imposibilitando que el vapor generado por el alimento proteja al aceite de las reacciones entre los ácidos grasos insaturados de este, presentando mayor producción de espuma al fritar cantidades bajas de alimento. Junto con esto, la humedad del ambiente aumenta las reacciones de hidrolisis por la presencia de vapor de agua en el aire, predominando la humedad relativa que posee Bogotá la cual se encuentra entre 73% y 83%, donde dicho factor es un influyente para el enranciamiento del insumo y debe tenerse presente para incrementar a vida útil del mismo [2].

El peso que ingresa de materia prima al proceso no es inspeccionado por medios cuantitativos sino por la cantidad que consigue entrar en la canastilla, por lo que la superficie de contacto cambia constantemente en los ciclos de fritura, junto con esto la duración de la fritura no es controlado por tiempo sino por los aspectos sensoriales que presente el producto, donde prevalece el cuidado del operario para que el alimento no permanezca demasiado tiempo en el aceite. El proceso de cocción del plátano es corto y acarrea que este se deshidrate con mayor rapidez entre más se reincida el ciclo de fritura por la aparición de compuestos polares procedentes de las reacciones que soporta el aceite. A su vez, la empresa concede sus productos al mercado dependiendo de la demanda que le requiera, produciendo que distintos tamaños y grados de maduración del plátano entren en contacto con el mismo aceite de fritura.

- Etapa 3. Suministro de aceite: Al finalizar la producción diaria un operario provee aceite nuevo a ambas cabinas hasta completar 24 litros, valor que es calculado por un orificio que tienen las cabinas. El trabajo del abastecimiento al final del ciclo no es sugerible ya que a mayor velocidad de cambio del aceite es menor el nivel de oscurecimiento del mismo, lo que señala que se disminuye la cantidad de

ácidos grasos libres, prefiriendo en la industria realizar grandes producciones a periodos cortos con suministros periódicos de aceite fresco. El aceite es cambiado cada 20 a 30 días con filtraciones esporádicas sólo cuando se evidencian restos de plátano visibles en el mismo, posibilitando las condiciones para que el alimento consiga características que no lo hagan apto para su consumo por las condiciones actuales en donde puede evidenciar un gran deterioro por estar sujeto a largos periodos de enfriamiento y calentamiento, proceso de fritura expuesto al aire y por su tipo de fritura discontinua. El arraigamiento de este insumo se puede percibir por su oscurecimiento a medida que es sometido a numerosos ciclos de fritura y por la apariencia de espuma debido a la presencia de numerosos polímeros de elevado peso molecular [2].

- Etapa 4. Escurrido: el plátano anteriormente frito es situado encima de la cabina para que escurra el aceite sobrante por consecuencia de gravedad durante 5 minutos aproximadamente, cabe recalcar en esta fase el plátano no disminuye su temperatura en gran medida por lo que efectúan a dejar los fragmentos en reposo previo de su correspondiente prensado [2].

**Prensado:** esta operación está compuesta por dos fases: reposo y prensado.

- Etapa 1. Reposo: Los plátanos que surgen de la freidora son puestos por un tercer operario en una canastilla de metal expuestos al aire del cuarto donde se dejan entre 3 a 5 minutos para que su temperatura se reduzca y el operario pueda manejarlos [2].
- Etapa 2. Prensado: La empresa cuenta con una prensa manual con dimensiones de 39 x 38 centímetros donde se le da forma al producto terminado con 2,5 centímetros de radio y 2 centímetros de espesor aproximadamente. El equipo opera de forma manual y permite aplanar entre 5 a 6 porciones con una repetición, adicionalmente se estima que el tiempo de operación por 5 a 6 porciones se encuentra en 20 segundos luego de haber realizado una toma de tiempos de 9 repeticiones de dicha operación y posteriormente estimar el promedio ponderado de los datos. A medida que necesitan porciones para prensar se van retirando de la canastilla donde reposan estas. Someter el alimento previamente frito a un

“ambiente húmedo reducirá el grado crujiente del producto terminado y la vida en anaquel del mismo”<sup>1</sup> por el vapor de agua que se encuentra en el aire, es decir, dependiendo de la humedad relativa que posea este se presenta en mayor proporción dicho efecto y debido al proceso de deshidratación que sufre el alimento en la fritura, el plátano tiende a absorber el agua presente en el ambiente [2].

- 2.2.6 Enfriamiento. El tiempo de enfriamiento es en el mismo cuarto de operaciones donde se dispone de una bandeja de acero inoxidable perforada de dimensiones de 60 x 58 centímetros que reposan en una mesa para el enfriamiento del producto a temperatura ambiente en un margen de 3 a 10 minutos, adaptando los plátanos en pilas conforme la presentación del producto, es decir, plátano de 15,8 cm de diámetro, plátano pre frito de kilo, entre otros. Se dejan exhibidos al aire y a la luz del sol por su proximidad a los cristales, a su vez ingresa aire del exterior del cuarto por las ventanas que se mantienen abiertas durante el ciclo de operaciones. Es importante mencionar que las ventanas tienen mallas que imposibilitan el paso de insectos cuando se encuentran abiertas. El contacto directo entre el producto caliente disminuye el enfriamiento del mismo por la transferencia de calor por conducción entre los fragmentos aplicado y por convección entre los demás plátanos de la bandeja, produciendo que el enfriamiento se demore un mayor tiempo en terminar y el producto final entre al empaque con una temperatura mayor a la del ambiente [2].

**Empaque:** está constituida de dos fases que corresponden a empaque y sellado [2].

- Etapa 1. Empaque: Los plátanos son empacados manualmente por un operario que es responsable de poner los fragmentos en bolsas de polipropileno transparente de calidad al vacío con dimensiones de 25 x 15 centímetros y con la asistencia de una gramera de tres cifras decimales de exactitud, se cuantifica la cantidad de plátanos que entran por bolsa hasta terminar el kilogramo respectivo [2].
-

- Etapa 2. Sellado: Los empaques pasan por una selladora continua de banda que como su nombre lo señala sella el envase para la última fase del proceso. Como se indica previamente el proceso recibe exposición al aire lo que no consolida que el empaque quede libre de este factor al ser sellado disminuyendo la vida útil del alimento. Las bolsas que comprenden productos que no son empleadas para venta inmediata son acopiadas en un refrigerador hasta un periodo de un mes máximo. Esta operación en conjunto se demora entre 2 a 3 minutos por bolsa de 1 kilogramo de producto terminado [2].

**Almacenamiento:** El producto final que no se dispone a venta inmediata reposa en un refrigerador Challenger CH-361 de 337 litros de capacidad que opera a  $-1^{\circ}\text{C}$  con divisiones para distinguir las muestras que manipula la compañía. La temperatura en la que el plátano debe estar acopiado oscila entre los  $13^{\circ}\text{C}$  a los  $15^{\circ}\text{C}$  debido a que es un fruto tropical y a temperaturas menores presenta deterioro en su maduración, no obstante, como es un producto que se sujeta a una fritura anterior la estructura del alimento deja de ser la misma que el fruto crudo por la desnaturalización de proteínas, péptidos, aminoácidos e inactivación de las enzimas producidas por la exposición a temperaturas altas, siendo la conservación a bajas temperaturas (entre  $-1^{\circ}\text{C}$  a  $8^{\circ}\text{C}$ ) la preferencia en su almacenamiento donde se consigue inhibir el crecimiento de los microorganismos y manteniendo el valor nutricional del alimento, extendiendo la vida útil del producto final [2].

Se debe tener en cuenta los distintos factores que pueden producir contaminación del producto dentro del refrigerador, donde se recalcan el ambiente de refrigeración, factores intrínsecos (particulares del alimento como: pH, contenido de agua) y extrínsecos (procedentes del ambiente como: temperatura, humedad relativa del ambiente, ventilación, niveles de oxígeno) [2].

**Manejo de residuos:** el cuarto de operaciones tiene la extensión suficiente para que los residuos del plátano (aceite, cierta parte de plátano crudo y cáscara) reposen próximo al refrigerador y las mesas de trabajo de pelado y corte de la materia prima, la localización de las bolsas de desechos cerca a los sitios de trabajo se debe al comfortable

almacenamiento de la cáscara al momento de separar está en el pelado. El plátano que no se tiene para empleo inminente permanece expuesto en el piso del primer nivel de la empresa. Los residuos del proceso los cuales son la cáscara del plátano y las porciones de plátano que evidencian pardeamiento se tienen apilados en bolsas para su desperdicio, es decir, no hay un proceso para el aprovechamiento de la cáscara los permanecen a disposición del camión de basura [2].

**Recepción de materia prima:** En este procedimiento se efectúan distintas fases donde están la recepción, almacenamiento temporal y traslado al cuarto de operaciones. Es responsabilidad del proveedor que la maduración del banano se inhiba desde que se retira del racimo, donde las condiciones de manejo, almacenamiento y transporte de la materia prima sean apropiadas y conforme a las buenas prácticas de manufactura para preservar el producto verde y en buenas condiciones físicas.

La recepción y almacenamiento del plátano verde la opción que permite un mejor cuidado de la materia prima está compuesto de un cuarto oscuro con atmosfera controlada (2-5% de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), Para la disposición de la materia prima dentro del cuarto de operaciones se transporta el plátano a medida que se requiera para que se mantenga el mayor tiempo en un ambiente húmedo y sin variaciones de temperatura lo cual asegura que su grado de maduración sea el apropiado al ingresar en el proceso productivo.

Considerando los procesos de entrega operados por la empresa, se emplea un plástico como un polipropileno de una capa, que incluye a la empresa disponible para otras muestras de banano, con criterios como la protección a la luz solar y el almacenamiento en refrigerador preservando la cadena de frío durante el transporte. El adecuado uso del almacenamiento durante el transporte del producto afecta la calidad del mismo, debido a que existen microorganismos termófilos que se demora entre 10-20 minutos en contaminar el alimento, tiempo capaz para deteriorar los aspectos nutricionales del plátano al no conservar las condiciones de almacenamiento óptimas [2].

## **4.2 Estado actual de elaboración de papel a base de desechos agrícolas**

En Colombia se producen anualmente alrededor de 12 millones de toneladas de residuos que se disponen en rellenos sanitarios, botaderos y fuentes hídricas, de los cuales el 60% corresponde a desechos orgánicos generados principalmente en las etapas de producción agrícola (recolección, procesamiento y distribución). Por otra parte, en Bogotá se producen diariamente 70,5 T/día de los cuales el 88,5% corresponde a residuos vegetales (verduras, frutas y hortalizas), los cuales se caracterizan por sus altos niveles de celulosa y tienen capacidad para ser utilizados como sustitutos de la fibra virgen de la madera, la cual es la principal fuente de materia prima de la industria del papel [8] [9] [10].

Actualmente sólo un 9% de los materiales empleados para la fabricación de papel a nivel mundial proviene de fuentes no madereras: paja de arroz, trigo, bagazo de caña de azúcar, cáñamo, algodón, kenaf, etc. El excedente del papel se genera mediante fibra virgen en un 55% y fibra reciclada en un 38%, pero las fuentes de fibra provenientes del papel recuperado y las fibras de origen agrícola aún no se están aprovechando en su máxima capacidad [9].

De ahí la importancia de investigar nuevas alternativas de obtención de materias primas para la fabricación de papel, como la utilización de desechos sólidos orgánicos, entre ellos el mismo papel que ya ha sido usado, y el componente de fibra que posee la celulosa de los árboles lo contribuye residuos resultantes de desechos agrícolas, por ejemplo: cáscaras, bagazo, tusa, u otras plantas [9].

Dentro de los residuos que toman relevancia se encuentra la caña de azúcar y el bagazo de maíz que son empleadas como materias primas para la preparación alternativa de pulpa para papel, sin embargo, estos desechos requieren de más trabajo para la pulverización y blanqueo lo que es relevante en el proceso de industrialización. Otros estudios elaborados en Colombia se han enfocado en la piña y en los residuos de plátano, donde se ha hallado que el papel hecho con la fibra de la corona de la fruta puede ser empleado para muchas funciones por su comportamiento y contenidos de

celulosa [11].

### **4.3 Residuos agrícolas**

Los desechos sólidos son los residuos que resultan de las actividades humanas, los cuales se obtienen como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas, y frecuentemente son fuente de contaminación, por lo que actualmente se investigan alternativas de usos de estos desechos [12].

Dentro de las industrias, la agrícola es una de las primordiales fuentes de generación de residuos sólidos, los cuales están compuestos principalmente por tallos, raíces, hojas u otras partes de las plantas que no son empleados en estos procesos, procedentes del arroz, café, trigo, banano, caña de azúcar, cítricos, piña, yuca, entre otros [12].

Así pues, los residuos agrícolas son resultantes de industrias agrícolas, industrias agroalimentarias, y cultivos leñosos o herbáceos, estos últimos se caracterizan por una pronunciada estacionalidad, relacionada por su producción y por la necesidad de recogerlos del campo. Estos desechos se producen por necesidades forestales, no energéticas, y son materiales que no tienen condición suficiente para otros usos que no sean las energéticas [12].

En el caso específico del objeto estudio, el 95% de los residuos que se producen del plátano no son aprovechados eficientemente por el agricultor, ya que su producción se orienta en la comercialización y/o como alternativa alimenticia para viviendas, por lo tanto, el sobrante obtenido del consumo del fruto se destina como abono para la cosecha a través de la descomposición. Estos residuos no favorecen a la nutrición del suelo, sino que impactan negativamente el medio ambiente debido a que al producir el crecimiento de distintos microorganismos en áreas donde no deberían desarrollarse, se pueden perjudicar otros cultivos, obstaculizar cañadas, aglomerar agua y formar hongos en sitios inapropiados [13].

De esta manera, la elaboración de papel a partir de la planta de plátano coopera a la economía circular promoviendo el proceso productivo del sector agro, estimulando la cultura del reciclaje, reduciendo los impactos negativos de la agroindustria sobre el ambiente, disminuyendo nuevos residuos, creando ideas de negocios inclusivos, reduciendo el costo energético, ahorrando materias primas y controlando la deforestación forestal, por lo tanto, producir papel mediante fibras recicladas es menos perjudicial que el papel elaborado a través de fibras vírgenes, lo cual está orientado al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible, definido por las Naciones Unidas, donde se propone alcanzar la gestión sostenible los recursos naturales de aquí a 2030 o disminuir significativamente los desechos a través de actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización [9] [14] [15] [16].

## 5. ANTECEDENTES EN LA UTILIZACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE DESECHOS AGRÍCOLAS

En el artículo titulado “Packaging made from banana plants an a-peeling alternative” del autor Lachlan Gilbert, hace mención a una investigación realizada en la Universidad de New South Wales, en Sídney, Australia. Se trataría de un procedimiento de secado, seguido de una molienda y de esta manera se llega a apreciar un papel parecido al que se usa en los hornos para preparar alimentos. [60]

De esta manera se podrá identificar puntos claves sobre el pre tratamiento que debe tener la materia prima antes de comprometerse en el proceso de transformación otros aspectos importantes en la elaboración del papel.

En la tesis titulada “Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas” de los autores Miguel Mazzeo Meneses, Libardo León Agatón, Luis Fernando Mejía Gutiérrez, Luz Enith Guerrero Mendieta y Juan Diego Botero López Universidad de Caldas, Manizales (Colombia), hace mención sobre el plátano Dominico-Hartón (Musa AAB Simonds), que es una de las variedades más cultivadas en el Departamento de Caldas (Colombia), por lo tanto, en las etapas de cosecha y poscosecha, se generan grandes cantidades de residuos foliares, pseudotallos, bellotas, raquis, calidades segundas y terceras y cáscaras de frutos, que, al carecer de un tratamiento o disposición adecuada, se convierten en contaminantes para el medio ambiente. Esta problemática, es abordada en este estudio que, en primera instancia, efectuó un diagnóstico, cuyos resultados fueron consignados en un sistema de información desarrollado para la cadena productiva del plátano en el Departamento de Caldas. Posteriormente, se realizó una caracterización físico- química a los residuos antes mencionados, lo que permitió proponer alternativas de aprovechamiento, a saber: obtención de papel a partir del pseudotallos, obtención de harina del Raquis con fines alimenticios en productos como galletas, coladas y apanados, y obtención de almidón a partir de las segundas y terceras calidades de plátanos en estado verde. [61] Esta tesis es fundamental para tener una base sobre las propiedades

físico químicas de los residuos provenientes de la planta de plátano.

En el artículo “Residuos de cáscara de plátano (musa paradisiaca L. para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria” de los autores Ramos Valentina, Aguilera Antonio y Ochoa Emilio, se plantea a la pectina como un polisacárido con una gran demanda en la industria de los alimentos, tradicionalmente se obtiene a partir de frutos cítricos, sin embargo las cáscaras de plátano también poseen un gran potencial como fuente de extracción. [62]

El objetivo del presente trabajo fue evaluar y establecer las condiciones óptimas de extracción de pectina. Este artículo será base de trabajo para las condiciones físicas del papel a producir.

## **6. ANTECEDENTES PARA LA OBTENCIÓN DE PAPEL BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA PLANTA DE PLÁTANO**

En la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales se realizó el estudio de “Empaque biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas”, donde se evidenció que la obtención de la pulpa de los subproductos del plátano se puede elaborar papel artesanal y aglomerados de fibra semejantes a los producidos de pulpa de reciclado, por ejemplo, bandejas para empaques a partir de residuos vegetales generados en el procedimiento de cultivo, cosecha y postcosecha. En consecuencia, se dedujo que la producción que la fabricación artesanal de celulosa es viable tecnológicamente y económicamente, considerando que el país comprende un potencial de materia prima, plátano sembrado que puede producir el suministro para una planta productora de papel y cartón de más de 20.000 toneladas mensuales [67].

La revista Athenea en ciencia de la ingeniería publicó el artículo “Elaboración de Papel a Base del Banano”, el cual plantea la investigación de la producción de papel mediante el empleo de desechos de la planta de banano, lo que podría brindar un mejor uso de los recursos naturales y un menor impacto al medio ambiente. Teniendo en cuenta que la fibra natural del banano es fuerte y es de fácil producción en países de Latinoamérica como Ecuador, quien evidencia una alta obtención del mismo. En ese sentido, se estableció que la elaboración de papel con fibra de residuos del banano es una oportunidad de producción que favorece no solo el desarrollo sino, también que se disminuye el impacto ambiental y se utilizan los recursos naturales de otra forma. El papel que se genera con este proceso es idóneo para todo tipo de uso de oficinas, no obstante, con el mejoramiento de la técnica y la inversión apropiada, pueden producirse otras desviaciones del papel [68].

En la Universidad El Bosque se desarrolló la siguiente investigación “Propuesta metodológica para la obtención de un material compuesto a partir del pseudotallo y hojas en el cultivo de plátano de la variedad Dominico Hartón, en la finca Las Palmas en Fuente de Oro, Meta.”, donde indican que se encuentra un uso sostenible de los residuos de

pseudotallo y hojas producidos en el cultivo posterior de la fase de postcosecha, a través de la reingreso de estos al suelo como abono para la planta; es posible otorgale un aprovechamiento tecnológico sostenible como lo es la fabricación del bioplástico con la implementación en el cultivo y con una probabilidad de reemplazo de las bolsas de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) empleadas en el recubrimiento del racimo. Con respecto a la metodología de extracción del almidón del pseudotallo y hojas del cultivo de plátano, se infiere que la metodología húmeda por centrifugado, modificada, suministra una mejor calidad de almidón, soportada en las pruebas químicas cuantitativas y cualitativas, y por tal razón la adecuada producción del bioplástico con una capacidad de uso en el cultivo [69].

En la tesis “Elaboración de papel a base de residuos de banano”, por la autora Andrea Estefanía Cortez en el año 2014, donde enfocan el trabajo a la elaboración del papel a base de pseudotallo de la planta de plátano. El objetivo de la tesis mencionada fue analizar la viabilidad financiera que tendría este producto al comercializarlo. Este trabajo es base fundamental para establecer los posibles procedimientos que se trabajaran con los tallos y racimos [33].

## **7. MARCO LEGAL EN EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS.**

Resolución 1555 de 2005 de los Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y de Comercio, Industria y Turismo. Con esta resolución se establece el Reglamento de Uso del Sello Ambiental Colombiano, para la promoción de productos que pueden reducir los efectos ambientales adversos, en comparación con otros productos de la misma categoría, contribuyendo así a un uso eficiente de los recursos naturales y a un elevado nivel de protección del medio ambiente.

Los objetivos primordiales que busca el Sello Ambiental Colombiano son: Crear una herramienta informativa y comercial para diferenciar los productos que comparativamente presenten un mejor desempeño ambiental, incentivar el crecimiento del mercado nacional para este tipo de productos, promover un cambio hacia los productos ambientalmente amigables en las preferencias de compra de los consumidores, facilitar el acceso al mercado y mejorar la imagen de los productos con un mejor desempeño ambiental, promover el uso y el desarrollo de procesos, técnicas y tecnologías limpias o sostenibles. [63]

Norma técnica Colombiana NTC 6019; etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental Colombiano. Criterios ambientales para pulpa, papel y cartón y productos derivados.

El sello ambiental Colombiano para pulpa, pale y cartón y productos derivados busca ser un instrumento de competitividad del sector, teniendo en cuenta que existe un segmento de la población que prefiere productos que, teniendo en cuenta los impactos ambientales que se pueden generar en la transformación de las materias primas empleadas en la fabricación de pulpa, papel y cartón y productos derivados.[64]

Puntualmente en relación a este proyecto, los productos finales serán pulpa y papel, los cuales la norma Colombiana delimita en primera instancia, las condiciones de las que deben provenir las materias primas para elaborar estos productos, puntualiza en

sustancias no permitidas en la elaboración de los mismos. También las salidas ambientales que deben ser controladas; emisiones, vertimientos, gestión de residuos.

Resolución 683 de 2012 por medio de la cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano. En el contenido técnico, en la clasificación de los materiales, se tienen encuentra papeles, cartulinas y cartones con sus respectivos aditivos.[65]

Hace mención a las condiciones físicas y químicas que deben tener los materiales que tendrán contacto con alimentos. Los objetos de estudio son en primera instancia los requisitos que deben cumplir dichos materiales, asimismo las prohibiciones para la elaboración de los mismos, procesos de reciclaje y reutilización permitidos y por ultimo las sustancias permitidas dentro de estos.

## **8. MARCO TEÓRICO**

### **8.1 Influencia del clima sobre el plátano**

El desarrollo y producción de los cultivos perennes como el plátano son el producto de la interacción de los principales factores climáticos de la zona de producción (radiación solar, temperatura, precipitación, humedad relativa), por tanto, si en definidas fases del desarrollo del cultivo alguno de estos factores incide en magnitudes por fuera de los límites de tolerancia, las plantas modifican su desempeño productivo y fisiológico. Los cambios en producción e higiene de los cultivos de plátano de un año a otro, dentro del mismo lote, son ejemplos de la influencia que actúa el clima sobre el comportamiento de las plantas. El plátano es una especie fundamental del trópico húmedo y se puede cultivar en áreas agroecológicas ubicadas entre 30° de latitud norte y 30° de latitud sur, que agrupen las condiciones de clima y suelo adecuadas para su crecimiento y producción. Fuera de este sector se encuentran plantaciones en Israel y Egipto (hemisferio norte) y Australia y Nueva Gales del Sur en el hemisferio sur.

El tamaño, calidad y presentación de los frutos de plátano en un sitio dependen del genotipo, las condiciones ambientales y la adaptación de su fisiología a estos ambientes variados durante el período de desarrollo del racimo. En consecuencia, los racimos de mayor peso se desarrollan en época lluviosa y menor altitud, y los frutos procedentes de mayor altitud evidencian más contenido de cáscara y menor porcentaje de pulpa en los dos periodos climáticas.

Los efectos de la temperatura sobre el peso del racimo pueden ser deducidos por su influencia en el número y tamaño de los frutos, por tanto, el efecto sobre el tamaño depende del peso inicial del fruto, de su tasa relativa de crecimiento y del tiempo imprescindible para obtener su estado óptimo de cosecha, mientras que la influencia de la temperatura sobre el número de frutos es más posible que suceda durante el período de diferenciación del racimo. El aumento de peso en los frutos de plátano y banano en la cosecha comercial en el estado de madurez fisiológica está correlacionado linealmente con la temperatura media durante un período, así pues, los frutos de mayor tamaño y

calidad se producen a menor altitud, como resultado de la interacción entre temperatura y precipitación como factores ambientales determinantes en dichas altitudes [70].

## 8.2 Propiedades del papel

Las propiedades esenciales del papel consideradas más características son:

- **Peso base o gramaje:** Es el peso en gramos de un metro cuadrado de papel. El peso base influye en la mayoría de las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel, por lo que es muy relevante que sea uniforme para trabajar en los procesos de transformación como en el empleo.
- **Calibre o espesor:** Es la distancia que separa las dos caras del papel perpendicularmente y se alude al grueso del papel. El calibre interviene en las propiedades físicas, ópticas y eléctricas del papel.
- **Densidad y bulk:** La densidad es el peso en gramos de un volumen de un centímetro cúbico de papel, se expresa en gramos por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). El bulk es el equitativo de la densidad y representa el volumen que ocuparía un gramo de papel, se expresa en centímetros cúbicos por gramo ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ).
- **Formación:** Es la homogeneidad con que están distribuidas las fibras y otras materias sólidas en la hoja de papel. En el ejercicio esto se refiere al aspecto de la hoja al ser observada contra la luz.
- **Blancura:** La blancura es una propiedad óptica del papel y es básica en el efecto de la impresión multicolor. Se expresa en %.
- **Opacidad:** Es la cantidad de luz que pasa de un lado al otro del papel. La opacidad es una característica predominante en los papeles para impresión, principalmente en gramajes bajos. Se expresa en %.
- **Brillo impreso:** contraste entre el brillo de la impresión y el brillo del papel, este contraste se alcanza definiendo el brillo del papel y el de la impresión.
- **Brillo:** característica por la que una superficie refleja la luz, por lo que es apropiado para llamar la atención en anuncios.
- **Lisura:** característica que interviene tanto en la apariencia como en la funcionalidad del papel. Se refiere a la estructura de las superficies exteriores del papel.

- **Direccionalidad:** El papel tiene dos direcciones lo cual se debe a la posición de las fibras que es mayor en la dirección en que corre la máquina de papel, a esta dirección se le denomina sentido de fabricación, mientras la otra dirección, perpendicular a la primera, se llama sentido transversal.
- **Humedad relativa:** La humedad absoluta es el peso total de agua contenida en un volumen concreto de aire, se expresa en  $\text{kg/m}^3$ . De ahí que la humedad relativa es la relación entre la humedad existente en el aire a definida temperatura y la humedad de saturación a la misma temperatura. Es relevante que la humedad relativa del ambiente en que se trabaja esté en equilibrio con el contenido de humedad del papel para eludir problemas por falta de estabilidad dimensional.
- **Estabilidad dimensional:** Es la habilidad de un papel para mantener sus dimensiones y forma cuando cambia su contenido de humedad, por ejemplo, cuando está expuesto a alteraciones de humedad relativa del ambiente [74].

El papel exhibe propiedades mecánicas como son las resistencias que le posibilitan resistir los esfuerzos a los que se les impone durante su modificación y empleo, igualmente definen su durabilidad. Las propiedades básicas de resistencia mecánica del papel son:

- **Resistencia a la tensión:** La resistencia a la rotura por la tracción del papel se determina por la longitud de una banda del mismo que, suspendida por uno de sus extraños, se fracciona por su propio peso; a la vez que la tensión, se calcula el estiramiento que soporta el modelo durante el estudio hasta el momento de la ruptura, esta característica se denomina elongación. La resistencia a la tensión define el comportamiento del papel bajo tracción directa. Es un indicativo de la durabilidad y potencial para el desempeño en el empleo final de papeles que se usan para impresión.
- **Resistencia a la explosión:** Cuando un papel se expone a una presión uniformemente distribuida sobre una parte circular de su superficie, de un diámetro definido, llega un momento en que por consecuencia de la presión el papel se rompe, esta presión expresada en  $(\text{kg/cm}^2)$ , a la cual se genera la rotura, es el valor de la detonación del papel. Esta resistencia es conveniente como

indicador general de la resistencia. Esencialmente esta característica se ve perjudicada por el gramaje del papel, es por ello que, en lugar de utilizarse el valor absoluto, se emplea el denominado índice de estallido.

- **Resistencia al rasgado:** Es la labor imprescindible que se debe usar para rasgar una hoja de papel a través de una fuerza inesperada. Esta característica es una de las más relevantes en la ocasión de que se vaya a imprimir en prensa para bobinas. Existen dos maneras de medir la resistencia al rasgado, la más usada es la resistencia interna al rasgado, esta consta en realizar un pequeño corte en el borde a la hoja de mano previo de la prueba, esto hace más débil al papel al acoger una fuerza repentina.
- **Resistencia al doblez:** Se refiere al número de dobles pliegues que puede resistir una banda de papel, bajo tensión persistente, previo de rasgarse. La máquina utilizada para hacer pasar una banda de papel entre unos rodillos reprimiéndola al movimiento. Está característica está vinculada con la flexibilidad, un papel rígido soporta muchos menos dobleces que uno flexible, no obstante, los dobles pliegues son extremadamente perceptivo a la humedad del papel.
- **Resistencia al levantamiento de la superficie del papel:** Es la resistencia que la superficie del papel enfrenta al ser arrancada por una fuerza de tensión que tira de ella perpendicularmente, como la tinta al ser impreso. La capa de tinta se fracciona en dos y da un tirón que actúa una fuerza de tensión perpendicular sobre la superficie del papel; esta fuerza depende de la tinta, la velocidad de la prensa y el ángulo de separación.
- **Rigidez:** Es la resistencia que contrapone un papel a flexionarse, cuando se le aplica una fuerza por una de sus caras; es decir, si una tira de papel le impone por sus dos extremos a sendas opuestas la tira se doblará tomando la estructura de un semi círculo, en el caso de que el papel sea rígido y también este volverá a su forma original al suspender la fuerza.
- **Encolado:** El encolado es una propiedad que se le otorga al papel para detener la inserción de los líquidos acuosos. Es relevante en papeles para escritura e impresión. Los papeles encolados pueden tener diferentes grados de encolado, desde débil hasta fuerte [74].



## 9. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La planta de banano o plátano corresponde a las Musáceas y su nombre científico es *Musa paradisiaca*, la cual consigue una altura de 2 m a 3 m y un fuste de unos 20 cm de diámetro [12].

El sistema radicular de la planta de banano es adventicio, está constituido por un eje radicular el cual genera las raíces primarias, a través de ellas se efectúan las secundarias. Así mismo, el pseudotallo está conformado por vainas envolventes de las hojas y su primordial función es sostener el peso de las hojas y las inflorescencias. Por otra parte, el fruto se caracteriza botánicamente como una cereza con pericarpio y se forma desde los ovarios de las flores postiladas que exponen un considerable incremento en volumen. La forma del fruto cambia con el método de cultivo y el color es usualmente amarillo [12].

### 9.1 Composición cáscara de plátano

El primordial subproducto del proceso industrial del plátano es la cáscara la cual representa aproximadamente el 30% del peso del fruto, dentro de los usos potenciales para la cáscara de plátano dependen de su composición química. La cáscara de plátano es rica en fibra dietética, proteínas, aminoácidos importantes, ácidos grasos poliinsaturados y potasio; entre los trabajos para usar la cáscara se ha conseguido proteínas, metanol, etanol, pectinas, enzimas y carbón vegetal, esta última es una fuente de combustible alternativa para cocinar [17].

A su vez se considera que la cáscara de plátano puede ser una fuente potencial de sustancias antioxidantes y antimicrobianas, así como compuestos fitoquímicos con actividad contra radicales libres. Es importante mencionar que la mayoría de los compuestos antioxidantes presentes en frutas y verduras provienen de compuestos como la vitamina C, vitamina E y  $\beta$ -caroteno [17].

El plátano es uno de los frutos más consumidos a nivel mundial y su pulpa, así como su

cáscara comprende diversos antioxidantes como la galocatequina y la dopamina. La capacidad total de compuestos fenólicos en la cáscara de plátano varía de 0.9 a 3 g/100 g en base seca, mientras que se ha reconocido la galocatequina en concentraciones de 160 mg/100 g en base seca, siendo este compuesto al que se le asocia la capacidad antioxidante de la cáscara. La cáscara de plátano maduro igualmente contiene otros compuestos, tales como, las antocianinas (delfinidina y cianidina) y catecolaminas. Adicionalmente, la cáscara de plátano contiene carotenoides, como el  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno y distintas xantofilas, estas han sido cuantificadas en un rango de 300-400  $\mu$ g de equivalentes de luteína/100 g, igualmente se han reconocido esteroides y triterpenos, como el  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, campesterol, cicloeucaleol, cicloartenol y cicloartanol 24-metileno [17].

De esta manera, las bananas y plátanos tienen la particularidad general de las frutas, por ende poseen un valor nutritivo que corresponde a su contenido de carbohidratos; así pues la composición química de la cáscara de plátano y de banano es muy semejante donde la cáscara de banano comprende un aproximado de 14% en azúcares (3% glucosa, 3% fructosa y 8% de sacarosa), la fibra de la cáscara posee aproximadamente un 60% en lignina, 25% en celulosa y 15% de hemicelulosa, tal y como se observa en la figura 2 [18] [19].

**Figura 2.** Composición de restos del banano.

<u>Componentes</u>	<u>Cáscara de banano Verde</u>	<u>Cáscara de banano maduro</u>
% Humedad	91,62	95,66
% Proteína cruda	5,19	4,77
% Fibra Cruda	11,58	11,95
Energía bruta, Kcal	4383	4592
% Calcio	0,37	0,36
% Fósforo	0,28	0,23
% Ceniza	16,30	14,58

**Nota.** La figura representa la composición de restos del banano. Tomado de: Aprovechamiento de la cáscara de plátano (musa paradisiaca) para la elaboración de betún artesanal en El Socorro, Santander. 2019. Rubiela Pedraza Fajardo. p. 32.

Por otro lado, la cáscara de banano verde posee un contenido muy alto de taninos, que proporciona un sabor astringente a la fruta y restringe su digestibilidad, no obstante, conforme avanza la maduración de la fruta los taninos se modifican y se pierde el sabor astringente [19].

## **9.2 Fibra Dietética.**

La cáscara de plátano comprende un alto contenido de fibra dietética (50 g/100g) considerando que es fuente de este compuesto, se ha definido que la maduración del plátano expone un efecto positivo en la composición de fibra de la cáscara, compuesta primordialmente de celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina. En los últimos años, se han desarrollado investigaciones sobre la flor de la platanera, en los que se ha estudiado una alta aparición de fibra (lignina, celulosa y hemicelulosa) así como de minerales (potasio, sodio y calcio) [17].

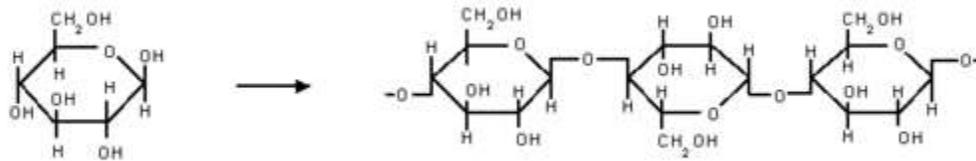
## **9.3 Celulosa**

Es un polisacárido que tiene la fórmula empírica  $(C_6H_{10}O_5)_n$  y es el elemento primordial de la membrana celular de la mayor cantidad de las plantas, abarca una tercera parte de toda la materia vegetal y es el más abundante de todos los compuestos orgánicos, posee un peso molecular variable y un valor mínimo de  $n= 200$ . De esta manera, la celulosa se forma por la unión de moléculas de  $\beta$ -glucopiranosas por medio de enlaces  $\beta$ -1,4-O-glucosídicos. Por hidrólisis de glucosa [20] [21].

Generalmente se atribuye el nombre de celulosa a las fibras blancas que se obtienen cuando se impone la materia vegetal a tratamientos de purificación a través de los cuales se extraen cerca de todos los demás componentes de la planta, principalmente la lignina [20].

La estructura de la celulosa corresponde de la siguiente manera: a la izquierda,  $\beta$ -glucosa; a la derecha, varias  $\beta$ -glucosas unidas, tal y como se observa en la figura XX [21].

**Figura 3.** Estructura de la celulosa.



**Nota.** La figura representa la estructura de la celulosa. Ecured.

La celulosa comprende una estructura lineal o fibrosa, en la que se definen diversos puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de diferentes cadenas yuxtapuestas de glucosa, concibiéndolas impenetrables al agua, lo que produce que sea insoluble en agua, y generando fibras compactas que forman la pared celular de las células vegetales [21].

### 9.3.1 Clasificación de la celulosa

A continuación, se presentan la clasificación de la celulosa:

- **Alfa celulosa:** es el fragmento que queda sin disolver cuando en condiciones uniformes se humedece primero el material en solución de 17,5 o 18 % p/p de hidróxido de sodio y posteriormente agregando agua a esta, en solución de hidróxido más diluida de definida concentración. Se separa por filtración la alfa celulosa, se lava, seca y pesa. Este parámetro es muy relevante debido a que determina la calidad en la estructura del papel, y señala la cantidad de celulosa verídica presente en la pulpa, la misma que posibilita que las fibras se mantengan unidas [22].
- **Hemicelulosa:** se fundamenta en material de cadena corta que es soluble en solución de hidróxido de sodio de 17,5 % p/p y que está conformada por beta y gama celulosa [22].
- **Beta celulosa:** es la sustancia que se precipita al acidular el filtrado que permanece después de efectuar la especificación de alfa celulosa [22].
- **Gama celulosa:** es la sustancia que permanece disuelta en el filtrado remanente de la determinación de beta celulosa [22].

## 10. ELABORACIÓN DE PAPEL

La principal fuente de materia prima en la fabricación de papel son las fibras de madera, de las cuales se obtiene la celulosa. La celulosa se separa de la lignina a través de procesos químicos, mecánicos o químico-termo-mecánicos, siendo los procesos químicos los más empleados a nivel industrial, ya que posibilitan conseguir una pulpa de considerable calidad que la adquirida por los métodos mecánicos [23].

En ese sentido, el uso de fibras maderables en las industrias produce impactos ambientales por lo cual es importante cooperar a la solución de estos efectos mediante fuentes alternativas para la obtención de celulosa [24].

Es importante mencionar, que todo papel está formado por los siguientes materiales elementales:

- **Fibras:** es un material vegetal que se extrae de plantas como el algodón, la cebada, el lino, madera, etc. Este último es el material de celulosa de suma relevancia en el presente. En ese sentido, cualquier compuesto que comprende celulosa en un porcentaje apropiado puede ser apto para la producción del papel. Existen dos tipos de fibras: la fibra larga y la fibra corta [25].
- **Cargas:** son elementos minerales, tales como Talco, Calcio y Caolín, los que permanecen retenidos entre las fibras. Considerando una mayor densidad que la celulosa, las cargas varían el peso específico del papel, por lo cual su porcentaje debe ser inspeccionado conforme el papel que se pretende fabricar. Ejemplo: Papel Voluminoso = Menos carga [25].
- **Aditivos:** el papel comprende aditivos que permiten obtener características definidas. A continuación, se evidencian los más empleados:
  - a. Encolado: colabora a impermeabilizar el papel. Se clasifica en encolado en masa (mayor resistencia a la humedad) y encolado superficial (aumenta el realce de las tintas).
  - b. Colorantes: son los encargados de otorgar color al papel.
  - c. Blanqueadores ópticos: otorgan mayor blancura al papel [25].

## **10.1 Procesos obtención pulpa**

Las técnicas empleadas para la obtención de pulpa tienen como objetivo liberar la celulosa de la lignina conservando intacta la hemicelulosa y celulosa, con lo cual se produce un incremento en el rendimiento de las fibras aprovechables. Las fibras obtenidas poseen un color natural que se debe blanquear previo de emplearlas para fabricar papel, con el fin de conseguir un buen color sin degradación ni pérdida de rendimiento [22].

Existen distintos procesos de obtención de pulpa de papel a nivel industrial, siendo el proceso químico que corresponde al método a la sosa el que se propone en el desarrollo de investigaciones para la empresa Productos Colombianos S.A.S., debido a que es una técnica sencilla de reproducción en el laboratorio [22].

### **10.1.1 Proceso mecánico**

Las pastas mecánicas se generan triturando la madera contra una piedra o entre placas metálicas, para que se separen las fibras de celulosa y lignina, los troncos descortezados pueden serrarse en segmentos pequeños (1 a 6 metros) para la adquisición de pasta mecánica a la piedra, o astillarse para los métodos de refinado mecánico o químico de obtención de pasta. La mayor parte de la pasta se consigue por el procedimiento al sulfato, seguida por los métodos mecánicos (semiquímico, termomecánico y mecánico) y por la técnica al sulfito [22] [26].

El trabajo de los equipos rompe las fibras, por lo que la pasta derivada es más frágil que la separada químicamente; la lignina que une la celulosa a la hemicelulosa no se disuelve, simplemente se ablanda, posibilitando que las fibras se asienten fuera de la estructura de la madera. El rendimiento (proporción de la madera preliminar en la pasta) frecuente ser mayor al 85% [22] [26].

Una vez conseguida la pasta se introduce a un proceso de prensado que consta de las siguientes fases:

- Compresión y saturación de la hoja: el aire abandona los espacios entre fibras y su espacio es ocupado por el agua, hasta llegar a la saturación de la hoja [27].
- Compresión y saturación de la bayeta: se instaura una presión hidráulica en el papel y el agua comienza a traspasar la bayeta hasta obtener la saturación de está [27].
- Expansión de la bayeta: la bayeta se agranda más rápido que el papel y continúa absorbiendo agua hasta la máxima sequedad de la hoja [27].
- Expansión de la hoja: se crea una presión hidráulica y el agua retoma al papel, en este instante se debe separar la hoja de la bayeta lo más prontamente posible [27]

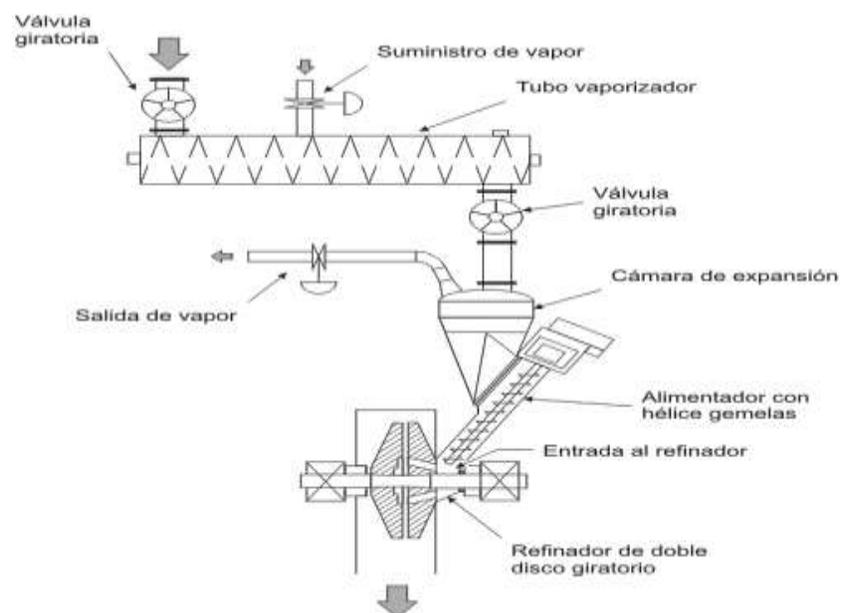
La técnica de producción de esta pasta conlleva la trituración de las fibras de madera en agua a través de la operación de una muela cilíndrica. Este proceso se encarga de incrementar la temperatura de las fibras de madera con el objetivo de suprimir una parte de la lignina que comprende esta pasta de papel. Así pues, el proceso mecánico no posibilita la exclusión por completo la cantidad de lignina que comprenden las fibras de madera. Por consiguiente, el producto final que se consigue a través de la pasta mecánica de papel se emplea para la producción de papel de prensa, cartón prensado, entre otros [71].

Otro modelo de producción de pulpa es el denominado termomecánico donde se utilizan las propiedades plásticas de la madera para obtener el ablandamiento de la lámina media en presencia del calor, agua y alta presión. Es importante mencionar que presenta un alto consumo de energía en el desfibrado y refinación, aunque su rendimiento es del 95% [28].

El proceso termomecánico es una mejora sobre la técnica de refinador mecánico, que se basa en el establecimiento en la línea de ingreso de una unidad de vaporizado (véase la figura 4). En esta unidad, las astillas de madera se sujetan a vapor de agua a presiones de entre 6-0 kg/cm<sup>2</sup>, lo que concierne a una temperatura de entre 165-185°C. Si se alcanza a ajustar perfectamente la opción de vaporizado con el refinador mecánico, el procedimiento de refinado tendrá lugar a las mismas condiciones de presión y

temperatura. En estas circunstancias, la lignina, que trabaja como enlace de las fibras se reblandece, por lo que la estructura de la madera se debilita enormemente y las fibras quedan casi totalmente apartadas. Las fibras separadas a estas temperaturas no solo no toleran deterioro alguno, sino que quedan recubiertas con una tenue capa de lignina, consignada tras el enfriamiento, que las endurece. Este recubrimiento concibe una superficie suave en la fibra, lo que genera que cualquier tentativa de fibrilación surja muy complicado, por lo que esta técnica no es apropiada para la producción de papel, pues la cohesividad entre fibras es baja, pero la hace inmejorable para la producción de tableros para edificación, pues la resistencia individual de las fibras es muy alta, gracias a la resistencia transferida por la capa de lignina. Para la producción de papel mediante este proceso no puede excederse la temperatura de transición vítrea de la lignina [72].

**Figura 4.** Sistema producción termomecánica de pulpa.



**Nota.** La figura representa el sistema de producción termomecánica de pulpa. Tomado de: Producción de pasta termomecánica. 2005. Textos científicos.

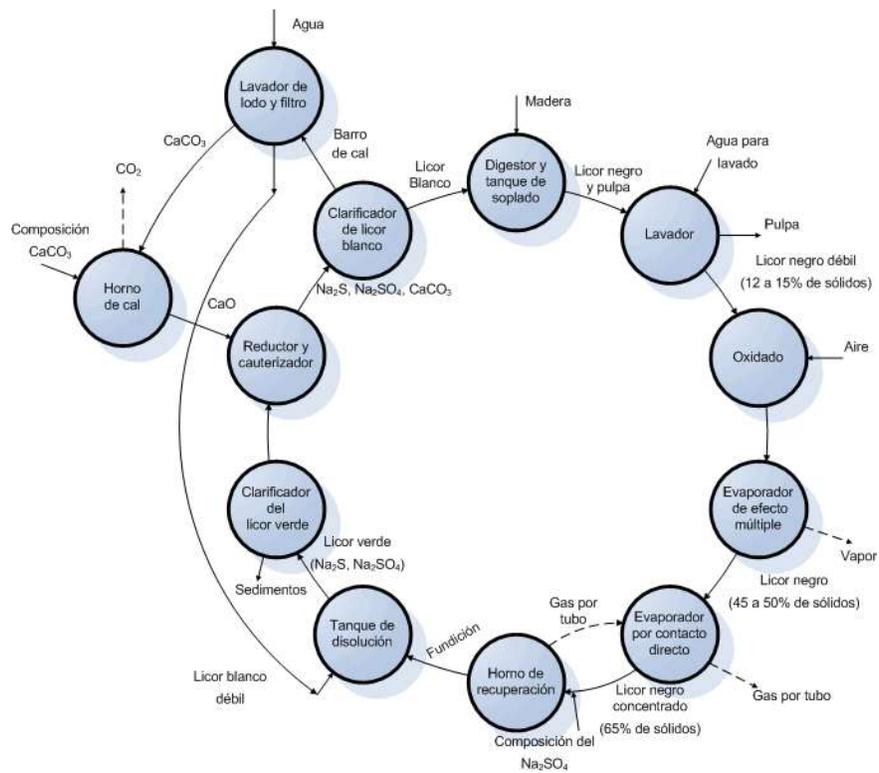
### 10.1.2. Proceso químico

Dentro de los procesos químicos de adquisición de pulpa de papel se contemplan las siguientes técnicas:

:

- a. Proceso Kraft o de sulfato: es una técnica alcalina, la cocción se realiza con una solución que comprende  $Na_2S$ ,  $NaOH$  y  $Na_2CO_3$ , dando como resultado el sulfato de sodio durante la elaboración y restauración del licor para la cocción. Para el proceso Kraft se continúa la posterior secuencia: los troncos se descortezan y son trasladados a la troceadora en donde por medio de discos giratorios se disminuye la madera a astillas y se separan las astillas excesivamente grandes para destinarlas a retroceadoras. Las astillas ingresan al digester continuo y se les proporciona un tratamiento anterior con vapor de agua de aproximadamente 100 kPa, posteriormente se trasladan a un área de impregnación que se halla a 900 kPa, aquí se ajusta su temperatura y se localiza el licor de cocimiento. El tiempo de cocción es de 1,5 horas a 170 °C, un lavado a contracorriente disminuye el volumen químico de las astillas. El licor de cocción agotado es trasladado a un tratamiento para recuperar su contenido químico y poder reutilizarlo. La pulpa lavada se blanquea con la utilización de agentes reductores, luego se retorna a lavar estando dispuesto para el desarrollo del laminado del papel [22].

**Figura 5.** Proceso Kraft o de sulfato



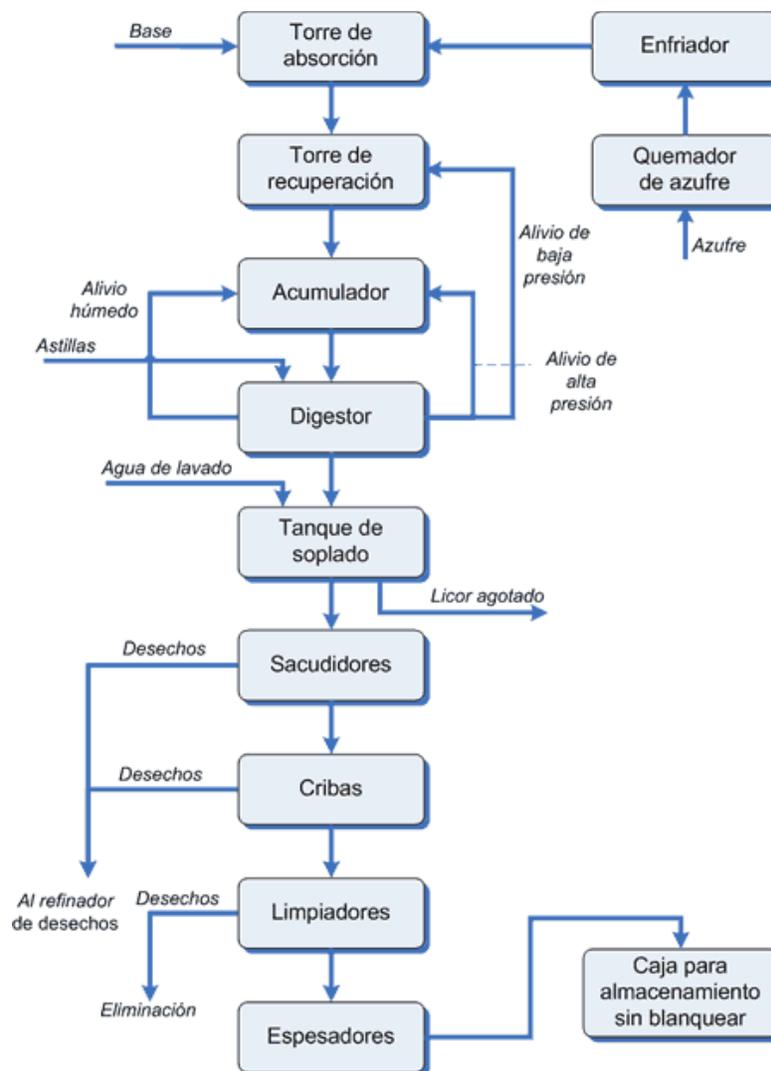
**Nota:** Imagen representativa del proceso Kraft o de sulfato. Tomado de: Textos científicos.

Producción química de pulpa al sulfato o Kraft. Disponible

en: <https://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/química>

b. Proceso al sulfito: se basa en la digestión de la madera en una solución acuosa que comprende bisulfito de calcio y un exceso de dióxido de azufre. En este proceso la madera se descorteza, lava, desmenuza y se acopia en tolvas que se ubican encima de los digestores previo de su cocción; el digestor en donde se desarrolla la cocción se calienta con vapor directo. Las condiciones de cocción dependen de la naturaleza de la madera, la composición del ácido y la calidad de la pulpa cargada. La presión cambia de 480 a 1.100 kPa, el tiempo y la temperatura van de 6 a 12 horas y de 170 a 176 °C. El volumen del digestor pasa a un tanque para desarrollar el lavado de la pulpa y luego se bombea a una secuencia de mallas donde se excluyen las considerables aglomeraciones de fibras y se concentra en espesadores, que son marcos cilíndricos recubiertos con malla número 80. Finalmente, se blanquea y se inicia el laminado. La cantidad de pulpa conseguida industrialmente con esta técnica se reduce constantemente a pesar de su alta calidad, por los efectos que ocasiona la contaminación del agua, igualmente que los requisitos de energía son altos [22].

**Figura 6.** Proceso Sulfito



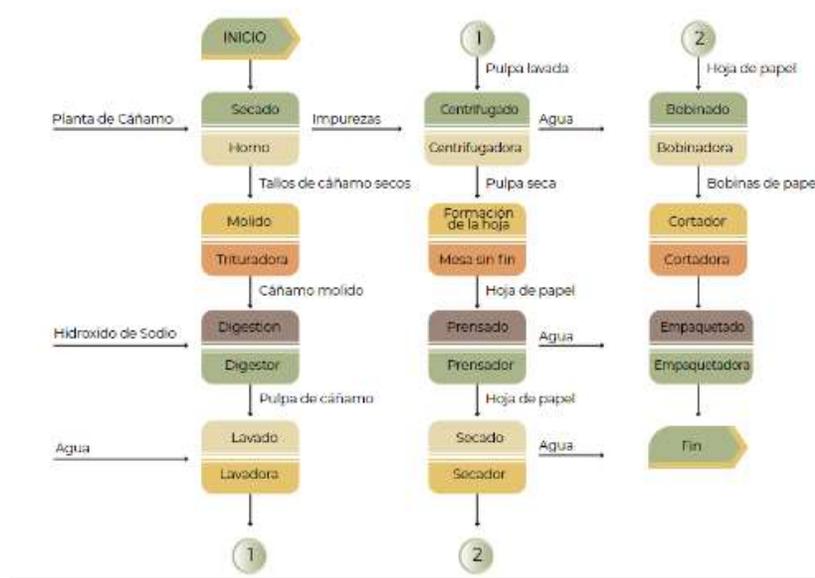
**Nota:** Imagen representativa del proceso Kraft o de sulfato. Fuente: Textos científicos.

Producción química de pulpa. Disponible en:

<https://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/quimica>

c. Proceso a la sosa: el fundamento de este proceso de despulpado químico es degradar y disolver la lignina para que las fibras comprendidas en la materia prima puedan suprimir fácilmente. El componente principal del licor de cocción es NaOH, cuya dosificación depende de las propiedades de la fibra. La pulpa conseguida es de considerable resistencia debido a la calidad y longitud de sus fibras, sin embargo, es oscura y se puede utilizar para la fabricación de cartón. Además, la segunda etapa de blanqueo se efectúa mediante peróxido de hidrogeno  $H_2O_2$ . Dentro de este proceso se encuentran las siguientes etapas: digestión (se prepara una solución de hidróxido de sodio NaOH y se mezcla con la materia seca, la fibra se pone en cocción a baño maría), filtración (se deja reposar materia prima a temperatura ambiente y se separa mediante un tamiz la materia prima del licor negro que se produjo durante la cocción), blanqueamiento (la fibra fue sometida a un blanqueamiento donde se emplea una concentración de peróxido de hidrógeno) y laminado (se sitúa la fibra en moldes de madera, se emplea una prensa manual con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de agua y se obtiene la hoja de papel) [29] [30] [31] [32].

**Figura 7. Proceso a la sosa**



**Nota:** Imagen representativa del proceso a la sosa. Fuente: Textos científicos. Estudio técnico para la producción de papel derivado del cañamo de uso industrial en el Valle del Cauca. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/671/6713614010/html/>

**Pulpeo kraft y a la sosa:** el pulpeo a través de los procesos kraft y a la sosa se desarrolla teniendo en cuenta el siguiente proceso y considerando las variables descritas a continuación:

**Figura 8.** Proceso de cocción



**Nota.** La figura representa el proceso de cocción. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 26.

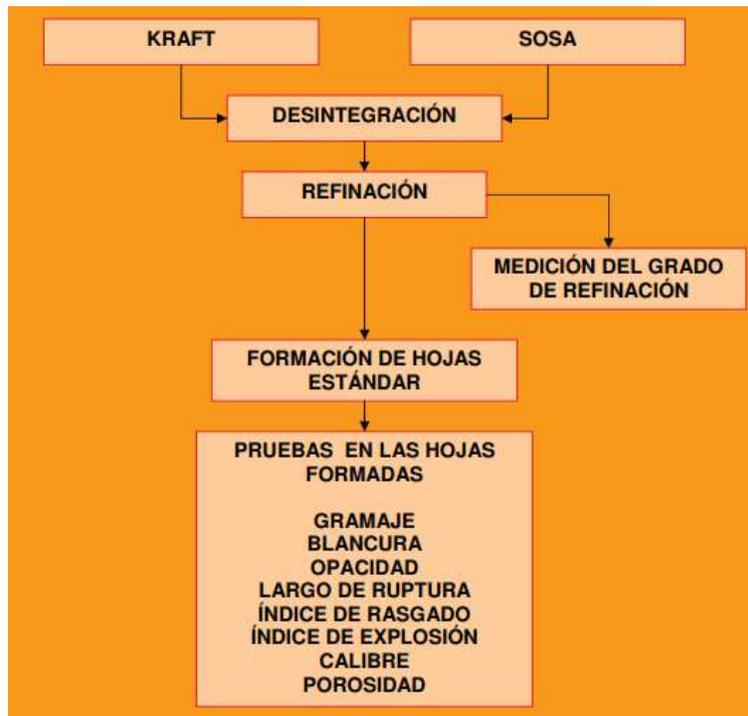
**Figura 9.** Variables en los procesos de cocción

	<b>COCCIÓN KRAFT</b>	<b>COCCIÓN A LA SOSA</b>
Sulfidez	Fijo	0 %
Álcali activo	Fijo	49 % en peso
Temperatura de Cocción	160 °C	175 °C
Hidromódulo	4	3.5
Tiempo de cocción	Manipulado en 2 niveles 120 min, 150 min	Manipulado en 2 niveles 120 min, 180 min
Carga de reactivos (referida al peso de la madera base seca)	Manipulado en 2 niveles 14 %, 15.5 %	Manipulado en 3 niveles 18 %, 24 %, 28 %
Zona del árbol	Manipulado 3 niveles Arriba Abajo Mezcla 50/50 % arriba/abajo	Mezcla 50/50 % arriba/abajo
Cocciones	Experimento factorial $2 \times 2 \times 2$ zona X carga de reactivos X tiempo Experimento $2^k$ $2^3$ 2 carga de reactivos, tiempo Aplicado a la mezcla de astilla	Experimento $2^k$ $2^2$ 2 carga de reactivos, tiempo Aplicado a la mezcla de astilla

**Nota.** La figura representa las variables de los procesos de cocción. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptus citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 27.

## Evaluación físico-mecánica de la pulpa kraft y a la sosa:

**Figura 10.** Evaluación físico-mecánica y óptica de la pulpa kraft y a la sosa.



**Nota.** La figura representa las evaluaciones físico-mecánica y óptica de la pulpa kraft y a la sosa. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptus citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 33.

Desintegración: en un equipo marca Frank, con 5 minutos de tiempo de resistencia a una consistencia del 1.5%.

Refinación: en un molino Jokro se refinan de 1-6 muestras distintas y se suministra todo tipo de pulpas, no obstante, es importante mencionar que para pulpas de fibras muy largas no se recomienda. La refinación se aplica a 0, 15, 30, 45 y 60 minutos para la pulpa kraft y 0, 10, 20, 30 y 40 minutos para la pulpa a la sosa.

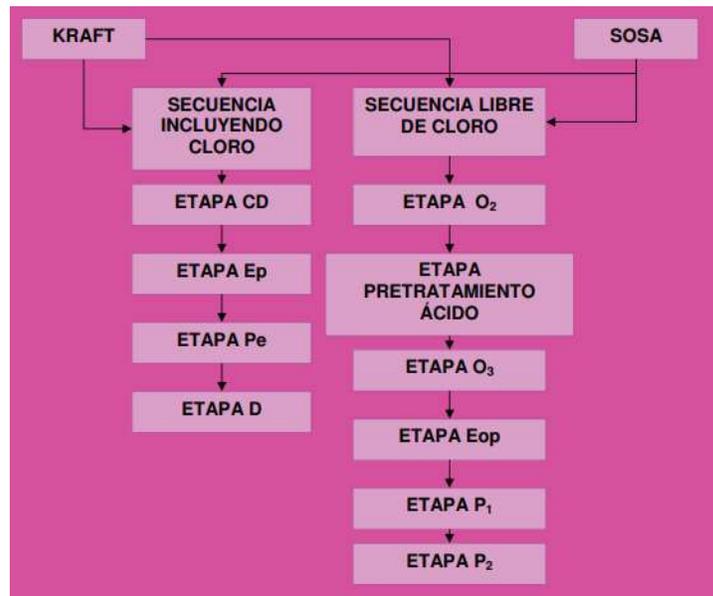
Medición del grado de refinación: considerando que durante la refinación uno de los efectos es la disminución de la longitud de fibra, aumento de la superficie área determinada de la fibra y el aumento de la flexibilidad ya que, a la fibrilación interna y externa, se comprende la medición de los grados Schoper Riegler ( $^{\circ}$ SR), esta medición se efectúa para cada uno de los puntos a los cuales se refino la fibra.

Formación hojas estándar: empleado el método convencional para la formación de hojas estándar relativo al ISO 5269/1 y TAPPI T 205 om-88.

Pruebas físico-mecánicas y ópticas: se pueden elaborar según las siguientes normas extraídas de TAPPI 2000: Calibre T 411 om-89, Largo de ruptura T 404 cm-92, Índice de rasgado T 414 om-88, Porosidad T 460 om-88, Opacidad T 519 os-70, Blancura T 525 os-72 y Gramaje T 411 om-89 [73].

## Blanqueo de la pulpa kraft y a la sosa:

**Figura 11.** Blanqueo de la pulpa kraft y a la sosa.



**Nota.** La figura representa el blanqueo de la pulpa kraft y a la sosa. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 35.

**Blanqueo de la pulpa sosa a través de una secuencia que incluye cloro (CDEpPeD):**  
en la fase CD las condiciones de seguridad son:

**Figura 12.** Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro primera fase.

Consistencia	4.5 %
Tiempo	30 minutos
Temperatura	60 °C
pH inicial	2.06
Reactivos: Cloro ( Cl <sub>2</sub> )	2.25 % en peso
Dióxido ( ClO <sub>2</sub> )	1.25 % en peso

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa secuencia cloro primera fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera Eucalyptuss citriodora Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 35.

Se realizó la adición de agua requerida según la cantidad disponible. Empleando una máquina Hobart se homogenizó la pulpa para luego bajo una campana de extracción, agregar los reactivos, considerando su toxicidad, se pone y sellar en bolsas de plástico la mezcla para ubicarla en baño María, consiguiendo así las condiciones requeridas en esta fase [73].

**Etapas Ep**, a continuación, se presentan los parámetros de operación:

**Figura 13.** Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro segunda fase

Consistencia	12.0 %
Tiempo	60 minutos
Temperatura	70 °C
pH inicial	12.46
Reactivos: Hidróxido de sodio ( NaOH )	2.1 % en peso
Peróxido de hidrógeno ( H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.0 % en peso

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa secuencia cloro segunda fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera Eucalyptuss citriodora Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 36.

Homogenización de la mezcla en la máquina Hobart, la disposición de la mezcla en el baño maría en bolsas de plástico.

**Etapa Pe,** Parámetros de operación:

**Figura 14.** Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro tercera fase.

Consistencia	12 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	11.4
Reactivos: Peróxido de hidrógeno ( H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.5 %
Hidróxido de sodio ( NaOH )	1.0 %
Tiosilicato de sodio ( Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	1.0 %
Sulfato de Magnesio ( MgSO <sub>4</sub> )	0.05 %

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa secuencia cloro tercera fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera Eucalyptuss citriodora Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 36.

El tratamiento para adaptar la muestra y desarrollar la fase se efectúa similar que en la fase previa.

**Etapas D**, a continuación, determinar los parámetros de operación:

**Figura 15.** Blanqueo pulpa sosa secuencia cloro cuarta fase.

Consistencia	12 %
Tiempo	180 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	5.74
Reactivos: Dióxido ( ClO <sub>2</sub> )	0.5 %
Hidróxido de sodio ( NaOH )	0.1 %

r

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa secuencia cloro cuarta fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptus citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 38.

Técnica similar que, en la primera fase, en el blanqueo de la pulpa kraft y sosa al finalizar cada fase se desarrolla el lavado, centrifugado y homogenizado.

### **Blanqueo de la pulpa sosa a través una secuencia libre de cloro (OAZEopP1P2):**

#### **Etapa O**

**Figura 16.** *Blanqueo pulpa sosa libre de cloro primera fase*

Consistencia	10 %
Tiempo	60 minutos
Temperatura	100 °C
pH inicial	13.08
Presión de oxígeno ( O <sub>2</sub> )	4 kg/cm <sup>2</sup>
Reactivos: Hidróxido de sodio ( NaOH )	3.0 %
Sulfato de Magnesio (MgSO <sub>4</sub> )	0.5 %

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa libre de cloro primera fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptus citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 38.

## Etapa A

**Figura 17.** Blanqueo pulpa sosa libre de cloro segunda fase.

Consistencia	3 %
Tiempo	30 minutos
Temperatura	Ambiente
pH final	3
Reactivos: Acido sulfúrico ( H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Hasta ajustar pH

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa libre de cloro segunda fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera Eucalyptuss citriodora Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 39.

## Etapa Z

**Figura 18.** Blanqueo pulpa sosa libre de cloro tercera fase.

Consistencia	40 %
Tiempo	25.13 minutos
Temperatura	ambiente
Reactivos: Ozono ( O <sub>3</sub> )	1.3 %

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa libre de cloro tercera fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 39.

## Etapa Eop

**Figura 19.** Blanqueo pulpa sosa libre de cloro cuarta fase.

Consistencia	10 %
Tiempo	90 minutos
Temperatura	60 °C
pH inicial	12.18
Presión de oxígeno ( O <sub>2</sub> )	2 kg
Reactivos: Hidróxido de sodio ( NaOH )	1.0 %
Peróxido de hidrógeno ( H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	0.7 %

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa libre de cloro cuarta fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 39.

## Etapa P1

**Figura 20.** Blanqueo pulpa sosa libre de cloro quinta fase

Consistencia	15 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	11.03
Reactivos: Peróxido de hidrógeno ( H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.2 %
Hidróxido de sodio ( NaOH )	0.7 %
Tiosilicato de sodio ( Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	1.0 %
Sulfato de Magnesio ( MgSO <sub>4</sub> )	0.05 %

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa libre de cloro quinta fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 41.

## Etapa P2.

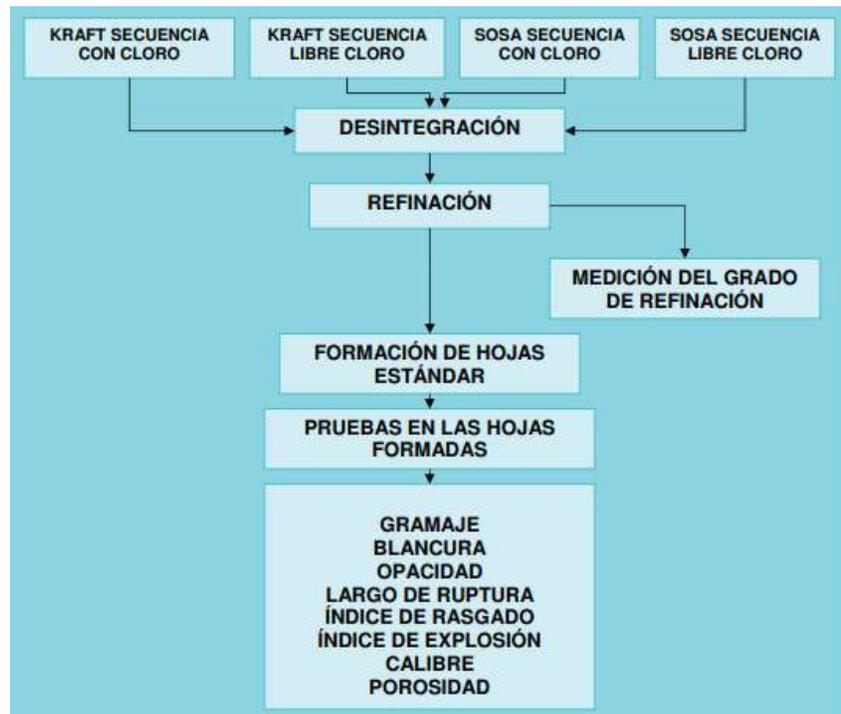
**Figura 21.** Blanqueo pulpa sosa libre de cloro sexta fase.

Consistencia	15 %
Tiempo	120 minutos
Temperatura	80 °C
pH inicial	10.75
Reactivos: Peróxido de hidrógeno ( H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	1.0 %
Hidróxido de sodio ( NaOH )	0.5 %
Tiosilicato de sodio ( Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> )	1.5 %
Sulfato de Magnesio ( MgSO <sub>4</sub> )	0.05 %

**Nota.** La figura representa el blanqueo pulpa sosa libre de cloro sexta fase. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 41

## Evaluación fisicoquímica de las pulpas blanqueadas.

Figura 22. Evaluación fisicoquímica de las pulpas blanqueadas



**Nota.** La figura representa la evaluación fisicoquímica de las pulpas blanqueadas. Tomado de: Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptus citriodora* Hook. 2019. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde. p. 42.

## 11. METODOLOGIA

Conforme al propósito del proyecto, el tipo de investigación utilizado es descriptivo, el cual se toma en consideración de la siguiente definición descrita por Rodríguez, “Comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos... La investigación descriptiva trabaja sobre realidades y su característica fundamental es la de presentarnos una interpretación correcta” [33].

El tipo de investigación es documental ya que el análisis se realizó en función de la indagación y exploración de toda la documentación e información recolectada, identificando el tema de estudio. De esta manera, se buscaron las siguientes fuentes de información: guías, trabajos integrales de grado, blogs, páginas web, artículos de periódico, artículos de revista, enciclopedias; encontrando las siguientes palabras claves: estandarización, etapas críticas, contaminación, cuantificación, condiciones de operación, papel reciclado, licuar, prensado, secado, triturar, vástago, consumo responsable, empaques sostenibles, papel ecológico, celulosa, lignina, papel, residuos orgánicos, residuos, bananos maduros, plátanos verde, cáscaras de plátano y bananos, análisis y evaluación de alimentos, plátano, propiedades funcionales, alimentación, nutrición, residuos agrícolas, técnicas de producción y conservación de alimentos, conservantes, colorante, celulosa, fibras alternativas, alcachofa, fabricación de papel, madera, pulpa de papel, alfa celulosa, termogravimetría, caracterización mecánica, propiedades funcionales, alimentación, nutrición, celulosa, físico, químico, , pulpa química a la soda, gramaje, calibre, pulpa, Kraft, sosa, blanqueo madera. Por lo anterior, se elabora la siguiente tabla que indica la base de datos consultada:

**Tabla 1** Fuentes información buscadas para el objeto de estudio.

<b>Autor</b>	<b>Título del documento</b>	<b>Aporte y/o importancia</b>
Oficina de Conservación y Recuperación de Recursos	Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: Una Guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo	Relevancia de la gestión de residuos sólidos, la necesidad de gestionarlos, los desafíos comunes, mejores prácticas y minimización de residuos.
David Alejandro Osorio Roberto	Propuesta de mejora del proceso de producción para la elaboración de patacón pre frito con plátano verde de la empresa Procol S.A.S.	Proceso productivo de plátano pre frito de la empresa Productos Colombianos S.A.S., evidencia entrada de materia prima y tiempo de duración.
Sarah Cantavalle	Historia del papel: desde los orígenes hasta hoy	Las alternativas del papel como materiales reciclables y proceso de elaboración del papel.
Ambientum	El impacto medioambiental del papel	Problemáticas que generan la fabricación del papel, sugerencia para reducir el papel e impactos medioambientales del papel.
Consultoría Medioambiental	La guía más completa sobre Bioplásticos	Materiales sostenibles, diferentes tipos de bioplásticos, cuanto demora degradarse bioplásticos y beneficios de bioplásticos.
Catalytic generators	El control de calidad de los plátanos empieza durante la recepción en el almacén	Control de calidad del plátano desde su distribución para definir la maduración de la fruta.
Ilerfred	Maduración de plátanos, bananas, aguacates y mangos	Proceso de maduración de plátanos y bananas, factores para un adecuado control del proceso de maduración.
Semana	En Colombia se recicla menos del 17% de la basura que se genera	Generación de residuos en Colombia, consumo de plástico y nivel de reciclaje desde la fuente.
Freddy Alfonso Moreno, Marlen Robayo Quintana, Laura Ferrucho Rodríguez y Mónica Vargas Oyola	Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel	Proceso de fabricación de papel con residuos orgánicos, papel reciclado y el uso de fibras naturales, pulpa de papel reciclado y residuos sólidos orgánicos.
Krystle González Velandia y Indira Valencia	Obtención sostenible de papel y de empaques a partir de residuos orgánicos	Producción de papel mediante fibras vegetales, residuos orgánicos con alto contenido de celulosa y control de calidad conseguida.
Krystle Danitza González Velandia, Dayra Daza Rey, Paola Andrea Caballero Amado y Chadae Martínez González	Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel	Uso de materiales alternativos para fabricar el papel, propiedades físicas y químicas del papel, materias primas empleadas para fabricación del papel, y propiedades físicas y químicas de residuos orgánicos
Karina Moreira Carrión	Reutilización de residuos de la cáscara de bananos y plátanos (musa paradisiaca) para la producción de alimentos destinados al consumo humano	Problemática de los desechos, propiedades de los residuos agrícolas, composición química del banano, relevancia de los residuos del banano y usos de la cascara dl plátano.
Caracol S.A.	Los residuos del plátano se pueden aprovechar eficientemente	Aprovechamiento eficiente de residuos en el ámbito industrial y buenas prácticas agrícolas.
Equipe Two Sides Brasil	Nueva infografía sobre papel de fibra alternativa	Fibras vegetales para la elaboración de papel, ventajas de la fibra de árbol y ventajas de las fibras alternativas.
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A.	¿Qué es el papel reciclado y cuál es el proceso para reciclarlo?	Consideración del reciclaje de papel y cartón, etapas del reciclaje de papel y reducción de la generación de residuos.

Grupo Pochteca, S.A.B. de C.V.	¿Cuáles son los papeles ecológicos? Tipos, usos y beneficios	Fibra celulosa en la elaboración del papel, clasificación del papel ecológico, usos del papel ecológico y ventajas del papel ecológico.
Gabriela Blasco López y Francisco Javier Gómez Montaña	Propiedades funcionales del plátano (Musa sp)	Características funcionales del plátano, propiedades de la platanera, características funcionales y composición de la cascara del plátano.
Raúl Fernández, José Quiróz, Radium Aviles, Delia Moriega, Christian Villavicencio, Esther Cevallos, Karina del Pilar Moreira, Sheyla Sánchez y José Marcial	Desarrollo de productos alimenticios a partir de las cascara del plátano	Uso del plátano y Sheila sus cascara para la obtención de alimento humano, composición química de la cascara de banano y disponibilidad de las cascara de plátano,
Rubiel Pedraza Fajardo	Aprovechamiento de la cáscara de plátano (musa paradisiaca) para la elaboración de betún artesanal en El Socorro, Santander	Generalidades del sector agrícola, proceso para la fabricación del betún artesanal a base de cáscara de plátano, variables dependientes e independientes.
Alberto Betollini	Fuentes de celulosa para la producción de carbón activado.	Estructura química de la celulosa, propiedades físicas de la celulosa, estructura interna de fibras de celulosa natural y características ópticas.
Ecured	Celulosa	Función de la celulosa, estructura de la celulosa, celulosa química y celulosa mecánica.
Erika Mishelle Suárez Guarnizo	Obtención de pulpa de papel a partir de residuos de la naranja común y limón ponderoso	Rendimiento del aceite esencial, rendimiento de la pulpa de papel seco, contenido de alfa celulosa de la pulpa, obtención de pulpa de papel, eliminación de aceites esenciales, procedimiento de definición de alfa celulosa y estructura química de la celulosa.
Mehdi Dhia	Estudios de fuentes alternativas a la madera para la obtención de la celulosa	Fabricación de la pulpa, propiedades de las fibras, propiedades de las fibras alternativas, beneficios de las fibras alternativas, elaboración de muestras de papel y propiedades del papel.
Karl-Hermann Schmincke	Las industrias forestales, elemento decisivo para el desarrollo socioeconómico	Problemas de la industria forestal y los aportes de la FAO, productos forestales no madereros, desarrollo forestal sostenible y explotación forestal.
Horacio González	¿Como está compuesto el papel?	Composición de una hoja de papel, fibras, cargas, aditivos, lignina, proceso químico y proceso mecánico.
Kay Teschke y Paul Demers	Industria del papel y de la pasta de papel	Fuentes de fibra para la elaboración de pasta y de papel, fabricación de la pasta, blanqueo y uso de la madera.
Oscar Flores	Proceso Mecánico de La Fabricación Del Papel	Fases del proceso mecánico de la elaboración del papel y pasta mecánica.
José Fernando Duque Franco	Faceplate para el control de motores con dcs i/a foxboro para planta de pulpa (planta 1)	Separación de las fibras, pulpa alcalina, secado del papel, pulpa mecánica, equipos para la fabricación del papel pulpa semiquímica y pulpa semimecánica.
Dulmalik, Dwiky MI ,N Kumala S, Fety IR y FN Khaliq	The effect of NaOH concentration variation in the process of paper making from bamboo fiber	Proceso químico, hidróxido de sodio, resultado de la prueba del papel con NaOH, técnica de recolección de datos, y ventajas y beneficios de NaOH.

Zhong Liu, Huimei Wang y Lanfeng Hui	Pulping and Papermaking of Non-Wood Fibers	Categorías de materias primas no madereras, materiales de fibra de hojas, propiedades de pulpa de materias primas no madereras, materiales de fibra de cáscara de semilla, método de pulpa de materias primas no madereras, pulpa de soda cáustica y pulpa alcalina.
Estela Mónica López Sardi	Fabricación de pasta de celulosa aspectos técnicos y contaminación ambiental	Procesos de blanqueo de pasta de papel, proceso Kraft, blanqueo con cloro, reciclado del papel e impactos ambientales relacionados a la producción de papel.
Guisela Alexandra Domínguez Mieles	Estudio de las características físico químicas de la piña (ananas comosus y cayena lisa) para la obtención de pulpa celulósica	Hidróxido de sodio, peróxido de hidrógeno, características físicas y químicas del papel, celulosa mecánica, celulosa química, elaboración del papel blanco y blanqueo de pasta de celulosa para papel.
Andrea Estefanía Cortez Vega	Elaboración de papel a base de residuos de banano	Elaboración del papel, papel de residuos de banano, fibra de banano, cocción del pseudotallo, aspectos del papel y materiales ecológicos.
Edith Jiménez-Muñoz, Francisco Prieto-García, Judith Prieto-Méndez, Otilio A. Acevedo-Sandoval y Rodrigo Rodríguez-Laguna	Obtaining pulp from waste of Agave salmiana B. Otto ex Salm.Optimization	Selección y desarrollo de los pulpeos, rendimientos (% p/p) de pulpa de celulosa, condiciones óptimas en el proceso de pulpeo alcalino (NaOH) y diseño experimental.
Willy Gratelli Sánchez. Y Carlos Panduro Carbajal.	Evaluación física de la pulpa química a la soda para papel de la especie guazuma crinita (bolaina blanca), proveniente de una plantación en el centro poblado san pablo de tushmoyarinacoha	Preparación de la materia prima, preparación del NaOH, preparación del licor de cocción, tamizada y lavada de la pulpa, propiedades físicas del papel y gramaje del papel.
Ulises Trujillo Jiménez	Obtención de pulpa Kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera de Eucalyptus robusta Sm	Método a la sosa, desempeño en los procesos de pulpeo Kraft y procesos de obtención de pulpa
Lucia Salomé Andy Huatatoca	Elaboración de papel artesanal a base de los residuos vegetales de los tallos de maíz (zea mays l) y cáscara de plátano (musa paradisiaca l) utilizando los métodos químicos de jayme-wise, kurshner y hoffner	Propiedades físicas y mecánicas del papel, relación entre papel industrial y papel artesanal, fibra vegetal, determinación de celulosa y papeles obtenidos.

**Nota.** Esta tabla muestra las Fuentes información buscadas para el objeto de estudio.

Cabe mencionar que en la tabla se describen investigaciones que permiten identificar las condiciones óptimas de la pulpa para la producción de papel, teniendo como materia prima distintos residuos del sector industrial y agrícola, considerando las fases del método de sosa para conseguir un producto final con adecuadas características de resistencia y brillo. Según los autores mencionados anteriormente el método de sosa es eficiente y económicamente viable para la aplicación en el sector industrial y alimentario.

Dicho lo anterior, la metodología para el presente proyecto se definió en las siguientes fases:

**Figura 23.** Etapas de obtención de pulpa de papel



**Nota.** La figura representa etapas de obtención de pulpa de papel.

## 11.1 Selección del método de producción

Para determinar el tipo de método a utilizar, la búsqueda fue enfocada en la viabilidad del proyecto, evaluando variables cualitativas según su complejidad, cantidad de insumos necesarios, disponibilidad en el mercado de estos insumos y de la misma manera la disponibilidad de los equipos requeridos según el método de producción. Esta información fue reunida y posteriormente implementada sobre una matriz PUGH, la cual lleva estas variables cualitativas y les asigna un valor específico, y al cuantificarlos permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones). Para este caso, se direccionó en la factibilidad de cada uno de los tipos de mecanismos de producción de papel, quedando de la siguiente manera:

### 11.1.1 Matriz PUGH para la determinación de producción.

**Tabla 2.** Matiz PUGH para la determinación del proceso de producción.

		PROCESOS DE OBTENCION DE PULPA PARA PRODUCCION DE PAPEL				
		Proceso quimico	Proceso mecanico		Proceso quimico	
		Soda caustica (referencia)	Compresión	Expansión	Sulfito	Kraft
CRITERIOS	Calidad de la pulpa obtenida		-1	-1	1	0
	Cantidad de Reactivos necesarios		1	1	-1	-1
	Disponibilidad de reactivos		0	0	-1	0
	Cantidad Instrumentos requeridos para el proceso		-1	-1	-1	0
	Disponibilidad de equipos	0	0	-1	-1	
SUMA GENERAL		-1	-1	-3	-2	

#### **Nota.**

La mecánica implementada en la matriz fue establecida, tomando como punto de partida o referencia el proceso de soda caustica. Se puede observar cómo el proceso de Sulfito provee una pulpa de mayor calidad respecto a la soda, sin embargo, este primero requiere una cantidad adicional considerable de reactivos y equipos. Por su parte, los procesos mecánicos contemplan un requerimiento menor de insumos, no obstante, la pulpa obtenida aún posee trazos de lignina adheridos, en los que posteriormente debería aplicársele un agente químico para la extracción de la celulosa.

De tal manera, que el proceso de soda caustica tiene la cualidad de requerir de insumos de carácter químico para la elaboración de papel, que es compensada con la accesibilidad de los mismos, a la vez que provee una de las mejores pulpas requeridas para la continuación de todo el proceso.

### **11.1.2. Método a la sosa**

De acuerdo a la revisión bibliográfica que se realizó de los procesos que actualmente se emplean para la elaboración de papel, estos difieren en el rendimiento y la calidad del producto, métodos químicos, productos químicos empleados y en la proporción que se puede recuperar para reutilizarse, por lo tanto, se eligió el método sosa por ser un proceso eficiente debido a que evidencia rendimientos favorables que pueden variar entre 47%-88.95%, resultado que es conveniente en la manufactura papelera para la producción industrial de pulpa para papel. De esta manera, la pulpa obtenida presenta moderada resistencia debido a que las fibras de la celulosa permanecen inalteradas, presentan una buena calidad y longitud, y son poco tendentes a perder sus propiedades en el tiempo, por consiguiente, es factible su blanqueamiento, encontrando que la pulpa celulósica logra un porcentaje de 85.09% de blancura. Adicionalmente, la celulosa conseguida se caracteriza por tener un bajo porcentaje de lignina, y se produce una hoja con sobresalientes características mecánicas y físicas, como resistencia, brillo, pureza, y propiedades ópticas seleccionadas [26] [31] [34] [35] [36] [37].

En este método la sosa cáustica se emplea en la fase de cocción, donde da lugar a una fibra de gran resistencia, al ser una sustancia alcalina muy agresiva se utiliza en maderas y vegetales no leñosos [38].

El proceso de obtención de fibras se realiza con sosa, a temperatura de 170 °C, variando la concentración de reactivo y el tiempo de cocción [39].

Regularmente, la sosa se emplea en una proporción de un 20% del peso del material vegetal seco, y su cocción en la sosa cáustica se realiza de 2 a 4 horas. Durante el proceso de cocción, el hidróxido consigue extraer del material vegetal las sustancias incrustantes, tomando un color oscuro [22].

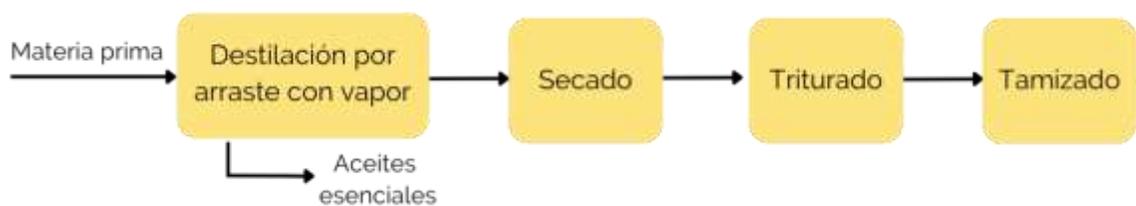
## 11.2 Materia prima

La eficiencia de la planta de plátano en cuanto a la producción de celulosa se debe a la cantidad de fibra que contiene cada una de las partes de la planta, se clasifica como fibras cortas y largas dependiendo del lugar de la planta de donde se extraiga la materia prima [40].

De acuerdo a estudios realizados por Grisales y Giraldo, el vástago contiene celulosa con características especiales para la producción de papel, inclusive mayores que elseudotallo, sin embargo, las fibras son demasiado cortas siendo una desventaja para la producción de las láminas de cartón. Elseudotallo concentra la mayor cantidad de celulosa, además las fibras son largas y duras lo que representa una ventaja comparativa en cuanto al resto de la planta para la extracción de materia prima con fines de producción de papel [40].

Para la elaboración de pulpa de papel a partir de la planta de plátano se utilizará el proceso a la sosa, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

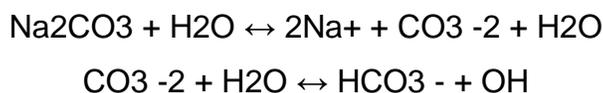
**Figura 24.** Proceso de obtención de pulpa de papel.



**Nota.** La figura representa el Proceso de obtención de pulpa de papel.

Para la obtención de pulpa de papel a partir de la planta de plátano se establecieron las siguientes tres fases: pretratamiento de la materia prima, obtención de pulpa de papel, y determinación de alfa celulosa, siguiendo estudios previos [22].

Las condiciones óptimas para conseguir altos rendimientos de pulpa de celulosa a través del pulpeo alcalino fueron: concentración de 12% m/v de NaOH, tiempo del proceso de pulpeo de 24 horas, concentración de 2.5% m/v Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y concentración de 0.2% m/v Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La acción de deslignificación en el proceso de pulpeo sucede por la formación de iones -OH por hidrólisis de NaOH. Igualmente, el siguiente equilibrio es relevante en el proceso:



Los mejores rendimientos se consiguen con concentraciones más altas de NaOH y Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, sin embargo, el tiempo y la concentración de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> son los valores más bajos. Lo anterior, se debe directamente al grado de causticidad y sulfidez que está directamente relacionado con el grado de deslignificación.

Es importante mencionar que el rendimiento depende de otros factores como son la naturaleza del precursor y de la calidad de las fibras. La naturaleza física de las fibras es otro componente relevante en el rendimiento de la pulpa, como el tamaño y la homogeneidad de éstas, es decir si las fibras son pequeñas y heterogéneas se consigue un bajo rendimiento [34].

### **11.2.1 Pretratamiento de la materia prima**

El pretratamiento de la materia prima consta de los siguientes 3 pasos, recuperación de aceites esenciales, obtención de pulpa de papel, y determinación de alfa celulosa, dichos pasos, se detallan a continuación:

a) Recuperación de aceites esenciales: los aceites esenciales están conformados por terpenos, característica y propiedad de cada parte de la planta. El principal componente de los aceites esenciales del plátano es el acetato de isoamilo.

La recuperación de los aceites esenciales es necesaria, ya que en el proceso de digestión estos reaccionarán con la sosa disminuyendo el rendimiento de obtención de celulosa [22].

Dicha recuperación de aceites, es realizada mediante la técnica de extracción de destilación por arrastre con vapor; en este proceso de separación se vaporizan los componentes volátiles de la materia vegetal mediante el uso de vapor de agua. De esta manera, se realiza una etapa de pruebas de diseño operativo mediante las cuales se analiza el funcionamiento del equipo para definir las condiciones de operación aptas que optimicen el proceso, dentro de las cuales se encuentra: capacidad del generador de vapor, potencia y flujo de vapor, tiempo de operación, método de separación del aceite esencial, selección de tecnología, definición del esquema tecnológico, estimación de la capacidad de la planta, elaboración de los balances de masa y energía, cantidad de materia prima, caudal de agua de refrigeración y presión de trabajo [41] [42].

En la recuperación de los aceites esenciales, es importante tener en cuenta las siguientes condiciones: el estado fisiológico de la planta, el lugar geográfico de recolección, ubicar el material sobre hojas de papel absorbente previniendo el aumento de humedad y la contaminación de hongos, verificar el tiempo y temperatura del secado, confirmar que el peso del material seco sea constante, verificar que en la trituración y/o molienda el material este completamente seco, comprobar que se consiga la temperatura al punto de ebullición en el proceso de arrastre de vapor y guardar el material obtenido de la recuperación de aceites en refrigeración evitando la exposición continua de luz [43].

b) Secado: una vez extraídos los aceites esenciales, se realiza el secado de la materia prima, con el fin de facilitar el proceso de triturado y eliminar las trazas de aceites esenciales que aún pueden estar contenidas en la muestra. Este proceso se realiza en una estufa bajo condiciones específicas, dentro de las cuales se encuentra la humedad inicial ( $X_0$ ) donde la pérdida de peso es persistente en función del tiempo hasta llegar a la humedad crítica ( $X_c$ ), a través de ahí el peso es decreciente y el sistema inicia a estar en equilibrio con el medio, hasta que el peso es constante y la humedad es la del

equilibrio ( $X^*$ ) siendo el valor mínimo posible. A su vez, es importante tener en cuenta temperatura del aire de secado, tiempo de secado, punto de ebullición, evaporación de los componentes más volátiles, contenido inicial de agua, contenido final de agua, humedad relativa del aire ambiente, humedad relativa del aire plenum y consumo eléctrico, factores que pueden afectar el contenido de aceite esencial debido a que este proceso elimina parcialmente el agua libre comprendida en el producto, donde se obtiene una mayor proporción de aceite variando la temperatura del aire de secado. De esta manera, se disminuye la cantidad del agua presente en la planta, se reduce la actividad de agua y las reacciones químicas, es decir se reduce la actividad enzimática y la proliferación de microorganismos [22] [44] [45] [46].

c) Triturado: se realiza con el objetivo de encontrar un mejor contacto entre el licor de digestión y la materia prima, facilitando la separación de la matriz celulosa - lignina. A nivel industrial, antes del proceso de triturado de la materia prima se separa la corteza, puesto que posee un contenido bajo de celulosa. El descortezado se efectúa en máquinas descortezadoras, una vez descortezada la materia prima se procede a la trituración, que se realiza en máquinas constituidas por un disco de hierro fundido dotado de cuchillas dispuestas en sentido radial que giran en un intervalo de 150-250 rpm [29].

La materia prima para la fabricación de papel es la celulosa que se trata químicamente, se enjuaga, se descompone, se blanquea y se forma en hojas posterior al prensado y secado [29].

### ***11.2.2 Obtención de pulpa de papel***

a) Digestión: este proceso se realiza con solución de hidróxido de sodio variando los parámetros de concentración y tiempos de reacción, para determinar las condiciones óptimas del proceso. A su vez, se separa la parte sólida que corresponde a la celulosa del licor de cocción, se lava, se blanquea y se moldea en láminas. Es importante tener en cuenta que la sosa caustica es un producto económico que tiene distintos usos en el laboratorio, y se debe mantener aislado del aire [22] [47].

Los criterios para el éxito del proceso de pulpado químico son la calidad del producto y la alta recuperación de pulpa con poco uso de agua, así como altas tasas de recuperación química. El tiempo de cocción óptimo en el proceso de deslignificación varía de 60-120 minutos con el contenido de lignina fijado posterior de este rango. Cuanto mayor sea el tiempo de cocción, mayor será el volumen de lignina en la pulpa, ya que la lignina que se separó de la pulpa cruda debido a la reducción de la concentración de NaOH se volverá a unir con la pulpa cruda fundida y será difícil de separar. De esta manera, cuanto mayor sea la concentración de NaOH empleado se obtiene más celulosa disuelta, considerando que la celulosa es el componente principal en la fabricación de papel. En este caso se sugiere una concentración de NaOH del 10% donde se conseguirá la mayor resistencia a la flexión del papel [29].

#### b) Variables que influyen en la obtención de pulpa de papel

Concentración del reactivo: en la relación entre la cantidad de sosa caustica y el contenido de alfa celulosa, se ratifica que a la concentración más baja de reactivo se consigue bajos contenidos de alfa celulosa, debido a que no se genera una digestión apropiada con lo cual parte de la materia prima aún mantiene lignina. Por otra parte, a medida que incrementa la cantidad de reactivo, igualmente incrementa el contenido de alfa celulosa hasta cierto punto, logrando suprimir la mayor cantidad de lignina. Luego de este punto, la celulosa inicia su degradación, lo que produce una disminución importante en la cantidad de alfa celulosa y en el rendimiento [48].

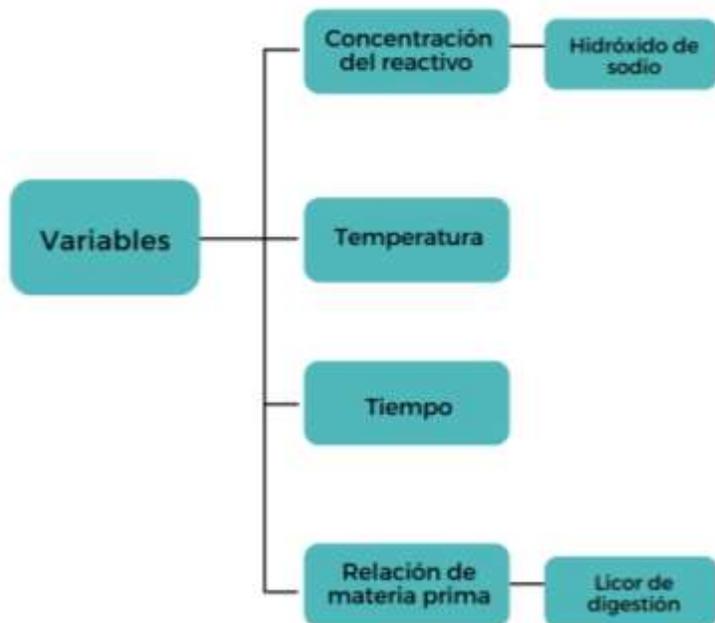
Temperatura: para eliminar la lignina y liberar fibras celulósicas se efectúa un proceso de cocción química a altas temperaturas donde el hidróxido de sodio disuelve la lignina, por otra parte, la pasta celulosa conseguida se somete a una fase de lavado a elevadas temperaturas dentro del digestor, en el cual los flujos a contracorriente de agua van eliminando el licor negro de la pasta [37] [49].

Tiempo: la variación del porcentaje de NaOH y el tiempo de tratamiento fijado en el digestor para la elaboración de la pulpa, es relevante para definir las condiciones de operación óptimas de tal manera que las características y pureza de los derivados o

productos de celulosa no sean afectados, con el fin de obtener elevadas resistencias y un mejor rendimiento de cocción [50] [51].

Relación de materia prima: las materias primas para la preparación de la pasta de celulosa se obtienen mediante tratamientos mecánicos y/o químicos, la celulosa aparece en forma de fibra que se presenta en muchos tejidos vegetales. Estas fibras vegetales son elementos provechosos para la elaboración de papel y la composición de fibras vegetales varía de acuerdo a la especie, la cual comprende celulosa, lignina, holocelulosa y extractos según corresponda. Desde la elección de materia prima hasta la técnica de secado del papel, influyen distintas variables que pueden perjudicar las características del producto final [52] [53] [54].

**Figura 25.** Variables que influyen en la obtención de pulpa de papel



Nota. La figura representa el Proceso de obtención de pulpa de papel. Tomado de: Obtención de pulpa de papel a partir de residuos de la naranja común y limón ponderoso. 2016. Erika Mishelle Suárez Guarnizo. p. 22.

La temperatura y la relación de materia prima: licor de digestión, según Suarez se mantienen constantes para lograr las condiciones óptimas de tiempo de reacción y concentración de hidróxido de sodio debido a que influyen significativamente el porcentaje de alfa celulosa, es decir, conforme incrementa el tiempo de reacción del proceso se reduce el contenido de alfa celulosa, considerando que a mayor tiempo de contacto se separa de mejor forma la matriz lignina-celulosa, lo que posibilita conseguir una celulosa de mayor pureza y cristalinidad. Así pues, a mayor concentración de hidróxido de sodio y tiempo de reacción la eliminación de lignina es más eficaz, lo que da como variable respuesta la resistencia del papel y se consigue un mayor nivel de luminosidad del papel [55].

Adicionalmente, el tiempo de digestión debe contemplarse para no afectar las propiedades de la pulpa y está asociado a la temperatura, cantidad de pulpa y concentración de reactivos, por lo tanto, cualquier aumento de estas variables disminuye el tiempo de digestión, para un mismo rendimiento de la pulpa [56].

### **11.2.3 Determinación de alfa celulosa**

Esta etapa, permite determinar la cantidad de celulosa contenida en la muestra de pulpa de papel. El contenido se determina para cada muestra siguiendo el procedimiento de la norma TAPPI T 203m 58, presentado en el anexo 1 [22].

## 6.3 Sustancias y reactivos

- Hidróxido de sodio
- Agua destilada
- Ácido acético
- Peróxido de hidrógeno

## 6.4 Materiales y equipos

**Tabla 3.** Materiales y equipos de la determinación de alfa celulosa.

Material y/o equipo	Relación - Unidad
Balón de fondo plano	C: 1000 mL
Balón de destilación con 3 orificios	C: 2000 mL
Agitador mecánico	R: 250-2200 rpm
Agitador de paletas	-
Termómetro	R: 0 – 300 °C Ap. $\pm 1$ °C
Tapones de caucho	-
Condensador tipo Liebig simple	-
Condensador tipo serpentín	-
Molino manual de tornillo sin fin	-
Estufa	R: 20 – 200 °C
Balanza	R: 0 – 1500 g Ap. $\pm 0.01$ g
Mangueras de caucho	-
Vasos de precipitación	C: 1000 mL Ap. $\pm 50$ mL
Balón aforado	C: 1000 mL
Mascarilla	-
Reverbero	-
Probetas	R: 0 – 500 mL Ap. $\pm 10$ mL R: 0 – 100 mL Ap. $\pm 1$ mL
Varilla de agitación	
Embudo de decantación	Ø: 10 cm
Papel encerado	-
Desecador	Ø: 30 cm
Equipo Clevenger	-

**Nota.** Esta tabla muestra Materiales y equipos de la determinación de alfa celulosa.

Tomado de: Obtención de pulpa de papel a partir de residuos de la naranja común y

limón ponderoso. 2016. Erika Mishelle Suárez Guarnizo. p. 11.

## 12. DIAGRAMA DE BLOQUES

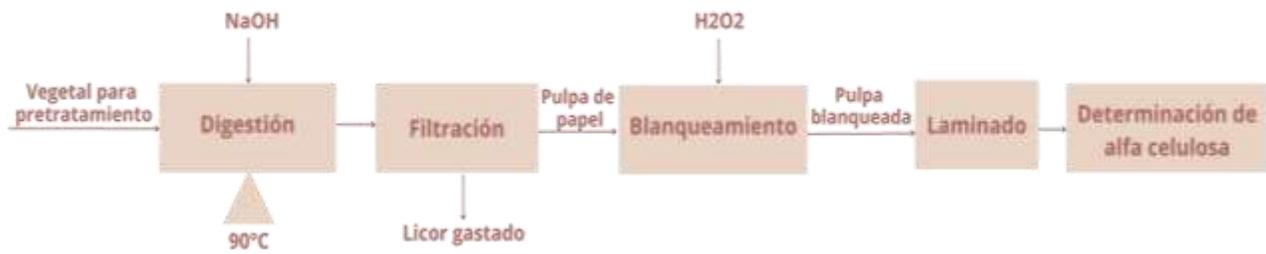
En la digestión se posibilita la eliminación de la lignina y otros materiales no celulósicos, la biomasa de entrada debe cocerse hasta transformarse en pulpa, este proceso emplea sosa cáustica a altas temperaturas y presiones para disolver la lignina. La lignina se convierte en soluble y las fibras se separan como fibras enteras [57] [58].

Considerando que la pulpa es amarilla por la presencia de lignina, que no es deseable para el producto final. La etapa de blanqueo de pulpa se clasifica en dos subetapas: blanqueo y extracción. La fase de blanqueo utiliza un químico blanqueador y un ambiente alcalino (uno con un pH alto) es ideal para una máxima eficiencia, a su vez se emplea sosa cáustica en esta fase para controlar el pH. Mientras que, en la etapa de extracción, la pulpa se oxida para posibilitar que la lignina se disuelva en una solución alcalina y se extraiga de ella. Igualmente, en esta fase se usa sosa cáustica para disolver y extraer el volumen de lignina [57].

La mayor parte de la pulpa molida se forma en una hoja en un filtro de vacío cilíndrico. Las láminas se prensan en una prensa hidráulica hasta un contenido de humedad de aproximadamente el 50%, y las láminas prensadas se forman en pacas [58].

A continuación, se presenta un diagrama de procesos en función de valores de referencia de procesos industriales y estudios realizados secundarios para el proceso de obtención de pulpa de papel.

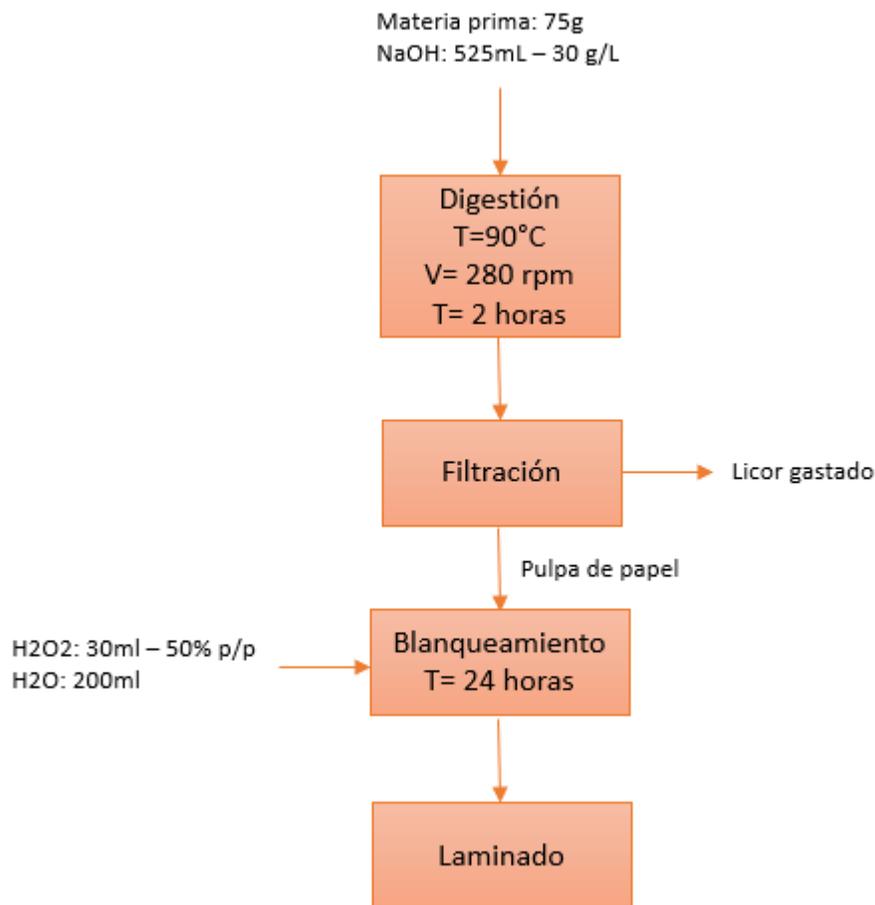
**Figura 26.** Materiales y equipos de la determinación de alfa celulosa.



**Nota.** La figura representa el Proceso de obtención de pulpa de papel. Tomado de: Obtención de pulpa de papel a partir de residuos de la naranja común y limón ponderoso. 2016. Erika Mishelle Suárez Guarnizo. p. 22.

Considerando el diagrama de bloques se realizó el siguiente balance de materia por cada etapa con el fin de identificar la cantidad que se usará de cada material que se emplea en el proceso para la obtención de una hoja de papel de buena calidad en escritura, gráficos o dibujos a base de residuos de plátano, lo cual se efectuó mediante una revisión bibliográfica de los autores Andy y Domínguez [32] [52].

**Figura 27.** Balance de materia para la obtención de pulpa de papel.



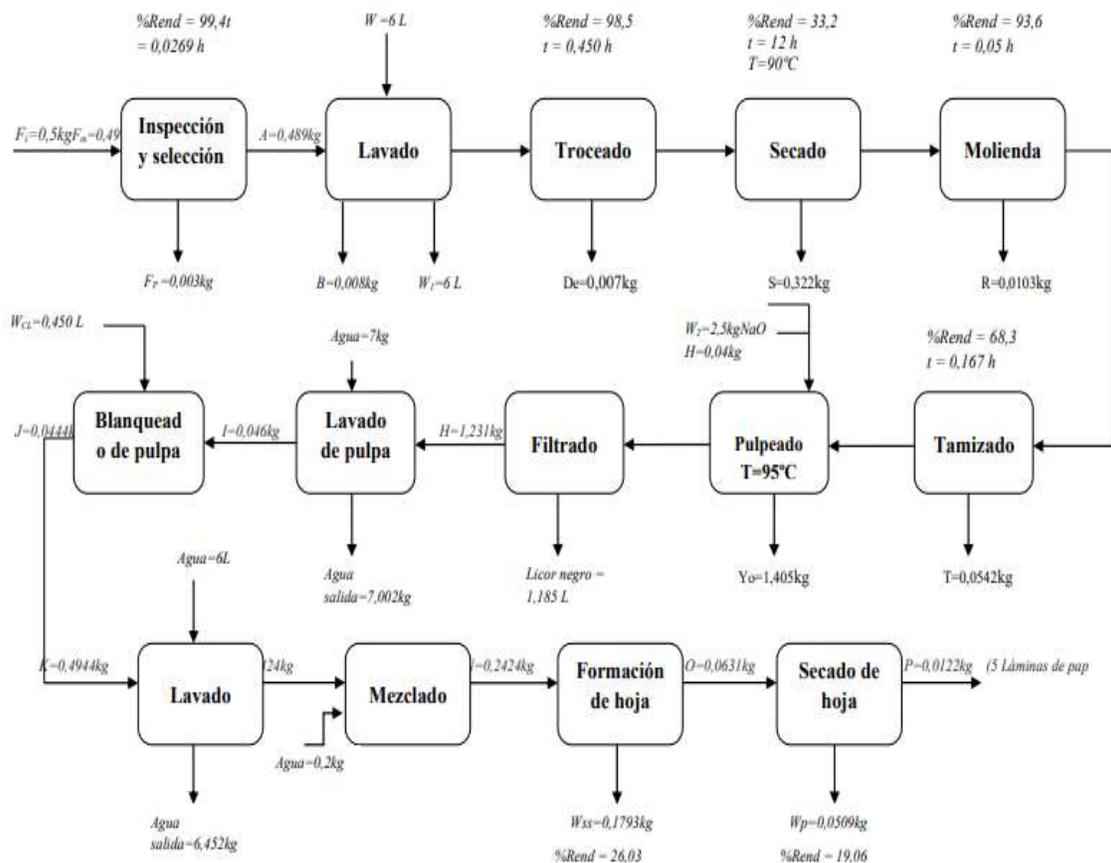
**Nota:** La figura ilustra el balance de masa teórico para la obtención de pulpa de papel.

El papel que se obtuvo de la cáscara de plátano se contempla como un papel vegetal útil para la copia de imágenes, la escritura y bolsas de alimentos, además tiene similitud con un papel cartulina teniendo en cuenta que el color es el mismo que el del periódico debido a que no tiene un blanqueamiento total del papel [32] [52].

Por otra parte, las propiedades mecánicas de este papel son 72.62 kPa.m<sup>2</sup> /g y 119.79 kN/m lo que permite establecer que no es tan resistente a su elongación, por lo tanto, se estima no frágil para el uso en bolsas de papel ya que el color es igual al periódico [32] [52].

- Balance de masas:

Figura 28. Balance de masas.



**Nota.** La figura representa el Balance de masas. Tomado de: diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (*Zea mays* L. var.

Ceratina).. 2020. Juan Enrique Valdivieso Valdivieso. p. 58.

### 13. PRESUPUESTO

Los costos se clasifican de acuerdo al uso y al área al que correspondan para conocer cuales influyen directamente en la producción, ya sean directos o indirectos dichos costos se clasifican en:

**Tabla 4.** Clasificación de Costos

DETALLE		CUENTA	
Costos de producción	Costos directos	Materia prima	
	Costos indirectos	Mano de obra	
		Costos indirectos de fabricación	Materiales

**Nota.** Esta tabla muestra Clasificación de Costos directos o indirectos.

De acuerdo al objetivo del proyecto, y basados en estudios preliminares, se desarrolla una propuesta de presupuesto para la elaboración de papel biodegradable a partir de la planta de plátano [59].

**Nota 1. Los costos estimados se realizaron para producir una resma de papel aproximadamente [59].**

### 13.1 Costos de materia prima

Son aquellos materiales que se transforman a través del uso de la mano de obra en productos terminados [59].

**Tabla 5.** Costos de Producción - Materia Prima.

Materiales y equipos					
Ítems	Unidades	Cantidad	Precio	Total	Fuente
Materia prima	Kg	10	NA		PROCOL SAS
Agua destilada	Litro	10	\$ 4.000	\$ 40.000	Recursos propios
NaOH	Kg	1	\$ 30.000	\$ 30.000	Recursos propios
H2O2 - 50% p/p	Litro	10	\$ 190.000	\$ 190.000	Recursos propios
H2O destilada	Litro	3	\$ 21.000	\$ 21.000	Recursos propios
Trabajo laboratorio	Hora	21	\$ 50.000	\$ 1.050.000	Estudiante/empresa
Total materiales y equipos				\$ 1.331.000	

**Nota.** Esta tabla muestra Costos de materia prima.

### 13.2 Costos de mano de obra

La mano de obra corresponde a los salarios básicos, y prestaciones de ley de los trabajadores involucrados directamente en la transformación de la materia prima en productos terminados.

**Tabla 6.** Costos de Producción - Mano de Obra.

Talento humano					
Ítems	Unidades	Cantidad	Precio	Total	Fuente
Estudiante	Hora	400	\$ 20.000	\$ 8.000.000	Recursos propios
Director	Hora	50	\$ 50.000	\$ 2.500.000	Universidad de América
Total talento humano				\$ 10.500.000	

**Nota.** Esta tabla muestra Costos de mano de obra.

### 13.3 Costos indirectos de fabricación

Son los demás materiales implicados en el proceso de producción de un artículo que no se clasifica como material directo. Estos pueden ser: costos de empaques, consumo de agua, energía, o mantenimiento y reparaciones.

**Tabla 7.** Costos Indirectos de Fabricación.

Fungible					
Ítems	Unidades	Cantidad	Precio	Total	Fuente
Transporte	Galón gasolina	24	\$ 10.000	\$ 240.000	Recursos propios
Internet	Hora	180	\$ 700	\$ 126.000	Recursos propios
Papel	Resma	1	\$ 16.000	\$ 16.000	Recursos propios
Tinta	Cartucho	2	\$ 50.000	\$ 100.000	Recursos propios
Total Fungibles				\$ 482.000	
Total proyecto				\$ 12.313.000	

**Nota.** Esta tabla muestra Costos Indirectos de Fabricación de papel.

### 13.4 Inversión

Se estiman las máquinas necesarias para la elaboración del papel a pequeña escala. Asimismo, se incluyen los equipos necesarios para que cada trabajador pueda realizar sus tareas en sus equipos, así como los muebles y enseres dentro de los activos fijos necesarios para la operación. Cabe destacar que, al ser una propuesta a pequeña escala, es suficiente con una máquina trituradora, una licuadora, un tanque para homogeneizar la mezcla y una máquina de armado y secado.



Sin embargo, se debe resaltar, que la ejecución del proyecto no depende en su totalidad de esta inversión, debido a que gran parte de los equipos son encontrados en laboratorios, ya sean alquilados o los facilitados por la universidad, así como los demás elementos electrónicos pueden ser aportados por el estudiante.

## 14. CONCLUSIONES

La elaboración de papel a partir de la planta de plátano es una oportunidad de producción significativa en materia ambiental, económica, y social considerando que reduce los impactos negativos de la agroindustria sobre el ambiente, crea ideas de negocios inclusivos, ahorra materias primas y controla la deforestación forestal, además está orientado hacia el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible

El papel que se produciría con este proceso, comprendería buenas características mecánicas y físicas, como resistencia, brillo y pureza, y propiedades ópticas seleccionadas, por lo tanto, el producto obtenido podría ser apto para uso administrativo, académico, e industrial; además, pueden generarse otros usos del producto realizando pruebas experimentales donde se modifique las variables y los insumos.

La extracción y aprovechamiento de la fibra de plátano es una práctica que podría replicarse en todas las regiones del país donde se cultive, además de otros tipos de cultivos que generen residuos agrícolas o tengan propiedades y características similares a la planta de plátano; ya que, se estaría reduciendo la contaminación generada por residuos orgánicos y a su vez, daría paso a nuevos aprovechamientos de las distintas fibras naturales.

La extracción de aceites esenciales en el pretratamiento de materia prima, promueve el éxito del proceso posterior en la elaboración de papel. Esto debido a que el principal componente de los aceites esenciales del plátano, que es el acetato de isoamilo, reaccionaria con la soda caustica en el proceso de digestión, disminuyendo el rendimiento de obtención de celulosa.

El hidróxido de sodio es un producto químico versátil que cumple muchas funciones, como catalizador, agente de neutralización, fuente de sodio y agente para eliminar hidrógeno, cloro o cloruro de hidrógeno de varios compuestos intermedios, atribuyendo beneficios económicos para la fabricación de papel por su bajo costo y buen rendimiento.

El rendimiento en la obtención de la pulpa de celulosa puede aumentar, fijando adecuadamente las condiciones de reacción en el proceso de digestión. Puntualmente los tiempos excesivos en este proceso, podría afectar el contenido celulósico de la

materia prima, así como también las altas temperaturas.

PROCOL al implementar este proceso adicional, como proceso paralelo y haciendo el supuesto de un proceso más industrializado, obtendría beneficios económicos debido a que, dentro de sus gastos fijos, ya no incluiría los empaques plásticos para la comercialización de los patacones, y por el contrario el retorno de la inversión en equipos e insumos sería rápido, esto a causa de los precios económicos en cuanto reactivos se trata.

El producto tendría un valor agregado al implementar procesos sostenibles, llevando sus procesos de producción lineales a producidos circulares.

## 15. Recomendaciones

La implementación de un sistema de refrigeración industrial en la planta de PROCOL SAS, no solo postergaría el deterioro de los plátanos antes de producir los patacones, sino que de la misma manera permitiría que la ida útil de los desechos orgánicos sea mayor, y se cuente con más tiempo para la utilización de los mismos en la producción del papel biodegradable.

Se requiere insistir en proyectos de aprovechamiento de fibras vegetales y/o residuos orgánicos, y concientizar y guiar a las comunidades para que puedan disponerlos de formas diferentes a su descomposición natural en las zonas de cultivo. Con lo anterior, se disminuiría la contaminación ambiental y se generarían ingresos adicionales a los agricultores.

Es necesario crear una política de orden nacional que podría darse a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, donde se promueva y patrocine económicamente este tipo de iniciativas puesto que son ejemplo a seguir, y un modelo de proceso para replicar en cultivos diferentes al plátano.

Se recomienda implementar incentivos para las Universidades con el fin de que trabajen en conjunto con la Industria y los sectores asociados al parte agro, para potencializar la elaboración de diferentes productos biodegradables en los que se permitan generar recursos económicos, optimizando residuos y minimizando el impacto ambiental en nuestro entorno.

Basado en las estadísticas de producción de banano y plátano en Colombia, las empresas o personas interesadas en la industria del papel pueden tomar en cuenta los residuos cítricos como materia prima para la producción de pulpas a nivel industrial debido a que los resultados obtenidos en este estudio a nivel experimental han sido satisfactorios.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Oficina de Conservación y Recuperación de Recursos, «Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos: Una Guía para los responsables de la toma de decisiones en los países en vías de desarrollo,» Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Estados Unidos EE. UU., 2020.
- [2] D. A. O. Roberto, «Propuesta de mejora del proceso de producción para la elaboración de patacón pre frito con plátano verde de la empresa Procol S.A.S.,» Fundación universidad de América, Bogotá, D.C., 2017.
- [3] S. Cantavalle, «Historia del papel: desde los orígenes hasta hoy,» Blog Pixartprinting, 4 Mayo 2019 <https://www.pixartprinting.es/blog/historia-papel/>. [En línea]. Available: <https://www.pixartprinting.es/blog/historia-papel/>. [Último acceso: 12 Agosto 2022].
- [4] Ambientum, «El impacto medioambiental del papel,» 7 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.ambientum.com/ambientum/residuos/el-impacto-medioambiental-del-papel.asp>. [Último acceso: 27 Julio 2022].
- [5] Consultoría Medioambiental, «La guía más completa sobre Bioplásticos,» [En línea]. Available: <https://verdeaguaconsulting.es/bioplasticos/>. [Último acceso: 29 Julio 2022].
- [6] Catalytic generators, «El control de calidad de los plátanos empieza durante la recepción en el almacén,» 2 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://poscosecha.com/catalytic-generators/catalytic-generators-calidad-platanos#:~:text=El%20control%20de%20calidad%20visual,se%20ha%20producido%20una%20maduraci%C3%B3n>. [Último acceso: 14 Agosto 2022].

- [7] Ilerfred, «Maduración de plátanos, bananas, aguacates y mangos,» 10 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.ilerfred.com/maduracion-platanos-bananas-aguacates-y-mangos/#:~:text=El%20estado%20de%20madurez%20del,osciland%20entre%2014%C2%BAC%20y%2018%C2%BAC>. [Último acceso: 29 Julio 2020].
- [8] Semana, «En Colombia se recicla menos del 17% de la basura que se genera,» Semana, 1 Marzo 2021.
- [9] F. Freddy Alfonso Moreno, M. Robayo Quintana, L. Ferrucho Rodríguez y M. Vargas Oyola, «Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel,» Revista Inventum, nº 20, pp. 71 - 82, 2016.
- [10] K. González Velandia y I. Valencia, «Obtención sostenible de papel y de empaques a partir de residuos orgánicos,» Congreso Latinoamericano de agroecología, 2015.
- [11] K. D. González Velandia, D. Daza Rey, P. A. Caballero Amado y C. Martínez González, «Valuación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel,» Revista Luna Azul, nº 43, pp. 499-517, 2015.
- [12] K. M. Carrión, «Reutilización de residuos de la cáscara de bananos y plátanos (musa paradisiaca) para la producción de alimentos destinados al consumo humano,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2013.
- [13] Caracol S.A., «Los residuos del plátano se pueden aprovechar eficientemente,» Caracol S.A., p. Caracol, 4 Marzo 2011.
- [14] Equipe Two Sides Brasil, «Nueva infografía sobre papel de fibra alternativa,» 11 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://al.twosides.info/CO/nueva-infografia-sobre-papel-de-fibra->

alternativa/. [Último acceso: 29 Septiembre 2022].

- [15] Banco Bilbao Vizcaya Argentaria, S.A., «¿Qué es el papel reciclado y cuál es el proceso para reciclarlo?,» 29 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-papel-reciclado-y-cual-es-el-proceso-para-reciclarlo/>. [Último acceso: 26 Febrero 2023].
- [16] Grupo Pochteca, S.A.B. de C.V., «¿Cuáles son los papeles ecológicos? Tipos, usos y beneficios,» 14 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://tiendapapel.pochteca.com.mx/blog/post/cuales-son-los-papeles-ecologicos-tipos-usos-y-beneficios.html>. [Último acceso: 12 Febrero 2023].
- [17] G. Gabriela Blasco López y F. J. Gómez Montaña, «Propiedades funcionales del plátano (Musa sp),» Universidad Veracruzana, 2014.
- [18] R. Fernández, J. Quiróz, R. Avil, N. Delia, C. Villavicencio, E. Cevallos, K. d. P. Moreira, S. Sánchez y J. Marcial, «Desarrollo de productos alimenticios a partir de las cascaras del plátano,» Investigación Tecnología e Investigación, vol. 5, nº 5, pp. 45-54, 2013.
- [19] R. P. Fajardo, «Aprovechamiento de la cáscara de plátano (musa paradisiaca) para la elaboración de betún artesanal en El Socorro, Santander,» Universidad Industrial de Santander UIS , Bucaramanga, 2019.
- [20] A. Betollini, «Fuentes de celulosa para la producción de carbón activado.,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2021.
- [21] Ecured, «Celulosa,» [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/Celulosa>. [Último acceso: 22 Agosto 2022].
- [22] E. M. S. Guarnizo, «Obtención de pulpa de papel a partir de residuos de la naranja común y limón ponderoso,» Universidad Central del Ecuador , Quito, 2016.

- [23] M. Dhia, «Estudios de fuentes alternativas a la madera para la obtención de la celulosa,» Universidad Politécnica de Valencia , Valencia, 2021.
- [24] K.-H. Schmincke, «Las industrias forestales, elemento decisivo para el desarrollo socioeconómico,» [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/v6585s/v6585s08.htm>. [Último acceso: 28 Junio 2022].
- [25] H. Gonzalez, «Como esta compuesto el papel?,» 9 Octubre 2007. [En línea]. Available: <https://graventvirtual.wordpress.com/2007/10/09/como-esta-compuesto-el-papel/>. [Último acceso: 12 Octubre 2022].
- [26] K. Teschke y P. Demers, «Industria del papel y de la pasta de papel,» Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, pp. 3-21.
- [27] O. Flores, «Proceso Mecánico de La Fabricación Del Papel,» Scribd.
- [28] J. F. D. Franco, «Faceplate para el control de motores con dcs i/a foxboro para planta de pulpa (planta 1),» Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2009.
- [29] Dulmalik, D. MI, N. K. S, F. IR y F. Khaliq, «The effect of NaOH concentration variation in the process of paper making from bamboo fiber,» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, nº 535, 2019.
- [30] Z. Liu, H. Wang y L. Hui, «Pulping and Papermaking of Non-Wood Fibers,» Pulp and Paper Processing, 2017.
- [31] E. M. L. Sardi, «Fabricación de pasta de celulosa aspectos técnicos y contaminación ambiental,» Universidad de Palermo, Buenos Aires, 2005.
- [32] G. A. D. Miele, «Estudio de las características físico químicas de la piña (ananas comosus y cayena lisa) para la obtención de pulpa celulósica,» Universidad técnica estatal de Quevedo, Quevedo, 2019.

- [33] A. E. C. Vega, «Elaboración de papel a base de residuos de banano,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2014.
- [34] E. Jiménez-Muñoz, F. Prieto-García, J. Prieto-Méndez, O. A. Acevedo-Sandoval y R. Rodríguez-Laguna, «Obtaining pulp from waste of Agave salmiana B. Otto ex Salm.Optimization,» Dyna, vol. 84, nº 200, pp. 253-260, 2016.
- [35] W. Gratelli Sánchez y C. Panduro Carbajal, «Evaluación física de la pulpa química a la soda para papel de la especie guazuma crinita (bolaina blanca), proveniente de una plantación en el centro poblado san pablo de tushmoyarinacoha,» Universidad Nacional de Ucayali, Perú.
- [36] U. T. Jiménez, «Obtención de pulpa Kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera de Eucalyptus robusta Sm,» Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, 2006.
- [37] Grupo PCC, «Industria de pulpa y papel,» 9 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.products.pcc.eu/es/k/industria-de-pulpa-y-papel/>. [Último acceso: 28 Julio 2023].
- [38] «El papel,» [En línea]. Available: <https://tecnoalex.weebly.com/el-papel.html>. [Último acceso: 26 Septiembre 2022].
- [39] J. Turrado, A. R. Saucedo, R. Sanjuán y B. Sulbaran, «PINZOTE de Musa balbisiana y Musa acuminata como Fuente de Fibras para Papel,» Información tecnológica, vol. 20, nº 4, pp. 117-122, 2009.
- [40] J. C. Grisales Meneses y D. . E. GIRALDO MEJÍA, «Empaques biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MANIZALES, 2004.
- [41] A. Pérez Martínez, I. Benítez Cortés y J. E. Miño Valdés, «DISEÑO DE PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES

ESENCIALES DE PIMENTA RACEMOSA Y MORINDA  
CITRIFOLIA,» Universidad Nacional de Misiones, Argentina, 2018.

- [42] I. C. VILLAVERDE, «Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018.
- [43] M. R. Álvarez, «Procedimientos para la extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas,» Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., México, 2012.
- [44] A. S. B. ORELLANA, «INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO EN LA CONTENIDO Y COMPOSICIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE Cordia verbenacea,» Universidade Federal de Viçosa, BRASIL , 2014.
- [45] J. Delgado Ospina, M. S. Sánchez Orozco y C. . R. Bonilla Correa, «Efecto del secado y la edad de las plantas en la composición de los aceites esenciales de Lippia alba (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P. Wilson y Lippia organoides Kunth,» Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [46] h. E. Castro Salazar y . Z. Gamiño Arroyo, «Vol. 1 no. 2, Verano de la Investigación Científica, 2015539Obtención de las variables de operación de un equipo de secado y de un equipo de extracción para obtener aceites esenciales,» Verano de la Investigación Científica, vol. 1, nº 2, pp. 539-543, 2015.
- [47] C. E. Núñez, «NOTAS SOBRE EL HIDRÓXIDO DE SODIO,» Cenunez, 2008 .
- [48] C. I. C. Benítez, «Elaboración de papel artesanal de caña guadua,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2009.
- [49] A. S. Tejedor, «Tecnología de la celulosa. La industria papelera,» [En línea]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>. [Último acceso: 12 Marzo 2023].
- [50] E. H. T. Landa, «Proceso para la fabricacion de celulosa activada y sus derivados,» Grupo Cydsa, S.A. De C.V., 2001.

- [51] E. M. A. Bedon, «Influencia del porcentaje de NaOH y tiempo de cocción en la elaboración de pulpa de paja de arroz empleada para la formulación de papel onda,» Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2011.
- [52] L. S. A. Huatatocha, «ELABORACIÓN DE PAPEL ARTESANAL A BASE DE LOS RESIDUOS VEGETALES DE LOS TALLOS DE MAÍZ (*Zea Mays* L) Y CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa Paradisiaca* L) UTILIZANDO LOS MÉTODOS QUÍMICOS DE JAYME-WISE, KURSHNER Y HOFFNER»,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, Riobamba , 2020.
- [53] C. M. L. NIETO, «DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE PAPEL RECICLADO ECOLÓGICO A ESCALA LABORATORIO USANDO PERÓXIDO DE HIDRÓGENO,» UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, CARTAGENA DE INDIAS, D.T. Y C., 2012.
- [54] OFICINA DE INFORMACIÓN DE The Economist, «Nuevas materias primas para la fabricación del papel,» [En línea]. Available:  
<https://www.fao.org/3/x5370s/x5370s02.htm#:~:text=La%20materia%20prima%20b%C3%A1sica%20para,por%20medios%20mec%C3%A1nicos%20o%20qu%C3%ADmicos>. [Último acceso: 18 Julio 2023].
- [55] C. J. Luna, «Efecto de la concentración de hidróxido de sodio y peróxido de hidrogeno en el nivel de luminosidad y resistencia del papel elaborado a partir de las hojas de maíz amarillo,» Universidad César Vallejo , 2018.
- [56] C. D. L. Africano, «Recuperación de celulosa a partir de papel periódico post-consumo para la obtención de derivados de celulosa,» Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010.
- [57] Sadmin, «Caustic Soda in Pulp and Paper Industry,» 21 Julio

2021. [En línea]. Available: <https://infinitygalaxy.org/caustic-soda-pulp-paper-industry/>. [Último acceso: 19 Julio 2022].
- [58] Britannica, «Processes for preparing pulp,» [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/papermaking/Processes-for-preparing-pulp>. [Último acceso: 22 Octubre 2022].
- [59] V. Guijarro, «Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la elaboración de papel a base de pinzote de banano,» Universidad Politécnica Salesiana - UPS, Quito, 2010.
- [60] Duque, G. (2019). Papel de banano nuevo producto derivado. Miami, Florida. Portafolio Recuperado de <https://www.portafolio.co/tendencias/papel-de-banano-nuevo-producto-derivado-536376>
- [61] Mazzeo Meneses, M., León Agatón, L., Mejía Gutiérrez, L. F., Guerrero Mendieta, L. E., & Botero, J. D. (2012). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el Departamento de Caldas. Revista Educación En Ingeniería, 5(9), 128-139. <https://doi.org/10.26507/rei.v5n9.14>
- [62] RAMOS, Valentina, AGUILERA, Antonio, OCHOA, Emilio. Residuos de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) para obtener pectinas útiles en la industria alimentaria. Revista de Simulación y Laboratorio. 2016, 3-9: 23-29
- [63] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 1555. 20 de octubre de 2005.
- [64] Ministerio de medio ambiente. Norma técnica Colombiana NTC 6019; etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental Colombiano. Criterios ambientales para pulpa, papel y cartón y productos derivados. Septiembre 18 de 2013
- [65] Ministerio de salud y protección social. Resolución número 683, Marzo 28 de 2012

- [66] G. E. G. RENDÓN, «PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PAPEL A BASE DE HOJA DE PIÑA,» UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, PEREIRA, 2003.
- [67] J. C. Grisales Meneses y D. E. Girardo Mejía, «Empaque biodegradables a partir de fibra de plátano para los productos agrícolas del departamento de Caldas,» Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales, 2004.
- [68] W. Cabezas , D. Dávila , C. Freire , S. Hernández y A. Morales , «Elaboración de Papel a Base del Banano,» *ATHENEA JOURNAL*, vol. 2, nº 6, pp. 15-21, 2022.
- [69] B. . J. Salamanca Ruiz y L. L. Vera Guachetá, «Propuesta metodológica para la obtención de un material compuesto a partir del pseudotallo y hojas generados en el cultivo de plátano de la variedad Dominico Hartón, en la finca Las Palmas en Fuente de Oro, Meta.,» Universidad El Bosque, Bogotá D.C., 2019.
- [70] D. G. C. Salinas, «ECOFISIOLOGÍA Y PRODUCTIVIDAD DEL PLÁTANO (Musa AAB Simmonds),» *Universidad Nacional*, pp. 172-183, 2004 .
- [71] «Pasta de papel: diferencias entre la química y la mecánica,» [En línea]. Available: <https://dical.es/blog/que-es/pasta-de-papel-diferencias-entre-la-quimica-y-la-mecanica>. [Último acceso: 16 1 2024].
- [72] Textos científicos, «PRODUCCIÓN DE PASTA TERMOMECAÁNICA,» 28 12 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/pasta-termomecanica>. [Último acceso: 15 1 2024].
- [73] N. E. R. Olalde, «Obtención de pulpa por los procesos kraft y a la sosa y su blanqueo, a partir de madera *Eucalyptuss citriodora* Hook,» Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, 2006.
- [74] N. Noguera, «Propiedades del papel,» Universidad de carabobo,

Venezuela.

- [75] Asociación Nacional de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón,  
«Ingeniería papelera, una especialización muy demandada por las  
empresas de toda la cadena del papel,» 8 5 2015. [En línea].  
Available:  
[https://www.interempresas.net/Graficas/Articulos/136954-  
Ingenieria-papelera-especializacion-muy-demandada-empresas-  
toda-cadena-del-papel.html](https://www.interempresas.net/Graficas/Articulos/136954-Ingenieria-papelera-especializacion-muy-demandada-empresas-toda-cadena-del-papel.html). [Último acceso: 14 1 2024].

# ANEXOS

## ANEXO 1.

### NORMA TAPPI T 203M 58



#### NORMA TAPPI T 203m 58

#### DETERMINACIÓN DE LA CELULOSA

##### 1. APARATOS NECESARIOS

- a) Balanza de sensibilidad de 0,1 mg
- b) Estufa graduable para mantener la temperatura en  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .
- c) Baño María regulable a  $20,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .
- d) Crisol de capa filtrante de  $30 \text{ cm}^3$  de capacidad para filtración rápida.
- e) Matraz de succión.
- f) Varilla de vidrio de unos 18 cm de longitud con un extremo achatado en forma de disco.
- g) Pesafiltros de capacidad suficiente para contener el crisol filtrante.
- h) Probetas, vasos de precipitación, vidrios de reloj, matraces aforados, erlenmeyer, pipetas volumétricas.
- i) Cronómetro.
- j) Termómetro de  $10$  a  $150^{\circ}\text{C}$ .
- k) Bomba de vacío.
- l) Desecador, con material desecante apropiado.

##### 2. REACTIVOS

Para efectuar este ensayo se requiere que los reactivos sean de grado analítico.

- a) Solución al 17,5% de hidróxido de sodio cuyo contenido de carbonato de sodio no debe ser mayor de  $1 \text{ g/dm}^3$ . Se prepara disolviendo una cantidad apropiada de Hidróxido de sodio en igual peso de agua, se cubre y se deja sedimentar al carbonato en suspensión por un lapso de tiempo de 48 horas, se separa el líquido claro sobrenadante y se diluye con agua libre de anhídrido carbónico hasta que la densidad relativa a  $20^{\circ}/4^{\circ}\text{C}$  sea 1,192; la concentración final debe verificarse por titulación.
- b) Solución de aproximadamente 2 N o 10% de ácido acético.
- c) Papel indicador.

##### 3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a) Se toma una muestra representativa del lote de pulpa de 10g., se rasga en trozos de 5mm a 10 mm de ancho, no debiendo emplearse tijeras u otros objetos afilados. Los trozos obtenidos se disponen sobre una bandeja y se exponen al aire del laboratorio por lo menos durante 48 horas a fin de

lograr un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones ambientales.

- b) Las muestras para las determinaciones de humedad y para el presente ensayo deben tomarse al mismo tiempo.

#### 4. PROCEDIMIENTO DETERMINACIÓN DE LA ALFA CELULOSA.

- a) Durante el procedimiento deben mantenerse las soluciones de hidróxido de sodio, el agua y el ácido acético a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , para lo cual es conveniente mantener los recipientes en baño María. El agua que se usa para el lavado final del residuo de celulosa alfa no tiene que estar exactamente a la temperatura indicada.
- b) Se secan hasta obtener peso constante con una aproximación de 0,5 mg. El crisol y el pesa filtro en una estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ , después se coloca el crisol en un pesafiltro y se cierra herméticamente.
- c) Se deja enfriar el crisol y el pesa filtro en un desecador por lo menos una hora, se afloja ligeramente la tapa del pesa filtro para igualar las presiones y se pesa con una precisión de 1 mg.
- d) Se pesa con una aproximación de 5 mg. el equivalente a unos 3 gramos de pulpa seca, simultáneamente se pesa otra porción y se determina el contenido exacto de humedad.
- e) Se transfiere otra muestra de 3g., para someterla a tratamiento alcalino, a un vaso de precipitación de  $250\text{ cm}^3$  colocado en un baño de María. Se mide  $75\text{ cm}^3$  de la solución al 17,5% de hidróxido de sodio a  $20^\circ\text{C}$ , se humedece la pulpa con  $15\text{ cm}^3$  de ésta solución y se macera suavemente con la varilla de vidrio durante un minuto, se agregan  $10\text{ cm}^3$  más y se mezcla durante 15 seg., de manera que transcurridos 2 minutos se hayan agregado  $35\text{ cm}^3$  de solución de hidróxido de sodio, formándose una masa ligera libre de grumos con la mínima maceración.
- f) Se mezcla, se agita y se deja en reposo durante 3 minutos, sin sacar el vaso del baño María se agregan  $10\text{ cm}^3$  de la solución de hidróxido de sodio al 17,5% y se mezcla con la varilla de vidrio durante 10 minutos más y se agregan los  $30\text{ cm}^3$  remanentes de la solución de NaOH, en porciones de  $10\text{ cm}^3$  después de 2,5 minutos, 5 minutos y 7,5 minutos respectivamente.
- g) Se cubre el vaso con un vidrio reloj sin retirar la varilla y se deja la mezcla en el baño María durante 30 minutos.
- h) Se agregan  $100\text{ cm}^3$  de agua a  $20^\circ\text{C}$  rápidamente se mezcla bien y se deja la mezcla diluída en el baño María por un lapso adicional de 30 minutos.
- i) Se vierten los contenidos en un crisol tarado, conectado al matríz de succión limpio. Si en el filtrado se observa fibras en suspensión, se vuelve a filtrar para retenerlas. Se lava el vaso y el residuo con  $25\text{ cm}^3$  de solución

- al 8,8% de NaOH a 20°C y se transfieren cuantitativamente todas las fibras al crisol. Durante la filtración debe mantenerse la pasta cubierta con la solución para impedir el paso de aire a través de la pasta, se lava el residuo filtrado, usando cinco porciones de 50 cm<sup>3</sup> cada una de agua a 20°C. El filtrado que debe ser menor de 500 cm<sup>3</sup> sirve para la determinación de las celulosas Beta y Gama. La filtración no debe demorarse más de cinco minutos, si la pasta es difícil de filtrar y requiere *más de cinco minutos se disminuye el tiempo de reposo de 30 minutos para las muestras subsiguientes.*
- j) Lavar el residuo del crisol en 400 cm<sup>3</sup> adicionales de agua, descartando el filtrado, se desconecta el tubo de succión se llena el crisol con 40 cm<sup>3</sup> de solución 2 N (10%) de ácido acético a 20°C y se deja humedecer el residuo 5 minutos, se elimina el ácido acético aplicando succión y se lava el residuo con agua hasta eliminar la acidéz probando con papel indicador.
- k) Se limpia la pared externa del crisol con un paño limpio. Se coloca el residuo en la estufa a 105 ± 3°C junto con el pesa filtro, se seca hasta peso constante, se deja enfriar y se pesa con el pesa filtros, (debe evitarse el calentamiento prolongado), el residuo representa el porcentaje de celulosa alfa que contiene la muestra.