

**Diseño de un proceso para elaborar papel a partir del residuo fibroso, producido en la Extractora de aceite La Joya Extrajoya CIA. Ltda., La Concordia, Año 2013 - 2014.**

Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Campus Carcelén.

Ingeniería Química Industrial

Autor: Carolina Belén López Torres

Revisado por: Ing. Ana Rodríguez

Correo electrónico: cahito11@hotmail.com

## **RESUMEN**

El papel es un insumo que se consume en cantidades elevadas, lo cual genera un gran impacto ambiental por la forma de producción insostenible. Por esta razón, se ha generado conciencia ambiental para fomentar la realización de papel a partir de otras fibras celulósicas. En la presente investigación, se propone la utilización del residuo fibroso generado de la extracción de aceite del mesocarpio del fruto de la palma africana.

Una vez realizadas las pruebas a nivel de laboratorio y la elección del método más óptimo, se prosiguió al diseño industrial de la planta de producción, conociendo que el producto obtenido puede ser catalogado como papel tipo “Kraft”, según normas INEN. Este estudio determinó los tamaños, capacidades y potencias de todos los equipos necesarios. Además, este se complementó con procesos necesarios para la reducción de emisiones y reutilización de reactivos, cumpliendo con los lineamientos de producción más limpia y aportando al cambio de la matriz productiva.

## **INTRODUCCIÓN**

En el Ecuador, el papel se consume en cantidades elevadas, registrándose un aumento con el pasar de los años, conjuntamente con la actividad productiva nacional. Para suplir esta demanda, se ha fomentado la producción de papel mediante una tala indiscriminada de árboles. Esta forma de producción preocupa a la población, ya que los bosques primarios se ven altamente destruidos o modificados, generando una deforestación significativa, considerando también los efluentes y emisiones de esta industria

por el uso de compuestos químicos con cloro y azufre, provocando un gran impacto socio-ambiental.

Según estudios realizados en el país, se concluye que existe un déficit productivo de papel que no permite la satisfacción de la demanda interna. Igualmente México, Colombia y Perú poseen una demanda insatisfecha y podrían transformarse en posibles mercados para exportar papel ecuatoriano (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

Por estas razones, es importante optar por una producción limpia mediante el aprovechamiento de los desechos industriales. Por lo que, en la presente investigación, se desea brindar una nueva alternativa de materia prima, la cual es el residuo fibroso generado de la extracción de aceite del mesocarpio del fruto de la palma africana, desarrollando un proceso sustentable de fabricación de papel.

## MARCO TEÓRICO

Según el último informe de las estadísticas agropecuarias en el Ecuador, en el año 2011, se puede ver que existe alrededor de 202.651 hectáreas de palma africana, y una producción del cultivo de 2'097.356 toneladas métricas al año (INEC, 2011). Se aprovecha el fruto de estas plantaciones para producir dos aceites: el aceite rojo para consumo humano y el aceite de almendra o palmiste, el cual es utilizado para la fabricación de jabones y alimentos para animales (SFA, 2010).

Además de estos productos se generan subproductos, algunos considerados como residuos. Estos subproductos son: aceite crudo, torta de palmiste, ráquis (racimo vacío), cuezco, cachaza, efluentes y fibra. Esta última es obtenida del mesocarpio luego de que se extrajo el aceite y posee una gran cantidad de fibra vegetal que representa a la celulosa, con la que se podrá generar la pasta celulósica que constituirá el papel deseado (Bastidas, 2006).

Figura 1. Residuo fibroso de la extracción de aceite de palma.



Elaborado por: Autor

Estas fibras vegetales se encuentran constituidas principalmente por polisacáridos, compuestos fenólicos, minerales, proteínas, etc. Cuando se analizan los polisacáridos se establece que su estructura está formada por celulosa y hemicelulosa entrelazadas (Gutiérrez, 2010). Estos dos componentes serán los principales constituyentes del papel.

De igual manera, la lignina es un componente importante a tomar en cuenta cuando se desea fabricar papel, ya que este compuesto da rigidez a la corteza, brinda protección contra la humedad y microorganismos que pueden afectar a la planta, pero también produce poca flexibilidad a las hojas de papel, lo cual hace necesaria la eliminación de este componente, sin dañar a la celulosa (Colona, 2010).

Tomando en cuenta los componentes de la fibra y sus características, se han establecidos tres métodos para fabricar papel. El procedimiento más utilizado es el método **químico**, en donde se emplean reactivos químicos para eliminar selectivamente a la lignina. Cuando se utilizan sustancias químicas

más suaves, se debe implementar la fuerza mecánica para crear una desfibración, a este método se lo conoce como **semiquímico**. Finalmente, el tercer procedimiento es el método **mecánico** o de alto rendimiento, en el cual se utilizan fuerzas de cizallamiento y compresión para formar la pasta celulósica (Macorra, 2004). En todos estos métodos se elimina la lignina pero también se produce una reducción de la celulosa, lo cual afecta al rendimiento del proceso (SFA, 2010). Por esto, se experimentaron con todos los métodos y se determinó el óptimo para este residuo fibroso.

Se debe analizar que, en el método químico se utiliza comúnmente el procedimiento tipo “Kraft”, que se basa en la utilización de sulfatos, sulfitos e hidróxido de sodio. Pero se presenta otra alternativa para el método químico, el cual es el proceso conocido como “Sosa al frío”. Esta es una técnica similar al proceso Kraft, diferenciándose por los reactivos que se utilizan en cada uno. En la presente investigación, se escogió este método químico porque presenta las mejores condiciones ambientales, ya que no se utilizan reactivos químicos altamente contaminantes como sucede en el otro procedimiento. En este proceso se agrega hidróxido de sodio en diferentes concentraciones, variando tiempos de cocción a una temperatura de 170°C, dependiendo del tipo de fibra (SFA, 2010).

Independientemente de la pasta obtenida por cualquier de los tres métodos experimentales, ésta debe ser sometida a un proceso de

blanqueamiento, ya que es un requisito para obtener un papel de calidad. En la industria, para obtener un blanqueamiento altamente eficaz se utiliza compuestos de cloro, como son el dióxido de cloro y cloro gaseoso. Pero en la presente investigación se implementó la producción más limpia, con lo que se utilizó peróxido de hidrógeno para blanquear las fibras. El peróxido de hidrógeno es también efectivo para obtener un buen grado de blancura en el papel y los efluentes no contendrán cloro, que consume el oxígeno y destruye hábitats acuáticos. Otro aspecto importante, es que esta pasta obtenida, sin la utilización de compuestos de cloro, será catalogada como “Totalmente Libre de Cloro” o con sus siglas en inglés “TCF”, lo cual implica una buena categorización ambiental (SFA, 2010).

Después de obtener los datos necesarios en la experimentación con cada método, se deberá utilizar a la producción más limpia para complementar el diseño de la planta, la cual se dedica a controlar la contaminación ambiental de una forma preventiva, actuando desde el origen para eliminar los efluentes o residuos antes de que se generen. La producción más limpia actúa sobre los procesos y los productos, produciendo mejoras en la eficiencia y calidad, disminuyendo costos e impacto ambiental (Bermejo, 2005). Algunas de las acciones más importantes de la producción más limpia son (Costa, 2012):

- Reducción del volumen.
- Modificación de los procesos de producción.
- Buenas prácticas ambientales.

- Valorización de los residuos.

Cabe señalar que todas las técnicas mencionadas son implementadas en el diseño del proceso para fabricar el papel mediante el residuo fibroso, pero se debe considerar también la sostenibilidad de la producción de papel mediante cuatro principales ejes de acción.

El primer eje es la gestión forestal manejando los bosques o plantaciones de palma de modo que se mantenga su biodiversidad y su capacidad de regeneración, sin olvidar la productividad y la satisfacción de las necesidades presentes y futuras. El segundo es la recuperación y reciclaje. El tercero es la generación de riqueza y contribución a la calidad de vida, y el último eje, es generar un proceso productivo sustentable y responsable (ASPAPPEL, 2008).

## METODOLOGÍA

- **Caracterización de la materia prima.**

La primera etapa de la investigación es la caracterización de la materia prima. Este proyecto se basó en las siguientes normas (Tabla 1) y se realizaron tres réplicas, según lo recomendado en las técnicas, para dar confiabilidad a los resultados.

Tabla 1. Normas utilizadas en la caracterización de la fibra.

Componentes	Norma
<b>Solubles en Etanol-Benceno</b>	TAPPI T 204 cm-97; Relacionado con: ASTM D1107, D 1108, D 1794

<b>Solubles en Agua</b>	TAPPI T 207 cm-99; Relacionado con: ASTM D1110
<b>Cenizas</b>	TAPPI T 211 om-02; Relacionado con: ASTM D 1102
<b>Holocelulosa</b>	ASTM D 1104-56
<b>Celulosa y Hemicelulosa</b>	ASTM D 1695-77
<b>Lignina</b>	Técnica Runkel y Wilke

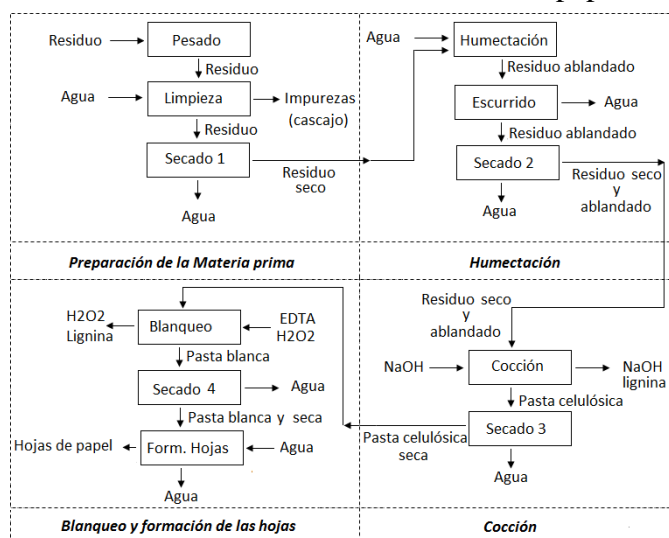
Elaborado por: Autor

Mediante la información analizada, se puede decir que la elección del método para fabricar papel dependerá de la caracterización de la materia prima. Además, la fibra del mesocarpio posee distintas propiedades y no puede considerarse, ni tratarse de igual manera que otro residuo de la palma o de otras fuentes naturales.

- **Experimentación**

Con los resultados obtenidos de las pruebas de caracterización, se procede a la experimentación con los métodos planteados según un proceso artesanal que debe ser utilizado para obtener papel a partir del residuo caracterizado, consta de cuatro etapas base: humectación, cocción, blanqueo y formación de las hojas. Es necesaria la utilización de este proceso porque es el que fácilmente puede ser replicado en laboratorio y aporta con los datos necesarios para el posterior diseño.

Figura 2. Diagrama de bloques del proceso artesanal de elaboración de papel.



Elaborado por: Autor

Con los cuatro procedimientos base se puede variar condiciones específicas que afectan a la reacción y en consecuencia, al producto final. Las condiciones que se variaron fueron tiempo de residencia, temperatura y concentración de los reactivos.

Antes de iniciar con el proceso se debe especificar que se experimentó con algunos métodos de fabricación de papel:

- Químico: cocción y blanqueo.
- Semiquímico 1: en la preparación de la muestra se debe moler el residuo, este debe pasar por el tamiz MESH 40 y retenido en el tamiz MESH 60. Se procede a realizar la cocción y blanqueo.
- Semiquímico 2: se realiza la cocción, pero al finalizar se muele el residuo y se procede con el blanqueo.
- Mecánico: no se realiza la cocción. La muestra solo es

molida y debe pasar por el tamiz MESH 40 y retenido en el tamiz MESH 60. Finalmente este polvo es blanqueado.

Para determinar el método de fabricación más idóneo se experimentó con los cuatro procedimientos utilizando condiciones iguales:

- Humectación: 12 horas
- Cocción: 3 horas y 3 gr NaOH/100 ml de solución mediante experimentación con tres procedimientos explicados en la sección “cocción”.
- Blanqueo: tres lavados con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% en una relación 10:1, durante periodos de 3 horas.

Una vez elegido el método, se experimentó con dos procedimientos de cocción, los cuales son:

- Cocción directa al fuego en un recipiente abierto.
- Cocción por medio de un balón conectado a un reflujo para la recuperación de vapores.

Al elegir el procedimiento de cocción y junto al método, se experimenta variando las siguientes condiciones:

- Concentración: 3-5-7 g NaOH/100 ml solución.
- Tiempo de humectación: 12-24-36 horas.
- Temperatura: hasta ebullición.

## RESULTADOS

Al realizar las pruebas de caracterización se obtuvieron los siguientes porcentajes de los componentes constituyentes de la fibra utilizada.

Tabla 2. Componentes del residuo de palma africana.

Componentes	Fibra
<b>Celulosa</b>	36 %
<b>Hemicelulosa</b>	21 %
<b>Cenizas</b>	1.5 %
<b>Lignina</b>	28 %
<b>Solubles totales</b>	12 %

Elaborado por: Autor

Comparando con otros tipos de fibras, se puede establecer que el porcentaje de celulosa obtenido es parecido al pino (40%) y al bagazo de la caña de azúcar (31%), la diferencia se presenta en la cantidad de hemicelulosa. Además, el porcentaje de lignina es una cantidad alta comparando con otras fibras madereras (Barba, 2002).

Con los datos de caracterización y de la experimentación, se determinó que los dos métodos adecuados para fabricar las hojas de papel son el método químico y mecánico, debido a la hoja formada y al rendimiento del proceso. Se optó por elegir el **método químico**, ya que se desea reducir costos y en el método mecánico esto se incrementaría porque es necesario el uso de aditivos para conseguir la unión de las fibras que formaran la hoja de papel y estos aditivos fomentan la contaminación de los efluentes.

Analizando los resultados obtenidos se determina que el tiempo de

humectación no afecta significativamente a los rendimientos y a la reacción. Esto quiere decir, que no es necesario optar por un periodo muy largo, ya que no provoca la mejoría del producto final y más bien implica periodos de tiempo perdidos.

Con respecto a la concentración, ésta afecta totalmente al rendimiento y a la reacción, lo que provoca que se elimine la lignina y también una pérdida de hemicelulosa y celulosa y que el rendimiento en reacciones con altas concentraciones sea bajo. Para seleccionar la concentración óptima, se debe analizar el producto final, teniendo en cada caso una buena formación de las hojas. A una concentración muy alta, las fibras comenzaron a romperse, dificultando el manejo de las mismas. Finalmente, se decidió escoger una **concentración molar de 0,75 (3 g NaOH/100 ml solución)**, con la cual se obtiene un buen producto, con alto rendimiento y que no represente un costo elevado de producción. Estableciéndose que el tiempo de reacción adecuado para la cocción sea de **1 hora**.

En el caso del blanqueamiento, todos los rendimientos son parecidos, porque no se variaron concentraciones (0,5M) y tiempo de reacción (3 horas). Los rendimientos de blanqueo varían desde 63 a 64%. Esta variación se presentó por la dificultad del método y pérdida de la fibra, lo que complica establecer un rendimiento exacto. De esta manera, se establece que el método utilizado para el escalamiento industrial es el que posea las condiciones seleccionadas en la experimentación, determinando un

rendimiento total del proceso de alrededor de 38%.

Finalmente, el producto obtenido debió ser analizado para poder determinar sus características y compararlas con el papel Kraft, pero el proceso seleccionado es flexible para obtener cualquier tipo de papel. Se establece que el porcentaje de humedad en el papel es de **7,69%**, lo cual es adecuado para el papel tipo Kraft. Otro aspecto importante de este papel es el espesor de la hoja y se determinó que esta posee un espesor de **0.23 mm**, según lo establecido en la norma NTE INEN 1399.

- **Diseño del proceso industrial.**

Adicionalmente, se necesita cubrir la demanda insatisfecha de papel que posee el Ecuador cada año. En el año 2013, se determinó que las importaciones fueron de 420.141,56 toneladas de papel tipo Kraft. Lo que significa una producción de papel de 8752,95 toneladas a la semana (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

Mediante la implementación de tan solo una planta productora de papel, se cubrirá un porcentaje aproximado de 4.59% de la demanda insatisfecha total del país, con solo el residuo de pocas extractoras localizadas próximas a la planta de fabricación. Cabe señalar que, esta demanda puede aumentar si se desea tratar los residuos de otras extractoras de aceite.

Para intentar cubrir parte de esta demanda es necesario saber qué cantidad de materia prima es generada en procesadoras de aceite de palma. Al determinar la proporción del residuo

fibroso, se conoce que el 12% representa a la fibra procesada con respecto al fruto entero de la palma, pero no todo este residuo será destinado a la realización de papel, ya que el 30% es utilizado como combustible en la extracción de aceite de palma, por esto se aprovechará el 70% restante.

Aunque en la actualidad el residuo fibroso no tiene un precio específico, es necesario determinar un costo representativo de este, ya que la población e industria se verán beneficiados por la venta de su residuo. De igual manera, se determina que la planta cumplirá con dos lotes de producción, implicando un periodo de trabajo de 16 horas, que serán cumplidos con dos jornadas de trabajo. Al realizar estos turnos se incrementará el costo de producción, específicamente en mano de obra, pero implica la generación de puestos de trabajo, directos e indirectos, para la comunidad.

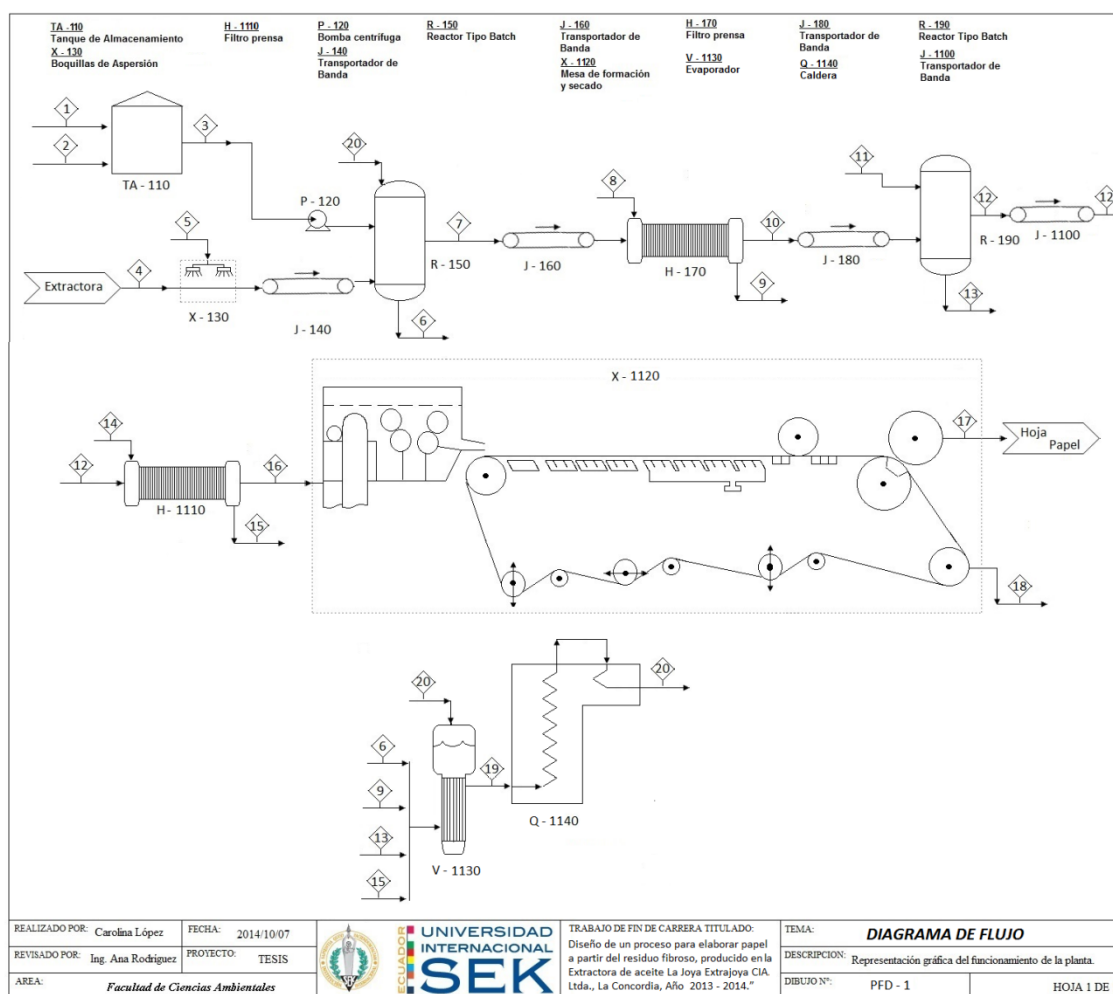
Un aspecto importante, es que la planta fue diseñada de acuerdo a producción más limpia, implementando procesos y equipos necesarios para la reducción de emisiones y efluentes. Ya que en la industria existen corrientes residuales que deberán ser tratadas. En el caso de las corrientes de licor negro (residuo de la cocción), estas pueden ser aprovechadas por medio de un evaporador que concentrará a la solución para ingresar a un caldero. En este equipo se generará vapor que calentará al reactor de cocción y el vapor podrá ser condensado para obtener agua y reducir el volumen utilizado de este insumo. Estas

instalaciones y equipos pueden observarse en la Figura 3.

Finalmente, con todos los ingresos, egresos y la inversión inicial se determinó que este proyecto de investigación tendrá un **TIR del 30%** y

un **VAN de \$161.493**. Como se puede observar, los valores determinan que el proceso es económicamente rentable, dando ganancias económicas significativas y es un proyecto atractivo para inversionistas.

Figura 3. Diagrama de flujo del proceso.



Elaborado por: Autor

## CONCLUSIONES

- Las pruebas de caracterización determinaron que la fibra posee una composición distinta a un árbol maderero, con porcentajes menores de celulosa y hemicelulosa. Contrariamente la composición de la fibra es parecida a la caña de azúcar, con la cual se realiza un proceso

sustentable de fabricación de papel. Uno de los compuestos caracterizados fue la lignina, determinando un porcentaje alto de esta en las fibras, como es típico de las plantas tropicales. Es por esto que siempre se requerirá del uso de reactivos químicos fuertes para eliminar a este compuesto.



- El método de cocción directa de las fibras no fue positiva para el proceso, porque se perdía el licor negro y la fibra corría el riesgo de quemarse. Además, la lignina no se eliminaba correctamente formando hojas de papel de mala calidad.
- El tiempo de humectación no tiene un efecto significativo en el ablandamiento de las fibras del fruto de la palma africana. Debido a que el residuo fue sometido a un procesamiento inicial, el cual fomenta una mejor reacción de deslignificación.
- El método mecánico no presentó una buena calidad del producto final porque no se elimina la lignina. Pero este proceso debe ser analizado, ya que presenta el mejor rendimiento, aunque se deben considerar costos por el uso de aditivos como el almidón de papa, que es adecuado para la adhesión de las fibras, contrariamente con el uso de la semilla de linaza, ya que se forma una hoja dura con apariencia de madera. Además, el uso de aditivos implica una mayor contaminación de los efluentes.
- Una trituración de la fibra, como en el método semiquímico, contribuye a una mejor deslignificación, pero los rendimientos bajan y los reactivos se pierden. En el caso del peróxido de hidrógeno se presentaron mayores complicaciones y no se consiguió un buen blanqueo de las pastas celulósicas.
- A pesar de que se realicen futuras mejoras del proceso, el rendimiento no podrá aumentar más del 57%, ya

que este es el porcentaje de celulosa y hemicelulosa en la fibra, que posteriormente serán los constituyentes del papel. Aunque la fibra es el residuo que presenta un mejor desempeño en la realización de papel, comparando con el raquis y el cuesco, ya que la caracterización determinó una mayor cantidad de celulosa y hemicelulosa.

- Aunque el proceso ha sido diseñado con algunas etapas para eliminar, disminuir o recircular principalmente los desechos líquidos, la planta productora de papel poseerá efluentes con algunos compuestos como hidróxido de sodio, peróxido de hidrógeno y licor negro, los cuales son nocivos para la salud y ambiente, pero no en la magnitud en la que son los comunes reactivos utilizados en la industria papelera.
- El papel obtenido puede ser catalogado como tipo Kraft, según el análisis de calidad realizado mediante normas INEN, lo cual es positivo para el mercado ecuatoriano, ya que este tipo de papel posee el mayor número de importaciones y por ende, implica una demanda alta.
- De acuerdo al análisis de prefactibilidad, se puede ver que la fabricación de papel a partir del residuo es económicamente sustentable, además de ser un proceso amigable con el ambiente y que podrá cubrir la demanda insatisfecha de papel en el Ecuador, pero una sola planta de producción

no será suficiente para satisfacer este alto porcentaje de demanda.

- Finalmente, las extractoras de aceite de palma africana evitarán futuras sanciones del ente de control por un mal manejo de desechos sólidos y además, se presenta una buena opción socio-económica y ambiental para la valorización de este residuo.

## RECOMENDACIONES

- Se deben considerar cuidados especiales cuando se realice el muestreo de la fibra porque esta se encuentra caliente y húmeda en los patios de almacenamiento de la extractora. Esto provoca una rápida descomposición y generación de hongos y microorganismos, los cuales alteraran los análisis requeridos para la experimentación.
- Para réplicas en laboratorio, se recomienda el uso del procedimiento de cocción 2, ya que en este no se presentan pérdidas del licor negro ni de reactivos. Además, es menos riesgoso que otros métodos experimentales de fabricación de papel. Así mismo, se debería utilizar el proceso y el residuo para la generación de otros tipos de papeles encontrados en el mercado, como el papel tipo “Bond”, el cual es utilizado en grandes cantidades, pero requerirá de una producción más compleja.
- Para el método químico seleccionado, se recomienda eliminar la etapa de humectación de las fibras. Además, se requieren de tres etapas de blanqueo para obtener un buen producto y el blanco deseado, pero se pueden experimentar con otros agentes, como oxígeno y ozono, para reducir el tiempo de residencia y el peróxido de hidrógeno utilizado. Tomando en cuenta que para papeles tipo Kraft, no es necesario obtener una tonalidad blanca, por lo que se podrían reducir las etapas.
- Si se desea aumentar la rentabilidad de la planta, se recomienda la instalación de un proceso de caustificación de la pasta negra generada en la caldera, ya que se obtendrá cal y la solución de hidróxido de sodio ingresada en los recipientes, la cual puede ser libremente reutilizada.
- Para aumentar el porcentaje total de rendimiento del proceso, se puede complementar a la materia prima del mesocarpio de la fruta con papel reciclado. Con la utilización de éste residuo se dará un plus a la investigación, aumentando el ciclo de vida del papel y generando menores cantidades de basura. También se puede estudiar la factibilidad de utilizar la hoja de palma africana, ya que en estudios encontrados, ésta posee buenos resultados al realizar papel.
- En la planta se debería considerar diversas formas de generación de energía. Una de ellas es el aprovechamiento del vapor para producir energía eléctrica para la planta. O a su vez, se debería analizar la composición específica del licor negro, determinar su rentabilidad y factibilidad para generar combustible a partir de este residuo.

- Se debería complementar la investigación con un estudio de impacto ambiental detallado, para poder implementar mejoras y cumplir cien por ciento con la producción más limpia. Principalmente se recomienda la instalación de una planta de tratamiento de los efluentes, previo a una experimentación y caracterización. Así mismo, la planta utiliza grandes cantidades de agua, por lo que se recomienda aprovechar el vapor de agua generado en el evaporador y en la caldera para condensarla y reusarla, evitando el uso excesivo de este recurso y reducir el costo que tiene este insumo.
- Finalmente, se recomienda realizar un análisis económico más detallado para obtener valores lo más precisos posibles y fomentar a la instalaciones de plantas de procesamiento de papel.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASPAPPEL. (2008). *La receta de la sostenibilidad papelera*. Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón.
- Barba, C. (2002). *Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales*. Cataluña: Universitat Rovira I Virgili.
- Bastidas, R. (2006). *Proyecto de prefactibilidad para la implementación de un cultivo de palma africana en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas*. Quito: UTE.
- Bermejo, R. (2005). *La gran transición hacia la sostenibilidad*. Madrid: Catarata.
- Colona, P. (2010). *La Química Verde*. Zaragoza: Acribia.
- Costa, V. (08 de 11 de 2012). Aspectos relevantes para implementar PML. *Producción más limpia*. Quito, Pichincha, Ecuador: UISEK.
- Gutiérrez, A. (2010). *Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas*. Sevilla: CSIC.
- INEC. (2011). *Datos Estadísticos Agropecuarios*. Quito: INEC.
- Instituto Nacional de Preinversión. (2013). *Estudio básico de la industria de pulpa y papel*. Quito: Instituto Nacional de Preinversión.
- Macorra, C. (2004). *Tratamiento de impregnación con álcali y peróxido de hidrógeno para reducir el consumo energético en la producción de pastas mecánicas: modificaciones estructurales de la molécula de lignina*. Madrid: UCM.
- SFA. (2010). *Monografía de Palma de Aceite*. México D.F: SAGARPA.