

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de fin de carrera titulado:

“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.”

Realizado por:

CAROLINA BELÉN LÓPEZ TORRES

Directora del proyecto:

ING. ANA LUCÍA RODRÍGUEZ

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA QUÍMICA INDUSTRIAL

Quito, 11 de Septiembre del 2014

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, CAROLINA BELÉN LÓPEZ TORRES, con cédula de identidad # 171549251-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Carolina López
Carolina Belén López Torres
C.I.: 171549251-6

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“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.”

Realizado por:

CAROLINA BELÉN LÓPEZ TORRES

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA QUÍMICA INDUSTRIAL

ha sido dirigido por la profesora

ANA LUCÍA RODRÍGUEZ

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Ana Lucía Rodríguez

DIRECTORA

v

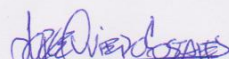
LOS PROFESORES INFORMANTES

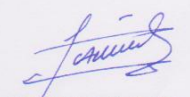
Los Profesores Informantes:

ING. ESTEBAN OVIEDO

Dr. CARLOS ORDOÑEZ

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador


Ing. Esteban Oviedo


Dr. Carlos Ordoñez

Quito, 08 de Septiembre del 2014

v

DEDICATORIA

Deseo dedicar la presente investigación a las personas que siempre supieron brindarme su apoyo y amor, es algo mínimo comparado con lo que me brindan cada día. Principalmente a mi padre, que es la persona que me alegra con solo estar a su lado y sin él no podría cumplir con todas mis metas.

A mi madre, por sus bendiciones y su amor incondicional, que es mi fuente de inspiración y de superación.

A mis hermanos y cuñado, gracias por darme la oportunidad de crecer a su lado y siempre serán mi ejemplo a seguir.

A mis tías, tíos, primos y amigos que siempre están presentes para brindarme un abrazo oportuno.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su esfuerzo al brindarme todas las oportunidades para crecer y desarrollarme profesionalmente y como ser humano.

A mis hermanos y cuñado que fueron pilares muy importantes para la culminación de la presente investigación.

De todo corazón, deseo agradecer a la Ing. Anita Rodríguez por su excelente calidad humana y porque siempre fue mi apoyo y guía en la realización de este proyecto.

A mis tribunales, Ing. Esteban Oviedo y Dr. Carlos Ordoñez, quienes agradezco por sus enseñanzas y apoyo.

A la extractora de aceite de palma La Joya Extrajoya CIA. Ltda., quienes no tuvieron problema en abrirme sus puertas y siempre estuvieron dispuestos a ayudarme.

CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. El problema de investigación.....	17
1.1.1. Planteamiento del problema	17
1.1.1.1. Diagnóstico del problema.....	18
1.1.1.2. Pronóstico.....	19
1.1.1.3. Control de pronóstico	19
1.1.1.4. Formulación del problema	20
1.1.2. Sistematización del problema.....	20
1.1.3. Objetivo general	20
1.1.4. Objetivos específicos	21
1.1.5. Justificaciones.....	21
1.2. Marco teórico	22
1.3. Estado actual del conocimiento sobre el tema	32
1.3.1. Adopción de una perspectiva teórica.....	33
1.3.2. Marco conceptual	33
1.3.2.1. Hipótesis.....	34
1.3.3. Identificación y caracterización de variables.....	35
2. MÉTODO.....	36
2.1. Nivel de estudio	36
2.2. Modalidad de investigación	36
2.3. Método	36
2.4. Población y muestra.....	38
2.5. Selección de instrumentos de investigación	38
2.6. Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	39
2.7. Procesamiento de datos.....	39
3. RESULTADOS	40
3.1. Levantamiento de datos	40
3.1.1. Pruebas de caracterización.....	41
3.1.2. Pruebas de experimentación	48
3.2. Presentación y análisis de los resultados	56
3.2.1. Pruebas de caracterización.....	57
3.2.3. Pruebas experimentales	67

3.2.4. Caracterización del producto final.....	87
3.3. Aplicación práctica	89
3.3.1. Localización de la planta	89
3.3.2. Estudio de la demanda.....	90
3.3.3. Diseño del proceso	94
3.3.3.1. Diagrama de bloques.....	95
3.3.3.2. Descripción del proceso y balance de materia	96
3.3.3.3. Diagrama de flujo.....	98
3.3.4. Análisis económico preliminar.....	120
4. DISCUSIÓN.....	127
4.1. Conclusiones.....	127
4.2. Recomendaciones	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
Anexo 1.....	136
Anexo 2.....	143
Anexo 3.....	146
Anexo Fotográfico	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Residuo recolectado.	41
Figura 2. Tamices utilizados.....	43
Figura 3. Solubles en agua fría.	44
Figura 4. Solubles en Etanol-Benceno.	44
Figura 5. Solubles Totales.	45
Figura 6. Muestra inicial y procedimiento para determinación de holocelulosa.....	46
Figura 7. Determinación de celulosa.	46
Figura 8. Secado de cenizas.....	47
Figura 9. Diagrama de bloques del proceso artesanal de elaboración de papel.	49
Figura 10. Humectación y escurrido.....	51
Figura 11. Licor negro obtenido.....	54
Figura 12. Polvo de fibra seco.....	57

Figura 13. (A) Muestra libre de extraíbles. (B) Solubles en etanol–benceno.	60
Figura 14. Solvente, utilizado en la extracción, en el rotavapor.	61
Figura 15. Holocelulosa obtenida de una muestra libre de extraíbles.	62
Figura 16. Celulosa obtenida.	64
Figura 17. Cocción directa de las fibras.	68
Figura 18. (A) Extracto de semillas de linaza; (B) Extracto con el residuo.	74
Figura 19. Almidón obtenido.	75
Figura 20. Procedimiento de cocción 1.	76
Figura 21. Procedimiento de cocción 2.	77
Figura 22. Etapas de blanqueo.	79
Figura 23. Papel obtenido mediante el método químico artesanal.	88
Figura 24. Ubicación de la planta.	90
Figura 25. Diagrama de bloques.	95
Figura 26. Diagrama de flujo.	98
Figura 27. Diseño de la bomba.	102
Figura 28. Temperatura de ebullición del agua a distintas presiones.	113
Figura 29. Elevación del punto de ebullición para licor tipo Kraft.	114
Figura 30. Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado.	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas utilizadas en la caracterización de la fibra.	37
Tabla 2. Condiciones para los procedimientos de cocción.	52
Tabla 3. Porcentaje de solubles en agua fría.	58
Tabla 4. Porcentajes de solubles en etanol – benceno.	59
Tabla 5. Porcentaje de holocelulosa.	62
Tabla 6. Porcentaje de celulosa.	63
Tabla 7. Porcentaje de hemicelulosa.	63
Tabla 8. Porcentaje de cenizas.	64
Tabla 9. Porcentaje de lignina.	65
Tabla 10. Composición del raquis y residuo fibroso.	66

Tabla 11. Rendimiento método químico.	69
Tabla 12. Rendimiento método semiquímico 1.....	70
Tabla 13. Rendimiento método semiquímico 2.....	72
Tabla 14. Rendimiento método mecánico.	73
Tabla 15. Rendimiento y análisis del procedimiento de cocción 1.	76
Tabla 16. Rendimiento y análisis del procedimiento de cocción 2.	78
Tabla 17. Rendimiento total para una concentración de 3 g NaOH/ 100 ml de solución y 12 horas de humectación.	80
Tabla 18. Rendimiento total para una concentración de 3 g NaOH/ 100 ml de solución y 24 horas de humectación.	80
Tabla 19. Rendimiento total para una concentración de 3 g NaOH/ 100 ml de solución y 36 horas de humectación.	81
Tabla 20. Rendimiento total para una concentración de 5 g NaOH/ 100 ml de solución y 12 horas de humectación.	81
Tabla 21. Rendimiento total para una concentración de 5 g NaOH/ 100 ml de solución y 24 horas de humectación.	82
Tabla 22. Rendimiento total para una concentración de 5 g NaOH/ 100 ml de solución y 36 horas de humectación.	82
Tabla 23. Rendimiento total para una concentración de 7 g NaOH/ 100 ml de solución y 12 horas de humectación.	83
Tabla 24. Rendimiento total para una concentración de 7 g NaOH/ 100 ml de solución y 24 horas de humectación.	83
Tabla 25. Rendimiento total para una concentración de 7 g NaOH/ 100 ml de solución y 36 horas de humectación.	84
Tabla 26. Rendimientos para cada etapa en una concentración de 3 g NaOH/ 100 ml de solución.....	85
Tabla 27. Rendimientos para cada etapa en una concentración de 5 g NaOH/ 100 ml de solución.....	85
Tabla 28. Rendimientos para cada etapa en una concentración de 7 g NaOH/ 100 ml de solución.....	86
Tabla 29. Porcentaje de humedad.....	87
Tabla 30. Especificaciones para papel tipo Kraft.	88
Tabla 31. Demanda satisfecha con respecto a la producción de la Extractora.	91
Tabla 32. Demanda satisfecha con respecto a la producción de extractoras cercanas. ..	92
Tabla 33. Demanda satisfecha con respecto a la producción de extractoras cercanas y lejanas a la planta.....	92
Tabla 34. Diámetro del tanque de almacenamiento.	99

Tabla 35. Altura del tanque de almacenamiento.	100
Tabla 36. Determinación de espesores de las virolas.	101
Tabla 37. Volumen del recipiente de cocción.	108
Tabla 38. Volumen del recipiente de blanqueo.	110
Tabla 39. Criterios básicos para evaporadores.	111
Tabla 40. Balance de materia en la cámara de evaporación (toneladas/día).	113
Tabla 41. Balance de Energía.	120
Tabla 42. Equipos y costos aproximados.	120
Tabla 43. Costos totales de inversión inicial.	122
Tabla 44. Mano de obra y salarios.	123
Tabla 45. Estimación de ventas.	124
Tabla 46. Flujo de caja.	125
Tabla 47. Pago de la Inversión Inicial.	125
Tabla 48. TIR y VAN.	126

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.

Carolina López
Ingeniería Química Industrial
Universidad Internacional SEK.
Correo electrónico: cahito11@hotmail.com

Resumen

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, aunque actualmente, se ha generado conciencia ambiental utilizando fibras provenientes de otras fuentes naturales.

En la presente investigación, se brinda 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. Se debe resaltar que, al momento de la realización de la investigación, no se encontraron estudios o información sobre esta fibra, por esta razón, fue necesaria su caracterización para comenzar con la experimentación. Posteriormente, se procedió a experimentar con los tres métodos tradicionales de fabricación de papel, modificando condiciones del proceso como: concentraciones, tiempos de residencia y procedimientos de cocción. Se utilizaron reactivos amigables con el medio ambiente para la cocción y blanqueo de las fibras, lo que no sucede en la típica industria papelera.

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.

Finalmente, mediante un estudio económico se determinó el valor requerido de inversión inicial, costos de producción e ingresos por ventas del producto final, considerando una proyección a cinco años, lo cual generó un TIR y VAN positivos y atractivos para posibles inversionistas.

Palabras clave: residuo fibroso, caracterización, diseño, producción más limpia, análisis económico.

Design of a process for making paper from the fibrous residue produced in the oil extractor La Joya Extrajoya CIA. Ltda., La Concordia, year 2013 - 2014.

Carolina López
Industrial Chemistry Engineering
Universidad Internacional SEK.
Email: cahito11@hotmail.com

Abstract

In Ecuador, the paper is consumed in large quantities, registering an increase with the passing of the years, in conjunction with the national production. To compensate this demand have been stimulated the production of paper by indiscriminate felling of trees, although presently, it has been generated environmental awareness using fibers from other natural sources.

In the current investigation, a new alternative of raw material is provided, which is the fibrous residue generated from the oil extraction from the mesocarp of the African palm fruit. It should be noted that, at the time of conducting the research, no studies or information on this fiber were found, therefore, their characterization was necessary to begin the study. Subsequently, was proceeded to experiment with the three traditional paper manufacturing methods, changing process conditions such as: concentration, residence time and cooking procedures. Reagents, that are friendly to the environment, were used for cooking and bleaching of the fibers, which does not happen in the typical paper industry.

After performing the tests at laboratory level and the choice of optimal method was necessary to continued whit the design of the industrial production plant, knowing that the product obtained can be classified as type of paper "Kraft" according INEN standards. This study determined the sizes, capacities and powers of all the necessary equipment. Also, this was complemented by processes necessary for the emissions reduction and reuse of reagents, complying with the guidelines of cleaner production and contributing to the change in the productive matrix.

Finally, an economic analysis of the required initial investment, production costs and sales of the final product were determined considering a five-year projection, which generated a positive NPV and IRR that are attractive to potential investors.

Key words: fibrous residue, characterization, design, cleaner production, economic analysis.

1. INTRODUCCIÓN

El papel en el Ecuador constituye un producto elemental, ya que se consume en cantidades elevadas desde hace bastantes años atrás, registrándose ahora un aumento comparando con épocas pasadas. Se observa que en el año 2010 se registró un consumo de 800.000 toneladas métricas, contrastando con el año 1992, donde se consumió alrededor de 400.000 toneladas de papel (Instituto Nacional de Preinversión, 2013). Estos datos se manifiestan debido a la gran utilidad que tiene el papel, la cual desde hace siglos ha sido principalmente el registro de información en una hoja de bajo peso. Sin el papel, la historia sería diferente, ya que no hubiese sido posible la difusión de la información y del conocimiento (AHHP, 2010).

Este producto cambió significativamente desde su origen, en donde se buscaban diferentes formas para perpetuar una idea o asentar la historia de un sector. Se comenzó con rocas, hojas de palma, madera, etc., pero esta elección siempre se basaba en su costo, accesibilidad, abundancia, rentabilidad y sin olvidar el aspecto medio ambiental (Marcos, 1993). Marcando así al mercado de papel, para satisfacer al cliente brindándole los beneficios señalados, siendo esto una meta para la presente investigación.

Según estudios realizados en el país, se concluye que existe un déficit productivo que no permite la satisfacción de la demanda interna y se pronostica que para los próximos años ésta crezca, debido a un aumento en la actividad productiva nacional. Igualmente México, Colombia y Perú poseen una demanda insatisfecha y podrían transformarse en posibles mercados para exportar papel ecuatoriano (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

La materia prima común que se utiliza para fabricar el papel es la celulosa, que se encuentra en las fibras vegetales, estas pueden ser madereras, no madereras y de papel recuperado. Principalmente, se ha venido produciendo papel a partir de las fibras madereras obtenidas de: eucalipto, abedul, arce, pino, etc (Abad & Otilia, 2002). 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.

Por estas razones, es importante optar por una producción limpia mediante el aprovechamiento de los desechos industriales (Greenpeace, 2004). Es necesario buscar otras alternativas de materia prima, como es el bagazo producido en la extracción de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*). Además, la tasa de deforestación y contaminación ambiental, podrá ser reducida mediante el diseño de un proceso sustentable de fabricación de papel a partir de un residuo fibroso obtenido de la extracción de aceite de palma africana. Se disminuirá el desecho generado por el corte de la fruta de la palma africana al convertirlo en insumo, por lo que no se verá afectado ningún árbol, se eliminará un pasivo ambiental y se disminuirá la extracción de madera destinada a la industria papelera.

Según el último informe de las estadísticas agropecuarias en el Ecuador, en el año 2011, se puede ver que existen alrededor de 202.651 hectáreas de palma africana, y una producción del cultivo de 2'097.356 toneladas métricas al año (INEC, 2011).

Estas plantaciones son aprovechadas para producir el aceite de palma africana, que es extraído del mesocarpio del fruto de esta planta y su rendimiento es elevado, debido a que se producen en cada palma, alrededor de 3.000 frutos al mes, si se tiene un buen

clima y las condiciones adecuadas. Lo cual hace que la palma africana presente rendimientos sumamente superiores comparados con otras semillas oleaginosas, siendo esto un aspecto positivo a la producción por medio de su abundancia y la accesibilidad de materia prima. En estos cultivos se puede generar aproximadamente 3,5 toneladas de aceite por hectárea de cultivo, generando alrededor del 30% de residuo fibroso que se desea aprovechar para generar la pasta celulósica y que al momento, es almacenado a cielo abierto para posteriormente ser desechado sin ningún tratamiento (NOREL, 2007).

Para la fabricación de la pasta celulósica existen métodos planteados para distintas fibras, pero estos deben ser probados para obtener el mejor rendimiento y un producto óptimo, de acuerdo a la materia prima seleccionada. Pero, principalmente teniendo como eje del proyecto a la producción más limpia, considerando la sostenibilidad de la industria elaboradora de papel y aportando con una alternativa para el cambio de la matriz productiva nacional.

Finalmente, el papel obtenido debe cumplir requerimientos establecidos según normas de calidad, que se toman en cuenta para la selección del método y el posterior diseño del proceso.

1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la extracción de aceite de palma africana, se producen una variedad de residuos sólidos y líquidos, de los cuales existen dos que se generan en mayor proporción, que son el raquis y la fibra. Esta última es preocupante debido a que es considerada como una pasivo ambiental, ya que algunas extractoras desechan este residuo en quebradas, terrenos baldíos y/o cuerpos de agua cercanos a la planta. Por esta razón, la presente

investigación se basa en buscar una solución sostenible mediante el tratamiento y eliminación de este pasivo. El problema es analizado con mayor profundidad en los siguientes literales.

1.1.1.1.DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

La producción mediante fibras madereras representa un grave problema ambiental, debido a que el 40% de toda la madera talada del mundo es destinada a la fabricación de papel. Además, para sustituir los bosques deforestados se utiliza una gran cantidad de herbicidas y fertilizantes para generar árboles de rápido crecimiento, los cuales intentan satisfacer el requerimiento de materia prima para la industria papelera. Esto afecta considerablemente al sector forestal, debido a que se fomentan los monocultivos y el sembrar árboles que generan bastante madera, como es el caso de *Eucalyptus globulus*, que ocupa una gran proporción de territorio ecuatoriano y del mundo, pese a que es una especie Australiana. Esta especie introducida daña el suelo y destruye el ecosistema nativo del Ecuador (Greenpeace, 2004). De igual manera, es evidente que esto ocurre también en los cultivos de palma africana, pero la investigación no se centra en la producción de aceite, sino en formular un tratamiento sustentable para dar un uso al residuo generado en esta industria.

Otro aspecto importante, son los contaminantes generados en la fabricación industrial de papel, ya que los efluentes y emisiones afectan gravemente a ríos, animales y al medio ambiente en general. Esto se produce debido al uso de compuestos con azufre y especialmente con cloro elemental, dióxido de cloro y compuestos órganoclorados, que afectan a la salud animal (Greenpeace, 2004).

1.1.1.2. PRONÓSTICO

En el Ecuador se estima que la demanda interna de papel crezca debido a un aumento en la actividad productiva nacional y con este aumento también se incrementará preocupantemente la extracción de madera, con el fin de poder suplir los requerimientos de la población. Considerando que los datos de deforestación nacional no son nada alentadores, ya que se tiene una tasa de 65 mil hectáreas por año, siendo la reforestación de 30 mil hectáreas, y de no plantearse nuevas alternativas de materia prima, se presentaría un proceso, no sustentable, de fabricación de papel (Ministerio del Ambiente, 2013).

1.1.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO

Es necesario buscar otras alternativas de materia prima, como es el bagazo producido en la extracción de aceite de palma africana, para diseñar y desarrollar un proceso sustentable de fabricación de papel basándose en la producción más limpia y en la valorización de residuos de cosecha. Cabe mencionar que este residuo se genera durante el corte de la fruta de la palma africana, por lo que no se verá afectado ningún árbol y se disminuirá la extracción de madera destinada a la industria papelera.

Finalmente, se analiza la materia prima obteniendo datos importantes para el diseño del proceso. Considerando también que el principal insumo es un residuo industrial, que actualmente no es aprovechado de manera significativa y este generará un aporte económico representativo para la población e industria.

Mediante la solución de este problema, se asegura los derechos de la naturaleza, principalmente de los bosques de madera que presentan una situación preocupante. De igual manera, se contribuye con el desarrollo de un ambiente sano y sustentable para la población ecuatoriana. Además, es un aporte para el cambio de la matriz productiva

nacional y cumple con los lineamientos planteados en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, específicamente con (Senplades, 2013):

- *“Impulsar iniciativas de producción sostenible de bienes y servicios, que consideren la capacidad de regeneración de la naturaleza para el mantenimiento de la integridad y la resiliencia de los ecosistemas”.*
- *“Promover la sostenibilidad ecosistémica de la economía a través la implementación de tecnologías y prácticas de producción limpia”.*

1.1.1.4.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Aprovechando un residuo fibroso generado en la extracción de aceite de palma africana, se obtendrá papel mediante el diseño de un proceso óptimo para esta materia prima.

1.1.2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son las características, propiedades y composición del residuo que es utilizado como materia prima?
- ¿Cuál es el método más adecuado, para obtener papel mediante el residuo generado en la extractora La Joya Extrajoya Cia. Ltda?
- ¿Es factible y rentable el uso de esta materia prima para producir papel industrialmente?

1.1.3. OBJETIVO GENERAL

1.1.3.1. Diseñar un proceso sustentable para fabricar papel a partir del residuo fibroso generado en la extracción de aceite de palma africana.

1.1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.1.4.1.** Analizar e identificar el residuo fibroso para determinar sus características, propiedades y composición.
- 1.1.4.2.** Obtener papel mediante el método más óptimo utilizando el residuo fibroso generado en la extractora La Joya Extrajoya Cia. Ltda.
- 1.1.4.3.** Caracterizar y evaluar la calidad del producto final obtenido con base en las normas INEN.
- 1.1.4.4.** Evaluar la factibilidad y rentabilidad del uso de esta materia prima para producir papel industrialmente.

1.1.5. JUSTIFICACIONES

Mediante este estudio se diseña un proceso para fabricar papel mediante el residuo fibroso obtenido de la extracción de aceite de palma africana. Previamente se determinan las características y propiedades que presenta esta materia prima, ya que es una fibra que no ha sido caracterizada y tomada en cuenta como una fuente de materia prima.

Esta investigación ayuda a establecer nuevas materias primas que pueden ser aprovechadas para fabricar papel, reduciendo la tasa de deforestación que se produce actualmente por generar este producto con fibras madereras. Adicionalmente, se desarrolla un aporte práctico para la industria, ya que el proceso es diseñado para aprovechar la fibra de la mejor manera. Aportando con un proceso amigable para el ambiente que puede ser implementado fácilmente para fabricar papel.

Además, se fomenta el desarrollo socio-económico en el sector de La Concordia, Esmeraldas, etc., ya que en estos lugares existen algunas extractoras de aceite de palma africana y los residuos de estas pueden ser aprovechados por la población, generando

puestos de trabajo, mejorando su nivel económico y promoviendo un ambiente más limpio.

Vale la pena mencionar que las empresas productoras se ven beneficiadas, ya que además de obtener un producto con sus desechos, evitarán futuros problemas legales-ambientales al dar un tratamiento adecuado a dichos desechos, aplicando la valorización de los residuos.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. La palma Africana en el Ecuador

En 1953 se registraron las primeras plantaciones de palma africana en el Ecuador, específicamente en las provincias de lo que hoy es Santo Domingo de los Tsáchilas y Esmeraldas. Este cultivo a pequeña escala cambió a partir de 1967, cuando hubo una expansión de los sembríos y desarrollo de plantaciones en otras provincias del Ecuador (Bastidas, 2006). Según el último informe de las estadísticas agropecuarias del país, en el año 2011, se obtuvo 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).

Este cultivo posee un alto rendimiento referente a la producción de aceite, ya que se estima que se produce 10 veces más aceite comparando con otras semillas oleaginosas. Por esto, la palmicultura es definida como una actividad que fomenta el desarrollo social y económico de la población que se encuentra en los sectores óptimos para cultivar palma africana. Además, genera una serie de negocios provenientes del aprovechamiento de la palma, generando ingresos económicos y puestos de trabajo, y a la vez, impulsa el desarrollo agropecuario del país (ANCUPA y FEDEPAL, 2005).

La palma africana en el país representa aproximadamente 350 millones de dólares por su aprovechamiento y 355,5 millones en exportación para el año 2013, y se espera que estos valores se dupliquen en el 2015. Esta actividad también aporta con el 4,5% del PIB agrícola nacional. Otro aspecto importante es que existe alrededor de 5278 palmicultores, siendo el 87% pequeños palmicultores (menos de 50 hectáreas de cultivo), generando aproximadamente 50.000 plazas directas de trabajo y 100.000 indirectas, con un promedio de sueldos de alrededor de 450 dólares (El Telégrafo, 2014).

Adicionalmente, existen 51 extractoras de aceite de palma africana, pero tres de estas se dedican a la extracción del aceite de almendra o palmiste. Registrándose en tres de las extractoras más grandes una capacidad productiva de 32 toneladas fruta-fresca por hora. Esto ubica al Ecuador en el segundo país productor de aceite de palma de la región (ANCUPA y FEDEPAL, 2005).

1.2.2. La palma africana

La palma africana es un árbol que alcanza una altura de entre 15 a 20 metros. Esta requiere una humedad relativa superior al 75% por mes, una temperatura óptima entre 24-26°C, una precipitación de entre 1800 a 3000 mm por año y 1400 horas al año de luz solar. Esto indica que las plantaciones deben estar ubicadas en regiones con un clima cálido-húmedo con altitudes no mayores de 500 m.s.n.m (ANCUPA y FEDEPAL, 2005).

Se aprovecha las palmas desde los 5 años, ya que esto representa el inicio de su etapa productiva y a los 10 años logran el máximo de producción de racimos, la cual se mantiene hasta los 50 años aproximadamente. También una palma puede generar entre

2 a 6 racimos por año, considerando que cada racimo posee un promedio de 200 frutos (Carmenatti, Sarmiento, & Santos, 2005).

El fruto consiste primero en una capa o piel externa que lo rodea, la cual es de color rojizo y lo protege. Debajo de esta, se encuentra el mesocarpio, que es una capa de pulpa fibrosa de color amarillo y es aprovechada por su gran contenido de aceite. Luego se ubica el endocarpio que es una capa negra, llamada cuesco, que separa el mesocarpio de la semilla. La semilla de este fruto es conocida como almendra y también se la aprovecha industrialmente (Carmenatti, Sarmiento, & Santos, 2005).

Los desechos de los cultivos de palma africana son sus hojas, ya que se debe realizar una poda sanitaria semestral, con el objetivo de cortar las hojas amarillentas y reducirlas para facilitar la producción de frutos en la planta. De estas, se aprovechan los racimos que son destinados a la extracción de aceite.

1.2.3. El procesamiento del fruto de la palma africana

El fruto tiene un tamaño aproximado de 5 x 2,8 cm, en donde se contiene entre 45 a 50% de aceite en base seca. Para que el fruto sea considerado bueno para la extracción de aceite, se espera que este esté constituido por: 60% de pulpa, 30% de cuesco y 10% de almendra o semilla (Vega, 2004).

De este fruto de la palma se producen dos aceites: el aceite de palma, proveniente del mesocarpio de la fruta, el cual es aprovechado en la industria alimenticia mediante la producción de margarina, manteca y grasas; y el aceite de almendra o palmiste, el cual es utilizado para la fabricación de jabones y alimentos para animales, ya que posee una gran cantidad de ácido láurico (SFA, 2010).

Además de estos productos se generan subproductos, algunos considerados como residuos. Los 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).

1.2.4. Las fibras vegetales

Las 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)

La celulosa es incolora, insoluble en agua y se conforma a partir de celobiosas, las cuales son cadenas de glucosa. En las fibras vegetales, la celulosa comprende más del 50% de su estructura. Las cadenas de celulosa se asocian por medio de puentes de hidrógeno, formando estructuras muy estables llamadas microfibrillas, que a su vez se unen en fibrillas formando la fibra vegetal (Colona, 2010).

Junto a la celulosa se encuentra la hemicelulosa que constituye aproximadamente el 30% de la fibra, que es considerada como una goma vegetal y actualmente se conocen algunos tipos de hemicelulosas como: manosa, galactosa, pentosa, arabinosa (Sandermann, 1998). La hemicelulosa se une a la celulosa por medio de puentes de hidrógeno, y a la lignina por medio de enlaces covalentes, con lo cual se mantiene la integridad de las paredes de las fibras celulósicas (Colona, 2010).

La lignina es un componente importante a tomar en cuenta, cuando se desea hacer 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 es el compuesto insertado en la hemicelulosa, que reemplaza el agua creando un estado hidrófobo dentro de la fibra. Así las ligninas refuerzan los puentes de hidrógeno complicando la acción de enzimas o compuestos (Colona, 2010).

Por esta razón, la lignina debe ser eliminada sin dañar a la celulosa, lo cual da la flexibilidad necesaria al papel. Cabe señalar que en especies tropicales, como es la palma africana, hay mayor cantidad de lignina comparando con la madera comúnmente utilizada para fabricar papel. La lignina representa del 20 al 30% de la composición de la fibra. Esta posee una estructura sumamente compleja pero se puede describir sencillamente como la unión de monómeros de fenilpropano (Gutiérrez, 2010).

1.2.5. Métodos de elaboración de la pasta celulósica

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 el método químico se puede establecer dos principales técnicas: proceso alcalino, o conocido comúnmente como método Kraft, que se basa en la utilización de sulfato e hidróxido de sodio; y el proceso ácido que utiliza ácido sulfuroso y sulfito, ya sea sódico, cálcico o magnésico (Macorra, 2004).

En el proceso Kraft primero se debe lavar las astillas o fibras recolectadas y estas serán llevadas a un proceso de cocción. En esta etapa se agrega hidróxido de sodio y sulfuro sódico. Dependiendo del tipo de fibra, el tipo de cocción varía entre 1 a 3 horas, manteniendo una temperatura constante de 170°C. Este método elimina la lignina pero también se produce una reducción de la celulosa, lo cual afecta al rendimiento del proceso, obteniendo un 50% de productividad. En este método se suele utilizar ácido sulfúrico como catalizador, lo que evitará la afección a la celulosa (SCA, 2010).

El método ácido se realiza igualmente con el calentamiento de las astillas, con bisulfito cálcico, sódico o magnésico y con ácido sulfuroso. El tiempo de cocción es alto y varía entre 8 a 12 horas. Es importante mantener la temperatura a 125°C para facilitar la eliminación de la lignina. Este procedimiento es poco utilizado ya que se obtienen manchas oscuras cuando se utilizan fibras coníferas, pero posee un buen resultado para otras fibras celulósicas. Además, el proceso de blanqueamiento es mucho más sencillo cuando se la realiza a estas pastas químicas ácidas (Gutiérrez, 2010).

Otra alternativa para el método químico, es el proceso conocido como “Sosa al frío”, el cual 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 los otros métodos. En este proceso se agrega hidróxido de sodio en diferentes concentraciones, dependiendo del tipo de fibra, y el tipo de cocción varía entre 1 a 3 horas, manteniendo una temperatura constante de 170°C (SCA, 2010).

Además del método químico, también se experimentó con el mecánico o de alto rendimiento. En este procedimiento no se elimina la lignina, lo que produce fibras

rígidas, poco flexibles y limitada agregación entre sí. El producto final es un papel con baja resistencia y con un deterioro rápido, pero que son muy utilizados para fabricar papel periódico. Cabe mencionar que, ya que no se da la eliminación química de la lignina, no se dañan las estructuras celulósicas, produciéndose un rendimiento aproximado del 75% (Sandermann, 1998).

El proceso mecánico comienza con el calentamiento de las astillas con vapor de agua. Luego, estas son sometidas a desfibradores de discos, que consisten en muelas en rotación que brindaran fuerzas de compresión y de cizalla. Las superficies de los discos son rugosas, para permitir la separación de las fibras. Mediante este rozamiento se genera un aumento de la temperatura y ésta ayuda al suavizamiento de la lignina, pero se debe utilizar agua para evitar que la temperatura siga aumentando. De esta manera, se obtiene una pasta denominada termomecánica (Macorra, 2004).

El último método que fue empleado es el semiquímico, el cual no es muy utilizado ya que implica el uso de materias primas químicas y un elevado consumo de energía como en el método mecánico. Básicamente, este consiste en un pre tratamiento químico de las astillas antes de ingresar a los desfibradores de disco. Este tratamiento genera una separación más sencilla de las fibras. Los compuestos que se utilizan son los mismos que en los métodos químicos, pero la diferencia está en que no se mantienen las fibras tanto tiempo en cocción. Este método es recomendado para especies tropicales y se puede obtener un rendimiento aproximado del 85% (Sandermann, 1998).

1.2.6. Blanqueo y formación de las hojas de papel

Independientemente de la pasta obtenida por cualquier método, ésta debe ser sometida a un proceso de blanqueamiento, ya que es un requisito para obtener un papel de calidad.

Hay que tomar en cuenta, que en este proceso puede haber una pérdida de celulosa, lo que reduce el rendimiento del proceso.

Para un blanqueamiento altamente eficaz se utiliza compuestos de cloro, como son el dióxido de cloro y cloro gaseoso. Pero en la presenta investigación se implementó la producción más limpia, por lo que se utilizó peróxido de hidrógeno para el blanqueamiento (SCA, 2010).

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 puede ser catalogada como “Totalmente Libre de Cloro” o con sus siglas en ingles “TCF”, lo cual implica una buena categorización ambiental (SCA, 2010).

En la etapa de blanqueo, se utiliza el peróxido de hidrógeno en una solución con un agente quelante, ya que esto evita una rápida descomposición del peróxido de hidrógeno, lo que afecta a un correcto blanqueo. El agente quelante forma enlaces con algunos iones metálicos evitando que estos reaccionen (Perea, 2010). Esta sustancia atrapa a los metales presentes en las fibras y estos no se comportarán como catalizadores en la descomposición del reactivo. A la vez, se debe controlar la temperatura para que no afecte a la reacción.

Finalmente, esta pasta es introducida a un proceso de tamizado, en donde comienza a eliminarse el agua y las fibras de menor tamaño. Posteriormente, la pasta entra en la sección de prensado, en donde se retira un poco más de agua y se da el espesor requerido para la hoja de papel. Pero esta hoja se encuentra húmeda y debe ser secada a una temperatura de 100°C (Sandermann, 1998).

En la experimentación se determinó que es necesaria la adición de compuestos que brinden las características deseadas del papel. Principalmente se mezcló la pasta con almidón, el cual brinda una buena unión de las fibras celulósicas, resistencia y blancura deseada. Por esta razón, se complementó la investigación con la extracción de almidón de papa, a nivel de laboratorio. Pero se realizaron ciertas modificaciones al proceso normal, debido a que para utilizarlo en el papel se requiere controlar el pH y el almidón fue tratado con ácido ascórbico, para impedir la degradación del papel y el ataque de microorganismos. También se plantea la alternativa de utilizar semillas de linaza como aditivos, pues este producto no afecta la soberanía alimentaria y presenta también características como aglutinante.

Las características fundamentales que debe tener el papel son: peso, espesor y resistencia. El peso es medido en gramos sobre superficie del papel y determina la facilidad para manipularlo. El espesor depende del uso final que tiene el papel, por ejemplo si se desea papel para impresión, este debe tener el espesor correcto. El siguiente aspecto es la resistencia, la cual es sumamente importante en todo tipo de papel. La resistencia está influenciada por el contenido de hemicelulosa y también depende del espesor y diámetro de las fibras vegetales utilizadas. En este factor se debe establecer la facilidad con la que el papel puede ser rasgado, la resistencia que tenga al agua y el nivel de absorción de tintas y aceites (López, 2008). Estas características son determinadas mediante normas TAPPI y normas INEN.

1.2.7. Producción más limpia y Sostenibilidad de la producción de papel

Una herramienta de gestión ambiental, es la producción más limpia, 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).

Unas de las acciones más importantes de la producción más limpia son (Costa, 2012):

- Reducción del volumen: se basa en la disminución del volumen de emisiones, desechos, efluentes o descargas de materias tóxicas y peligrosas, mediante la implementación de técnicas de purificación o segregación.
- Modificación de los procesos de producción: centrándose en el control y optimización de los procesos para disminuir contaminantes, o en el cambio o modificación de los procesos por otros más amigables con el medio.
- Buenas prácticas ambientales: cuyos lineamientos son la reducción o eliminación de la toxicidad de los contaminantes, racionalización o ahorro en el uso de materias primas e insumos (agua y energía) y por último, la reutilización y el reciclaje de materiales.
- Valorización de los residuos: plantea que un desecho es un potencial recurso que puede ser aprovechado.

Cabe señalar que todas las técnicas mencionadas se implementaron 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 eficiente y responsable (ASPAPPEL, 2008).

1.3. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

Tradicionalmente la fabricación de papel se produce a partir de fibras madereras, pero debido a un incremento en el interés ambiental, actualmente se está optando por el uso de subproductos industriales constituidos por fibras vegetales. Estas son muy variadas y cada una posee resultados distintos. Se han desarrollado estudios de varias fibras vegetales iniciando con el bagazo de caña de azúcar, maíz, banano, agave, palmito, etc; para que puedan ser transformadas en papel utilizándose comúnmente el método químico de Kraft (Castells, 2000).

Los estudios basados en la utilización de un residuo de la palma africana para fabricar papel, se han centrado en la utilización del raquis. Este raquis se estableció que es técnicamente apropiado para ser utilizado como materia prima y se alcanzaron niveles aceptables de eliminación de la lignina. Un aspecto importante, es que estas investigaciones se basaron en el uso de un método semiquímico, utilizando los reactivos químicos del proceso Kraft (Ríos, 2008).

El principal problema encontrado, fue en el proceso de blanqueo, ya que no se obtuvo el color deseado y un porcentaje reducido de las fibras celulósicas fueron destruidas, lo que generó la pérdida de la resistencia del papel (Ríos, 2008).

También existen investigaciones sobre el uso de las hojas de la palma africana para generar papel. En este estudio, la pasta de papel fue generada mediante un método semiquímico, pero se realizó un procedimiento minucioso al momento de blanquear la

pasta. Se utilizaron, peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y bórax, con los cuales se obtuvieron excelentes porcentajes de blanqueamiento de la pasta. La investigación generó como resultado que la hoja de la palma africana es una buena materia prima para generar papel (Gómez, 2004).

Contrastando con lo anterior, se encontró que se realizaron estudios con resultados negativos de pre factibilidad de la fibra del raquis para obtener papel a partir del método mecánico. Los resultados obtenidos no fueron nada alentadores. Según la investigación se detalla que la fibra del raquis posee características morfológicas negativas, con respecto a las que se necesitan para fabricar un buen papel. Entre estas características, se establecieron que posee una alta rigidez, poca flexibilidad y dificultad para realizar la unión entre fibras (González, 2005).

No se encontraron estudios que se basen en la utilización del residuo fibroso obtenido del mesocarpio del fruto de la palma africana, pero si mediante el aprovechamiento de otros residuos generados de la palma.

1.3.1. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA

Método Inductivo-Deductivo: Mediante procesos generales para fabricar papel utilizando fibras celulósicas, se establecerá un procedimiento específico que tenga buenos resultados para la materia prima que se utiliza en la investigación.

1.3.2. MARCO CONCEPTUAL

- Bagazo: *“es un material lignocelulósico, presente en las plantas extractoras de aceite de palma africana como subproducto de desecho y representa el 45% del total de la palma africana procesada”* (Bayona & Sánchez, 2006).

- Celulosa: *“es el componente mayoritario y constituye la base estructural de las células vegetales. Se trata de un polímero de elevado peso molecular formado por moléculas de glucosa, unidas por enlaces β -glucosídicos”* (Nogués, et al, 2010).
- Endocarpio: *“o cuesco, es la capa de consistencia leñosa que rodea a la única semilla”* (Ante, 2011).
- Fibra vegetal: *“conjunto de macromoléculas de origen vegetal, principalmente polisacáridos y ligninas no digeribles por las enzimas digestivas humanas”* (Calvo, et al, 2011).
- Hemicelulosa: *“son polisacáridos no celulósicos que aparecen en las paredes celulares, básicamente es un polímero corto y ramificado de varios monosacáridos de cinco a seis carbonos”* (Lodish, 2006).
- Lignina: *“es un polímero abundante en el mundo vegetal y está formado por moléculas distintas a los azúcares pero es un polímero amorfo, tridimensional formado por la unión de moléculas de fenilpropano”* (Nogués, et al, 2010).
- Mesocarpio: *“o pulpa, es la parte carnosa de tejido fibroso que contiene aceite”* (Ante, 2011).
- Raquis: *“racimos vacíos o tusa que quedan después de la extracción de aceite”* (Salas, 2009).

1.3.2.1.HIPÓTESIS

Ya que es un estudio exploratorio-descriptivo, no se requiere la formulación de una hipótesis.

1.3.3. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

- Variable independiente:

Las características de la materia prima representan la variable independiente. Mediante el análisis de ésta se puede establecer la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina que posee, lo cual afecta al producto final.

- Variable dependiente:

El método de fabricación y posteriormente, el diseño del proceso depende de las características de la materia prima. Dado que ésta fija los parámetros en los que debe tratarse el residuo fibroso.

2. MÉTODO

2.1. NIVEL DE ESTUDIO

Exploratorio: se busca clarificar el mejor procedimiento con el que se puede realizar un buen producto final, basándose principalmente en la investigación y experimentación.

Descriptivo: el estudio se enfoca en describir detalladamente el proceso diseñado a partir de las características que tiene el residuo fibroso. Tomando en cuenta que el residuo no puede ser comparado con los otros subproductos de la extracción de aceite de palma, debido a que éste posee distinta composición.

2.2. MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

De campo: se tomaron las muestras directamente en la planta extractora de aceite y se realizaron los análisis en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK, evitando el deterioro de la materia prima, cuando esta fue transportada.

Proyecto Especial: mediante la elección del método de fabricación y el diseño del proceso, se obtuvo papel creado a partir de residuos lo que implica la solución de un problema ambiental.

2.3. MÉTODO

El primer paso a seguir es la caracterización de la materia prima. Esto se realiza principalmente mediante el uso de las normas TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), dependiendo del componente que se desea identificar y se realizó réplicas para dar confiabilidad a los resultados. Este proyecto se basó en lo siguiente:

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

Componentes	Norma
Solubles en Etanol-Benceno	TAPPI T 204 cm-97; Relacionado con: ASTM D1107, D 1108, D 1794
Solubles en Agua	TAPPI T 207 cm-99; Relacionado con: ASTM D1110
Cenizas	TAPPI T 211 om-02; Relacionado con: ASTM D 1102
Holocelulosa	ASTM D 1104-56
Celulosa y Hemicelulosa	ASTM D 1695-77
Lignina	Técnica Runkel y Wilke

Elaborado por: Autor

Mediante la información analizada, se puede decir que la elección del método para fabricar papel depende de las características de la materia prima y actualmente no se tiene mucho conocimiento de ésta. Además, la fibra del mesocarpio posee distintas propiedades y no puede considerarse y tratarse de igual manera que otro residuo de la palma, como el raquis.

En la presente investigación, se experimentó con los tres métodos. El método que presente el mejor rendimiento con un papel de buena calidad, fue el escogido para comenzar a diseñar el proceso. Para esto, se variaron los tiempos de humectación, los cuales permitieron una buena reacción del compuesto químico para la destrucción o modificación de la lignina. Además, se experimentó con tres concentraciones distintas de hidróxido de sodio, para establecer la cantidad correcta de reactivo para afectar a la lignina, sin destruir la celulosa.

Para realizar la investigación, se debe tener en perspectiva los resultados y recomendaciones que han tenido otras investigaciones parecidas a la que se desea realizar. Por esto, se establece que se debe tener un cuidado especial cuando se desea proceder al blanqueamiento de las fibras, ya que en este procedimiento puede existir la eliminación de la celulosa, lo que provoca una disminución del rendimiento, independientemente del método que se elija. Además, se modificó el proceso para realizarlo con peróxido de hidrógeno y reactivos estabilizantes. Tomando en cuenta la posibilidad de adicionar compuestos que mejoran la formación de la hoja de papel.

2.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

Se tomaron muestras del residuo fibroso generado en la extractora La Joya Extrajoya Cia. Ltda, ubicada en el cantón La Concordia. La primera muestra fue recolectada para su caracterización y la segunda, para la experimentación del proceso. Se debe recoger la cantidad necesaria para todas las pruebas que se realizaron, aproximadamente 500 gramos de residuo o más, debido a que en las normas TAPPI se establece que se deben desarrollar las pruebas de un solo tipo de fibra, ya que los resultados pueden cambiar dependiendo del lote de producción de la extractora.

2.5. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Experimentación:

Variando las condiciones de cada método, se realizaron distintos análisis, para garantizar una correcta elección del proceso que se utilizó para el diseño. Es importante la variación principalmente de las concentraciones de los reactivos, temperatura de operación y tiempo de residencia para establecer los parámetros óptimos para tratar al residuo.

La experimentación se efectuó, preferentemente, en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK, previo a la recolección de fibra de la extractora de aceite La Joya Extrajoya Cia. Ltda. Con los resultados de la experimentación de laboratorio, se realizó el escalamiento industrial y el estudio de prefactibilidad.

2.6. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

Antes de comenzar con la experimentación, es sumamente importante analizar la confiabilidad de los instrumentos, ya que si estos no están correctamente calibrados o validados no se obtendrán resultando certeros. Por esto, fueron solicitados los certificados de calibración de equipos en caso de ser necesario.

2.7. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos generados en el estudio fueron analizados mediante el uso de los programas Word y Excel de Microsoft Office. Mediante estos programas se pudieron realizar gráficos y tabulaciones, para comparar los resultados obtenidos en cada método, con esto se puede establecer conclusiones para cumplir con los objetivos establecidos.

Un aspecto importante, es que también se desarrollaron hojas de cálculo para el diseño del proceso, mediante el uso de Microsoft Excel. Esto además de facilitar el diseño, brindó la posibilidad de analizar, de mejor manera, los parámetros utilizados para cada equipo.

3. RESULTADOS

3.1. Levantamiento de Datos

Se comenzó con la recolección de la muestra obtenida en la extractora de aceite de palma La Joya Extrajoya Cia. Ltda. Esta muestra fue de residuo proveniente de la primera producción del día, cuyos frutos procesados fueron cosechados de haciendas vecinas a la extractora, las cuales comúnmente venden su fruto a la empresa y son las que aportan con la mayor cantidad de fruto para el procesamiento. A la vez, se confirmó que durante el proceso de extracción de aceite no se realizó ningún proceso fuera de lo rutinario, el cual podría afectar los resultados y no demostrar la calidad y composición normal del residuo.

El tamaño de la muestra se determinó mediante la aplicación de las normas TAPPI, en donde se recomienda realizar las pruebas de una sola muestra de fibra, por esta razón se debe recolectar una proporción de residuo necesaria para todas las pruebas (500 gramos). Además, se obtuvo una segunda muestra para realizar las pruebas de experimentación de los métodos de fabricación.

Es necesario mencionar que para la extractora y el autor fue positivo este limitado número de muestras porque su recolección no implicó mucho tiempo y también la reducción de trámites y permisos por parte de la empresa.

Figura 1. Residuo recolectado.



Elaborado por: Autor

Al momento de transportar el residuo a Quito, se tomaron las medidas necesarias para evitar contaminación y degradación de la fibra, básicamente transportándola en recipientes cerrados, previo a un enfriamiento de la muestra, y finalmente secándola en el laboratorio. Esto es necesario ya que es una materia que posee humedad y temperatura proveniente del proceso al que fue sometido y fácilmente puede generar moho y hongos. De este residuo se realizaron dos tipos de pruebas: de caracterización y de experimentación de las condiciones de los métodos para realizar papel a partir del residuo.

3.1.1. Pruebas de caracterización

Estas pruebas se basan en la determinación de lignina, celulosa, hemicelulosa, extractivos y cenizas. Estos conforman aproximadamente el 100% de los componentes de la fibra, pero se debe conocer que si la sumatoria de las cantidades encontradas de cada componente no es el total, es debido a alguno de los siguientes factores (Mocchuitti & Adell, 2007):

- Eliminación completa o parcial de un componente.
- Impurezas.
- Interferencia de otro componente.
- Componentes no analizados como constituyentes de la fibra.
- Errores en la ejecución de los métodos de determinación.

Para que las pruebas o métodos tengan validez se siguió normas establecidas. Se encontró que los métodos más óptimos son los establecidos por las normas TAPPI, en donde se encuentran todas las pruebas para determinar los componentes, tanto en pulpa como en fibra. Se utilizaron estas normas debido a que no se encontraron normas INEN que correspondan a las pruebas necesarias, además estas normas TAPPI poseen referencias con respecto a las normas ASTM, lo que da un mayor respaldo técnico para los análisis.

Para poder confiar en los resultados, estas normas sugieren mínimo 3 réplicas de una misma fibra para cada componente, siendo este criterio el aplicado en las pruebas de caracterización. Todos los protocolos utilizados se pueden encontrar en el ANEXO 1.

3.1.1.1. Preparación de la materia prima

Para que la fibra sea adecuada para comenzar con los análisis, esta debe ser tratada mediante la normas TAPPI T 257 y T 264, en donde básicamente se determina que la fibra debe ser molida obteniéndose un diámetro de partícula que pase por el tamiz MESH 40 y sea retenido en el MESH 60. Este polvo retenido es conocido como talco de madera y debe ser secado para que el agua no interfiera en los análisis. Por la falta de estos tamices certificados, estos se construyeron con las mallas necesarias.

Figura 2. Tamices utilizados.



Elaborado por: Autor

3.1.1.2. Determinación de extractivos totales

Estos componentes son sustancias solubles en determinados solventes. Cuando se habla de fibra vegetal estos solventes principalmente son agua y etanol-benceno. Se pueden utilizar otros solventes pero esto no se especifica en las normas TAPPI.

3.1.1.2.1. Extractivos solubles en agua fría

Se determinó mediante la TAPPI T 207 cm-99, la cual está relacionada con la ASTM D 1110; la norma trata se los solubles en agua fría y caliente, pero este estudio se centró en los extractivos en agua fría, ya que se desea determinar taninos, gomas, azúcares, almidones y colorantes, además para este caso en particular no es necesaria la extracción en agua caliente, porque los compuestos solubles son retirados en la siguiente técnica.

Figura 3. Solubles en agua fría.



Elaborado por: Autor

3.1.1.2.2. Extractivos solubles en etanol-benceno

El objetivo principal de esta técnica es la extracción de grasas, ceras, algunas resinas, hidrocarburos no volátiles, hidratos de carbono de bajo peso molecular, sales y otras sustancias solubles en agua.

Este procedimiento se lo realizó mediante la norma TAPPI T 204 cm-97, que está relacionada con las normas: ASTM D 1107, D 1108, D 1794.

Figura 4. Solubles en Etanol-Benceno.



Elaborado por: Autor

3.1.1.3. Extractivos totales

Esta técnica fue planteada por Wang y Hart en 1983, pero no existe ninguna norma que certifique este procedimiento. El método se basa en realizar tres extracciones de una misma muestra en diferentes solventes y la cantidad extraída en los tres procedimientos será el porcentaje de extractivos totales presentes en la muestra.

Figura 5. Solubles Totales.



Elaborado por: Autor

Este procedimiento se lo realiza en lugar de los extractivos en agua y etanol–benceno, ya que los tres solventes utilizados en esta técnica solubilizan los mismos componentes que el agua y el etanol–benceno.

3.1.1.4. Determinación de holocelulosa

A la holocelulosa se la conoce como la unión de celulosa con hemicelulosa, que representa la fracción total de polisacáridos, y esta es determinada mediante la norma ASTM D 1104-56.

Para realizar esta práctica se debe partir de muestras sin extractivos, por lo que primero se deben realizar los procedimientos anteriores.

Figura 6. Muestra inicial y procedimiento para determinación de holocelulosa.



Elaborado por: Autor

3.1.1.5.Determinación de celulosa y hemicelulosa

A partir de la holocelulosa obtenida se continuó con la determinación de celulosa y hemicelulosa. Estos constituyentes son esenciales para la fabricación de papel.

El procedimiento de obtención de celulosa se basa en la Norma ASTM D 1695-77. En cambio, la hemicelulosa se determina mediante la diferencia entre la cantidad inicial de holocelulosa libre de extractivos y la cantidad de celulosa determinada.

Figura 7. Determinación de celulosa.



Elaborado por: Autor

3.1.1.6.Determinación de cenizas

La obtención de cenizas puede ser mediante dos técnicas que se diferencian únicamente por la temperatura y tiempo. La primera se realiza a 900°C conforme a la norma TAPPI T 15 om-88. Pero la técnica utilizada en esta investigación fue la TAPPI T 211 om-02, relacionada con la norma ASTM D 1102, en donde se determinan las cenizas a 525°C.

Al momento de retirar las cenizas de la mufla, estas deben ser situadas en un desecador para eliminar la humedad y deben ser pesadas evitando su hidratación.

Figura 8. Secado de cenizas.



Elaborado por: Autor

3.1.1.7.Determinación de lignina

La norma TAPPI relacionada con la determinación de lignina es la T 222 om-11. A la vez, comúnmente se puede determinar mediante la técnica Runkel y Wilke.

Para realizar cualquiera de estos métodos, primero la muestra debe ser sometida a los procedimientos de extracción para que la muestra quede libre de solubles y pueda ser determinada la lignina.

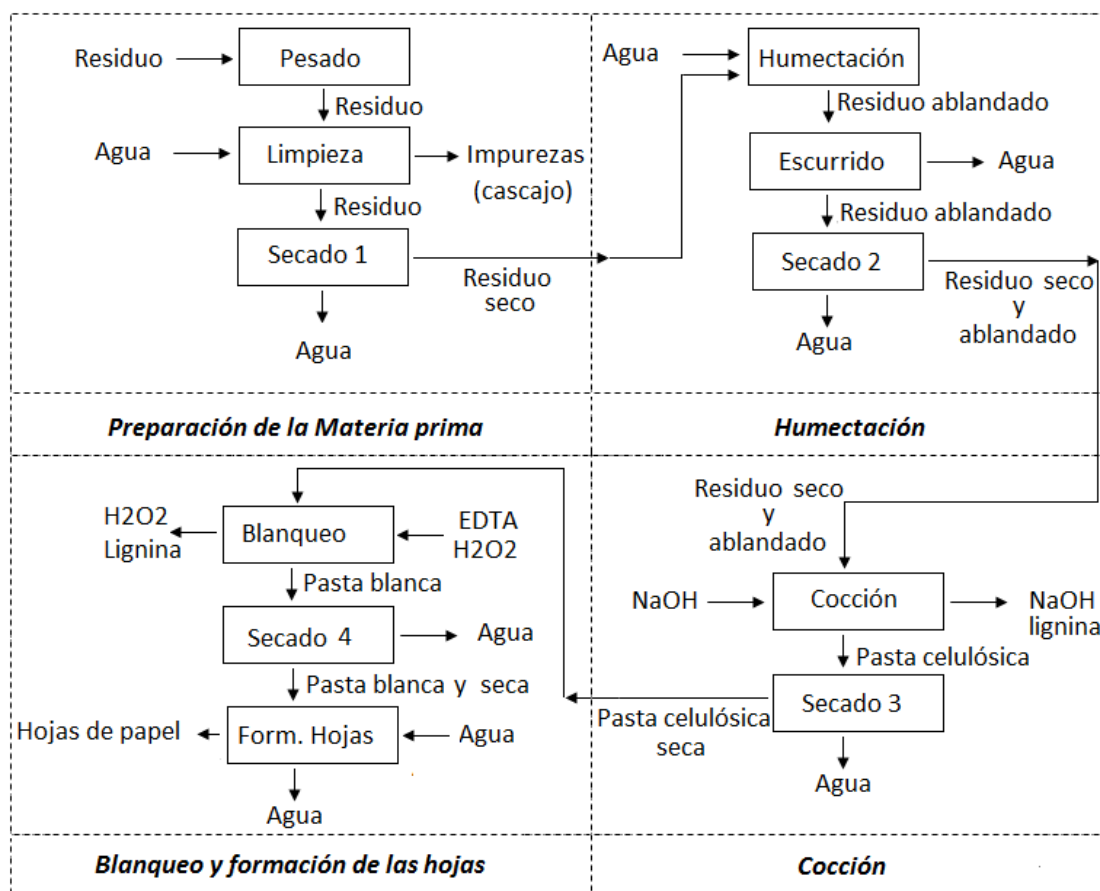
La determinación de la lignina se realizó en forma indirecta mediante la diferencia del 100% de los componentes, debido a que por falta de algunos reactivos y equipos, no fue posible determinarla directamente en forma experimental.

3.1.2. Pruebas de experimentación

El 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.

Este proceso es el comúnmente utilizado para formar papel a partir de fibras como la caña de azúcar, pero no se pudo encontrar alguno específico para el residuo que se está utilizando. Es por esto que se añaden ciertos criterios y procedimientos extras necesarios para esta fibra, como el lavado y triturado de la materia prima, la utilización de aditivos para la formación de las hojas y la variación de las concentraciones y tiempos de residencia. A la vez, se suman procesos de secado para que se puedan medir los rendimientos en base seca de cada fase, pero estos no son necesarios en el proceso industrial, obteniéndose el siguiente diagrama de bloques.

Figura 9. 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 H₂O₂ al 30% en una relación 10:1, durante periodos de 3 horas.

Para realizar la elección se debe especificar las etapas necesarias del proceso, las cuales se describen a continuación.

3.1.2.1.Limpieza del residuo

Antes de comenzar la limpieza con agua, se debe realizar una selección manual para separar el residuo del cascajo o cascarilla, ya que existe gran cantidad de esta impureza en la muestra. El residuo debe ser limpiado con agua, por lo menos tres veces y se debe evitar la pérdida de la fibra, utilizando un colador o tamiz.

3.1.2.2.Humectación

Este procedimiento es fundamental en el proceso artesanal de fabricación de papel, ya que este permite un ablandamiento de las fibras, lo que produce que el reactivo entre y

pueda solubilizar a la lignina. El tiempo de humectación depende del tipo de fibra que se posea.

El tiempo de humectación debe ser el óptimo, porque si se elige un periodo muy largo, el reactivo reaccionará fuertemente afectando a la celulosa y hemicelulosa. En cambio, si el periodo es muy bajo, el reactivo no podrá afectar a la lignina. Ambos aspectos provocan una disminución del rendimiento y de la calidad del producto final.

Esto es debido a que en la humectación se puede eliminar en parte los componentes solubles en agua fría, lo que permite una buena reacción. A la vez, esto no es necesario en el procesamiento industrial, ya que el recipiente cuenta con las condiciones ideales para la reacción, eliminando la lignina sin afectar a la celulosa y hemicelulosa.

Los periodos o tiempos experimentales son:

- 12 horas
- 24 horas
- 36 horas

Al finalizar este periodo se debe escurrir el agua utilizando un colador o tamiz. La relación agua/residuo es de 10:1 y el periodo más óptimo es el que posea un mejor rendimiento y un buen producto final.

Figura 10. Humectación y escurrido.



Elaborado por: Autor

3.1.2.3.Cocción

La cocción es también conocida como la primera etapa de deslignificación, esta permite una buena formación de las hojas de papel. Existen algunos procedimientos que son utilizados en la experimentación, estos varían de acuerdo al equipo utilizado.

El primero es una cocción simple, realizada en un recipiente tapado pero no hermético. En este proceso es necesaria una agitación constante para evitar derrames. Además, se debe considerar que el recipiente preferiblemente debe ser de acero para evitar que el hidróxido de sodio reaccione con el metal.

El segundo procedimiento se realiza con un balón de fondo plano conectado a un refrigerante evitando la pérdida de vapores. El balón con la solución y la muestra son calentados hasta temperatura de ebullición durante un periodo determinado (Machado, 2010).

La experimentación se basó en los dos procedimientos, variando sus condiciones, para determinar las más óptimas al formar la pasta celulósica y la que mejor rendimiento posea. Las condiciones para cada uno se detallan a continuación:

Tabla 2. Condiciones para los procedimientos de cocción.

	Proc. 1	Proc. 2
Temperatura	90 °C	Ebullición
	130 °C	
	170 °C	
Tiempo	3 horas	1 hora
		1 hora y 30 min

Cuando se haya seleccionando el procedimiento, este será variado utilizando:	
Concentración	3 gr NaOH/ 100 ml de solución
	5 gr NaOH/ 100 ml de solución
	7 gr NaOH/ 100 ml de solución
Relación	10:1
residuo/solución	

Elaborado por: Autor

Las réplicas se realizaron de acuerdo al método que posea una buena rentabilidad, pero principalmente, la calidad del papel obtenido.

Finalizada la cocción se obtiene la pasta celulósica y una solución denominada como licor negro. Este licor está formado por compuestos orgánicos como celulosa, hemicelulosa y principalmente lignina (50 – 60%), además de compuestos inorgánicos como el hidróxido de sodio (17 – 25%) utilizado en la cocción (Ortiz, 2009).

El licor debe ser retirado y la pasta lavada para eliminar esta solución. Este residuo puede ser aprovechado de algunas maneras que son explicadas en el diseño del proceso industrial.

Figura 11. Licor negro obtenido.



Elaborado por: Autor

3.1.2.4. Blanqueamiento

Esta es la segunda etapa de deslignificación, en donde comúnmente se utilizan compuestos de cloro para blanquear las fibras. En la investigación se optó por el uso de peróxido de hidrógeno para obtener la blancura deseada. Con este tipo de método se puede obtener papel con una blancura aproximada de 80% ISO, compitiendo eficientemente con los procesos en donde se utiliza el cloro.

Lastimosamente, el peróxido de hidrógeno presenta una baja estabilidad en condiciones como (Macorra, 2004):

- Al aumentar el pH de la solución, se incrementa la velocidad de descomposición del H_2O_2 en agua y oxígeno. El pH perfecto para evitar la descomposición es de 10 a 11,5.
- La temperatura influye en su descomposición. Se debe trabajar a temperaturas menores de $60^{\circ}C$.

- La presencia de trazas de iones metálicos actúan como catalizadores en la reacción de descomposición. Los iones como Cu^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2} y Fe^{+3} , son los que poseen fuerzas catalíticas mayores y estos se encuentran en las fibras que se blanquean. Para evitar su actuación, se utiliza un agente quelante que atrape a los iones metálicos. En esta investigación, se utilizó EDTA (ácido etilen diamino tetraacético), asegurando una estabilidad del peróxido de hidrógeno.

Controlando estos factores se debe sumergir la pulpa en la solución de H_2O_2 al 30% y en una relación 10 a 1. Estos se repite tres veces para obtener la pulpa deseada. Finalizadas las etapas se debe lavar y eliminar la solución presente en las pastas.

3.1.2.5. Formación de las hojas de papel

La pulpa obtenida fue disuelta en agua en una relación 10 a 1. Se sumerge un tamiz en el agua con la pulpa para recolectar una pequeña cantidad de pulpa, pero la suficiente para cubrir y formar una hoja con espesor adecuado. Se escurre el agua restante del tamiz y se recolecta la hoja húmeda en un cedazo. Este fue prensado y secado alrededor de 24 horas.

Otra opción es recolectar la pulpa y esparcirla en un tamiz. El espesor adecuado fue determinado por la utilización de un rodillo para distribuir correctamente la pulpa. Este fue secado en el tamiz o puede ser traspasado a un cedazo. Se prensa la hoja obtenida y se espera su secado por un periodo de 24 horas.

Para ambas opciones se deben utilizar tamices preferentemente de nylon o plástico. Además, el secado se realiza en un cuarto controlando que la temperatura y humedad no sean elevadas.

Si se desea se pueden utilizar aditivos como almidón, linaza ó gomas para obtener una buena adición de las fibras. A la vez, se utilizan colorantes para decorar la hoja de papel. Un aspecto importante es que la pasta debe ser neutralizada para evitar la descomposición ácida de la hoja, lo que produciría una coloración amarillenta.

3.1.2.6. Caracterización del producto final

El producto final fue caracterizado mediante las normas establecidas a nivel nacional, las cuales son las normas INEN para pulpa, papel y cartón. Se determinó el porcentaje de humedad según la norma NTE INEN 1397, el espesor según la norma NTE INEN 1399 y finalmente el pH según la norma NTE INEN 1418. Se eligieron estas normas porque son las necesarias para determinar si el papel puede ser catalogado como tipo Kraft, el cual es el papel que posee el porcentaje más alto de importaciones a nivel nacional. Además, estas normas pueden ser fácilmente replicables en laboratorio.

Los datos obtenidos, fueron presentados de acuerdo a lo establecido en las normas y estas se compararon con las especificaciones para el papel.

3.2. Presentación y análisis de los resultados

Los primeros datos presentados son las pruebas realizadas para la caracterización del residuo fibroso, con respecto a todos los componentes anteriormente mencionados. Además, se realiza un análisis comparativo de la composición de esta fibra, con respecto a otros residuos obtenidos en la extracción de aceite de palma.

A su vez, se continúa con los resultados obtenidos en las pruebas de experimentación de los métodos y condiciones para fabricar papel. Se debe mencionar que en ambas pruebas, los resultados son presentados en base seca (muestras libres de humedad).

Finalmente, se presentan los datos de los análisis de calidad de las hojas fabricadas, cuyo resultado es necesario para el posterior estudio económico.

3.2.1. Pruebas de caracterización

El polvo de la fibra fue obtenido y secado para conseguir los resultados de las pruebas en base seca. Éste debe ser guardado en bolsas herméticas para evitar que se humedezca. Según las normas TAPPI, se sugiere realizar mínimo tres pruebas para poder tener confiabilidad de los datos obtenidos.

Figura 12. Polvo de fibra seco.



Elaborado por: Autor

3.2.1.1. Extractivos solubles en agua fría

De las pruebas realizadas según la norma TAPPI T 207 cm-99, se determinó el porcentaje de solubles en agua fría mediante la siguiente fórmula:

$$\%_{\text{extractivos}_A} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] * 100$$

Ec. N°1

Donde:

A= Peso inicial anhidro de la muestra (gramos).

B= Peso anhidro de la muestra después de la extracción (gramos).

Con los datos obtenidos de la experimentación, tomando como base la fórmula presentada, se determinaron los siguientes resultados:

Tabla 3. Porcentaje de solubles en agua fría.

Muestra	A	B	% Extraíbles A
Muestra 1	4,29	3,93	8,41
Muestra 2	4,10	3,76	8,42
Muestra 3	4,20	3,86	8,14

Elaborado por: Autor

De las tres réplicas se analizó que la fibra posee en promedio 8,32% de componentes solubles en agua fría. Este porcentaje representa la proporción en la que están presentes taninos, gomas, azúcares, almidones y colorantes.

Si se analiza el porcentaje obtenido, es un valor elevado comparado con fibras madereras utilizadas comúnmente para hacer papel. Por ejemplo, el eucalipto posee un porcentaje de solubles en agua fría de 2% y el pino cuenta con 5%. La diferencia con el porcentaje en la fibra representa que el fruto de la palma africana posee una proporción considerable de almidones y azúcares, como en cualquier fruto de un árbol y no como en el tallo del pino y eucalipto.

Pero no por esto se puede utilizar el fruto para alimento, ya que este porcentaje representa también la presencia de taninos. En la planta los taninos son toxinas que provocan una falta de crecimiento, disminución de la supervivencia y genera rechazo en el animal que lo consuma.

Al realizar el papel estos componentes son fáciles de remover en la etapa de cocción y no son considerados como negativos para el diseño del proceso. También algunos de estos componentes actúan como aglutinantes o pegantes de las fibras, lo cual ayuda a formar la hoja de papel, por ejemplo el almidón, es un aditivo utilizado en la industria para mejorar la unión de las fibras.

3.2.1.2.Extractivos solubles en etanol-benceno

Para la recopilación de los datos se utilizó la norma TAPPI T 204 cm-97, en donde se especifica que los resultados se deben presentar de acuerdo a las siguientes fórmulas.

$$\%_{\text{extractivos}_B} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] * 100$$

Ec. N°2

Donde:

A= Peso inicial anhidro de la muestra (gramos).

B= Peso anhidro de la muestra después de la extracción (gramos).

$$B = Pda - Pd$$

Ec. N°3

Donde:

Pda= Peso del dedal con muestra después de la extracción (gramos).

Pd= Peso del dedal con muestra después de la extracción (gramos).

Según estos datos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Porcentajes de solubles en etanol–benceno.

Muestra	Pda	Pd	A	B	% Extraíbles B
Muestra 1	4,53	4,14	2,11	0,39	4,39
Muestra 2	4,26	3,86	2,02	0,40	4,08
Muestra 3	4,74	4,36	2,05	0,38	4,35

Elaborado por: Autor

Las tres réplicas presentaron porcentajes muy similares, determinando un promedio de 4,27% de solubles en etanol–benceno. Este dato representa la presencia de grasas, ceras y resinas en la fibra.

El valor obtenido es importante para el análisis del aprovechamiento del fruto en la extracción de aceite de palma. Según datos recopilados, el porcentaje de grasas y aceites en el mesocarpio del fruto representan del 30 al 70% de su composición (Carmenatti, Sarmiento, & Santos, 2005). Después del proceso de extracción en La Joya Extrajoya CIA Ltda., se obtiene una fibra con 4,27% de grasas, aceites y demás solubles, esto demuestra que el proceso utilizado en la extractora es eficiente y rentable.

Para un buen papel, es necesario que del mesocarpio de la fruta de palma se extraiga correctamente el aceite, porque este es indeseable para la fabricación de hojas de papel. Además, el valor obtenido se lo puede comparar con el valor de solubles de maderas utilizadas y bambú, en donde el porcentaje rodea entre el 1 al 5% (Teshcke & Demers, 2004).

Figura 13. (A) Muestra libre de extraíbles. (B) Solubles en etanol-benceno.



(A)

(B)

Elaborado por: Autor

3.2.1.3.Extractivos totales

Analizando los datos obtenidos de los dos anteriores métodos de extracción, se obtiene que el porcentaje de solubles en la fibra es de aproximadamente de 12,59%, el cual es un valor alto de extractivos para algunas maderas utilizadas para elaboración de papel.

Para el método de extracción de solubles totales propuesto por Wang y Hart en 1983, no presentó buenos resultados para la determinación de solubles totales, ya que en las cuatro horas del proceso de extracción, no se realizó ningún sifonamiento en el solvente ciclo hexano. Este procedimiento se realizó tres veces con los mismos resultados.

El resto de solventes fueron concentrados en el rotavapor, pero los datos obtenidos no fueron utilizados en la experimentación, debido a que no se pudo determinarlos adecuadamente porque la cantidad del componente era mínima para esta técnica. Por esta razón, los solubles totales se especifican según la sumatoria de los anteriores métodos.

Figura 14. Solvente, utilizado en la extracción, en el rotavapor.



Elaborado por: Autor

3.2.1.4. Holocelulosa

Para cuantificar la cantidad de holocelulosa presente en la fibra, se tomó como referencia la norma ASTM D 1104-56, en donde se establece la siguiente fórmula:

$$\% \text{ holocelulosa} = \frac{\text{peso de holocelulosa } (W_{ho})}{\text{peso inicial de la muestra } (W_i)} \times 100 \quad \text{Ec. N}^{\circ}4$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 5. Porcentaje de holocelulosa.

Muestra	W_{ho}	W_i	% Holocelulosa
Muestra 1	0,56	0,98	57,14
Muestra 2	0,56	0,98	57,31
Muestra 3	0,57	0,98	57,89

Elaborado por: Autor

El porcentaje de holocelulosa obtenido es relativamente menor comparado con árboles comunes como el pino, el cual posee un 67% de holocelulosa. Pero la cantidad obtenida de esta fibra celulósica, no es muy distante al bagazo de la caña de azúcar, que posee un 59% de holocelulosa. Este aspecto es importante, debido a que esta investigación se la puede comparar con la exitosa industrial de papel a partir de caña de azúcar (Barba, 2002).

Figura 15. Holocelulosa obtenida de una muestra libre de extraíbles.



Elaborado por: Autor

3.2.1.5. Celulosa y hemicelulosa

Para realizar la cuantificación de la celulosa y hemicelulosa presente en el residuo fibroso, se basó en la norma ASTM D 1695-77. Los cálculos para determinar estos componentes son los siguientes:

- El peso de celulosa se determina mediante la diferencia entre el peso del crisol con sólidos y el peso del crisol vacío.

- La hemicelulosa se determina mediante la diferencia entre la cantidad inicial de holocelulosa libre de extractivos y la cantidad de celulosa determinada aplicando el cálculo anterior.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 6. Porcentaje de celulosa.

Muestra	W_s	$W_{sin s}$	Celulosa	% Celulosa
Muestra 1	0,86	0,50	0,36	36,04
Muestra 2	0,81	0,45	0,36	36,19
Muestra 3	0,81	0,45	0,36	35,94

Elaborado por: Autor

Tabla 7. Porcentaje de hemicelulosa.

Muestra	W_i	W_c	Hemicelulosa	% Hemicelulosa
Muestra 1	0,57	0,36	0,21	21,28
Muestra 2	0,58	0,36	0,22	21,62
Muestra 3	0,58	0,36	0,22	21,91

Elaborado por: Autor

Estos componentes de la fibra son importantes para establecer el rendimiento que tiene la planta de producción para elaborar papel, debido a que está formado por estos componentes, pero en el proceso se puede perder celulosa y hemicelulosa, provocando que el rendimiento baje.

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 está en el porcentaje de hemicelulosa (Barba, 2002). Como se analizó anteriormente, la hemicelulosa permite la adherencia de las fibras y un porcentaje bajo de este componente provoca el uso de aditivos al momento de formar las hojas de papel.

Figura 16. Celulosa obtenida.



Elaborado por: Autor

3.2.1.6. Cenizas

Mediante la norma TAPPI T 211 om-02, relacionada a la norma ASTM D 1102, se obtienen los resultados, realizando los siguientes cálculos:

$$\%_{Ceniza} = \frac{A * 100}{B}$$

Ec. N°5

Donde:

A= peso de la ceniza (gramos).

B= Peso de la muestra (gramos).

Tabla 8. Porcentaje de cenizas.

Muestra	B	A	% Cenizas
Muestra 1	4,01	0,06	1,57
Muestra 2	4,05	0,06	1,46
Muestra 3	4,00	0,06	1,47

Elaborado por: Autor

El porcentaje de cenizas es proporcional al resto de plantas o árboles utilizados para fabricar papel. Estas cenizas representan a compuestos inorgánicos, especialmente sales minerales con compuestos como calcio, magnesio, potasio y fósforo. Son compuestos

solubles que son retirados en el proceso de cocción de las fibras celulósicas, por esta razón no se afecta al producto final.

3.2.1.7.Lignina

Por falta de reactivos y materiales no fue posible realizar la metodología correspondiente a las normas planteadas, pero este componente se determinó con respecto a un análisis de todos los componentes que deben formar el 100%. Esta fórmula se la puede escribir de la siguiente manera:

$$\text{Lignina} = 100\% - \% \text{ Celulosa} - \% \text{ Hemicelulosa} - \% \text{ Sol. en etanol benceno} - \% \text{ Sol. en agua} - \% \text{ Cenizas} \quad \text{Ec. N}^{\circ}6$$

De las cantidades de cada componente se realizó un promedio para poder determinar la cantidad de lignina, obteniéndose lo siguiente:

Tabla 9. Porcentaje de lignina.

	% Extraíbles B	% Extraíbles A	% Celulosa	% Hemicelulosa	% Cenizas
	4,39	8,41	36,04	21,28	1,57
	4,08	8,42	36,78	21,03	1,46
	4,35	8,14	35,94	21,91	1,47
Promedio =	4,27	8,32	36,25	21,41	1,50
% Lignina =	28,24				

Elaborado por: Autor

El porcentaje de lignina encontrado en la fibra es una cantidad alta comparando con otras fibras madereras. En el caso del pino, este posee alrededor del 26% en lignina pero es alta en holocelulosa, lo cual no es el caso de este residuo fibroso (Barba, 2002).

Se debe notar que el porcentaje alto de lignina es debido a que la palma africana requiere de este componente para su correcto crecimiento, tomando en cuenta las condiciones climáticas en las que se somete. Esto comprueba que la mayoría de los árboles tropicales posee un porcentaje alto de lignina.

3.2.2. La fibra con respecto a otros residuos provenientes de la palma africana

Para comenzar con las pruebas de caracterización se realizó un análisis comparativo de los residuos generados en la extracción de aceite de palma africana. Este análisis se centró en otras investigaciones publicadas, en las que se plantea la factibilidad del uso de uno de estos residuos para generar papel.

El raquis es el residuo que se genera en mayor volumen representando un 55% de los residuos generados. Según algunas investigaciones se determina la composición del raquis y esta se compara con la obtenida del residuo fibroso, mediante la siguiente información (Monsalve, Ochoa, Gómez, & Peñuela, 2011):

Tabla 10. Composición del raquis y residuo fibroso.

Componentes	Raquis	Fibra
Celulosa	29 %	36 %
Hemicelulosa	16 %	21 %
Cenizas	12 %	1.5 %
Lignina	29 %	28 %
Solubles totales	14 %	12 %

Elaborado por: Autor

De los datos presentados, se puede determinar que el rendimiento para fabricar papel es mejor para la fibra, que para el raquis, debido a que la fibra posee mayor cantidad de

celulosa y hemicelulosa. En el caso de la lignina, los dos residuos poseen una proporción similar, lo que implica la utilización de métodos especializados para eliminar este componente.

En algunos proyectos de investigación, se estableció que el raquis es apropiado para fabricar papel pero mediante la utilización de reactivos fuertes en el proceso Kraft, mencionando que existe un problema de adhesión de las fibras para poder formar la hoja (Ríos, 2008). En otras investigaciones, se realizó un análisis de los índices de calidad utilizados para fibras madereras y se estableció que el raquis no es apropiado para generar papel debido al grosor de la fibra, pero no se experimentó con este residuo para formar la hoja (González, 2005).

Otro residuo generado de la palma africana son las hojas, estas se generan en grandes cantidades y deben ser cortadas del árbol para ayudar a la fotosíntesis y al crecimiento de la planta. Se estableció que estas hojas son factibles para generar hojas de papel. Se experimentó que mediante un proceso semiquímico junto a un minucioso proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y bórax, se obtuvieron hojas de papel de buena calidad (Gómez, 2004). Lastimosamente, por falta de información, no se pudo comparar la composición de la fibra con la de las hojas de palma africana.

3.2.3. Pruebas experimentales

Los resultados de estas pruebas son necesarios para el posterior diseño del proceso y análisis económico. De todos los datos que se presentan a continuación, los más importantes son los rendimientos y las hojas formadas, ya que de acuerdo a estos valores, se realiza la elección del método de fabricación.

3.2.3.1. Selección del método de fabricación

Los siguientes datos son los resultados obtenidos de la experimentación con los cuatro métodos planteados para la formación de la pasta celulósica. Los datos son basados en una cocción directa realizada de la siguiente manera:

Figura 17. Cocción directa de las fibras.



Elaborado por: Autor

En todos los métodos se mantuvieron constantes la concentración y la humectación, debido a que de esta manera, estos factores no afectarían al rendimiento de cada método. La concentración fue de 3 g de NaOH/100 ml de solución, en una relación 10 de solución en 1 de residuo fibroso y la humectación de 12 horas.

Se debe mencionar que los rendimientos se basaron en la masa inicial ubicada en el proceso de cocción y la obtenida después del blanqueo. Se despreció la masa perdida en el proceso de humectación debido a que este valor no es necesario para el escalamiento industrial.

3.2.3.1.1. Método Químico

El método se basa en un tratamiento de las fibras con reactivos químicos que permitan la eliminación de la lignina. Se realizaron las tres etapas del proceso de fabricación (humectación, cocción y blanqueamiento) y se determinó si fue correcta la formación de la hoja de papel.

Tabla 11. Rendimiento método químico.

HUMECTACIÓN		
PESO INICIAL	100	g
PESO FINAL	75	g
Rendimiento	75	%

COCCIÓN		
Tiempo cocción	3	horas
Masa después de secado	557	g
Peso del recipiente	509	g
Masa total seca	48	g
Rendimiento	64	%

BLANQUEAMIENTO		
Masa utilizada	48	g
Tiempo de blanqueado	12	horas
Peso del recipiente	269,20	g
Masa seca	30,30	g
Rendimiento	63,12	%

Rendimiento total=	40,40	%
---------------------------	--------------	----------

Elaborado por: Autor

Se estableció que el rendimiento total del método es de 40.40%, lo cual es un porcentaje alto para este tipo de fibra considerando que en el proceso se está eliminando toda la

cantidad de lignina, solubles totales, parte de hemicelulosa y celulosa como en cualquier método de fabricación de papel.

Pero comparando con otros procesos de fabricación de papel, el rendimiento es bajo debido al ablandamiento que posee esta fibra por haberla sometido previamente al proceso de extracción de aceite, provocando una fuerte reacción, en donde se elimina la lignina y el resto de los componentes.

- ★ Se obtuvo una hoja de papel sin la necesidad del uso de aditivos, lo que significa que existe una unión adecuada entre las fibras provocando una hoja de buena calidad. Además, el no utilizar aditivos, impide la mayor contaminación de los efluentes dentro del proceso.

3.2.3.1.2. Método Semiquímico 1

Este método se basa en una cocción y blanqueo de las fibras con los reactivos químicos mencionados, pero existe un tratamiento previo de las fibras que consiste en una pulverización de la materia. El polvo resultante se tamizó a través de una malla número 40 y lo que quedó retenido, se recolectó en un tamiz con malla número 60. Esta preparación de las fibras permitió una reacción más fuerte sobre los componentes de la fibra, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 12. Rendimiento método semiquímico 1.

HUMECTACIÓN		
PESO INICIAL	200	g
PESO FINAL	130	g
Rendimiento	65	%

COCCIÓN		
Tiempo cocción	3	horas
Peso inicial	65	g

Peso después de secado	227	g
Peso del recipiente	185	g
Masa total seca	27	g
Rendimiento	41,53	%

BLANQUEAMIENTO		
Masa utilizada	27	g
Tiempo de blanqueado	12	horas
Peso del recipiente	186,40	g
Masa seca	9,30	g
Rendimiento	34,44	%

Rendimiento total=	14,31	%
---------------------------	--------------	----------

Elaborado por: Autor

El rendimiento obtenido mediante este método es bajo debido a que la partícula de la fibra es muy fina y permitió que el reactivo eliminara gran parte de los componentes. Además, se complicaron los lavados que deben realizarse a la fibra para eliminar los componentes químicos, esto provocó que entre cada etapa se perdiera parte del residuo fibroso pulverizado.

- ★ La hoja de papel fue adecuada y formada sin necesidad del uso de aditivos.

3.2.3.1.3. Método Semiquímico 2

Al igual que en el anterior método, se trató a las fibras con hidróxido de sodio para la etapa de cocción. La diferencia está en que no se realizó una preparación de la materia prima, sino que antes de la etapa de blanqueo la fibra fue pulverizada, tamizada a través de una malla número 40 y recolectada en un tamiz con malla número 60. Este polvo, previamente sometido a la etapa de cocción, fue blanqueado obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 13. Rendimiento método semiquímico 2.

HUMECTACIÓN		
PESO INICIAL	100	g
PESO FINAL	72	g
Rendimiento	72	%

COCCIÓN		
Tiempo cocción	3	horas
Peso inicial	72	g
Peso después de secado	229	g
Peso del recipiente	185	g
Masa total seca	44	g
Rendimiento	61,11	%

BLANQUEAMIENTO		
Masa utilizada	44	g
Tiempo de blanqueado	12	horas
Peso del recipiente	185	g
Masa seca	13,70	g
Rendimiento	31,14	%

Rendimiento total=	19,03	%
---------------------------	--------------	----------

Elaborado por: Autor

El rendimiento de este método es bajo pero es mayor que el método semiquímico 1, ya que no hubo una pérdida alta de hemicelulosa y celulosa en el proceso de cocción por que la fibra no estaba pulverizada.

Al momento de realizar el blanqueo se presentaron varios problemas para controlar la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno. Como la fibra fue pulverizada para esta etapa, las trazas de metales constituyentes de las fibras aun se encontraban en ellas, lo que fomentaba una aceleración de la reacción produciéndose su

descomposición, que resultó en pérdida del reactivo, del residuo y un mal blanqueo de las fibras.

- ★ Se formó la hoja de papel pero en esta no se obtuvo el color blanco deseado.

3.2.3.1.4. Método mecánico

En este método se eliminó la etapa de cocción y se realizó el mismo tratamiento previo de la materia prima que en el método semiquímico 1. Se procedió a la etapa de blanqueo de igual manera que en el método químico.

Tabla 14. Rendimiento método mecánico.

HUMECTACIÓN		
PESO INICIAL	200	g
PESO FINAL	130	g
Rendimiento	65	%

BLANQUEAMIENTO		
Masa utilizada	65	g
Tiempo de blanqueado	12	horas
Peso del recipiente	186,40	g
Masa seca	35	g
Rendimiento	53,85	%

Rendimiento total=	53,85	%
---------------------------	--------------	----------

Elaborado por: Autor

Se obtuvo un rendimiento alto como es característico de cualquier método mecánico para fabricar papel. Este rendimiento es resultado de la no eliminación de la lignina, sino en un ablandamiento de esta.

- ★ No se obtuvo una hoja de papel adecuada debido a que gran cantidad de lignina no fue eliminada en el proceso, por esta razón fue necesaria la aplicación de aditivos para formarla.

Los aditivos aplicados fueron:

- Extracto de la semilla de linaza: esta es utilizada como pegamento vegetal pero su acción es fuerte, lo cual provocó una hoja dura con apariencia de madera. El extracto fue obtenido mediante la cocción de la linaza con agua (1:4) durante 20 minutos de ebullición constante.

Figura 18. (A) Extracto de semillas de linaza; (B) Extracto con el residuo.



(A)

(B)

Elaborado por: Autor

- Almidón de papa: al no obtener buenos resultados con la semilla de linaza, se optó por obtener almidón de papá, el cual es utilizado comúnmente en la industria para mejorar la adhesión de las fibras celulósica en el papel. Al almidón se le puede agregar reactivos que impidan la descomposición del papel por la acción de microorganismos. Con este aditivo se logró una buena formación de las hojas, por esto se recomienda el uso de éste para el método mecánico.

Figura 19. Almidón obtenido.



Elaborado por: Autor

Con los datos presentados 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** debido que se desea reducir costos y aplicar producción más limpia pero en el método mecánico esto se complica debido al uso necesario de aditivos.

3.2.3.2. Selección del procedimiento de cocción

La cocción es la primera etapa fundamental del proceso de fabricación. En esta se elimina gran parte de la lignina y se obtiene la pasta celulósica y el licor negro que puede ser aprovechado industrialmente. Se experimentó con dos métodos para formar la pasta celulósica.

El primer método consiste en la cocción directa de las fibras. Se estableció que en este proceso se debe tener cuidado con los vapores generados. Como la reacción se realiza en temperatura de ebullición, la muestra requiere de agitación constante para evitar derrames de la solución.

Figura 20. Procedimiento de cocción 1.



Elaborado por: Autor

En este procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 15. Rendimiento y análisis del procedimiento de cocción 1.

COCCIÓN		
Peso de la muestra	100	g
Tiempo cocción	3	horas
Masa después de secado	574	g
Peso de la olla	509	g
Masa total seca	65	g
Rendimiento	65	%
Análisis de la hoja de papel obtenida: Mala adición entre las fibras. Presencia de lignina en la pasta celulósica, dificultando el blanqueo. Pérdida del licor negro por evaporación de la solución.		

Elaborado por: Autor

Se presentaron algunas complicaciones detalladas anteriormente y no se obtuvo la calidad deseada del producto, por esta razón se experimentó con el segundo procedimiento.

El siguiente proceso se basa en un método de laboratorio, cuyo fundamento es una cocción directa pero utilizando una recirculación de los vapores generados, eliminando el riesgo de estar en contacto con estos y pudiendo recuperar completamente al licor negro.

Se determinó que el procedimiento se puede mejorar envolviendo al balón con papel aluminio para favorecer a la transferencia de calor. De esta manera, se consiguió que la ebullición sea constante y que se no produzca de una manera explosiva.

Figura 21. Procedimiento de cocción 2.



Elaborado por: Autor

Aplicando este procedimiento se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 16. Rendimiento y análisis del procedimiento de cocción 2.

COCCIÓN		
Peso de la muestra	50	g
Tiempo cocción	1	hora
Masa después de secado	269	g
Peso de la olla	240	g
Masa total seca	29	g
Rendimiento	58	%
<p>Análisis de la hoja de papel obtenida: Buena adición entre las fibras. Buena formación de las hojas. Recuperación del licor negro por evaporación de la solución.</p>		

Elaborado por: Autor

Aunque el rendimiento sea inferior al anterior procedimiento, se eligió al procedimiento 2 para realizar la experimentación y réplicas de acuerdo a condiciones planteadas. La decisión se basó en la calidad de la pasta celulósica formada y que el rendimiento de cocción no es bajo.

El tiempo de reacción obtenido es de una hora. Se planteo trabajar a una hora y media, pero no se obtuvieron diferencias significativas entre las pastas formadas. Por esta razón se optó por el menor tiempo de reacción.

3.2.3.3. Selección del procedimiento de blanqueo

En la etapa de blanqueo fue necesaria la experimentación debido a que con un solo lavado con peróxido de hidrógeno no se obtuvieron los resultados deseados. Fue necesarios tres lavados en periodos de 3 horas. Tomando en cuenta que se debe utilizar peróxido de hidrógeno al 30% en volumen en una relación 10:1. Debido al fuerte tratamiento al que deben estar sometidas las fibras, existió una pérdida de celulosa y hemicelulosa.

En la siguiente figura se puede observar la tonalidad inicial y final obtenidas por la realización de las etapas de blanqueo, sin olvidar que el rendimiento total es de aproximadamente de 56%.

Figura 22. Etapas de blanqueo.



Elaborado por: Autor

3.2.3.4. Selección de las condiciones y determinación del rendimiento del proceso.

Los datos presentados a continuación son los rendimientos de cada procedimiento, variando la concentración y tiempo de humectación para el método químico seleccionado y el blanqueo de tres etapas.

Para dar mayor confiabilidad de los resultados, se realizaron dos réplicas de cada proceso.

- **Concentración: 3 g NaOH /100 ml de solución**

Tabla 17. Rendimiento total para una concentración de 3 g NaOH/100 ml de solución y 12 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento total
Humectación = 12 horas				
Cocción	Peso inicial	50	g	38,10
	Peso final	29,46	g	
Blanqueo	Peso inicial	29,46	g	
	Peso final	19,05	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento total
Humectación = 12 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	38,48
	Peso final	23,60	g	
Blanqueo	Peso inicial	23,60	g	
	Peso final	15,39	g	

Elaborado por: Autor

Tabla 18. Rendimiento total para una concentración de 3 g NaOH/ 100 ml de solución y 24 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 24 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	37,85
	Peso final	23,56	g	
Blanqueo	Peso inicial	23,56	g	
	Peso final	15,14	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 24 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	37,925
	Peso final	23,90	g	

Blanqueo	Peso inicial	23,90	g	
	Peso final	15,17	g	

Elaborado por: Autor

Tabla 19. Rendimiento total para una concentración de 3 g NaOH/100 ml de solución y 36 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 36 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	37,55
	Peso final	23,67	g	
Blanqueo	Peso inicial	23,67	g	
	Peso final	15,02	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 36 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	37,05
	Peso final	22,16	g	
Blanqueo	Peso inicial	22,16	g	
	Peso final	14,82	g	

Elaborado por: Autor

- **Concentración: 5 g NaOH /100 ml de solución**

Tabla 20. Rendimiento total para una concentración de 5 g NaOH/100 ml de solución y 12 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento total
Humectación = 12 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	33,78
	Peso final	21,03	g	
Blanqueo	Peso inicial	21,03	g	
	Peso final	13,51	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento total
Humectación = 12 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	34,33
	Peso final	21,05	g	
Blanqueo	Peso inicial	21,05	g	
	Peso final	13,73	g	

Elaborado por: Autor

Tabla 21. Rendimiento total para una concentración de 5 g NaOH/100 ml de solución y 24 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 24 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	33,63
	Peso final	21,02	g	
Blanqueo	Peso inicial	21,02	g	
	Peso final	13,45	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 24 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	33,98
	Peso final	21,14	g	
Blanqueo	Peso inicial	21,14	g	
	Peso final	13,59	g	

Elaborado por: Autor

Tabla 22. Rendimiento total para una concentración de 5 g NaOH/100 ml de solución y 36 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 36 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	33,40
	Peso final	21,05	g	
Blanqueo	Peso inicial	21,05	g	
	Peso final	13,36	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 36 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	33,68
	Peso final	20,98	g	
Blanqueo	Peso inicial	20,98	g	
	Peso final	13,47	g	

Elaborado por: Autor

- **Concentración: 7 g NaOH /100 ml de solución**

Tabla 23. Rendimiento total para una concentración de 7 g NaOH/100 ml de solución y 12 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento total
Humectación = 12 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	30,93
	Peso final	19,45	g	
Blanqueo	Peso inicial	19,45	g	
	Peso final	12,37	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento total
Humectación = 12 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	31,05
	Peso final	19,83	g	
Blanqueo	Peso inicial	19,83	g	
	Peso final	12,42	g	

Elaborado por: Autor

Tabla 24. Rendimiento total para una concentración de 7 g NaOH/100 ml de solución y 24 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 24 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	31,03
	Peso final	19,57	g	

Blanqueo	Peso inicial	19,57	g	
	Peso final	12,41	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 24 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	30,80
	Peso final	19,23	g	
Blanqueo	Peso inicial	19,23	g	
	Peso final	12,32	g	

Elaborado por: Autor

Tabla 25. Rendimiento total para una concentración de 7 g NaOH/100 ml de solución y 36 horas de humectación.

Réplica 1

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 36 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	30,65
	Peso final	19,10	g	
Blanqueo	Peso inicial	19,10	g	
	Peso final	12,26	g	

Réplica 2

Proceso	Peso	Datos	Unidades	Rendimiento Total
Humectación = 36 horas				
Cocción	Peso inicial	40	g	30,823
	Peso final	19,14	g	
Blanqueo	Peso inicial	19,14	g	
	Peso final	12,33	g	

Elaborado por: Autor

A partir de las muestras iniciales y finales se determinaron los rendimientos de cada etapa y del proceso en general. Es necesario presentar los rendimientos en conjunto para poder analizarlos y ver los cambios que existen por la variación de la concentración y

del tiempo. Por esta razón, a continuación se presentan los rendimientos con el objetivo de elegir el proceso más óptimo para la formación de la hoja de papel.

Tabla 26. Rendimientos para cada etapa en una concentración de 3 g NaOH/100 ml de solución.

Humectación	Procedimiento	Rendimiento	Rendimiento Total
12 horas	Cocción	58,92	38,29
	Blanqueo	64,66	
	Formación de hoja	✓	
24 horas	Cocción	58,90	37,89
	Blanqueo	64,26	
	Formación de hoja	✓	
36 horas	Cocción	59,18	37,30
	Blanqueo	63,45	
	Formación de hoja	✓	

Elaborado por: Autor

Tabla 27. Rendimientos para cada etapa en una concentración de 5 g NaOH/100 ml de solución.

Humectación	Procedimiento	Rendimiento	Rendimiento Total
12 horas	Cocción	52,57	34,05
	Blanqueo	64,24	
	Formación de hoja	✓	
24 horas	Cocción	52,55	33,80
	Blanqueo	63,99	
	Formación de hoja	✓	
36 horas	Cocción	52,63	33,54
	Blanqueo	63,47	
	Formación de hoja	✓	

Elaborado por: Autor

Tabla 28. Rendimientos para cada etapa en una concentración de 7 g NaOH/100 ml de solución.

Humectación	Procedimiento	Rendimiento	Rendimiento Total
12 horas	Cocción	48,63	30,99
	Blanqueo	63,60	
	Formación de hoja	✓	
24 horas	Cocción	48,92	30,91
	Blanqueo	63,41	
	Formación de hoja	✓	
36 horas	Cocción	47,75	30,74
	Blanqueo	64,19	
	Formación de hoja	✓	

Elaborado por: Autor

Observando los datos 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, esta 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 la concentración de **3 g NaOH por cada 100 ml** (0,75 molar) de solución requerida, porque implica un buen producto, alto rendimiento y disminuye el costo generado por el uso de reactivos.

En el caso del blanqueamiento, todos los rendimientos son parecidos, porque no se variaron concentraciones y tiempo de reacción para ningún caso. Los rendimientos de

blanqueo varían desde 63 a 64%. Esta variación se presentó por la dificultad del método y pérdida de la fibra, complicando establecer un rendimiento exacto.

De esta manera, se establece que el método utilizado para el escalamiento industrial es el que posea una humectación de 12 horas y concentración de 3 g NaOH por cada 100 ml de solución, determinando un rendimiento total del proceso de alrededor de 38%.

3.2.4. Caracterización del producto final

Para determinar el porcentaje de humedad la norma NTE INEN 1397, establece que se presenten los resultados como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 29. Porcentaje de humedad.

HOJA DE DATOS		
Papel: Muestra 1	Fecha:	14/07/2014
	Tiempo:	10H00
	Máquina	
	N°:	1
	Rollo N°:	1
<u>Porcentaje de humedad</u>		
ANTES DE SECAR:		
Peso bruto húmedo	196,39	g
Peso húmedo con tara (botella)	194,36	g
Peso neto húmedo	2,03	g
DESPUÉS DE SECADO AL HORNO		
Peso bruto seco	196,23	g
Peso seco tarado	194,36	g
Peso neto seco	1,87	g
CÁLCULOS		
Peso neto húmedo	2,03	g
Peso neto seco	1,87	g
Humedad neta	0,16	g
% de humedad	7,69	%

Elaborado por: Autor

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,

se determinó que la hoja posee un espesor de **0,23mm**, según lo establecido en la norma NTE INEN 1399.

Según la norma NTE INEN 1429 se presentan las especificaciones para papel tipo Kraft, y estas serán comparadas como las obtenidas.

Tabla 30. Especificaciones para papel tipo Kraft.

REQUISITOS	Unid.	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Gramaje	g/m ²	127		146		161	
Humedad	%	7	8,5	7	8,5	7	8,5
Espesor	mm	0,2	0,25	0,23	0,28	0,3	0,3

Fuente: (INEN, 2014)

Se observa que los datos obtenidos concuerdan con las especificaciones requeridas. A la vez, con esta información se puede establecer que se requiere de un **gramaje de 146g por m²**, este valor es utilizado para elegir los rodillos necesarios a nivel industrial para alcanzar el valor requerido. Finalmente, se presenta en la Figura 23 el producto final obtenido mediante el método químico, utilizando las cuatro etapas del proceso artesanal con las condiciones elegidas como óptimas.

Figura 23. Papel obtenido mediante el método químico artesanal.



Elaborado por: Autor

3.3. Aplicación práctica

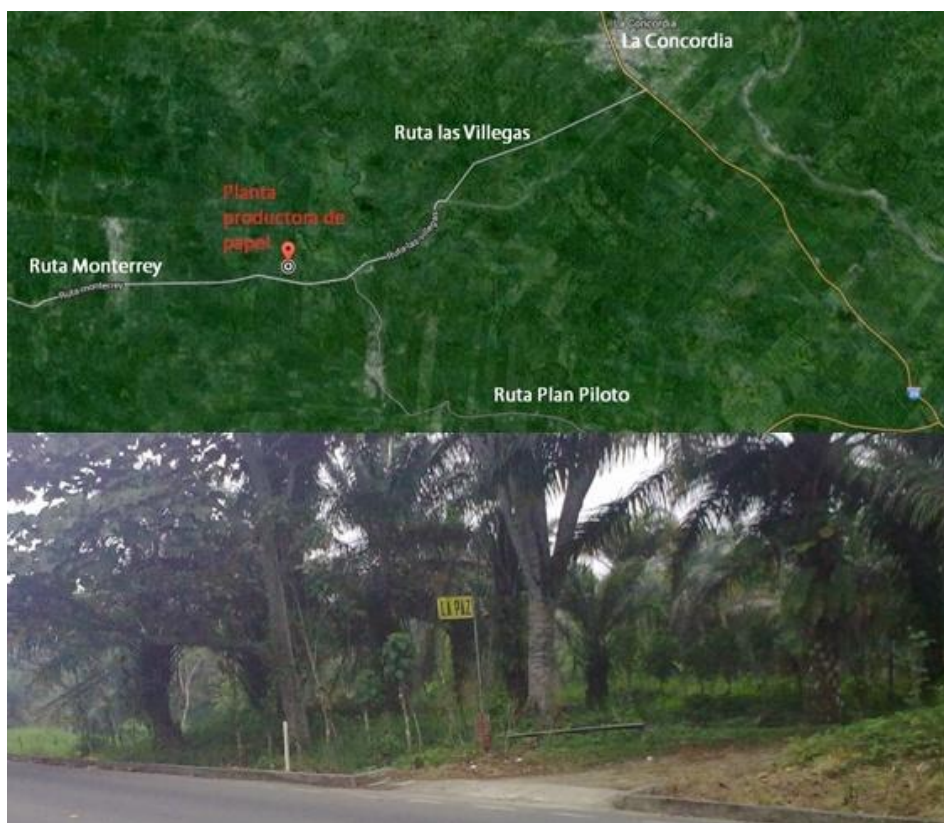
Los datos obtenidos anteriormente se utilizaron para realizar un análisis de la demanda, el diseño de la planta y finalmente un análisis económico. Siendo necesarios estos estudios para la implementación de una planta sustentable de fabricación de papel a partir del residuo fibroso. Ya que si no se lo realiza, se seguirá desarrollado un grave problema medio ambiental, fomentando una industria papelería insostenible, debido al requerimiento de árboles madereros como materia prima y por la contaminación generada.

3.3.1. Localización de la planta

La planta estará ubicada en el kilómetro 10 en la vía a la Villegas. Esta localización fue determinada debido a la cercanía a la Extractora de Aceite de Palma “La Joya Extra Joya” CIA. Ltda. El motivo principal de la elección es que el terreno no representará un costo para la empresa, debido a que éste se posee.

Un aspecto importante, es que la planta está localizada próxima a la materia prima y a insumos y posee todos los servicios necesarios para su funcionamiento. El aspecto negativo es la lejanía a los consumidores ubicados en ciudades principales como Quito y Guayaquil.

Figura 24. Ubicación de la planta.



Fuente: (Google Inc, 2014)

3.3.2. Estudio de la demanda

La demanda que se desea satisfacer son las importaciones de papel que realiza el Ecuador cada año. Los datos de importaciones son las realizadas en el año 2013. Se determinó que las importaciones fueron de 420.141,56 toneladas al año de papel tipo Kraft. Lo que significa una producción de 8752,95 toneladas a la semana (Instituto Nacional de Preinversión, 2013).

Para intentar cubrir parte de esta demanda es necesario saber qué cantidad de materia prima es generada en la procesadora 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. Además, se conoce que la capacidad de producción de la

extractora de aceite de palma “La Joya Extra Joya” CIA. Ltda., es de aproximadamente de 9 toneladas por hora (1080 ton/semana) de fruta fresca, produciéndose alrededor de 130 toneladas de fibra a la semana, pero no todo este residuo es 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.

A partir del 70% de la fibra que es utilizada como materia prima se puede determinar la cantidad de papel generado con respecto al rendimiento del proceso seleccionado anteriormente, produciéndose los siguientes datos:

Tabla 31. Demanda satisfecha con respecto a la producción de la extractora.

	Cantidad	Unidades
Fruta	9	ton/hora
Fibra Total	1080	ton/semana
Fibra como MP	129,60	ton/semana
Papel	90,72	ton/semana
Demanda cubierta	34,47	ton/semana
	0,39	%

Elaborado por: Autor

El porcentaje de demanda cubierta es bajo, por esta razón son presentadas dos opciones que pueden ser tomadas en cuenta para incrementar significativamente al porcentaje de demanda que se desea cubrir.

La primera opción es basarse en la producción de residuo de las extractoras cercanas a la ubicación de la planta. La extractoras son consideradas como cercanas si están a una distancia menor de 20 km, lo que representa 15 minutos para llegar al destino (vía terrestre). De esta manera, se establecieron 8 extractoras cercanas con sus respectivas capacidades de producción (ANCUPA y FEDEPAL, 2005).

Tabla 32. Demanda satisfecha con respecto a la producción de extractoras cercanas.

	Extractor	Ubicación	Capacidad	Unidades
1	SOPALIN	La Independencia	19	ton/h
2	CIESPAL	Santo Domingo	10	ton/h
3	ATAHUALPA	Monterrey	9	ton/h
4	EPASEM	Quinindé Km 08	9	ton/h
5	LA JOYA	Villegas	9	ton/h
6	SAN DANIEL	Plan Piloto	9	ton/h
7	ROBLAMA	Monterrey	7	ton/h
8	PALNOREC	Plan Piloto	3	ton/h
Total fruta			75	ton/h
			Cantidad	Unidades
			9	ton/h
Total fibra			1512	ton/semana
Fibra como M.P.			1058,4	ton/semana
Papel			402,19	ton/semana
Demanda satisfecha			4,59	%

Elaborado por: Autor

El porcentaje de demanda es bajo pero puede ser considerado como óptimo al ser una empresa pequeña, que está entrando al mercado. Además, para las extractoras no significaría un viaje costoso y largo para llegar a la planta y la venta de su residuo puede ser considerado como un ingreso más.

La segunda opción es mediante el análisis de la demanda con respecto a extractoras ubicadas alrededor de la planta, abarcando empresas que estén ubicadas hasta 40 minutos de distancia, determinando los siguientes datos.

Tabla 33. Demanda satisfecha con respecto a la producción de extractoras cercanas y lejanas a la planta.

	Extractor	Ubicación	Capacidad	Unidades
1	PALMERAS DE LOS ANDES	Quinindé	32	ton/h
2	PALCIEN	Quinindé	25	ton/h

3	PALDUANA	Quinindé	20	ton/h
4	SOPALIN	La Independencia	19	ton/h
5	UNPAL	Quinindé	18	ton/h
6	PEXA	Quinindé	16	ton/h
7	ALZAMORA CORDOVEZ	Quinindé	15	ton/h
8	AGROSEXTA	Quinindé	12	ton/h
9	ALQUISA	Quinindé	12	ton/h
10	DANAYMA	Quinindé	12	ton/h
11	CIESPAL	Santo Domingo	10	ton/h
12	ATAHUALPA	Monterrey	9	ton/h
13	EPASEM	Quinindé Km 08	9	ton/h
14	LA JOYA	Villegas	9	ton/h
15	SAN DANIEL	Plan Piloto	9	ton/h
16	ACEITPLACER	Quinindé	9	ton/h
17	TARRAGONA	Quinindé	9	ton/h
18	INEXPAL	Quinindé	9	ton/h
19	OLEAGINOSAS DEL ECUADOR	Quinindé	9	ton/h
20	ROBLAMA	Monterrey	7	ton/h
21	AGRÍCOLA LA CONCORDIA	Quinindé	6	ton/h
22	NAPOLIS	Quinindé	6	ton/h
23	PALNOREC	Plan Piloto	3	ton/h
24	LA MERCED	Quinindé	3	ton/h
Total fruta			288	ton/h
			Cantidad	Unidades
			34,56	ton/h
Total fibra			5806,08	ton/semana
Fibra como M.P.			4064,26	ton/semana
Papel			1544,42	ton/semana
Demanda			17,64	%

Elaborado por: Autor

El porcentaje de demanda es alto, ya que representa un gran mercado a nivel nacional. Como la cantidad de fibra es alta, la planta de producción de papel debe ser del tamaño suficiente para garantizar el producto deseado, lo cual representan mayores costos de producción. El tamaño de los recipientes y demás equipos necesarios para la producción deben ser proporcionales, con un costo superior a las anteriores opciones.

Por las razones anteriores, se establece cubrir el 4,59% de la demanda insatisfecha nacional, tomando también los residuos generados por las extractoras cercanas. Mediante esta opción se desarrolló el diseño de la planta.

3.3.3. Diseño del proceso

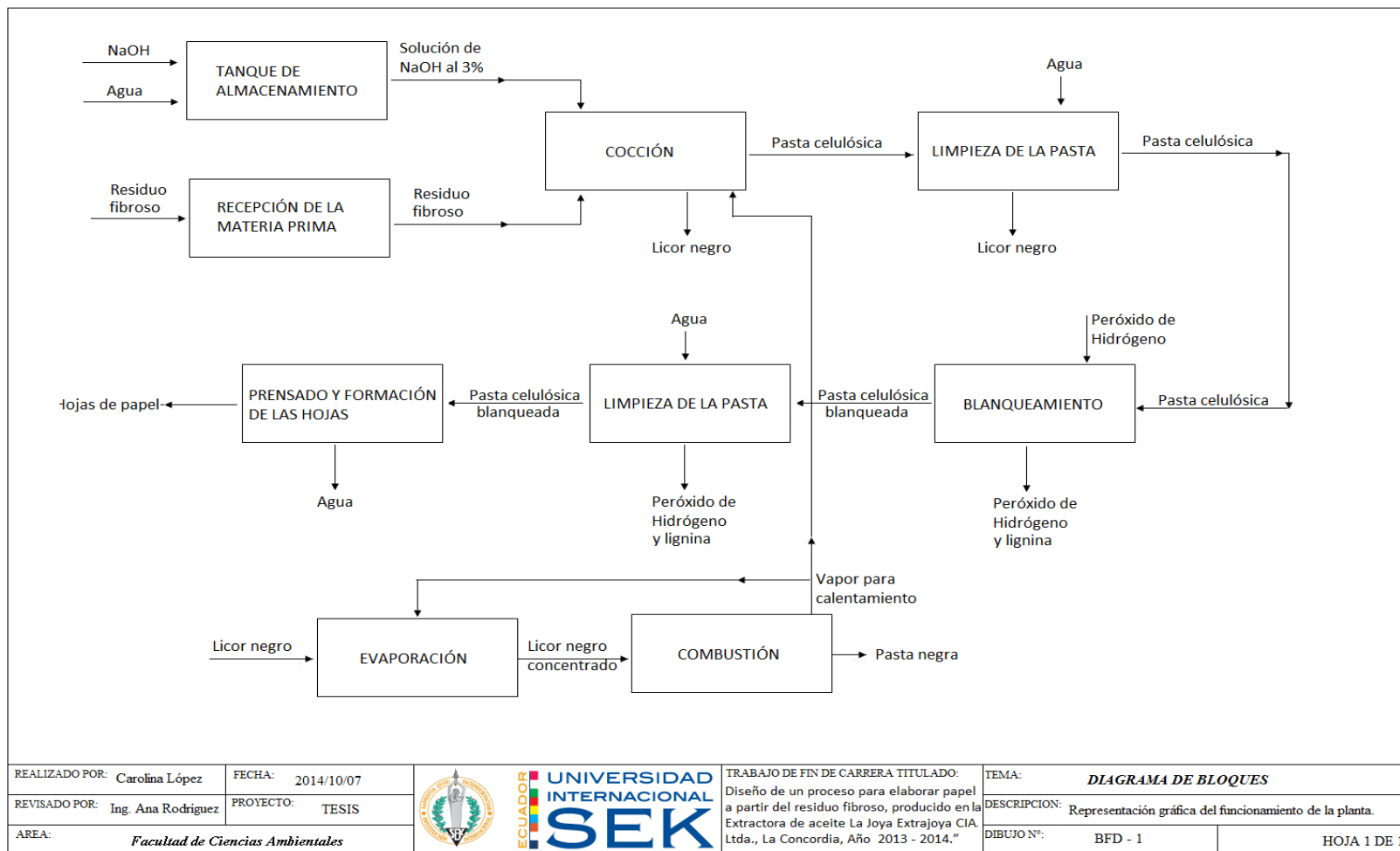
La planta poseerá una carga de producción de 402,19 toneladas por semana, garantizando el porcentaje que se desea satisfacer de la demanda. La producción se efectuará por procesos tipo Bach o en lotes, pero el tiempo de producción será determinado según el proceso más lento, ya que a partir de éste deben balancearse las líneas de producción evitando cuellos de botella (demoras en el proceso).

Se determina que la planta cumplirá con dos lotes de producción, implicando un periodo de trabajo de 18 horas, que serán cumplidos con dos turnos de trabajo. Si no se realizan los dos turnos significaría que la demanda diaria deberá ser cumplida en un solo lote, provocando que los tamaños de los recipientes sean significativamente grandes y se aumentarían los costos de implementación de la planta. Al realizar los dos turnos se incrementará el costo de producción, específicamente en mano de obra y servicios básicos.

Mediante la demanda establecida anteriormente, se determinó que serán necesarias 4,2 toneladas de fibra por lote, con lo cual se producirán 1,59 toneladas de papel en cada lote. Esta cantidad de producto fabricado fue determinada mediante el rendimiento total del proceso obtenido de las pruebas experimentales.

3.3.3.1. Diagrama de bloques

Figura 25. Diagrama de bloques.



3.3.3.2. Descripción del proceso y balance de materia

A continuación, se detalla el proceso con los respectivos equipos seleccionados y corrientes de entrada y salida. A la vez, se determinó que los componentes de las corrientes son celulosa, hemicelulosa, lignina, cenizas, solubles, agua, hidróxido de sodio y peróxido de sodio.

Las corrientes de entrada a la planta son el residuo fibroso, cuya cantidad fue determinada por medio de la demanda que se desea cubrir. Otras corrientes son hidróxido de sodio y agua que entran al tanque de almacenamiento, en donde se realiza la solución necesaria para la reacción.

Las fibras y pulpas son transportadas por medio de transportadores de banda a los recipientes y a los procesos de limpieza. En el caso de fluidos, estos deben ser transportados a los recipientes y equipos por medio de bombas centrífugas.

La limpieza del residuo fibroso es por medio de boquillas de aspersión, pero las pulpas deben ser lavadas con filtros prensa, utilizando agua y presión para eliminar impurezas y los reactivos utilizados en los recipientes. Lo positivo de los filtros es que no utilizan una gran cantidad de agua y las pulpas finales poseen una humedad baja.

En el proceso existen dos equipos fundamentales para fabricar el papel, estos son los recipientes utilizados para la cocción y el blanqueo. El recipiente de cocción es el que posee la mayor capacidad, ya que debe recibir toda la cantidad de fibra y reactivos para cumplir con la demanda. Este recipiente posee un serpentín que permite el calentamiento de las fibras y reactivos, alcanzando los 170°C requeridos.

En los dos recipientes se conocen los rendimientos determinados experimentalmente, pero no se conoce la cantidad de lignina eliminada en cada etapa de deslignificación,

solo se puede saber que la concentración final de todo el proceso es cero. Como los rendimientos son parecidos, se asumió que se eliminará el 50% de la concentración de lignina en la primera etapa de deslignificación y en la segunda el porcentaje restante. Estas asunciones son necesarias para el balance de materia y para determinar la cinética de la reacción en los dos recipientes. Cabe mencionar, que estos porcentajes deberán ser comprobados posteriormente en futuras investigaciones que complementen a la presente.

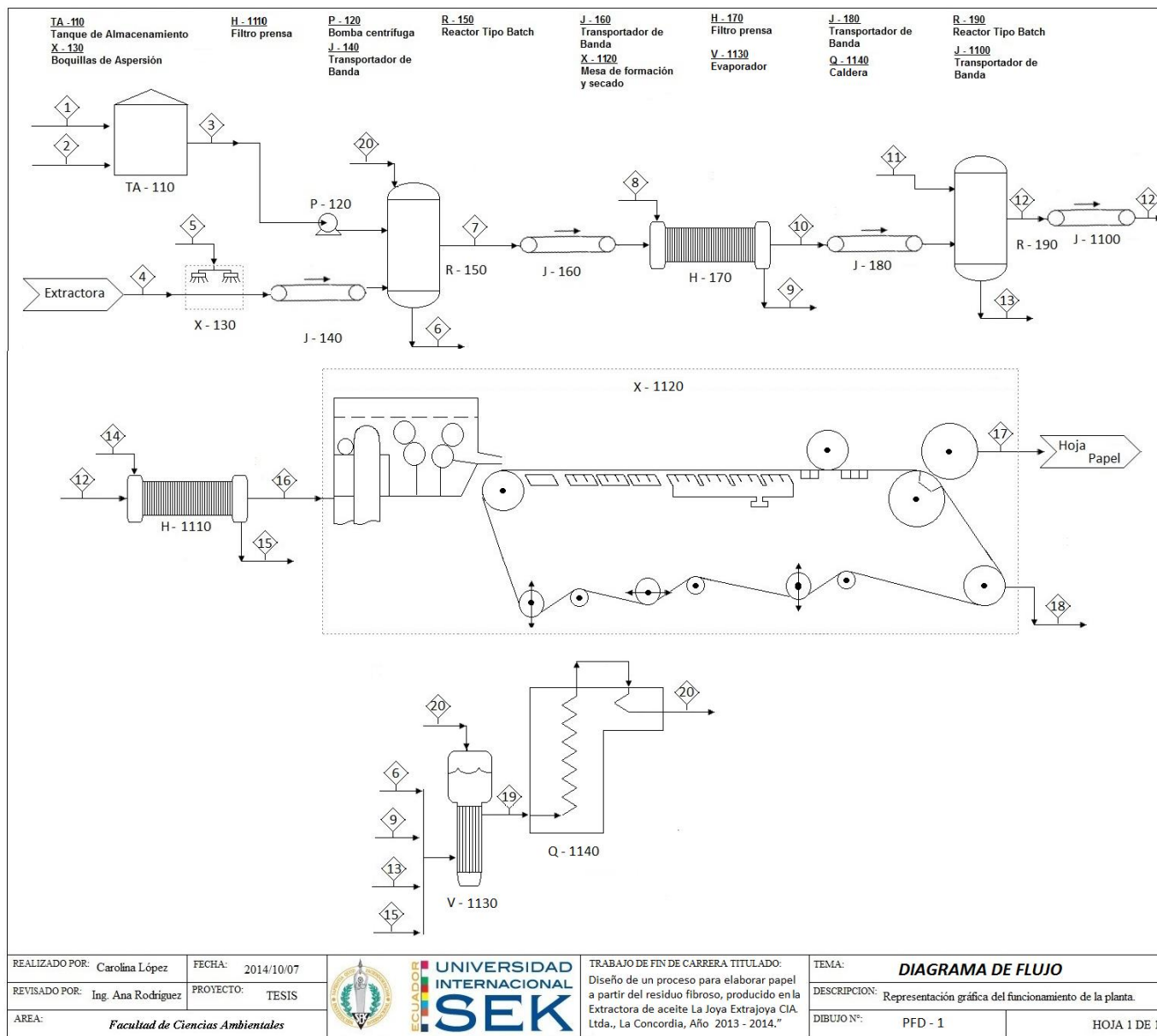
Existen corrientes residuales que deben ser tratadas. En el caso de las corrientes de licor negro estas pueden ser aprovechadas por medio de un evaporador que concentra a la solución para ingresar a un caldero. En este equipo se genera vapor para calentar al recipiente de cocción y el vapor puede ser condensado para obtener agua y reducir el volumen utilizado de este insumo.

Finalmente, las hojas de papel salen del proceso en rodillos. Estos están ubicados en la mesa de fabricación que reducen el espesor de la pasta, forman la hoja, la seca y el producto sale en cilindros con el peso requerido. En este equipo, se determina el espesor, gramaje y área requerida para el producto final, cumpliendo con las normas INEN establecidas.

El balance de masa detallado se puede encontrar en el ANEXO 2.

3.3.3.3. Diagrama de flujo

Figura 26. Diagrama de flujo.



Elaborado por: Autor

3.3.3.4. Diseño del tanque de almacenamiento

Muy sencillamente se puede decir que un tanque se constituye de tres partes importantes, las cuales son: Techo, Fondo y Cuerpo del Tanque. En este equipo se

deben incluir ciertos accesorios y elementos importantes para el buen funcionamiento y manejo del mismo, principalmente las virolas (placas de acero constituyentes del cuerpo) y muros de contención perimetrales para contener a posibles derrames (Alderetes & Bertollo, 2004).

- **Cálculo del volumen del tanque:**

$$v: Q * t \quad \text{Ec. N}^{\circ}7$$

$$v: 42.5915 \frac{m^3}{lote} * 1 \text{ lote}: 42.59 m^3$$

$$v: 42.5915 m^3 * 1,04 : 44.29 m^3$$

Criterios utilizados: este volumen será para un tanque con un factor de seguridad del 4% establecido en la norma API 12D.

- **Cálculo del diámetro:** este se realiza de acuerdo al espacio máximo en el que esté ubicado el tanque de almacenamiento, ya que de este depende la forma del recipiente aumentando un área alrededor de este para emergencias, denominado como factor de seguridad de 0,5 m (INGLESA, 1999). (parcela: 7 a 21 m²)

$$D_{max} : \sqrt{\text{Área de la parcela}} \quad \text{Ec. N}^{\circ}8$$

Tabla 34. Diámetro del tanque de almacenamiento (m).

Área	Diámetro	Factor de Seguridad	Diámetro máximo
7	2,65	0,5	2,15
8	2,83	0,5	2,33
9	3,00	0,5	2,50
10	3,16	0,5	2,66
11	3,32	0,5	2,82
12	3,46	0,5	2,96
13	3,61	0,5	3,10
14	3,74	0,5	3,24

15	3,87	0,5	3,37
16	4,00	0,5	3,50
17	4,12	0,5	3,62
18	4,24	0,5	3,74
19	4,36	0,5	3,86
20	4,47	0,5	3,97
21	4,58	0,5	4,08
22	4,69	0,5	4,19

Elaborado por: Autor

El área de la parcela requerida fue determinada según el espacio disponible, utilizando un diámetro de seguridad de 0,5 metros para posibles derrames, según la norma API 12D. El rango de diámetros es de 2 a 4 metros y el escogido está relacionado con la altura del tanque, que se presenta a continuación.

- **Cálculo de la altura del tanque:**

Para determinar la altura del tanque es necesario considerar que el tanque está constituido por paneles de acero soldados entre sí. Los paneles situados en el cuerpo del tanque se denominan virolas y poseen alturas definidas comercialmente (Rodriguez, 2010).

$$\frac{v * 4}{D^2 * \pi} = h$$

Ec. N°9

Tabla 35. Altura del tanque de almacenamiento (m).

Diámetro	Volumen	Altura	Altura real	Altura con virola comercial
2	44,29	14,10	14,50	16
3	44,29	6,27	6,67	8
3,5	44,29	4,60	5,00	6
4	44,29	3,52	3,92	4
5	44,29	2,26	2,66	4
6	44,29	1,57	1,97	2

Elaborado por: Autor

El criterio utilizado para determinar el diámetro y la altura es que el diámetro mínimo debe ser mayor o igual que la altura del tanque. La determinación de la altura real, se

realizó mediante la sumatoria de 1 metro para cumplir adecuadamente con la capacidad.

Se observa que la altura debe ser la determinada mediante la virola comercial.

- **Determinación de los espesores de las virolas:**

Tabla 36. Determinación de espesores de las virolas.

DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE		ESPESOR NOMINAL DE PLANCHAS	
Metros	Pies	Milímetros	Pies
< 15	< 50	5	3/16
De 15 a < 36	De 50 a < 120	6	1/4
De 36 a < 60	De 120 a < 200	8	5/16
> 60	> 200	10	3/8

Fuente: (INGLESA, 1999)

El diámetro elegido es menor que 15 metros, por esta razón las virolas o planchas deben poseer un espesor de 5mm.

- **Diseño del techo:**

Criterio: pendiente entre el 16% (9,5°) y 75% (37°). En el emplazamiento del tanque no hay cargas de nieve, que son acumulaciones de hielo a causa del clima, por tanto, no se requieren grandes pendientes (API, 1994). Se escogió la mínima posible.

Espesor mínimo de 5 mm.

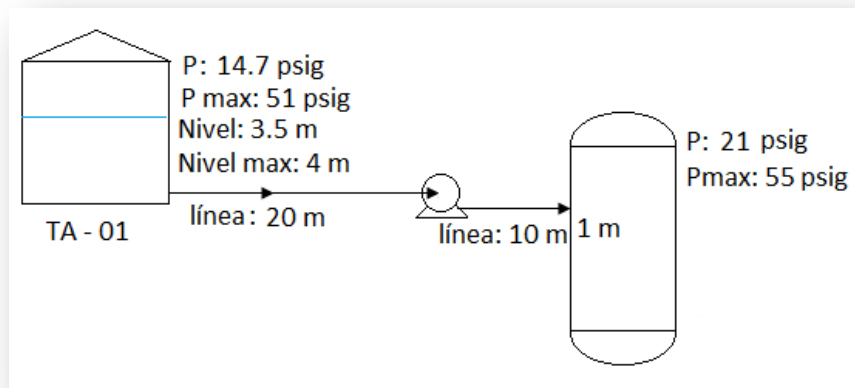
3.3.3.5. Diseño de la bomba

Para diseñar la bomba se debe conocer los siguientes datos de entrada:

- Densidad: 213 Kg/m³
- Presión de vapor: 14.9513 psia
- Caudal: 42.5915 m³/h
- Eficiencia de la bomba: 80%
- Eficiencia del motor: 90%

Los porcentajes de eficiencia fueron escogidos por los criterios utilizados en el mercado, los cuales trabajan adecuadamente y sin un esfuerzo exagerado. Para el diseño se detalla las instalaciones de la planta en la etapa de la bomba.

Figura 27. Diseño de la bomba.



Elaborado por: Autor

- **Cálculo de la presión normal de succión** (Solís, 2013)

$$P_s = P + H_s - Phf \quad \text{Ec. N° 10}$$

Donde:

P: Presión del recipiente de succión

Hs: presión estática de succión

Phf: pérdidas dinámicas en la succión

$$H_s = \rho r * \frac{h_s}{10} \quad \text{Ec. N° 11}$$

Donde:

Pr: densidad relativa

Hs: nivel (m)

$$\rho r = \frac{213 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}} = 0.21$$

$$Hs = 3.5 m * \frac{1ft}{0.3m} * \frac{1 psig}{2.31 ft} * 0.21 = 1.07 psig$$

Criterios establecidos para diseño en general: pérdidas dinámicas en la succión debe estar entre 0.15–0.35 psi/100 ft. Se elije la menor pérdida por l diseño de la línea o tubería (10 m) (Solís, 2013).

$$Phf: 0.15 \frac{psi}{100ft} * 20 m * \frac{1ft}{0.3m}$$

$$Phf: 0.1 psig$$

$$Ps = 14.7 psig + 1.07 psig - 0.1 psig$$

$$Ps = 15.67 psig$$

- **Cálculo de la presión máxima de succión** (Solís, 2013)

$$Ps max = P max + Hs max - Phf \quad \text{Ec. N° 12}$$

$$Phf: 0.15 \frac{psi}{100ft} * 20 m * \frac{1ft}{0.3m}$$

$$Phf: 0.1 psig$$

$$Hs max = 4 m * \frac{1ft}{0.3m} * \frac{1 psig}{2.31 ft} * 0.21 = 1.23 psig$$

$$Ps max = 51 psig + 1.23 psig - 0.1 psig$$

$$P_s = 52.13 \text{ psig}$$

- **Cálculo de la presión normal de descarga** (Solís, 2013)

$$P_{dn} = P_d + H_{sd} + P_{hfd} \quad \text{Ec. N°13}$$

$$P_{hfd}: 1.1 \frac{\text{psi}}{100\text{ft}} * 100 \text{ m} * \frac{1\text{ft}}{0.3\text{m}}$$

$$P_{hfd}: 0.37 \text{ psig}$$

$$H_{sd} = 1 \text{ m} * \frac{1\text{ft}}{0.3\text{m}} * \frac{1 \text{ psig}}{2.31 \text{ ft}} * 0.21 = 0.31 \text{ psig}$$

$$P_{dn} = 21 \text{ psig} + 0.31 \text{ psig} + 0.37 \text{ psig}$$

$$P_{dn} = 21.67 \text{ psig}$$

- **Cálculo de la presión máxima de descarga** (Solís, 2013)

$$P_{dmax} = P_d + H_{sd} + P_{hfd} \quad \text{Ec. N°14}$$

$$P_{hfdmax}: 1.1 \frac{\text{psi}}{100\text{ft}} * 100 \text{ m} * \frac{1\text{ft}}{0.3\text{m}}$$

$$P_{hfdmax}: 0.37 \text{ psig}$$

$$H_{sd} = 1 \text{ m} * \frac{1\text{ft}}{0.3\text{m}} * \frac{1 \text{ psig}}{2.31 \text{ ft}} * 0.21 = 0.31 \text{ psig}$$

$$P_{dmax} = 55 \text{ psig} + 0.31 \text{ psig} + 0.37 \text{ psig}$$

$$P_{dmax} = 55.37 \text{ psig}$$

- **Cálculo del diferencial de presión** (Solís, 2013)

$$\Delta P = P_d - P_s \quad \text{Ec. N°15}$$

$$\Delta P_n = P_{dn} - P_{sn}$$

$$\Delta P_n = 21.67 \text{ psig} - 15.67 \text{ psig}$$

$$\Delta P_n = 5.99$$

$$\Delta P_{max} = P_{dmax} - P_{smax}$$

$$\Delta P_{max} = 3.24$$

- **Cálculo de NPSH disponible** (Solís, 2013)

$$NPSH_{disp} = P + H_s - P_v - P_{hf} \quad \text{Ec. N°16}$$

$$NPSH_{disp} = 29.4 \text{ psia} + 15.77 \text{ psia} - 14.95 \text{ psia} - 14.8 \text{ psia}$$

$$NPSH_{disp} = 15.42 \text{ psia}$$

$$NPSH_{disp} = 35.63 \text{ ft}$$

$$NPSH_{disp} = 10.69 \text{ m}$$

- **Cálculo de la presión de shut-off** (Solís, 2013)

$$P_{shut-off} = P_{smax} + 1.2 * \Delta P_{normal} \quad \text{Ec. N°17}$$

$$P_{shut-off} = 59.33 \text{ psig}$$

Esta presión es muy importante para evitar daños en la bomba. La presión de shut-off indica la máxima presión que genera la bomba antes de que esta se quemara, debido a la falta del fluido para bombear.

- **Potencia de la Bomba** (Solís, 2013)

$$H.P. (HP) = \frac{Q \frac{m^3}{h} * \Delta P \frac{kg}{cm^2}}{27} \quad \text{Ec. N°18}$$

$$H.HP.(HP) = 9.46 HP$$

Para determinar la potencia aproximada se debe tener una referencia de las potencias disponibles en el mercado. Se estableció que una bomba de potencia de 10 HP es la óptima para la planta.

3.3.3.6. Diseño de los transportadores de banda

Existen tres transportadores de banda que se encargaran de movilizar las fibras y pastas celulósicas. El diseño de estos equipos se basa en determinar la potencia requerida para mover la fibra en un periodo de tiempo y mediante esta potencia es posible seleccionar las bandas en el mercado.

Criterios establecidos para el diseño en general (Perry, 2001):

- Ancho de la banda: 0.5 – 2 m
 - Longitud: 10 – 50 m
 - Velocidad de transporte: 0.1 – 0.3 m/s
 - Capacidad máxima de transporte: 0.06 m³/s
-
- **Primer transportador (J – 140) (Perry, 2001):**

Flujo másico (kg/s): 7.00

Longitud del transportador (m): 10

$$P = 0.06 m^{0.82} * L \quad \text{Ec. N°20}$$

$$P = 2.96 kW$$

$$P = 3.96 HP$$

Con una velocidad de 0.3 m/s, un ancho de 2 m.

Se comprueba la capacidad máxima: 0.03 m³/s, cuyo valor esta dentro de los parámetros especificados.

- **Segundo transportador (J – 160):**

Flujo másico (kg/s): 4,12 (Valor determinado en el balance de masa)

Longitud del transportador (m): 10

$$P = 0.06 m^{0.82} * L$$

$$P = 1.92 kW$$

$$P = 2.57 HP$$

Con una velocidad de 0.3 m/s, un ancho de 2 m.

Se comprueba la capacidad máxima: 0.02 m³/s, cuyo valor esta dentro de los parámetros especificados.

- **Tercer transportador (J – 180):**

Flujo másico (kg/s): 4,12 (Valor determinado en el balance de masa)

Longitud del transportador (m): 10

$$P = 0.06 m^{0.82} * L$$

$$P = 1.92 kW$$

$$P = 2.57 HP$$

Con una velocidad de 0.3 m/s, un ancho de 2 m.

Se comprueba la capacidad máxima: 0.02 m³/s, cuyo valor esta dentro de los parámetros especificados.

- **Cuarto transportador (J – 1100):**

Flujo másico (kg/s): 2,60 (Valor determinado en el balance de masa)

Longitud del transportador (m): 10

$$P = 0.06 m^{0.82} * L$$

$$P = 1.31 kW$$

$$P = 1.76 HP$$

Con una velocidad de 0.3 m/s, un ancho de 2 m.


Se comprueba la capacidad máxima: 0.01 m³/s, cuyo valor esta dentro de los parámetros especificados.

3.3.3.7. Diseño de Recipientes para cocción y blanqueo

El recipiente de cocción es el primer equipo utilizado en la etapa de deslignificación. Básicamente el diseño de este recipiente se centra en determinar su capacidad útil, a partir de la carga necesaria, que es de 4,2 toneladas por lote.

Basados en este valor se prosiguió con el diseño.

Tabla 37. Volumen del recipiente de cocción.

Volumen:	15555,56	Litros/lote		15,56	m ³ / lote
Volumen:	$\pi * r^2 * h$				

Radio (m)	Radio cuadrado (m ²)	Altura (m)	Volumen (m ³)
1	1	4,96	15,60
2	4	1,24	15,60
3	9	0,55	15,60
4	16	0,31	15,60
5	25	0,20	15,60
6	36	0,14	15,60
7	49	0,10	15,60
8	64	0,08	15,60
9	81	0,06	15,60
10	100	0,05	15,60

Elaborado por: Autor

Se determinó un radio de 1 metro con una altura de 5 metros para su capacidad útil. Se debe tomar en cuenta que el recipiente debe poseer un serpentín para calentamiento por medio de vapor, siendo necesaria una caldera.

El tiempo de residencia es de 1 hora según lo determinado en las pruebas de experimentación y considerando una reducción del 50% de la concentración de lignina explicada en el balance de materia. Mediante estos valores se puede determinar la constante de velocidad de reacción en la primera etapa de deslignificación.

Conociendo la ecuación para un recipiente Batch y que la deslignificación se produce mediante una reacción de primer orden, se obtiene (Barroso, 2010):

$$\ln \frac{Ca}{Cao} = -k * t \quad \text{Ec. N°21}$$


$$\frac{\ln \frac{Ca}{Cao}}{t} = -k$$

$$\frac{\ln \frac{14.12\%}{28.24\%}}{3600 \text{ s}} = -k$$

$$-k = 0.00019 \frac{1}{s}$$

La segunda etapa de deslignificación se lleva a cabo mediante el proceso de blanqueo, en donde se utiliza el rendimiento de la reacción anterior para determinar la carga del recipiente. El rendimiento fue establecido en las pruebas experimentales, con lo cual se establece que la carga del recipiente será de 9156,30 litros por lote.

Tabla 38. Volumen del recipiente de blanqueo.

Volumen: 9165,30 Litros/lote  9,16 m³/ lote

Volumen: $\pi * r^2 * h$

Radio (m)	Radio cuadrado (m ²)	Altura (m)	Volumen (m ³)
1	1	2,92	9,16
2	4	0,73	9,16
3	9	0,32	9,16
4	16	0,18	9,16
5	25	0,12	9,16
6	36	0,08	9,16
7	49	0,06	9,16
8	64	0,05	9,16
9	81	0,04	9,16
10	100	0,03	9,16

Elaborado por: Autor

Se establece que el radio adecuado del recipiente es de 1 metro, con una altura de aproximadamente 3 metros. Estos valores son determinados mediante el análisis de la forma que tiene el recipiente, tomando en cuenta una forma cilíndrica con una altura mayor al radio.

En este recipiente no es necesario un calentamiento porque la reacción debe ser realizada en temperatura ambiente, evitando la descomposición del peróxido de hidrógeno.

3.3.3.8. Diseño del Evaporador

El licor negro obtenido del proceso de cocción es utilizado para generar vapor. El método de generación se basa primero en una concentración de sólidos presentes en el licor. Esta solución concentrada es enviada a una caldera que genera vapor para calentar el recipiente y al evaporador (Ortiz, 2009).

Existen ciertos criterios para el diseño básico de un evaporador, basados en el líquido tratado. Estos criterios son seleccionados de la Tabla 39.

Tabla 39. Criterios básicos para evaporadores.

	Tipos de Evaporizadores							
	EVAPORIZADORES							
	Tubo corto (canasta, calandria)	Tubo largo		Película descendiente		Circulación		
		A través una vez	Circulación	A través una vez	Circulación	Vertical	Horizontal	Película con agitación (pared raspada)
Tamaño máximo del recipiente o del depósito								
Diámetro, D (m)	4	4	4	4	4	4	4	-
Altura, L (m)	12	8	8	4	4	8	8	-
Superficie Máxima de calentamiento, A m ²	30 - 300	100 - 10,000	100 - 10,000	30 - 300	30 - 300	20 - 2000	20 - 2000	2-- 20
Velocidad a través de los tubos (m/s)	0,3 - 1	1 -- 3	1 -- 3			2 -- 6	2 -- 6	
Viscosidad máxima tolerable (Pa S)	0,01	1 0	1 0	1 0	1 0	2	2	100
Compatibilidad								
Líquidos de baja viscosidad	A	A	A	A	A	A	A	X
Líquidos de aire viscosidad	D	B	B	B	B	A	A	A
Suspensiones	D	B	B	D	D	A	A	A
Líquidos Salinos o escamantes	C	D	E	D	E	B	B	A
Líquidos corrosivos	C.E	C.A	C.A	C.A	C.B	C.B	C.B	C.D
Líquidos que forman cristales	D	B	B	E	E	B	B	D
Líquidos espumosos	D	A	D	A	D	B	B	B
Líquidos sensibles a calor	X	X	X	X	X	E	E	B
Líquidos pegajosos o gomosos								
Adecuabilidad								
Gran capacidad	D	A	A	B	B	A	A	E
Usos múltiples	A	A	B	A	B	A	A	E
efectos								
Vaporización de alimentación de proceso	B	B	D	D	D	D	D	D
Espacio vertical restringido	A	E	E	E	E	D	A	D
pequeñas	D	D	D	A	A	D	D	A
Otros criterios								
Costo de compra	A	A	A	B	B	B	B	D
poder continuo	A	A	A	A	A	B	B	(1 -- 100 KW/M2)
Eficiencia de transferencia	D	B	B	B	B	A	A	A

de calor Arrastre Facilidad de limpieza	B A	B B	B B	B B	B B	B B	B B	A B
Coefficientes típicos de transferencia U (J/m ² de calor, S - K) Cada de presión a través del intercambiador (bar) P	100 - 2000 --	100 - 10,000 --	100 - 10,000 --	100 - 2000 --	100 - 2000 --	0,2 - 0,5	0,2 - 0,7	--
Fluidos típicos procesados	Jarabes de azúcar	Licor Kraft	Leche evaporada, de alimentos	Jugos de fruta	Alimentos			

Fuente: (McCabe, 2002)

Si se analiza la tabla anterior, se determina que el evaporador debe ser de un solo efecto, lo que quiere decir que el licor debe atravesar una sola vez a la cámara de evaporación. Así mismo, es necesario tan solo un evaporador y no algunos conectados en serie.

Uno de los principales objetivos del diseño es determinar el área del evaporador, conociendo que el diámetro debe ser de máximo 4 metros con una altura de 8 metros. Obteniendo un área de calentamiento entre 100 a 10000 metros cuadrados. Algo importante es la velocidad del licor negro dentro de los tubos, esta es necesaria para poder cumplir con el caudal necesario para generar vapor en el caldero. Se deben considerar valores entre 1 a 3 metros sobre segundo.

A continuación, se presenta el diseño básico del evaporador para concentrar el licor negro. Este diseño es necesario para determinar cuáles de los criterios presentados son adecuados para el evaporador.

- **Balance de materia en la cámara de evaporación**

El balance de materia se realiza de acuerdo a las corrientes 6 y 9 determinadas en el PFD, que posee licor negro y agua. La solución diluida es la sumatoria de las dos corrientes y la concentrada es la deseada, conociendo que el proceso requiere de una concentración final del 50%.

Tabla 40. Balance de materia en la cámara de evaporación (toneladas/día).

	Total	Sólido	Líquido	Concentración
Solución diluida	44,78	2,98	41,80	6,66
Solución concentrada	5,97	2,98	2,99	50
Agua evaporada	38,81		38,81	100

Elaborado por: Autor

Se observa que será necesaria la evaporación de 38,81 toneladas por día de agua.

- **Cálculo de la presión de operación**

Las corrientes son recolectadas a una presión normal de 760 mm Hg y el evaporador debe trabajar a una presión de 620 mm Hg para fomentar la evaporación del agua y es una presión normal de los evaporadores presentes en el mercado. La presión absoluta es de: 760 mmHg – 620 mmHg: 140 mmHg. Utilizando esta presión se determina la temperatura de ebullición del agua, utilizando la siguiente tabla.

Figura 28. Temperatura de ebullición del agua a distintas presiones.

TABLA A. 3
Tensiones de vapor del agua, y humedades y entalpías de saturación de la mezcla aire-agua (p=760 mm Hg)
(t, °C, temperatura del aire; p_s, mm Hg, presión de saturación del vapor de agua; Y_s, Kg agua/Kg aire, humedad absoluta del aire saturado con agua; i_s, Kcal/Kg, entalpía del aire saturado con vapor de agua)

t	p _s	10 ³ Y _s	i _s	t	p _s	10 ³ Y _s	i _s
0	4,58	3,78	2,25	35	42,18	36,6	30,8
1	4,93	4,07	2,66	36	44,56	38,8	32,4
2	5,29	4,37	3,08	37	47,07	41,1	34,0
3	5,69	4,70	3,52	38	49,69	43,5	35,7
4	6,10	5,03	3,96	39	52,44	46,0	37,6
5	6,54	5,40	4,42	40	55,32	48,8	39,6
6	7,01	5,79	4,90	41	58,34	51,7	41,6
7	7,51	6,21	5,40	42	61,50	54,8	43,7
8	8,05	6,65	5,90	43	64,80	58,0	45,9
9	8,61	7,13	6,43	44	68,26	61,3	48,3
10	9,21	7,63	6,97	45	71,88	65,0	50,8
11	9,84	8,15	7,53	46	75,65	68,9	53,4
12	10,52	8,75	8,14	47	79,60	72,8	56,2
13	11,23	9,35	8,74	48	83,71	77,0	59,0
14	11,99	9,97	9,36	49	88,02	81,5	62,1
15	12,79	10,6	9,98	50	92,51	86,2	65,3
16	13,63	11,4	10,7	51	97,20	91,3	68,6
17	14,53	12,1	11,4	52	102,1	96,6	72,3
18	15,48	12,9	12,1	53	107,2	102	75,9
19	16,48	13,8	12,9	54	112,5	108	80,0
20	17,53	14,7	13,8	55	118,0	114	84,1
21	18,65	15,6	14,6	56	123,8	121	88,6
22	19,83	16,6	15,3	57	129,8	128	93,2
23	21,07	17,7	16,2	58	136,1	136	98,5
24	22,38	18,8	17,2	59	142,6	144	104

140 mm

Fuente: (Perry, 2001)

El valor de 140 mmHg se encuentra entre 136,1 y 142,6, como se observa en la tabla.

Para determinar el valor exacto de la temperatura se debe interpolar entre estos valores (Bordouns, 2007):

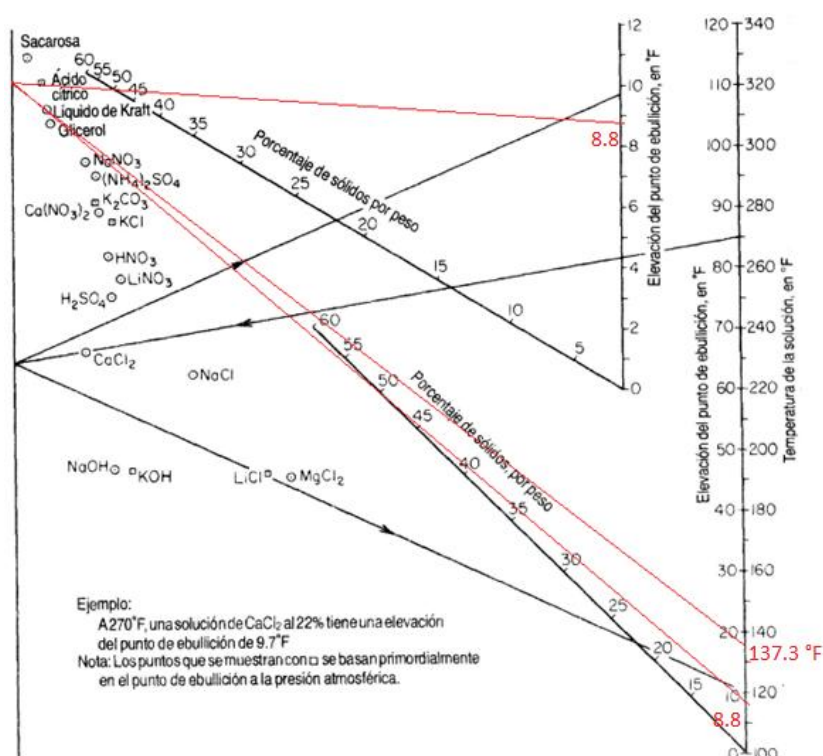
$$b = b1 + (a - a1) \frac{b2-b1}{a2-a1} \quad b = 58.5^{\circ}\text{C} \quad \text{Ec. N}^{\circ}22$$

Utilizando la presión seleccionada, se obtuvo una temperatura baja para evaporar el agua, sin la necesidad del uso de grandes cantidades de vapor para calentar al evaporador.

- **Determinación de la elevación de la temperatura de ebullición**

La elevación de la temperatura de ebullición es necesaria para determinar las entalpías de la solución concentrada y diluida. La diluida es agua a 58,5°C y la concentrada depende del licor negro y del porcentaje de sólidos, utilizando la siguiente gráfica.

Figura 29. Elevación del punto de ebullición para licor tipo Kraft.



Fuente: (Echeverri, 2005)

Se utilizó una temperatura de 137,3 °F que corresponden a los 58,5°C, obteniéndose una elevación de 8,8°F. Por lo tanto, la temperatura de ebullición de la solución concentrada es de **146.1°F o 63.38°C**.

- **Determinación de entalpia de la solución diluida y concentrada**

Las entalpias de las soluciones son determinadas experimentalmente, pero de acuerdo a referencias bibliográficas se establecen que las entalpias son (Redsauce Engineering Services S.L., 2006):

- ✓ Solución concentrada (corriente de salida de licor del evaporador): 12.91 KJ/Kg
= 3.08 Kcal/Kg
- ✓ Solución diluida (corriente de entrada de licor al evaporador): 5.49 = 1.31 Kcal/Kg

- **Determinación de la entalpia de vapor en la cámara de evaporación**

Se requiere de un vapor saturado a 3 atm para calentar el recipiente diseñado, ya que estas son las condiciones de operación que especifica el mercado para el equipo seleccionado.

A continuación, se establece la entalpia de vapor saturado y calor latente, conociendo la presión de trabajo en las unidades requeridas para la Tabla 28.

$$3 \text{ atm} \times \frac{1.033 \text{ kg/cm}^2}{1 \text{ atm}} = 3.01 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 30. Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado.

TABLA A. 7
Propiedades termodinámicas del vapor de agua saturado
(Entrada por temperaturas)

Temperatura de saturación °C t	Presión de saturación Kg/cm ² P	Volumen específico		Entropía Kcal/Kg-°K		Entalpia Kcal/Kg	
		Del líquido dm ³ /Kg v'	Del vapor m ³ /Kg v''	Del líquido s'	Del vapor s''	Del líquido h'	Del vapor h''
0	0,006228	1,0002	206,3	0	2,1863	0	597,2
5	0,008890	1,0000	147,2	0,0182	2,1551	5,03	599,4
10	0,012513	1,0004	106,4	0,0361	2,1253	10,04	601,6
15	0,017376	1,0010	77,99	0,0536	2,0970	15,04	603,8
20	0,02383	1,0018	57,84	0,0708	2,0697	20,03	606,0
25	0,03229	1,0030	43,41	0,0876	2,0436	25,02	608,2
30	0,04325	1,0044	32,93	0,1042	2,0187	30,00	610,4
35	0,05733	1,0061	25,25	0,1205	1,9947	34,99	612,5
40	0,07520	1,0079	19,55	0,1366	1,9718	39,98	614,7
45	0,09771	1,0099	15,28	0,1524	1,9498	44,96	616,8
50	0,12578	1,0121	12,05	0,1679	1,9287	49,95	619,0
55	0,16051	1,0145	9,584	0,1833	1,9085	54,94	621,0
60	0,2031	1,0171	7,682	0,1984	1,8891	59,94	623,2
65	0,2535	1,0199	6,206	0,2133	1,8702	64,93	625,2
70	0,3177	1,0228	5,049	0,2280	1,8522	69,93	627,3
75	0,3931	1,0258	4,136	0,2425	1,8349	74,94	629,3
80	0,4829	1,0290	3,410	0,2567	1,8178	79,95	631,3
85	0,5894	1,0323	2,830	0,2708	1,8015	84,96	633,2
90	0,7149	1,0359	2,361	0,2848	1,7858	89,98	635,1
95	0,8619	1,0396	1,981	0,2985	1,7708	95,01	637,0
100	1,03323	1,0435	1,673	0,3121	1,7561	100,04	638,9
105	1,2318	1,0474	1,419	0,3255	1,7419	105,08	640,7
110	1,4609	1,0515	1,210	0,3387	1,7282	110,12	642,5
115	1,7239	1,0558	1,036	0,3519	1,7150	115,18	644,3
120	2,0245	1,0603	0,8914	0,3647	1,7018	120,3	646,0
125	2,3666	1,0650	0,7705	0,3775	1,6895	125,3	647,7
130	2,7544	1,0697	0,6800	0,3901	1,6772	130,4	649,3
135	3,192	1,0746	0,617	0,4026	1,6652	135,5	650,8
140	3,685	1,0798	0,568	0,4150	1,6539	140,6	652,5
145	4,237	1,0850	0,4459	0,4272	1,6428	145,8	654,0
150	4,854	1,0906	0,3924	0,4395	1,6320	150,9	655,5
155	5,540	1,0963	0,3464	0,4516	1,6214	156,1	656,9
160	6,302	1,1021	0,3068	0,4637	1,6112	161,3	658,3
165	7,146	1,1082	0,2724	0,4756	1,6012	166,5	659,6
170	8,076	1,1144	0,2426	0,4874	1,5914	171,7	660,9
175	9,101	1,1210	0,2166	0,4991	1,5818	176,9	662,1
180	10,225	1,1275	0,1939	0,5107	1,5721	182,2	663,2
185	11,456	1,1345	0,1739	0,5222	1,5629	187,5	664,3
190	12,800	1,1415	0,1564	0,5336	1,5538	192,8	665,3
195	14,265	1,1490	0,1410	0,5449	1,5448	198,1	666,2

Fuente: (Perry, 2001)

Mediante la fórmula de interpolación se obtuvo que la entalpia de vapor saturado es de: 650.48 Kcal/Kg. Con este valor se determinó su calor latente, el cual es necesario para el posterior balance de energía, utilizando la siguiente ecuación (Perry, 2001):

$$H_w = H_v - h_l \quad \text{Ec. N}^\circ 23$$

$$H_w = 650.48 - 140 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right)$$

$$H_w = 510.48 \text{ kcal/Kg}$$

La entalpía de vapor generado en el evaporador es determinado de la siguiente manera:

$$H_e = \text{entalpia del vapor saturado (58.5 interpolar)} + \text{incremento de } T^\circ \text{ de eb. de sol.}$$

$$H_e = 622.54 \frac{kcal}{kg} + (-12.89)$$

$$H_e = 609.65 \frac{Kcal}{kg}$$

- **Balance de energía del evaporador**

Se obtiene el calor en la alimentación de acuerdo al balance entálpico de un evaporador (Sánchez, 2012):

$$\begin{aligned} & \text{Calor en la alimentación} + \text{calor en el vapor de agua} \\ &= \text{calor en el líquido concentrado} + \text{calor en el vapor} \\ &+ \text{calor en el vapor de agua condensado} - \text{pérdidas} \\ W : & \frac{(38.8131 * 609.651) + (5.9700 * 3.08) - (44.7831 * 1.311)}{510.48} \end{aligned}$$

$$W : 46274.3343 \text{ kg/lote}$$

- **Determinación del área del evaporador**

Finalmente, se determina el área del intercambiador que deberá ser utilizado en la planta, mediante la ecuación general de calor (Sánchez, 2012):

$$A = \frac{q}{U * \Delta T} \quad \text{Ec. N}^\circ 24$$

Conociendo que el coeficiente global de transferencia de calor es de 2441 Kcal/h m² °C (Redsauce Engineering Services S.L., 2006).

$$A = \frac{46274.33}{2441 * (32.2)}$$

$$A = 302.02 \text{ m}^2$$

3.3.3.9. Diseño de la Caldera

La caldera es necesaria para obtener el vapor saturado necesario para calentar el recipiente de cocción y el evaporador. En el diseño de este equipo, es solamente necesaria la determinación de su capacidad nominal y la energía de salida, debido a que con estos datos se puede adquirir el equipo requerido.

- **Capacidad nominal de la caldera**

Utilizando referencias bibliográficas sobre el diseño de calderas, especialmente para quemar el licor negro, se establecieron los siguientes cálculos (Redsauce Engineering Services S.L., 2006):

$$Capacidad\ Nominal : \frac{A*B*C}{19800000} \frac{BTU}{ton * lote} \quad Ec. N^{\circ}25$$

Donde:

A: sólidos secos recuperados, lb/ton pulpa, representan el 0,7 kg/ ton, que es la concentración inicial del licor negro.

B: producción de pulpa de la planta, ton/lote.

C: poder calorífico de los sólidos secos. Este valor es especificado bibliográficamente.

$$Capacidad\ Nominal : \frac{6569.78*1.5590*6600}{19800000} \frac{BTU}{ton * lote}$$

$$Capacidad\ Nominal : 3.41 \frac{BTU}{ton * lote} = 3.59 \frac{KJ}{ton * lote}$$

- **Determinación de la energía formada**

Según datos obtenidos de entalpías en el diseño del evaporador, se puede calcular la energía que producirá la caldera.

Además, se debe tomar en cuenta que la eficiencia de las calderas es de 90%, esto quiere decir que a partir de 1 kg de licor negro, se producirán 0.9 kg de vapor (Redsauce Engineering Services S.L., 2006).

$$\text{Energía salida: } m (h_2 \text{ vapor sobrec} - h_1 \text{ agua alimentada}) \frac{BTU}{h \left(\frac{L}{s} \right)} \quad \text{Ec. N°26}$$

En donde m es el flujo de vapor generado, calculado a partir del balance de materia y el rendimiento del proceso.

$$m: 0.08 \frac{kg}{s} * 0.9$$

$$m: 0.08 \frac{kg}{s}$$

$$\text{Energía salida: } 0.08 \frac{kg}{s} \left(2721608.32 - 585760 \frac{J}{Kg} \right)$$

$$\text{Energía salida: } 167236.92 \frac{J}{s}$$

$$\text{Energía salida: } 167.24 \text{ KW}$$

La energía que fabricará la caldera es suficiente para calentar al recipiente y al evaporador durante los dos lotes de producción. Se debe tomar en cuenta que para futuras ampliaciones se podrá ver la conveniencia de producir energía eléctrica para venderla al mercado.

3.3.3.10. Balance de Energía

El balance se realizó mediante la determinación del calor requerido o formado para todas las etapas de deslignificación. Se tomó en cuenta la reacción general del proceso

para determinar cada componente. A la vez se añadió la energía requerida para la generación del vapor de agua.

El calor es determinado mediante la ecuación general expresada como $Q = m C_p \Delta T$.

Para realizar la reacción de deslignificación, se debe ingresar la fibra a una temperatura ambiente (T_1 : 20°C) y salir a 170°C que es la temperatura de reacción.

Tabla 41. Balance de Energía.

Componente	Cp (J/Kg°K)	Flujo másico (kg/lote)	Energía (kcal/lote)
Fibra	3231,28	4200	486533,8296
Hidróxido de sodio	2010	1260	90793,71
Peróxido de hidrógeno	2619	8166,3	766743,2982
Pasta celulósica	1500	1559	83835,225
Licor Negro	5120	2507,18	460197,9034
Agua	4184	46274,3343	6940983,557
Total de Energía			8829087,524 Kcal/lote
Pérdidas			882908,7524 Kcal/lote

Elaborado por: Autor

3.3.4. Análisis Económico preliminar

- *Inversión Inicial*

Para determinar la rentabilidad del proceso, primero se debe establecer la inversión necesaria para la instalación de la maquinaria detallada anteriormente. Los valores aproximados de los equipos se detallan en la Tabla 42. Cabe mencionar que los filtros prensa y la mesa de fabricación son adquiridos en base al flujo másico que deben cumplir, el cual es detallado en el balance de materia.

Tabla 42. Equipos y costos aproximados.

<u>Equipos</u>	<u>Costo</u>	<u>Empresa</u>
Recipiente con calentamiento	\$ 70.200,00	Fabricado localmente

Mesa de fabricación	\$ 45.000,00	Niutesch
Recipiente para blanqueo	\$ 39.000,00	Fabricado localmente
Evaporador	\$ 35.000,00	Fabricado localmente
Caldera	\$ 15.000,00	Fabricado localmente
Filtros chinos prensa	\$ 7.200,00	Niutesch
Tanque de almacenamiento de acero inoxidable	\$ 5.400,00	Fabricación local Primatec
Bomba centrífuga de 10HP	\$ 4.800,00	Maquinarias Henríquez
Banda transportadora	\$ 260,00	Fabricación local Primatec
Boquillas de aspersión	\$ 190,00	Soloaqua
Total	\$ 222.050,00	

Elaborado por: Autor

Además, del costo que tendrán los equipos, se debe considerar un ahorro significativo ya que el terreno es propio. Aproximadamente, el terreno está valorado en \$11.500 por cada hectárea, siendo necesarias 5 hectáreas en total para el área de producción, administrativa, recepción de materia prima y transporte.

Adicionalmente, en los egresos iniciales se debe plantear la construcción de las edificaciones necesarias, resultado en un aumento de los costos de inversión. Aproximadamente, toda la ingeniería civil bordea los \$200.000, siendo un valor bajo para la amplitud de la planta (Constructores S.A, 2014).

Además, se deben considerar los trámites necesarios para entrar en funcionamiento, como son los permisos ambientales y municipales, como son los siguientes (Trámites Ciudadanos, 2014):

- Escritura de constitución de la compañía.
- Registro mercantil.
- Registro en la Súper Intendencia de Compañías.
- Permiso de construcción: Costo del formulario, tasa administrativa, tasas por el permiso de construcción y fondo de garantía.

- Permiso para uso del suelo.
- Permiso de bomberos.
- Patente para funcionamiento Municipal.
- Inspección ambiental.
- Estudio de impacto ambiental.
- Licencias ambientales.

Todos estos trámites serán realizados por la empresa, junto con la ayuda de un estudio jurídico que presentará la mayoría de los requisitos al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón La Concordia. El costo total de todos los trámites y el asesoramiento legal, bordean los \$7.000 (Ponce *com.pers*, 2013).

Los costos de inversión inicial se resumen en la Tabla 43.

Tabla 43. Costos totales de inversión inicial.

<u>Descripción</u>	<u>Costo</u>
Compra de los equipos	\$ 222.050,00
Construcción	\$ 200.000,00
Transporte e instalación de los equipos	\$ 10.000,00
Trámites municipales y ambientales	\$ 7.000,00
<u>Total</u>	\$ 439.050,00
Terreno	\$ 57.500,00

Elaborado por: Autor

- *Costos de producción*

Otros egresos que tendrá la empresa son los generados por mano de obra, contratando personal dependiendo de cada área: transporte, producción, ventas, administración, gerencia y finanzas. Se debe analizar que a comenzar una industria no se deben presupuestar sueldos excesivamente altos, ya que esto es desfavorable para la aprobación del crédito que se requiere.

En la Tabla 44 se observa el número de trabajadores por sector con su respectivo salario mensual, considerando el total de dinero invertido en mano de obra.

Tabla 44. Mano de obra y salarios.

Sector	# trabajadores	Sueldo por trabajador	Total
Producción	10	500	5.000
Administración	4	1.500	6.000
Ventas	3	1.000	3.000
Gerencia	2	2.500	5.000
Finanzas	1	1.000	1.000
Transporte y Distribución	1	850	850
TOTAL			\$20.850 /mes
			\$250.200 /año

Elaborado por: Autor

Es muy importante determinar el costo que tiene los reactivos utilizados, de acuerdo al volumen de producción por lote. Para el caso del peróxido de hidrógeno, el costo por mes es de \$30.000 (\$360.000/año) y el hidróxido de sodio implicará un valor de \$17.600 (\$211.200/año) (Químicos e importaciones H&H, 2014). Las especificaciones y fichas de seguridad de estos reactivos se encuentran en el Anexo 3.

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. El cálculo para la determinación del precio, se basó en el precio general del fruto, cuyo 12% representa a la fibra deseada. El valor por tonelada de fruto es de \$113, obteniendo un precio de la materia prima de \$13,56 la tonelada. Comparando este valor con el precio del residuo de la caña de azúcar que posee un valor de \$50 la tonelada, se determina que el precio de la materia prima deberá ser mayor, ya que a las empresas no les representará un beneficio significativo (Rafael,

2010). Finalmente, el precio de la materia prima se estableció en \$30 la tonelada de fibra.

- *Ingresos por ventas*

Para compensar todos los valores mencionados y principalmente para recuperar la inversión inicial, se debe establecer un precio adecuado y competitivo del papel Kraft fabricado. Según referencias bibliográficas, se determinó que el precio por 37 kilos del papel bordea los \$119. En la presente investigación se plantea vender el producto a un precio de \$105/37 kilos, siendo un precio competitivo y que genera ganancias para la industria.

Mediante estos valores, se puede determinar una perspectiva y una estimación de las ventas para cinco años, los cuales son importantes para realizar el pago del préstamo adquirido.

Tabla 45. Estimación de ventas.

	Primer Año	Segundo Año	Tercer Año	Cuarto Año	Quinto Año
Ventas (Kg)	561.240	561.240	561.240	1.122.480	1.122.480
Precio del papel (\$/37 kg)	105				
Ganancias	1.592.708,11	1.592.708,108	1.592.708,11	3.185.416,22	3.185.416,22

Elaborado por: Autor

A partir de la demanda se establecieron las ventas anuales que tendrá la planta, pero se prevé que para los tres primeros años no se alcance el nivel de ventas programado, debido a que es un producto nuevo que debe entrar al mercado. Finalmente, en el cuarto año se cumplirá con la demanda prevista pero se espera que con estas ganancias se pueda implementar nuevos procesos en la planta.

El siguiente flujo de caja determinarán los costos totales de producción e ingreso por ventas, determinando la utilidad que genera la planta en un año, sin tomar en cuenta el pago de la inversión inicial.

Tabla 46. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA					
<i>Detalle de Ingresos</i>	Primer AÑO	Segundo AÑO	Tercer AÑO	Cuarto AÑO	Quinto AÑO
1. Ingreso por					
1.1 ventas	\$ 1.592.708,11	\$ 1.592.708,11	\$ 1.592.708,11	\$ 3.185.416,22	\$ 3.185.416,22
1.2 Cobro de					
1.2 deudas	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.3 Otros ingresos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL INGRESOS	\$ 1.592.708,11	\$ 1.592.708,11	\$ 1.592.708,11	\$ 3.185.416,22	\$ 3.185.416,22
<i>Detalle de Egresos</i>					
2. Luz	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00
2.2 Agua	\$ 892.800,00	\$ 892.800,00	\$ 892.800,00	\$ 1.785.600,00	\$ 1.785.600,00
2.3 Teléfono	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 100,00	\$ 100,00
2.4 Materia Prima	\$ 45.360,00	\$ 45.360,00	\$ 45.360,00	\$ 90.720,00	\$ 90.720,00
2.5 Reactivos	\$ 285.600,00	\$ 285.600,00	\$ 285.600,00	\$ 571.200,00	\$ 571.200,00
2.6 Salarios	\$ 250.200,00	\$ 250.200,00	\$ 250.200,00	\$ 250.200,00	\$ 250.200,00
TOTAL EGRESOS	\$ 1.475.260,00	\$ 1.475.260,00	\$ 1.475.260,00	\$ 2.700.220,00	\$ 2.700.220,00
SALDO NETO	\$ 117.448,11	\$ 117.448,11	\$ 117.448,11	\$ 485.196,22	\$ 485.196,22

Elaborado por: Autor

A partir del saldo neto obtenido, se podrá determinar en qué periodo de tiempo se pagará el total de la inversión inicial, tomando en cuenta un interés del 12% según el Banco Central del Ecuador.

Tabla 47. Pago de la Inversión Inicial.

PAGO DE LA INVERSIÓN					
	Primer AÑO	Segundo AÑO	Tercer AÑO	Cuarto AÑO	Quinto AÑO
SALDO NETO	\$ 117.448,11	\$ 117.448,11	\$ 117.448,11	\$ 485.196,22	\$ 485.196,22
SALDO INVERSIÓN	\$ 439.050,00	-\$ 374.287,89	-\$ 301.754,33	-\$ 220.516,74	\$ 0,00
INTERÉS	\$ 52.686,00	-\$ 44.914,55	-\$ 36.210,52	-\$ 26.462,01	\$ 0,00
SALDO POR PAGAR	-\$ 374.287,89	-\$ 301.754,33	-\$ 220.516,74	\$ 0,00	\$ 0,00

UTILIDAD	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 238.217,46	\$ 485.196,22
UTILIDAD ACUMULADA	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 238.217,46	\$ 723.413,68

Elaborado por: Autor

3.3.4.1.Evaluación económica

Para determinar si invertir en la planta productora de papel a partir del residuo es positivo, se deben calcular los dos principales indicadores:

- Tasa Interna de Retorno.
- Valor Actual Neto.

Estos indicadores se presentan a continuación:

Tabla 48. TIR y VAN.

TIR Y VAN				
PERIODO	INGRESOS	EGRESOS	SALDO	SALDO ACUMULADO
Primer Año	\$ 1.592.708,11	\$ 1.914.310,00	-\$ 321.601,89	-\$ 321.601,89
Segundo Año	\$ 1.592.708,11	\$ 1.777.014,33	-\$ 184.306,22	-\$ 505.908,11
Tercer Año	\$ 1.592.708,11	\$ 1.695.776,74	-\$ 103.068,63	-\$ 608.976,75
Cuarto Año	\$ 3.185.416,22	\$ 2.700.220,00	\$ 485.196,22	-\$ 123.780,53
Quinto Año	\$ 3.185.416,22	\$ 2.700.220,00	\$ 485.196,22	\$ 361.415,68
Sexto Año	\$ 3.185.416,22	\$ 2.700.220,00	\$ 485.196,22	\$ 846.611,90
			<u>TIR</u>	30%
			<u>VAN</u>	161.493

Elaborado por: Autor

Como se puede observar, los valores del TIR y VAN determinan que el proceso es económicamente rentable, dando ganancias económicas significativas desde el quinto año y es un proyecto atractivo para inversionistas.

4. Discusión

4.1. Conclusiones

- El tamaño de la muestra de residuo, para su caracterización, fue suficiente para realizar todas las pruebas, con sus réplicas recomendadas en las normas TAPPI, determinando que la muestra fue representativa y los valores obtenidos poseen una diferencia menor, si se tienen los cuidados recomendados al momento del muestreo y transporte de residuo.
- 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.

4.2. Recomendaciones

- Para obtener valores comprobados estadísticamente en la caracterización de las fibras, se recomienda realizar un mayor número de muestras y réplicas, determinando medidas de dispersión de los datos.
- 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.

Referencias Bibliográficas

- Abad, J., & Otilia, R. (2002). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE PULPA PARA PAPEL APROVECHANDO LOS DESECHOS DEL CULTIVO DEL PLATANO EN LA REGION DEL VIEJO CALDAS*. Manizales: Universidad de Antioquia.
- AHHP. (2010). *El papel, protagonista de nuestra historia*. Madrid: Asociación Hispánica de Historiadores del Papel.
- Alderetes, C., & Bertollo, N. (2004). *Almacenamiento de Fluidos en tanques de almacenamiento*. Argentina.
- ANCUPA y FEDEPAL. (2005). *Inventario de plantaciones de palma aceitera en el Ecuador*. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Ante, E. (2011). • *Desarrollo de la HMI para un scada para el departamento de producción de semilla de palma africana de la estación INIAP Santo Domingo De Los Tsachilas*. Quito: EPN.
- API. (1994). *API Specification 12D*. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- ASPAPEL. (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.
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorefinería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- 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.
- Bayona, O., & Sánchez, M. (2006). *Activación física del raquis de la palma africana para la obtención de carbón activado*. Bucaramanga: UIS.
- Bermejo, R. (2005). *La gran transición hacia la sostenibilidad*. Madrid: Catarata.
- Bordouns, A. (2007). *Un curso de cálculo numérico*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Carmenatti, J., Sarmiento, L., & Santos, R. (2005). *Las palmas como fuente de alimento para cerdos en el trópico*. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Castells, X. (2000). *Reciclaje de residuos industriales*. Madrid: Días de Santos.
- Colona, P. (2010). *La Química Verde*. Zaragoza: Acribia.
- Constructores S.A. (2014). *La construcción y la agricultura*. Quito: Constructores S.A.

Costa, V. (08 de 11 de 2012). Aspectos relevantes para implementar PML. *Producción más limpia*. Quito, Pichincha, Ecuador: UISEK.

Echeverri, V. (2005). *Control de los evaporadores de los laboratorios de procesos productivos de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

El Telégrafo. (26 de 05 de 2014). *El Telégrafo*. Recuperado el 30 de 05 de 2014, de <http://www.telegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/item/este-ano-palmicultores-proyectan-550-000-toneladas-de-aceite.html>

Gómez, L. (2004). *Blanqueo de pulpas obtenidas a partir de la hoja de la palma africana mediante reacción con perborato*. Bucaramanga: UIS.

González, A. (2005). *Factibilidad del uso de fibra de raquis de palma africana para elaborar papel*. Guácimo: EARTH.

Google Inc. (2014). *Google Maps*. Mountain View: Google Inc.

Greenpeace. (2004). *Guías para un consumo responsable de productos forestales: El papel*. Madrid: Greenpeace Madrid.

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.

INEN. (2014). *NTE INEN 1429*. Quito: INEN.

INGLESA. (1999). *Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento*.

Instituto Nacional de Preinversión. (2013). *Estudio básico de la industria de pulpa y papel*. Quito: Instituto Nacional de Preinversión.

Instituto Nacional de Preinversión. (2013). *Estudio básico de la industria de pulpa y papel*. Quito: Instituto Nacional de Preinversión.

Lodish, B. (2006). *Biología celular y molecular*. Nueva York: Panamericana.

López, A. (2008). *Introducción al Diseño*. Madrid: Vértice.

Machado, A. (2010). *Guía de Estudios de Química Orgánica*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

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.

Marcos, M. T. (1993). *Fabricación artesanal de papel en Castilla - La Mancha*. Madrid: U.C.M Departamento de pre-historia.

McCabe, S. y. (2002). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. México: McGraw-Hill.

Ministerio del Ambiente. (11 de 09 de 2013). MAE. Recuperado el 03 de 01 de 2014, de MAE: <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-logra-apoyo-del-gobierno-de-corea-para-programa-de-reforestacion-nacional/>

Ministerio del Ambiente. (11 de 09 de 2013). MAE. Recuperado el 03 de 01 de 2014, de MAE: <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-logra-apoyo-del-gobierno-de-corea-para-programa-de-reforestacion-nacional/>

Mocchuitti, P., & Adell, A. (2007). *Fundamentos de la producción de pasta celulósicas*. Santa Fé: Universidad Nacional del Litoral.

Monsalve, P., Ochoa, J., Gómez, N., & Peñuela, M. (2011). *Deslignificación de racimos de frutos vacíos procedentes de la extracción de aceite de palma africana "raquis", mediante hongos ligninolíticos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

NOREL. (2007). *Importancia del aceite de palma y sus subproductos para la alimentación animal*. Madrid: NOREL.

Ortiz, A. (2009). *Tratamiento por acidificación controlada del licor negro derivado del bagazo de caña para la recuperación de lignina y reducción de la demanda química de oxígeno (DQO)*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Perea, E. (2010). *Utilización de quelatos en la agricultura*. México D.F.: Synthesis.

Perry, R. H. (2001). *Manual del Ingeniero Químico Tomo I*. McGraw-Hill.

Químicos e importaciones H&H. (2014). *Proforma*. Quito: Químicos e importaciones H&H.

Rafael, M. (2010). *Bagazo de caña de azúcar para la producción de celulosa y papeles aglomerados*. Habana: ENET.

Redsauce Engineering Services S.L. (2006). *Recuperación de productos y calor en la industria papelera*. Barcelona: Redsauce Engineering Services S.L.

Ríos, S. (2008). *Obtención y evaluación de pulpa a partir del raquis de la palma africana mediante los procesos de soda y soda-antraquinona*. Bucaramanga: UIS.

Rodriguez, A. (2010). *Dimensionamiento y diseño estructural de un tanque de almacenamiento*. Madrid.

Salas, P. (2009). *Estudio de la factibilidad comercial y económica de un proyecto agrícola para la producción y comercialización de palma africana*. Quito: ESPE.

Sánchez, V. (2012). *Balance de materia y energía en un evaporador de efecto simple*. México D.F: Instituto Tecnológico de los Mochis.

Sandermann, H. (1998). *La industria química de la madera*. Turrialba: OEA.

SCA. (2010). *Fabricación de Papel*. Estocolmo: Tryckeribolaget.

SFA. (2010). *Monografía de Palma de Aceite*. México D.F: SAGARPA.

Solís, H. (2013). *Diseño de bombas hidráulicas*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Teshcke, K., & Demers, P. (2004). *Industria de papel y de la pasta de papel*. Madrid: Ministerio de Empleo y Seguridad social.

Trámites Ciudadanos. (28 de 07 de 2014). *Trámites Ciudadanos*. Recuperado el 26 de 07 de 2014, de <http://www.tramitesciudadanos.gob.ec/tramite.php?cd=2359>

Vega, A. (2004). *Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces*. Bogotá: Convenio Andrés Bello.

ANEXO 1

PROTOCOLOS PARA PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN

EXTRACTIVOS: SOLUBLES EN ETANOL-BENCENO

Según Norma: TAPPI T 204 cm-97; Relacionado con: ASTM D 1107, D 1108, D 1794;

Objetivos:

- Extraer grasas, ceras, algunas resinas, hidrocarburos no volátiles, hidratos de carbono de bajo peso molecular, sales y otras sustancias solubles en agua.

Reactivos:

- Etanol, aproximadamente 95% en volumen C₂H₅OH, o desnaturalizado con 5% de metanol, que tiene un residuo después de la evaporación de menos de 0,005%.
- El benceno, C₆H₆ purificado, que tiene un residuo después de la evaporación de menos de 0,001%.

Mezclar 1 volumen de etanol y 2 volúmenes de benceno.

Materiales y equipos:

- Cartuchos de extracción
- Aparato de extracción: Matraz de extracción Soxhlet de capacidad de 250 ml.
- Plato de pesaje
- Dispositivo de calentamiento

Preparación de la muestra:

Las muestras hechas astillas se secaron al aire libre, hasta que su contenido de humedad se equilibró con el ambiente. Enseguida se pulverizaron en un molino para homogeneizarlas, se tamizaron a través de una malla número 40 y se recolectó lo que quedó retenido en un tamiz con malla número 60. Se recomienda mantener el material seco y tamizado en bolsas selladas para minimizar los cambios en su contenido de humedad, hasta ser analizado.

Para el disolvente utilizado, se requieren al menos 4 g para la determinación por duplicado. A partir de la muestra secada al aire, pesar 5 mg, en un cartucho de extracción tarado, una muestra equivalente a $2 \pm 0,1$ g de la madera sin humedad.

Procedimiento:

- Limpiar y secar el matraz de extracción Soxhlet. Colocar el cartucho de extracción y la muestra en posición en el aparato Soxhlet.
NOTA 1: Para madera, coloque un pequeño cono de malla de alambre de malla fina o un disco de vidrio poroso en la parte superior del dedo de guante para evitar cualquier pérdida de la muestra.

- Llenar el matraz de extracción con 150 ml de la mezcla etanol-benceno.
- Conectar el matraz al aparato de extracción, y comenzar el flujo de agua a la sección del condensador. Ajuste los calentadores para proporcionar una velocidad de ebullición que se desplazará a los especímenes para no menos de 24 extracciones durante un período de 4 a 5 h. Si la extracción se deja sin supervisión, se debe hacer una provisión para apagar el fuego si el agua y/o la electricidad se apagan inesperadamente.
- Retirar el matraz del aparato y parcialmente evaporar el disolvente en el matraz de extracción, a un volumen de 20-25 ml. Transferir el extracto al plato de pesaje tarado, mediante lavado con pequeñas cantidades de disolvente fresco. Maneje el plato de pesaje con unas pinzas o tenazas. Se debe evaporar el disolvente hasta casi sequedad, en la campana de extracción de humos.
- Secar la cápsula y su contenido en un horno durante 1 hora a $105 \pm 3^\circ \text{C}$, enfriar en un desecador y pesar con precisión de 0,1 mg.
NOTA 3: El secado hasta peso constante no es factible, debido a la volatilidad o cambios químicos producidos por secado prolongado.
- Ejecutar una prueba en blanco con el disolvente. Evaporar 150 ml del disolvente a sequedad, y pesar el residuo a los 0,1 mg más cercanos. Corregir el peso del extracto seco por el peso del residuo encontrado.

Cálculos:

Calcular el contenido de extractos de la siguiente manera:

$$\%_{\text{extractivos } B} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] * 100$$

Donde

A = Peso inicial anhidro de la muestra, g

B = Peso anhidro de la muestra después de la extracción, g

$$B = Pda - Pd$$

Donde

Pda = Peso del dedal con madera antes de la extracción, g

Pd = Peso del dedal con madera después de la extracción, g

EXTRACTIVOS: SOLUBLES EN AGUA FRÍA

Según Norma: TAPPI T 207 cm-99; Relacionado con: ASTM D1110

Objetivos:

- Extraer taninos, gomas, azúcares, almidones y colorantes. (Agua fría)
- Medir el almidón en la materia prima fibrosa. (Agua caliente)

Materiales y equipos:

- Baño María
- Agitador magnético o varilla de agitación
- Vaso de precipitación 400 ml
- Matraz Erlenmeyer, 250 ml, provisto de condensador de reflujo.
- Equipos para filtración: crisol, matraz de filtración 500-1000 ml; brida de caucho para el crisol; fuente de vacío.
- Frasco de pesaje con tapón de vidrio
- Probetas graduadas, 100 ml y 500 ml

Preparación de la muestra:

Las muestras hechas astillas se secaron al aire libre, hasta que su contenido de humedad se equilibró con el ambiente. Enseguida se pulverizaron en un molino para homogeneizarlas, se tamizaron a través de una malla número 40 y se recolectó lo que quedó retenido en un tamiz con malla número 60. Se recomienda mantener el material seco y tamizado en bolsas selladas para minimizar los cambios en su contenido de humedad, hasta ser analizado.

Procedimiento:

- Solubilidad en agua fría.
 - Colocar la muestra en un vaso de 400 ml y añadir lentamente 300 ml de agua destilada, lo que hace que la madera o pulpa se humedezcan inicialmente para evitar la tendencia a flotar.
 - Llevar a cabo la extracción a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ con agitación constante durante 48 h.
 - Transferir el material a un crisol filtrante tarado que ha sido previamente secado a un peso constante a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$, se lava con 200 ml de agua destilada fría, y seca hasta peso constante a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
 - Colocar el crisol caliente en un frasco de pesaje ligeramente taponada y enfriar en un desecador antes de pesarla.

Cálculos:

Para solubilidad en agua caliente y fría:

$$\%_{\text{extractivos } A} = \left[\frac{(A - B)}{A} \right] * 100$$

Donde:

A: peso inicial de la muestra de ensayo, g

B: peso de la muestra de ensayo después de la extracción, g

SUSTANCIAS EXTRAÍBLES TOTALES

Wang and Hart, 1983

Objetivos:

- Determinar la cantidad total de sustancias extraíbles.

Reactivos:

- 200 ml ciclohexano
- 200 ml acetona
- 200 ml metanol
- Gel de sílice

Materiales y equipos:

- Equipo Soxhlet
- Rotavapor
- Desecador

Preparación de la muestra:

Las muestras hechas astillas se secaron al aire libre, hasta que su contenido de humedad se equilibró con el ambiente. Enseguida se pulverizaron en un molino para homogeneizarlas, se tamizaron a través de una malla número 40 y se recolectó lo que quedó retenido en un tamiz con malla número 60. Se recomienda mantener el material seco y tamizado en bolsas selladas para minimizar los cambios en su contenido de humedad, hasta ser analizado.

Procedimiento:

- En 6 g de harina de la materia fibrosa se aplica una extracción sucesiva sólido-líquido en equipo Soxhlet con 200 ml de los siguientes solventes: ciclohexano (CH), acetona (ACE) y metanol (MET), finalmente, agua caliente bajo reflujo (AC).
- Los periodos de extracción son de cuatro horas.
- Los solventes se recuperan en un rotavapor aplicando vacío y el extracto respectivo se coloca en un desecador, con gel de sílice como agente desecante, hasta peso constante.

Cálculos:

El contenido de extraíbles para cada solvente se calculó dividiendo el peso del extracto anhidro entre el peso de la harina anhidra referido porcentualmente.

CENIZAS

Según Norma: TAPPI T 211 om-02; Relacionado con: ASTM D 1102

Objetivos:

- Determinar la cantidad de cenizas presentes en la muestra.

Reactivos:

- Alúmina anhidra

Materiales y equipos:

- Cisoles de 50 a 100 ml, con tapa.

- Mufla adecuada para mantener una temperatura de 525 ± 25 ° C. El control de la temperatura y su precisión son críticos para este método.

Preparación de la muestra:

Las muestras hechas astillas se secaron al aire libre, hasta que su contenido de humedad se equilibró con el ambiente. Enseguida se pulverizaron en un molino para homogeneizarlas, se tamizaron a través de una malla número 40 y se recolectó lo que quedó retenido en un tamiz con malla número 60. Se recomienda mantener el material seco y tamizado en bolsas selladas para minimizar los cambios en su contenido de humedad, hasta ser analizado.

La muestra de ensayo estará constituida por pequeñas piezas de la muestra, elegidas de forma que sea representativa. El peso de la pieza será de al menos 1 g libre de humedad y puede ser aumentado a un tamaño suficiente para producir un peso de cenizas de no menos de 10 mg y preferiblemente por encima de 20 mg.

Procedimiento:

- Transferir la muestra de ensayo al crisol y, con la tapa entreabierta, carbonizar suavemente la muestra en el crisol en el horno o directamente sobre una llama baja de un mechero Bunsen.
- Alternativamente, coloque el crisol, sin la tapa, en un horno a unos 100 ° C. Se eleva la temperatura a 525 ° C lentamente para que la muestra se vuelva carbonizada y sin llamas. La muestra debe ser carbonizada, no quemado para que la temperatura de la muestra no supera los 525 ° C.
- Cuando el residuo ha dejado de carbonizarse, colocar el crisol con la muestra en el horno a 525 ± 25 ° C y retirar la tapa después del crisol parece haber alcanzado la temperatura del horno.
- Cuando la muestra está completamente quemada, como se indica por la ausencia de partículas negras, retire el crisol del horno, colocar la tapa y deje que se enfríe un poco, y luego colocar en un desecador que contiene alúmina anhidra y enfriar a temperatura ambiente. Pesar el crisol con las cenizas. Repetir la ignición y pesado hasta que el peso de la ceniza sea constante a $\pm 0,2$ mg.

RESUMEN: Limpie cuidadosamente el crisol y encender la mufla a 525 ± 25 ° C durante 30-60 minutos. Después de la ignición, enfriar un poco y luego se coloca en un desecador, que contiene alúmina anhidra. Cuando se enfría a temperatura ambiente, pesar el crisol en la balanza analítica de 0,1 mg.

Cálculos:

Calcular el contenido de cenizas de la siguiente manera:

$$\%_{Ceniza} = \frac{A * 100}{B}$$

Donde:

A = peso de la ceniza, g

B = peso de la muestra de la prueba, g

HOLOCELULOSA

De acuerdo con la Norma ASTM D 1104-56

Objetivos:

- Cuantificación de holocelulosa, que representa la fracción total de polisacáridos, es decir, celulosa + hemicelulosas.

Reactivos:

- 150 ml de agua destilada
- 3 g de clorito de sodio
- 0.6 ml de ácido acético glacial

Materiales y equipos:

- Erlenmeyer
- Agitador magnético
- Embudo
- Papel filtro
- Placa calefactora
- Horno
- Desecador

Preparación de la muestra:

Las muestras hechas astillas se secaron al aire libre, hasta que su contenido de humedad se equilibró con el ambiente. Enseguida se pulverizaron en un molino para homogeneizarlas, se tamizaron a través de una malla número 40 y se recolectó lo que quedó retenido en un tamiz con malla número 60. Se recomienda mantener el material seco y tamizado en bolsas selladas para minimizar los cambios en su contenido de humedad, hasta ser analizado.

Para realizar esta práctica, la muestra debe estar libre de extraíbles. Realizan primeramente las prácticas de extracción en agua y etanol-benceno.

Procedimiento:

- Inicialmente, se coloca 1 g de muestra en un matraz Erlenmeyer (300 ml) y se añade 150 ml de agua destilada.
- Mientras se agita lentamente, se añaden 1 g de NaClO₂ y 0,2 ml de ácido acético y se debe cubrir el matraz de vidrio y se hierve a 70 hasta 80 ° C durante 60 min.
- Una vez más, se añaden 1 g de NaClO₂ y 0,2 ml de ácido acético y se hierve 3 veces.
- Después de enfriar la muestra, esta se filtra usando un matraz de filtración y se lava con agua caliente hasta que quede libre de ácido. Después, la porción insoluble se seca en un horno a 105 ° C durante 4 h, se enfría en un desecador y se pesa, varias veces hasta obtener un peso constante.

Cálculos:
$$\%_{holocelulosa} = \frac{\text{peso de holocelulosa}}{\text{peso inicial de la muestra}} \times 100$$

CELULOSA Y HEMICELULOSA

De acuerdo la Norma ASTM D 1695-77.

Objetivos:

- Determinación de celulosa y hemicelulosa

Reactivos:

- 25 ml de NaOH al 17.5%
- 33 ml agua destilada
- 15 ml de ácido acético al 10%

Materiales y equipos:

- Baño María (Baño termorregulador)
- Vaso de precipitación
- Crisoles GOOCH
- Horno

Preparación de la muestra:

El procedimiento se realiza a partir de la holocelulosa obtenida.

Procedimiento:

- Se toman 2 g de holocelulosa libre de extractivos y se agregan 10 ml de NaOH al 17.5% a una temperatura constante de 20°C en un baño termorregulador.
- Después de 2 min se agregan 5 ml de la solución de NaOH en intervalos de 5 min hasta completar 25 ml de NaOH en total incluyendo la cantidad inicial.
- Luego de esto se deja la mezcla a 20°C durante 30 min, para un total de 45 min.
- Pasados los 45 min se agregan 33 ml de agua destilada a 20°C y el sólido se deja reposar por 1 hora antes de filtrar. Se usan crisoles GOOCH para llevar a cabo la filtración, lavando con agua destilada.
- Luego a la celulosa recogida en el crisol se le agregan 15 ml de ácido acético al 10%. El ácido es retirado pero no en su totalidad, solo para que el sólido celulósico quede ligeramente cubierto por 3 min.
- Posteriormente se retira el ácido acético remanente por succión y se efectúan lavados hasta que la concentración de ácido sea la mínima posible.
- Posteriormente se seca el crisol con la celulosa.

Cálculos:

- El peso de celulosa se determina como la diferencia entre el peso del crisol con sólidos y el peso del crisol vacío.
- La hemicelulosa se determina mediante la diferencia entre la cantidad inicial de holocelulosa libre de extractivos y la cantidad de celulosa determinada aplicando la metodología anterior.

ANEXO 2

BALANCE DE MATERIA

Corriente		1	2	3	4	5
Descripción		Entrada al Tanque de Almacenamiento	Entrada al Tanque de Almacenamiento	Salida del Tanque de Almacenamiento	Entrada de fibra celulósica al Recipiente	Entrada a las boquillas de aspersión
Fibra	Flujo másico (Ton/lote)	0	0	0	4,2	0
	Flujo volumétrico (m3/lote)	0	0	0	15,5556	0
Celulosa y Hemicelulosa	Flujo másico (Ton/lote)	0	0	0	2,4217	0
	Flujo volumétrico (m3/lote)	0	0	0	8,9693	0
Lignina	Flujo másico (Ton/lote)	0	0	0	1,1861	0
	Flujo volumétrico (m3/lote)	0	0	0	4,3930	0
Cenizas y solubles	Flujo másico (Ton/lote)	0	0	0	0,5922	0
	Flujo volumétrico (m3/lote)	0	0	0	2,1932	0
Hidróxido de Sodio	Flujo másico (Ton/lote)	0	1,26	1,26	0	0
	Flujo volumétrico (m3/lote)	0	0,5915	0,5915	0	0
Peróxido de Hidrógeno	Flujo másico (Ton/lote)	0	0	0	0	0
	Flujo volumétrico (m3/lote)	0	0	0	0	0
Agua	Flujo másico (Ton/lote)	42	0	42	0	6,3
	Flujo volumétrico (m3/lote)	42	0	42	0	6,3











6	7	8	9	10	11	12	13
Salida del Recipiente (Licor negro)	Salida del Recipiente (Pulpa Marrón)	Entrada al Filtro Prensa	Salida del Filtro Prensa (Licor Negro y agua)	Salida del Filtro Prensa (Pulpa Marrón)	Entrada al Recipiente	Salida del Recipiente (Pulpa Blanqueada)	Salida del Recipiente (Licor de Blanqueo)
0	2,4746	0	0	2,4746	0	1,5590	0
0	9,1653	0	0	9,1653	0	5,7742	0
0,4997	1,9220	0	0,0405	1,8815	0	1,2376	0,6439
1,8507	7,1185	0	0,1500	6,9685	0	4,5836	2,3850
0,5041	0,6820	0	0,0890	0,5931	0	0,0445	0,5486
1,8670	2,5260	0	0,3295	2,1965	0	0,1648	2,0319
0,5478	0,0444	0	0,044	0	0	0	0
2,0288	0,1957	0	0,1630	0	0	0	0
1,26	0	0	0	0	0	0	0
0,5915	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	8,1663	0,6125	7,5538
0	0	0	0	0	7,4239	0,5568	6,8671
38,85	3,1500	0,0371	2,9481	0,2390	24,7464	1,8559	23,1295
38,85	3,1500	0,0371	2,9481	0,2390	24,7464	1,8559	23,1295

14	15	16	17	18	19	20
Entrada al Filtro Prensa	Salida del Filtro Prensa (Licor de Blanqueo y agua)	Salida del Filtro Prensa (Pulpa Blanqueada)	Entrada a la Mesa de formación	Salida de la Mesa de formación	Salida del Evaporador	Salida de la Caldera
0	0	1,5590	1,5590	1,5590	0	0
0	0	5,7742	5,7741	5,7741	0	0
0	0,0522	1,1853	1,1853	1,1853	0	0
0	0,1934	4,3902	4,39	4,39	0	0
0	0,0445	0	0	0	5,9700	1,7910
0	0,1648	0	0	0	22,1111	6,6333
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0,6125	0	0	0	0	0
0	0,5568	0	0	0	0	0
0,0234	1,7947	0,0846	0,0564	0,0282	0	0
0,0234	1,7947	0,0846	0,0564	0,0282	0	0









ANEXO 3

MSDS: Hidróxido de sodio y Peróxido de hidrógeno.

Recopiladas de: IPCS, 2010.

HIDRÓXIDO DE SODIO			ICSC: 0360 Mayo 2010
CAS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	1310-73-2 1823 011-002-00-6 215-185-5	Sosa cáustica Hidrato de sodio Sosa NaOH Masa molecular: 40.0	  
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2-)26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F0; R1		Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010			
<div><div> International Programme on Chemical Safety</div><div> WHO</div><div> ILO</div><div> UNEP</div><div></div><div> MINISTERIO DE TRABAJO E INMIGRACIÓN</div><div> INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO</div></div>			

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICSC: 0360
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas	VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves	
PELIGROS QUÍMICOS La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISQ:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoniaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).	RIESGO DE INHALACIÓN Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.	
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 2 mg/m³ (Valor techo) (ACGIH 2010). MAK: IIb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.	
	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.	
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 1388°C Punto de fusión: 318°C Densidad: 2.1 g/cm³		
Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).		
DATOS AMBIENTALES		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otro nº NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 2 mg/m³		
<div>NOTA LEGAL</div> <div>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</div> <div>© IPCS, CE 2010</div>		

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN SOLUCIÓN >60%			ICSC: 0164 Abril 2000
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	7722-84-1 Ver Notas 2015 008-003-00-9 231-765-0	Hidroperóxido Dióxido de hidrógeno Dióxido de dihidrógeno Agua oxigenada H ₂ O ₂ Masa molecular: 34.0	 
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. La sustancia puede prender materiales combustibles. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.	NO poner en contacto con agentes combustibles o reductores. NO poner en contacto con superficies calientes.	En caso de incendio en el entorno: agua en grandes cantidades, pulverización con agua.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con calor o catalizadores metálicos.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Vértigo. Dolor de cabeza. Náuseas. Jadeo.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Manchas blancas. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor.	Guantes de protección. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad o pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor de garganta. Dolor abdominal. Distensión abdominal. Náuseas. Vómitos.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. Eliminar el líquido derramado con agua abundante. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración).		Material especial. Clasificación UE Símbolo: O, C R: 5-8-20/22-35 S: (1/2-)17-26-28-36/37/39-45 Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 5.1 Riesgos Subsidiarios de las NU: 8 Grupo de Envasado NU: I	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-51S2015 Código NFPA: H 2; F 0; R 3; OX		Separado de sustancias combustibles y reductoras, alimentos y piensos, bases fuertes, metales. Mantener en lugar fresco. Mantener en la oscuridad. Almacenar en contenedor con un sistema de venteo. Almacenar solamente si está estabilizado.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			
<div><div><div>IPCS International Programme on Chemical Safety</div><div></div></div></div>			

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO EN SOLUCIÓN >60%		ICSC: 0164
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone al calentarla suavemente o bajo la influencia de la luz, produciendo oxígeno, que aumenta el peligro de incendio. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores causando peligro de incendio o explosión particularmente en presencia de metales. Ataca a muchas sustancias orgánicas, ej. textiles y papel.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 1 ppm (como TWA), A3 (ACGIH 2004). MAK: 0.5 ppm, 7.1 mg/m³, Categoría de limitación de pico: I(1), Cancerígeno: categoría 4, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2005).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos y la piel. El vapor irrita el tracto respiratorio. La ingestión de esta sustancia puede producir burbujas de oxígeno (embolia) en la sangre, dando lugar a shock.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la inhalación de concentraciones altas. La sustancia puede afectar al cabello, dando lugar a decoloración.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 141°C (90%), 125°C (70%) Punto de fusión: -11°C (90%), -39°C (70%) Densidad relativa (agua = 1): 1.4 (90%), 1.3 (70%) Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.2 (90%), 0.1 (70%) Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.0 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -1.36</p>	
DATOS AMBIENTALES		
<p>La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.</p>		
NOTAS		
<p>Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). RTECS MX900000 se refiere a solución >90%; MX0887000 se refiere a solución >30%. Otros números NU: 2014 (disolución acuosa al 20-60% de peróxido de hidrógeno): clase de peligro 5.1, riesgo subsidiario 8, grupo de envasado II; 2984 (disolución acuosa al 8-20% de peróxido de hidrógeno): clase de peligro 5.1, grupo de envasado III. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005: ver Límites de exposición, Clasificación UE, Respuesta de Emergencia.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 1 ppm; 1,4 mg/m³</p>		
<p>NOTA LEGAL</p> <p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p> <p>© IPCS, CE 2005</p>		

ANEXO FOTOGRÁFICO

Elaborado por: Autor

- Caracterización de la materia prima.
 - Solubles en Agua.



- Solubles en Etanol-benceno.



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.

○ Holocelulosa.



○ Celulosa y hemicelulosa.



- Cenizas.



- Pruebas de experimentación.

