

**EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE
ACEITE DE PALMA EN LA PLANTA DE BENEFICIO COOPERATIVA
PALMAS RISARALDA (COOPAR), NORTE DE SANTANDER**

JEFFER STEVEN RINCÓN MONCADA

**PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
2017**



EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN LA PLANTA DE BENEFICIO COOPERATIVA PALMAS RISARALDA (COOPAR), NORTE DE SANTANDER

JEFFER STEVEN RINCÓN MONCADA

PROYECTO DE GRADO

Trabajo presentado para optar al título de Ingeniero Químico

Dirigido por:

SANDRA MILENA ZAMBRANO CONTRERAS
Ingeniera Química, MSc. Controles Industriales

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER
2017



DEDICATORIA

A Dios

A mis padres Martha Moncada y Martin Rincón por su apoyo, buen ejemplo y esfuerzos realizados en todo momento para el cumplimiento de mis metas en cada etapa de mi vida.

A mis hermanas por ser el motor de mi vida.

A Karen Ramos por ser esa persona tan especial e importante en toda la etapa de mi carrera, por su apoyo incondicional por estar siempre en las buenas y las malas.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Pamplona por haber permitido culminar una etapa muy importante de mis estudios.

A mi tutora, Sandra Zambrano por su tiempo y esfuerzo realizado para llevar a cabo este proyecto.

Empresa Cooperativa Palmas Risaralda Ltda, por abrirme la puerta y permitir que mi práctica profesional fuera llevada a cabo en su planta de producción.

A todo el cuerpo de docentes que intervinieron y me aportaron en mi formación como profesional.

A mi compañera de estudio Deny Poveda y su madre doña Rebeca mil gracias.



TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. OBJETIVOS	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. PALMA DE ACEITE	8
2.2. INTRODUCCIÓN DE LA PALMA DE ACEITE EN AMÉRICA	9
2.3. EL ACEITE DE PALMA	9
2.4. LA AGROINDUSTRIA DEL ACEITE DE PALMA EN COLOMBIA	10
2.5. EL ACEITE DE PALMA EN COLOMBIA	11
2.6. PALMA DE ACEITE EN NORTE DE SANTANDER	12
2.7. USOS DE LA PALMA DE ACEITE	12
2.7.1. USOS ALIMENTICIOS DEL ACEITE DE PALMA	12
2.7.2. USOS NO ALIMENTICIOS DEL ACEITE DE PALMA	14



2.8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA.	16
2.8.1. Cosecha	16
2.8.2. Esterilización	16
2.8.3. Desfrutamiento	16
2.8.4. Digestión.....	17
2.8.5. Prensado	17
2.8.6. Clarificación	17
2.8.7. Secado	18
2.8.8. Palmistería	18
2.9. IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA	20
2.10. DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (P&ID).....	20
2.11. MARCO LEGAL PARA PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA	
.....	20
2.11.1. ACEITE DE PALMA SOSTENIBLE (RSPO).....	23
3. METODOLOGÍA.....	24
3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DEL PROCESO	25
3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS Y CORRIENTES DE PROCESO.....	25
3.1.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA EXTRACTORA.....	25
3.1.3. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA	26
3.1.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA ACEITE CRUDO DE PALMA ...	27
3.2. METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF	28
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	32



4.1. ELABORACIÓN DEL PFD y P&ID CORRESPONDIENTES AL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN LA PLANTA DE BENEFICIO COOPAR.	32
.....	
4.1.1. NARRATIVA DEL DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS	34
4.2. ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF	41
4.2.1. PROPUESTA ESTRATEGICA PARA EL MEJORAMIENTO OPERACIONAL Y DE CONTROL DEL DISEÑO CONCEPTUAL	46
4.2.2. IMPLEMENTACIÓN DE LAZOS DE CONTROL DE FLUJO EN EL ÁREA DE ESTERILIZACIÓN	47
4.2.3. IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERA	48
4.2.4. ANALISIS DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERA EN LA EMPRESA DE BENEFICIO COOPAR.	50
4.3. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN ASPEN PLUS TM.	51
5. CONCLUSIONES	53
6. RECOMENDACIONES	54
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
8. ANEXOS	1



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plantación Palma de aceite.	8
Figura 2. Usos alimenticios de la almendra y el aceite de palmiste.....	13
Figura 3. Usos alimenticios del aceite de palma.....	14
Figura 4. Oleoquímicos obtenidos del aceite de palma y palmiste.....	15
Figura 5. Proceso de extracción del aceite de palma.	19
Figura 6. Metodología propuesta.....	24
Figura 7. Balance de masa teórico de los racimos de fruta fresca durante la extracción.....	26
Figura 8 . PFD proceso de extracción de aceite de palma.	33
Figura 9. P&ID proceso de extracción de aceite de palma.	34
Figura 10. Recepción y Esterilización.....	35
Figura 11. Ciclos de Esterilización.....	36
Figura 12. Desfrutado.	37
Figura 13. Extracción y Palmistería.	38
Figura 14. Clarificación.	39
Figura 15. Caldera.....	40
Figura 16. Clasificación de Nodos según el nivel de riesgo.	46
Figura 17. Lazos de control para esterilizadores.	48
Figura 18. Planta de desmineralización de agua para COOPAR.	49
Figura 19. Diagrama de flujo del Área de Clarificación en el proceso de extracción de aceite de palma realizado en Aspen Plus.	52



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos legales para recurso agua.....	22
Tabla 2. Requerimientos legales Recurso Aire.	22
Tabla 3. Requerimientos legales residuos sólidos.	23
Tabla 4. Generalidades de la planta de beneficio.	25
Tabla 5. Parámetros Básicos de medición.....	27
Tabla 6. Composición Típica de los Ácidos Grasos.....	27
Tabla 7. Composición Típica de Glicéridos.....	27
Tabla 8. Caracterización Fisicoquímica.	28
Tabla 9. Especificación de Corrientes.....	31
Tabla 10. Matriz RAM adaptada a COOPAR.....	42
Tabla 11. Interpretación de riesgos.....	42
Tabla 12. Nodo No° 1 Clarificación.....	43
Tabla 13. Nodo No° 2 Área de Caldera.	43
Tabla 14. Nodo No° 3 Equipo rotativo y tuberías.	44
Tabla 15. Nodo No° 4 Manejo de efluentes y emisiones	45
Tabla 16. Nodo No° 5 Esterilización.	45
Tabla 17. Análisis de costos planta desmineralizadora.	50
Tabla 18. Resultados simulación del proceso de extracción de aceite de palma.	52
Tabla 19. Balance de Masa fase líquida proceso de clarificación.	1



RESUMEN

Las perspectivas del mercado de aceite de palma y sus derivados son promisorias puesto que el consumo de aceites y grasas vegetales, la producción de biocombustibles y la industria oleoquímica ha venido aumentando en Colombia y en el mundo en los últimos años. Cada vez se diversifica más el uso y se abren mayores perspectivas para ampliar las exportaciones.

Teniendo en cuenta dichas perspectivas, se visualiza la oportunidad de realizar una evaluación y diagnóstico del diseño de proceso, que permitirán obtener una producción optimizada y de calidad, cumpliendo con los estándares que exigen las normas del marco legal colombiano del proceso actual. Adicionalmente, se desea buscar oportunidades de mejora que permitan consolidar a la empresa Cooperativa Palmas Risaralda COOPAR como una empresa comprometida con la entrega de un producto de calidad, garantizando un proceso eficiente y competitivo.

El presente proyecto pretende realizar el análisis teórico-práctico del proceso de extracción de aceite de palma, aplicando conocimientos en el diseño de procesos, para elaborar los respectivos diagramas de flujo, instrumentación y tuberías (PFD y P&ID) del proceso general. De manera simultánea se trabajará en la implementación de un análisis de riesgo en las instalaciones de la planta de producción y se emplearán normas de Seguridad de Proceso.

De igual manera se realizará la simulación del proceso de obtención de aceite en el software ASPENPLUS™. Todos los estudios y análisis de la simulación determinarán diferentes alternativas y escenarios de operación, así como variables críticas del proceso necesarias para la minimización de costos operativos y cumplimiento de restricciones operativas.

El objetivo de la simulación es el mejoramiento del rendimiento de productos valiosos, disminución de costos y facilidad para la solución de problemas operacionales para la toma de decisiones correctas de manera rápida, las oportunidades de optimización del proceso productivo de extracción de aceite de palma se ven reflejadas en la identificar la función objetivo, restricciones, mejoramiento de calidad y disminución de costos operacionales.



ABSTRACT

The market prospects for palm oil and its derivatives are promising since the consumption of vegetable oils and fats, the production of biofuels and the oleochemical industry has been increasing in Colombia and in the world in recent years. Increasing use is becoming more diversified and greater prospects for expanding exports are opening up.

Taking into account these perspectives, it is visualized the opportunity to carry out an evaluation and diagnosis of the process design, which will allow to obtain optimized production and quality, complying with the standards required by the Colombian legal framework of the current process. In addition, we want to look for opportunities for improvement that will allow the company to consolidate the Cooperativa Palmas Risaralda COOPAR as a company committed to the delivery of a quality product, guaranteeing an efficient and competitive process.

The present project aims to perform the theoretical-practical analysis of the palm oil extraction process, applying knowledge in the process design, to elaborate the respective flow diagrams, instrumentation and pipelines (PFD and P & ID) of the general process. Simultaneously, work will be carried out on the implementation of a risk analysis in the facilities of the production plant, and Process Safety standards will be used.

In the same way the simulation of the process of obtaining oil in the software ASPENPLUS™ was carried out. All studies and analysis of the simulation of the different alternatives and operating scenarios, as well as critical variables of the process necessary for the minimization of operating costs and compliance with operating restrictions.

The objective of the simulation is to improve the performance of valuable products, cost reduction and ease of solving operational problems for the correct decision making in the fast way, the opportunities of the optimization of the productive process of the extraction Of palm oil are seen Restrictions, improvement of quality and reduction of operational costs.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La agroindustria de la palma africana en Colombia ocupa el cuarto lugar en producción en el contexto mundial y el primero en el continente americano. El producto principal que se deriva de la palma *elaeis guineensis Jacq*; es la producción de aceite a partir de la pulpa de los frutos y de las almendras. También se obtienen otros importantes subproductos derivados comestibles y no comestibles (Bernal, 2005).

La industria del aceite de palma es actualmente líder a nivel mundial en la provisión de aceites y grasas y uno de los sectores con mayor potencial por la versatilidad de usos y aplicaciones de sus productos, tales como aceite de cocina, grasas especiales, sustitutos de manteca de cacao y de grasas animales, margarinas, productos de aseo, jabones, detergentes, cosméticos, cremas dentales, velas, lubricantes, pinturas, biocombustibles y energía eléctrica, entre muchos otros. Colombia es actualmente el primer productor de aceite de palma en América y el cuarto en el mundo. Es un sector que genera empleo de calidad y negocios inclusivos para pequeños y medianos emprendedores. Este sector agro empresarial, organizado en Fedepalma, está trabajando en su desarrollo y consolidación para alcanzar los más altos estándares y hacer que el país ofrezca condiciones competitivas para su crecimiento (Fedepalma, 2010).

Las perspectivas del mercado de aceite de palma y sus derivados son promisorias puesto que el consumo de aceites y grasas vegetales, la producción de biocombustibles y la industria oleoquímica ha venido aumentando en Colombia y en el mundo en los últimos años. La agroindustria de la palma de aceite se ha fortalecido año tras año entre otras cosas, gracias a los múltiples beneficios que le brindan a pequeños y medianos productores que han invertido sus tierras, su mano de obra y sus recursos económicos en la producción de fruto, permitiéndoles dejar de lado las opciones ilícitas y convertirse en verdaderos empresarios del sector agropecuario, y en aliados estratégicos de las extractoras en su calidad de proveedores de la materia prima



fundamental para obtener aceite de palma crudo. Colombia ha alcanzado récords en toda la historia, de acuerdo con cifras de Fedepalma, la producción aceite de palma crudo ascendió a 104,370 toneladas en enero de 2016, en comparación con los mismos meses de 2010, cuando la producción aumentó en 30,500 toneladas, evidenciándose el alza en la producción (Fedepalma, 2017).

La evidente demanda en aumento del aceite de palma africana es una consecuencia de la creación, expansión y modernización de plantas extractoras de aceite de palma y productoras de biodiesel con variadas tecnologías las cuales sirven como una alternativa para suplir la actual demanda energética a nivel nacional y mundial, obteniendo un producto de buena calidad, producido a partir de una fuente renovable y respetando las normas de preservación del medio ambiente.

El proceso de extracción de aceite que se lleva a cabo en la empresa COOPAR, evidencia opciones de mejoramiento, como por ejemplo, la implementación de normativas que son críticas para la seguridad de los operarios y de la planta. Con el presente proyecto se busca obtener una producción optimizada y de calidad, cumpliendo con los estándares que exigen las normas actuales del marco legal colombiano. De igual manera, identificar oportunidades de mejora para entregar un producto en excelentes condiciones, garantizando un proceso eficiente, competitivo y amigable ambientalmente.

1.2. ANTECEDENTES

Existe una gran variedad de estudios realizados sobre el proceso de extracción de aceite de palma con diferentes tipos de análisis como: la optimización del proceso, el análisis de las materias primas, manejo de residuos, puntos de pérdidas, desarrollo de planos, caracterización del producto entre otros.

Por medio de la evaluación exegética del proceso de extracción de aceite de Palma Africana, se encontró que es posible estimar las irreversibilidades del proceso de extracción de aceite de palma



africana. Esto se hizo con el fin de identificar la localización y magnitud de los principales sumideros de exergía (relacionados con mayores pérdidas de energía útil) en el proceso mediante el uso de la primera y segunda ley de la termodinámica (S. Rocha, 2011).

Un trabajo para tener en cuenta es la estimación y reducción de pérdidas en el proceso de extracción de aceite de palma en la planta de beneficio de fruto palmar Santa Elena S.A, en el cual se presenta un informe sobre la reducción de pérdidas de aceite logradas en la planta de beneficio de aceite de palma, así como la implementación de una metodología para la optimización de balances de masa. Con los cambios realizados se logró disminuir la pérdida de aceite en tusas de un valor promedio de 0.89% en los meses de mayo y agosto a un promedio de 0.65% en los meses seguidos, equivalentes a una reducción total del 27% y un descenso en la pérdida de aceite en efluentes de un valor promedio de 1.38% en los meses de mayo y junio a un promedio de 0.78% en los meses seguidos (julio – octubre) equivalentes a una reducción total del 38% (Brugés, 2004).

Otros autores pretendían desde una amplia revisión bibliográfica, identificar los aspectos relevantes tomados en cuenta en la optimización de cadenas de abastecimiento en general, y en cadenas de abastecimiento agrícola, que puedan ser relacionados con las variables cualitativas que afectan las cadenas de abastecimiento, y mediante la utilización del Proceso Jerárquico Analítico, modelo ampliamente utilizado para soportar el proceso de toma de decisiones multivariado y para análisis de aspectos cualitativos y cuantitativos de proceso, con el cual se analiza cómo afectan las variables seleccionadas problemas críticos en cuanto al procesamiento de la palma de aceite (J. Estupiñan, 2009).

De igual manera, se analizó en forma teórica y posteriormente práctica los parámetros que influyen en el procesamiento del fruto de palma de aceite en la planta de beneficio de la empresa Palmas del Cesar, este proyecto se en foco en el análisis comparativo del proceso de beneficio del aceite de palma implementando en la planta con el propuesto por la bibliografía especializada, buscando encontrar debilidades y fortalezas en su aplicación, para proponer estrategias de mejoramiento que



beneficia a la empresa, este trabajo contiene estrategias y alternativas que de ser adoptadas por esta empresa pueden mejorar la eficiencia de las diferentes etapas del proceso, obteniendo un mayor control del mismo, aumentando los niveles de calidad del aceite, mejorando la logística del proceso de beneficio, haciéndolo más competitivo (Uribe, 2011).

Otros autores estudiaron el ambiente de globalización que vive actualmente el mundo entero, la competitividad para los países y sus sectores productivos es un tema de vital importancia para alcanzar el crecimiento económico, es por esto que se ha creado la necesidad de realizar estudios enfocados a la Caracterización de dichos sectores. El presente documento, sirve a esa necesidad, a través del análisis del sector agroindustrial del aceite de palma, apoyado en los lineamientos de la competitividad sistemática aporta elementos básicos con respecto al proceso en que se desenvuelve la cadena productiva del aceite de palma crudo en el departamento de Santander y específicamente en el municipio de Puerto Wilches (O. Maldonado, 2009).

Posteriormente en otros estudios económicos se potencializó el desarrollo de plantaciones de palma africana, apoyando a los proveedores con asistencia técnica para garantizar una futura producción con el compromiso de comprar toda la fruta de palma africana que los hacendados producían, con el fin de fidelizar a los proveedores y abastecer a la extractora de las toneladas de fruta que requiere para funcionar a su mayor capacidad operacional, incrementando el volumen de extracción de aceite rojo para la venta. El estudio financiero de esta propuesta permitió afianzar las decisiones para apoyar las estrategias de marketing aumentando las ventas de aceite rojo de palma africana a futuro (Xavier, 2012).

Últimamente se han desarrollado la validación de un método analítico para la determinación en grasas y aceites de 3-monocloropropanodiol y glicidol, dos contaminantes clasificados como cancerígenos por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer. Los métodos de análisis propuestos en bibliografía para la determinación de estos contaminantes son complicados y presentan numerosos inconvenientes, debido especialmente a la posibilidad de interconversión



de unos compuestos en otros a lo largo de su desarrollo. Esto hace necesario un estricto control de las diferentes variables de trabajo a fin de obtener resultados veraces y reproducibles (Parras, 2016).

De otra parte, Osmin Apolo, elaboró un manual de procedimientos de seguridad industrial para la extracción de aceite de palma y almendra en la empresa Neocorpbis S.A. provincia de Orellana, con la finalidad de brindar un documento básico, sencillo y útil, que identifique tipos de riesgos que pueden presentarse en los procesos de producción realizados en la planta extractora, así como prevenir y disminuir los accidentes de trabajo y describir las medidas que deben implementarse para su prevención y control. Se analizaron los riesgos existentes en la planta utilizando la matriz de identificación, estimación cualitativa y control de riesgos mediante el método de triple criterio logrando determinar las deficiencias que posee; en base a este análisis de las posibles soluciones para contrarrestar todos los problemas (Apolo, 2012).

Finalmente, con el fin de reducir las pérdidas de aceite crudo de palma en el efluente líquido final de las plantas extractoras, se plantea recuperar todo el aceite contenido en el licor de prensas en la etapa de pre-clarificación del proceso de extracción. El presente estudio propone la aplicación de un sistema físico de vibración mecánica, que genere un comportamiento de separación dinámica del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas, bajo condiciones óptimas de control de temperatura entre 90 y 95 °C. Con el ensayo de vibración realizado al licor de prensas en planta, se observó una gran velocidad de sedimentación de los lodos y la formación de una definida capa de aceite en 2 minutos, 45 segundos, y por el método Soxhlet se determinó un 0,08% de contenido de aceite crudo de palma en los lodos. La recuperación eficiente del total de aceite del licor de prensas, ayuda a disminuir la carga de aceite a las plantas de tratamiento de aguas residuales, y recuperar económicamente el promedio mensual de los últimos cuatro años \$ 120.485.735 en pérdida de aceite crudo de palma en los efluentes líquidos, con un costo promedio de \$1.873/ kilo aceite (G. Cuesta, 2013).



Teniendo en cuenta la anterior revisión, se encuentran diferentes trabajos relacionados con el tema de interés, en donde se observa que el conocimiento de las variables y parámetros del proceso de extracción son los puntos más importantes a tratar, los trabajos y estudiados encontrados se enfatizan en la optimización del proceso el cual es nuestro objetivo, no obstante, faltan temas por tratar de interés, los cual se llevara a cabo en este proyecto.



1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar y diagnosticar el proceso de extracción de aceite de palma en la planta de beneficio Cooperativa Palmas Risaralda (COOPAR), ubicada en el municipio del Zulia, norte de Santander.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar los respectivos diagramas de flujo, instrumentación y tuberías (PFD y P&ID) relacionados específicamente al proceso de extracción del aceite crudo en la planta de beneficio.
- Realizar un estudio What if para identificar riesgos potenciales, problemas operativos en el diseño y llevar a cabo una Matriz de Evaluación de Riesgos.
- Proponer mejoras al proceso actual tales como la recomendación de equipos de control e instrumentación donde sean necesarios, eficiencia de extracción y ahorro energético.
- Simular el proceso de obtención de aceite en el software ASPEN PLUS™, para determinar las oportunidades de optimización del proceso productivo de extracción del aceite de palma.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. PALMA DE ACEITE

La palma africana de aceite, *Elaeis guineensis*., es un vegetal perenne. Cuando se le cultiva con propósitos comerciales, tiene en promedio una vida que oscila entre los 24 y los 28 años, de acuerdo con el tipo de material plantado. Durante este lapso, cada palma emite racimos de frutos oleaginosos, que pueden alcanzar producciones de 4.2 toneladas durante toda su vida productiva. Esto representa unas 600 toneladas acumuladas de fruta por hectárea, cuando el proceso productivo se desarrolla en condiciones óptimas de suelo, clima, nutrición, mantenimiento, sanidad y administración (Brugés, 2004).



Figura 1. Plantación Palma de aceite. (Brugés, 2004)

Por tratarse de un cultivo tropical proveniente originalmente del África ecuatorial, la palma se desarrolla bien y expresa mejor su potencial de producción en condiciones de alta temperatura, buena radiación solar, alta precipitación y humedad relativa. A pesar de la gran adaptabilidad del cultivo, la palma prefiere suelos aluviales, sueltos, profundos, bien drenados y topografía plana o con pendientes susceptibles de ser sembrados (Brugés, 2004).

El porcentaje de aceite extraíble, puede variar significativamente por las propiedades físicas y químicas de suelos, en el nutricional, el suministro y evacuación del agua, el control de las malezas, los cuidados sanitarios y las demás labores propias del mantenimiento del cultivo, que son determinantes para que las palmas expresen su potencial productivo. En otras palabras, el nivel de tecnología aplicado en buena medida condiciona la productividad y la calidad de la materia prima del fruto (S. Rocha, 2011).

2.2. INTRODUCCIÓN DE LA PALMA DE ACEITE EN AMÉRICA

La primera introducción de semillas de palma hacia América se llevó a cabo en el año 1920, donde la Uneted Bransd recibió semillas de diferentes líneas genéticas, procedentes de Sumatra, Java y de los estados Federales de Malaya (Malasia). Estas primeras semillas se plantaron en el Jardín Botánico de Lencetilla ubicado en Tela, Honduras.

A partir de las líneas genéticas, se inició la etapa de fitomejoramiento de este cultivo en América. En el año 1951, se obtuvieron los primeros resultados de investigación en los cuales se determinó la superioridad de las líneas Deli Dura desarrolladas en las Indias Occidentales, sobre aquellas de origen africano (R. Ortiz, 1994).

2.3. EL ACEITE DE PALMA

El aceite de palma crudo se caracteriza por su alto contenido de carotenos (vitamina A) que se ve reflejado con el color rojizo del fruto. En el aceite de palma se encuentra también los tocoferoles y tocotrienoles (fracciones de la vitamina E) importantes nutrientes que, junto con los carotenos actúan como agentes antioxidantes que reducen el daño celular provocado por la acción sustancias tóxicas o la contaminación ambiental, que acelera el envejecimiento y el desarrollo de algunas enfermedades, siendo también una sustancia anticancerígenas y antitrombóticas y una excelente alternativa para combatir la deficiencia de vitamina A.



Una característica que hace único al también llamado aceite de oro por los asiáticos, es su balance perfecto entre grasas saturadas e insaturadas, por lo que no tiene efectos negativos en el colesterol de quienes lo consumen. Aunque no se conozca todos sus beneficios, desde hace cinco mil años los pobladores africanos lo usaron como alimento. Inclusive hoy, como entonces, en varios países de ese continente se consume crudo y sin refinar.

El consumo actual de aceite de palma es abastecido en primer lugar por Malasia, seguido de Indonesia. El resto de los países, que siguen en orden de importancia son: Papúa Guinea, Singapur, Hong Kong, Tailandia, Colombia y Costa Rica. Colombia presenta excedentes en su producción de aceite de palma, que son vendidos en el mercado internacional y lo ubican en el quinto puesto a nivel mundial de los países productores de aceite de palma (J. Estupiñan, 2009).

2.4. LA AGROINDUSTRIA DEL ACEITE DE PALMA EN COLOMBIA

Debido al desarrollo que ha tenido la agroindustria de la palma en Colombia, ésta se ha convertido en una de las actividades agrícolas más prometedoras como eje para alcanzar el desarrollo nacional.

La palma de aceite fue introducida en Colombia en 1932, por Florentino Claes con fines ornamentales en la Estación Agrícola de Palmira (Valle del Cauca). Las primeras investigaciones sobre este cultivo se realizaron en la estación experimental de Palmira, que posteriormente en 1945 permitió que se contara con el material básico para el establecimiento de dos pequeñas plantaciones, una en Buenaventura y la otra en Aracataca. El cultivo comercial sólo comenzó cuando la United Fruit Company estableció una plantación en la zona bananera del departamento del Magdalena en ese mismo año. A finales de la década de los cincuenta el gobierno encomendó al Instituto de Fomento Algodonero el apoyo al establecimiento de plantaciones comerciales. Hoy en día hay más de 150.000 Ha. cultivadas en varios departamentos del país. Los aceites de palma y de palmiste representan en el mercado nacional el noventa por ciento de la producción de aceites y grasas, y cerca del sesenta por ciento del consumo de estos productos. Así mismo, las ventas al



mercado exterior se han incrementado en forma significativa desde 1990 y han logrado una participación importante en las exportaciones agroindustriales colombianas (Fedepalma, 2006).

2.5. EL ACEITE DE PALMA EN COLOMBIA

En 2014, la producción de aceite de palma crudo superó las 1.100.000 toneladas, lo que muestra una variación del 7 % en comparación con lo alcanzado en 2013. Esta tasa de crecimiento fue sobresaliente en la medida en que superó al promedio anual del último quinquenio, que se ubicó en 5,3 %. En cuanto al comportamiento regional, todas las zonas mostraron incrementos interanuales, principalmente la Suroccidental que obtuvo un aumento del 28 % en la producción de aceite crudo de palma, lo que puede explicarse por el ingreso de hectáreas improductivas a su fase de producción, como consecuencia del proceso de renovación del cultivo que se presenta en la zona. La producción nacional de aceite de palma crudo en 2014 fue de 1.109.586 toneladas, lo que representó un incremento de 7 %, con 68.746 t adicionales, respecto a las 1'040.840 t del año anterior.

Esta dinámica de crecimiento de la producción nacional se explica por el desempeño regional que se caracterizó por mostrar variaciones positivas en todas las zonas. El mayor incremento se presentó en la Zona Suroccidental (28 %), las zonas Central y Norte aumentaron 9 y 8 %, respectivamente; al tiempo que en la Zona Oriental el crecimiento fue del 3 %. En términos de participación dentro de la producción nacional, la Zona Oriental, a pesar de mostrar la menor variación interanual al pasar de 399.055 toneladas en 2013 a 410.896 t en 2014, lideró la producción de aceite de palma crudo aportando el 37 % al total nacional.

La tasa de extracción del aceite de palma nacional fue de 20,5 %, con una disminución del 1 % respecto a 2013. El mejor comportamiento regional se presentó en las zonas Central (20,9 %) y Oriental (20,9 %), con resultados superiores al total del país; seguidas por las zonas Norte (19,7 %) y Suroccidental (18,9 %) (M. Acuña, 2015).



2.6. PALMA DE ACEITE EN NORTE DE SANTANDER

El departamento es uno de los mayores productores de aceite de palma, con más de 130000 Ha de área sembrada neta para el año 2012 y en aumento para los últimos años, lo que representa cerca del 32 % de la producción nacional. Las principales zonas de cultivo de palma de aceite son Tibú y El Zulia, además de pequeñas plantaciones en otras locaciones. Para el año 2012 solo se contaba con una planta extractora, Coopar Ltda, la cual producía cerca de 250000 ton de aceite de palma crudo y 60000 ton de aceite de palmiste por año. En los últimos años se llevó a cabo la construcción de la extractora Palnorte S.A.S, obteniendo un aumento en la producción (I.C. Garcés, 1997).

2.7. USOS DE LA PALMA DE ACEITE

De la palma se utilizan los frutos, tanto la pulpa como la almendra. Una vez transformados, los productos de la palma se utilizan en la industria agroalimentaria (más de 50%), la industria química, cosmética, alimentación animal y más recientemente para agrocombustibles (I.C. Garcés, 1997). Se conocen dos tipos de aceite derivados de la palma según el origen de su extracción, el aceite de palma rojo y el aceite de palmiste.

2.7.1. USOS ALIMENTICIOS DEL ACEITE DE PALMA

El fruto de la palma de aceite brinda dos tipos de aceite diferentes; los principales subproductos del aceite de palma son la estearina y la oleína de palma, los cuales tienen diversos usos en la industria alimentaria. La oleína es la fracción líquida y sus características físicas difieren significativamente de las del aceite de palma, y se mezcla perfectamente con cualquier aceite. La estearina es la fracción más sólida que se obtiene por el fraccionamiento del aceite de palma y es una fuente muy útil de componentes de grasas duras, enteramente naturales (Maldonado, 2015). A continuación, se presenta un resumen de los principales productos alimenticios derivados del aceite de palma y palmiste:



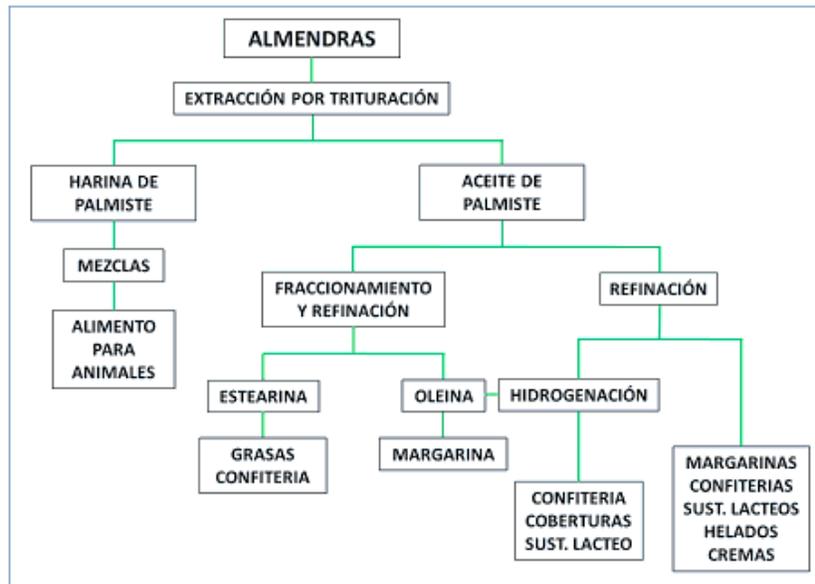


Figura 2. Usos alimenticios de la almendra y el aceite de palmiste. (Maldonado, 2015)

Algunos productos para consumo humano en la industria alimenticia, como el aceite para freír y las margarinas poseen propiedades interesantes, las cuales dependen del proceso de producción y pueden cambiar drásticamente con el efecto de la temperatura o la exposición al medio, es decir según el manejo post producción depende el tiempo de vida útil.

Aceite líquido para freír: Las funciones de una grasa en la freidura son: transferir calor, adicionar características de aroma y sabor y modificar la textura final del alimento. Los parámetros usados para determinar la calidad de un aceite son principalmente: el contenido de ácidos grasos libres, la viscosidad, el color, el índice de refracción, el punto de humo, los componentes polares y los polímeros. Los ácidos grasos libres se originan mediante la hidrólisis y oxidación; el color cambia durante la freidura debido a la oxidación; los polímeros se forman como resultado del deterioro de la grasa durante la freidura, se relacionan con cambios en la viscosidad de los aceites; el punto de humo puede disminuir cuando el aceite se descompone y forma sustancias de bajo peso molecular, principalmente ácidos grasos libres.

Margarinas: Las margarinas son productos plásticos, parcialmente solidificados o fluidos, de un tipo de emulsión de agua en aceite, elaborados principalmente de aceites y grasas comestibles que contienen no menos del 80% de grasa y no más del 16% de agua. (J. Calderón, 2004).

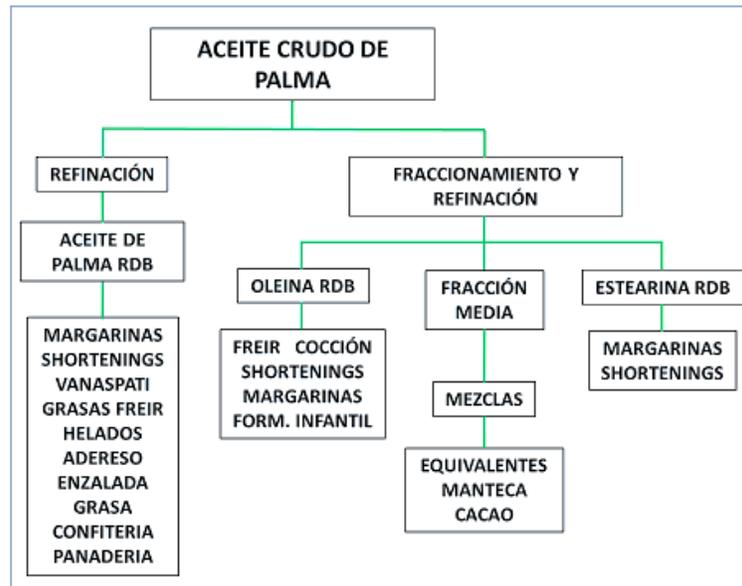


Figura 3. Usos alimenticios del aceite de palma. (Maldonado, 2015)]

2.7.2. USOS NO ALIMENTICIOS DEL ACEITE DE PALMA

Los oleoquímicos se derivan de las grasas y aceites naturales; constituyen los cimientos de la industria oleoquímica, la cual es una antigua rama de la química que se basa en la transformación de ácidos grasos, ésteres metílicos, alcoholes grasos y aminas grasas; estos poseen una amplia gama de aplicaciones finales.

Los productos oleoquímicos básicos se producen mediante la separación, transformación química y purificación de los aceites y grasas. A medida que aumenta el grado de transformación de los aceites y grasas aumenta su valor. Uno de los principales productos en la industria procesadora de aceite que en la actualidad ha tenido buena acogida y se han llevado a cabo grandes estudios en el biodiesel, junto con la creciente preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero

han aumentado la adopción de una economía energética global basada en las energías renovables, por esto la producción de aceite de palma inspira el desarrollo de tecnologías de producción de energías renovables.

En 2007, la producción mundial de biodiesel fue de aproximadamente 8,4 millones de toneladas (7,2 millones de litros) y aumentó más de dos veces a 20 millones de toneladas (17,1 millones de litros) en 2010. La producción de biodiesel se prevé que crezca más de 150 millones de toneladas (128 400 000 000 litros) en 2020. En Colombia, la producción de biodiesel aumentó 169,4 a 503,3 mil toneladas (192,5 hasta 571,9 millones de litros) entre 2009 y 2013 (Federación Colombia de Biocombustibles) (J. Calderón, 2004).



Figura 4. Oleoquímicos obtenidos del aceite de palma y palmiste.(J. Calderón, 2004)

2.8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

2.8.1. Cosecha: Los racimos al cumplir su proceso de maduración, deben ser cosechados o cortados y llevados a la planta de beneficio rápidamente, con el fin de evitar que aumente el contenido de ácidos grasos libres (AGL) del aceite dentro de los frutos, como subproducto de una reacción química, en la cual, actúa como catalizador una enzima llamada lipasa. Esta reacción indeseada avanza rápidamente desde el momento que alcanza su proceso de maduración, además puede suceder por largos tiempo de almacenamiento en la planta, por el contacto con agua e impurezas y por los microorganismos presentes en las mismas (S. Rocha, 2011).

2.8.2. Esterilización: La esterilización tradicional busca acelerar en el racimo el ablandamiento de la unión de los frutos que contienen el aceite con su soporte natural (espigas y pedúnculo, llamado tusa), de tal manera que el calentamiento se realiza tanto para el fruto como para la tusa (Cenipalma, 2007).

Una vez los racimos llegan a la planta de beneficio, se descargan en una tolva. Esta alimenta las vagonetas o carros que luego se introducen en las autoclaves o cilindros grandes cerrados, en donde se le realiza un proceso de cocimiento a los racimos por medio del ingreso de vapor saturado a 446,03 kPa en un ciclo (de tres picos de presión), en donde se cumple con los siguientes objetivos (Warbeck, 1999).

- Preparar los frutos por cocción para la extracción del aceite.
- Inactivación de la enzima Lipasa para minimizar el proceso de acidificación.
- Coagular las proteínas e hidrolizar las gomas que impiden la separación del aceite.
- Facilitar el ablandamiento y el rompimiento de la unión entre el raquis y los frutos del racimo para el desfrutamiento.

2.8.3. Desfrutamiento: Una vez esterilizados los racimos, pasan al desfrutador o tambor rotatorio, en donde se separan los frutos del raquis o tusa. El desfrutador es un tambor a manera de jaula que



gira sobre un eje central; los racimos a desfrutar pasan al interior del tambor y golpean repetitivamente los barrotos longitudinales del mismo, acción que produce el desprendimiento de los frutos. Los frutos separados pasan a las siguientes etapas del proceso, mientras que los racimos vacíos, salen por una banda, como un subproducto del proceso, para ser aplicados en el campo, como abono orgánico de alta eficiencia por su composición (Warbeck, 1999).

2.8.4. Digestión: Después de que los racimos han sido desfrutados, los frutos son recalentados y la pulpa es desprendida de las nueces por un proceso de maceración con ingreso de vapor que, en conjunto producen que las paredes de las celdas que contienen el aceite en el fruto se rompan, de tal manera que pueda ser fácilmente expulsado o extraído fuera de las celdas rotas durante el proceso de extracción por prensado en la etapa siguiente. La digestión se efectúa en recipientes cilíndricos llamados digestores, provistos de un eje central con brazos de agitación a bajas revoluciones, frenos ubicados en las paredes y boquillas o flautas para el ingreso de vapor, para lograr sus objetivos (Warbeck, 1999).

2.8.5. Prensado: Los frutos digeridos son prensados dentro de una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica, en donde, por la acción mecánica de dos tornillos sinfín de paso regresivo y girando paralelamente en sentido contrario, a través de los huecos de la canasta, sale un licor o mezcla con alto contenido de aceite o mejor conocido como licor de prensa y por la parte superior de los tornillos sale la masa solida también conocida como torta de prensado, compuesta básicamente por fibras, nueces y agua. En este punto del proceso se dividen las corrientes, es decir el licor de prensa sigue su línea hacia la clarificación de aceite de palma y la torta se destina hacia la palmistería (S. Rocha, 2011),(Warbeck, 1999).

2.8.6. Clarificación: Posterior al prensado, al licor de prensa se le agrega agua para lograr una dilución, esta misma facilita la separación y purificación del aceite en la etapa conocida como clarificación, este licor, contiene aceite de agua, lodos livianos (compuestos por pectinas y gomas) y lodos pesados (compuestos por tierra, arena y otras impurezas). Para lograr dicha separación, se aprovecha la característica de inmiscibilidad entre el agua y el aceite. El proceso de clarificación se divide en dos partes:



2.8.6.1. Clarificación estática (por decantación): En esta etapa se logra separar hasta el 90% del aceite contenido en el licor. Esto se logra por la decantación sin movimiento, en condiciones de temperatura que faciliten el desplazamiento de las partículas por la diferencia de densidades en donde el aceite se suspende y las partículas más pesadas o lodos caen por la diferencia de densidades, se van decantando y se bombean hacia la etapa de clarificación dinámica. El aceite se recoge por rebose y es bombeado hacia un proceso de secado. Esto se logra en unos recipientes cilíndricos verticales y otros rectangulares provistos de serpentines de vapor y colectores a diferentes niveles para lograr los objetivos de separación (Warbeck, 1999).

2.8.6.2. Clarificación dinámica (por centrifugación): En esta etapa se requiere para la separación un movimiento producido por una fuerza centrífuga en el caso particular, haciendo uso para esto de una centrifuga desludadora operando a altas velocidades. Durante esta etapa se logra una recuperación de alrededor del 10% de aceite contenido en el lodo exclarificado. El agua y los lodos pesados (efluentes) salen por las boquillas o toberas y el aceite y los lodos livianos también conocido como recuperador de centrifuga, se concentra en el centro y son descargados por un tubo recolector llamado “recuperador” los cuales se recirculan hacia la clarificación estática junto con el licor de prensa. La fracción líquida residual o efluentes, se van hacia una etapa de tratamiento posterior (Warbeck, 1999).

2.8.7. Secado: El aceite sale de la etapa anterior con un porcentaje de humedad e impurezas residuales que deben ser reducidas o eliminadas en lo posible; para lograr esto es sometido a una última etapa de secado en la cual se debe reducir la humedad del aceite (como mínimo entre 0,1 y 0,2%); para esto se utiliza un secador al vacío que opera entre 343,15 y 353,15K. Allí se evapora la humedad del aceite mediante un vacío de alrededor de 27,5 inHg (el agua se evapora a unos 328,15K a ese vacío). El aceite de palma se bombea de esta etapa como producto final a su respectivo almacenamiento (Warbeck, 1999).

2.8.8. Palmistería: Esta etapa se realiza para la recuperación y acondicionamiento de la almendra o palmiste, contenido en la torta después del prensado, en este proceso se lleva a cabo etapas de separación neumática, secado y clasificación (Warbeck, 1999).



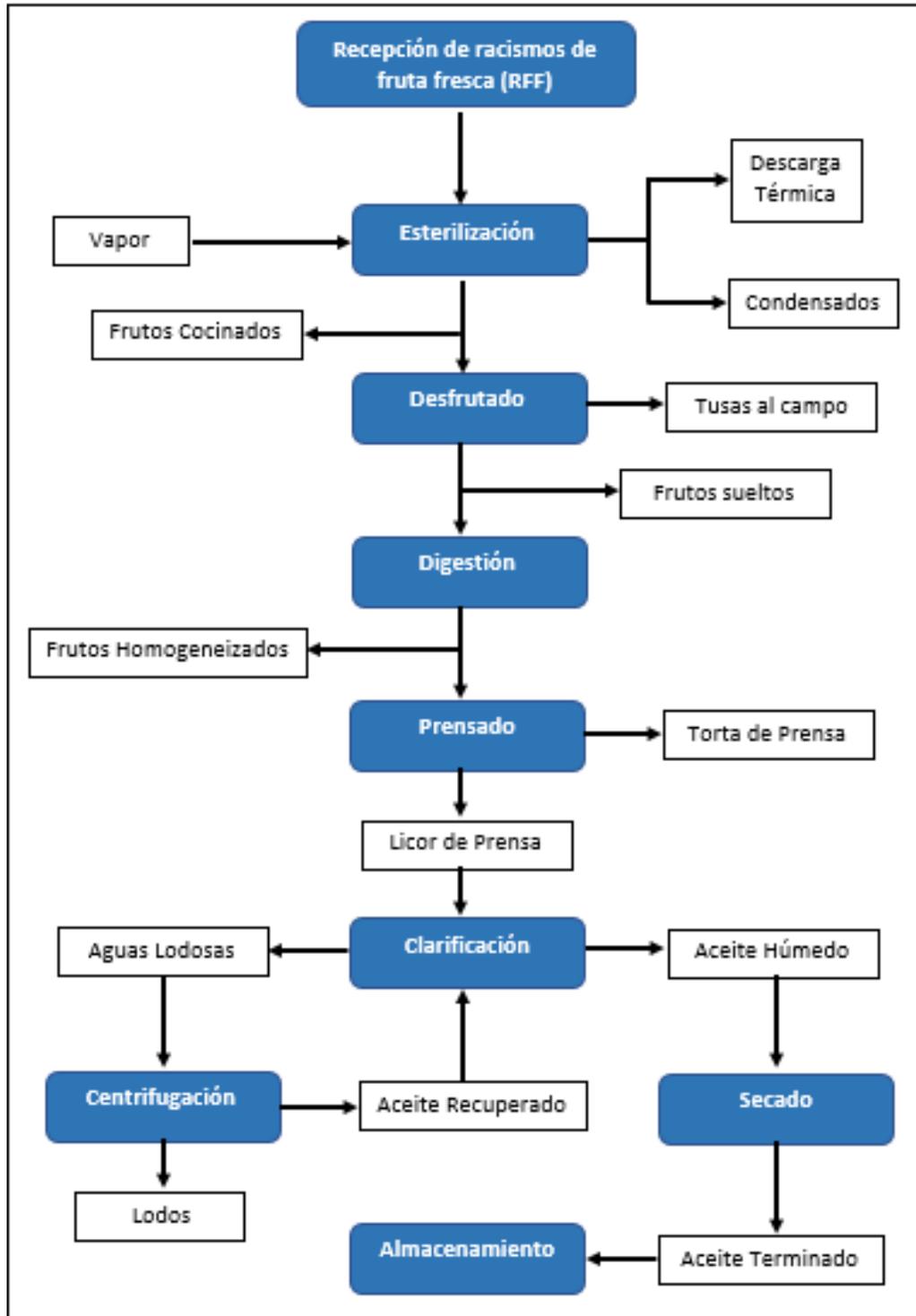


Figura 5. Proceso de extracción del aceite de palma. (Autor)

2.9. IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA

Las Buenas Prácticas de Manufactura son un conjunto de criterios, guías y normas que conducen a una práctica o maneras de actuar, que permiten la elaboración de alimentos de inocuidad comprobada y de calidad y desempeño que cumplan con las expectativas de los clientes. La aplicación de BPM necesita del desarrollo de los manuales estándares de saneamiento; los cuales consisten en una descripción detallada de los procedimientos y técnicas de higiene y salud ocupacional de toda la planta. Estos manuales involucran los siguientes aspectos: procedimientos de limpieza y salud, higiene del personal, control de plagas, suministro de agua, disposición de desechos (J. Castilo, 2008).

2.10. DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (P&ID)

Comprende el proceso principal con todos los detalles de instrumentación y control de los equipos, las líneas de proceso (principales, secundarias y de servicios) y las válvulas presentes en el mismo, así como también los lazos de control que garantizan la operación normal de la planta.

Los servicios industriales requeridos para la planta COOPAR están incluidos en el P&ID, y son básicamente, agua de enfriamiento, sistema de refrigeración, sistema contra incendio y sistema de aceite caliente.

2.11. MARCO LEGAL PARA PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA

Durante la última década del siglo XX, Colombia adelanto un conjunto de reformas sustanciales. La constitución adaptada en 1991 consagro cerca de 60 artículos referidos al medio ambiente y al desarrollo sostenible; la ley 99 de 1993 creó el Ministerio del Medio Ambiente, reordeno el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, reorganizo el Sistema Ambiental Nacional (Sina) y previo otras disposiciones que modifican la normatividad ambiental, incorporada en el código de los recursos naturales renovables. Al mismo tiempo se iniciaron nuevos programas para la protección y restauración de



los recursos naturales renovables, y se establecieron diversas formas de participación ciudadana. Esta reforma es considerada una de las más ambiciosas a nivel de Latinoamérica, luego de la conferencia de Río (Rodríguez, 1998).

En este contexto la dirección genera un marco de gestión ambiental sectorial enfocado a la tarea de conservar, mejorar, proteger y dar un uso adecuado a los recursos naturales por lo cual establece con base en sustentos técnico, científicos, económicos y sociales, los máximos niveles permisibles de contaminantes de tal manera que se proteja el ambiente y el ser humano. El sector palmero consiente de la importancia que tiene este tema para la sostenibilidad de sus producciones en un largo plazo, firmo desde el año 1997 un convenio de concertación de producción más limpia con las entidades Ambientales del gobierno Nacional (Ministerios y Corporaciones Autónomas Regionales), con el objetivo de adelantar acciones concretas en la adopción de métodos de producción y operación de las plantas de beneficio de fruto de palma de aceite, que sean más limpios y ambientalmente sostenibles; optimizando y protegiendo el uso de los recursos naturales, disminuyendo los niveles de contaminación y reduciendo los riesgos tanto para la población como para el ambiente.

Las actividades de la agroindustria de palma de aceite se vienen desarrollando desde la década de 1960. En la actualidad el área cultivada llega a las 230 000 hectáreas y se desarrolla en 53 municipios de 13 departamentos. Los impactos ambientales por las actividades de la Agroindustria de Palma de aceite se han presentado en diferente magnitud desde un comienzo, pero no eran un factor de preocupación para las empresas porque las normas de regulación y control no eran aplicadas con rigor. Desde finales de la década de 1980, el Inderena exigió a las empresas palmeras el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las plantas de beneficio, debido a los graves impactos ambientales que causaban a el recurso hídrico aledaño a la plantación, al ser descargados sin ningún tratamiento de aguas residuales desde antes de la Ley 99 de 1993 (Mazorra, 2007).

En las tablas 1,2 y 3 se presenta los requerimientos legales para recurso agua, aire y residuos sólidos con los que se debe alinear las políticas internas de la empresa COOPAR.



Tabla 1. Requerimientos legales para recurso agua (Enriquez, 2009).

Norma	Entidad	Observaciones
Decreto 3440/2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se cobra la tasa retributiva por los vertimientos puntuales realizados a los cuerpos de agua en el área de jurisdicción.
Ley 373/1997	Congreso Nacional	Establece el programa para el uso eficiente del agua
Decreto 901/ 1997	Min. Ambiente	Reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales.
Decreto 2811/1974	Congreso Nacional	Regula el manejo de los recursos naturales renovables entre ellos el agua en cualquiera de sus estados.
Resolución 200.41.080892/2008	Corporinoquía	Por medio de la cual se actualiza la tarifa para el cobro de la tasa por uso del recurso hídrico en la jurisdicción de Corporinoquía, se establece el procedimiento para la entrega de caudales y para reclamaciones

Tabla 2. Requerimientos legales Recurso Aire (Enriquez, 2009).

Norma	Entidad	Observaciones
Decreto 2107/1995	Min. Ambiente	Modifica parcialmente el decreto 948/1995 protección y control de calidad del aire.
Resolución 898/1995	Min. Ambiente	Criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos, calderas de uso comercial e industrial.
Resolución 1351/1995	Min. Ambiente	Informe de estado de emisiones como un requisito para el trámite del permiso de emisiones atmosféricas
Resolución 0453/ 2004	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Se adoptan los principios, requisitos y criterios y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan por el mecanismo de desarrollo limpio (MDL).
Resolución 601/2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.



Tabla 3. Requerimientos legales residuos sólidos (Enriquez, 2009).

Norma	Entidad	Observaciones
Decreto 1713 de 2002	Ministerio de Desarrollo Económico	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo y la gestión integral de residuos sólidos
Decreto 4741 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral

2.11.1. ACEITE DE PALMA SOSTENIBLE (RSPO)

Actualmente, mediante la organización RSPO se pretende unir a todos los sectores de la industria del aceite de palma y grupos interesados: productores, distribuidores, fabricantes y ONGs sociales y medioambientales, que expide un sistema de certificación de aceite sostenible (*CSPO*), mediante el cual se establecen criterios y sistemas de auditoría que pretenden garantizar que la producción respete los derechos laborales y de las comunidades indígenas, que no se ocupen nuevas zonas de elevado valor medioambiental y que no se amenace la biodiversidad, además de promover prácticas agrícolas más limpias. Debido a la anterior RSPO es actualmente la mayor organización enfocada a la sostenibilidad dentro del sector del aceite de palma a nivel mundial, por lo que algunos creen que evidencia potencial de prevenir la deforestación en la industria. Sin embargo, sus estándares no llegan a prohibir o controlar realmente la deforestación o destrucción de las turberas para el desarrollo de las plantaciones de palma aceitera (RSPO, 2007).

2.11.1.1. SISTEMA DE CERTIFICACIÓN Y ESTÁNDARES DE SOSTENIBILIDAD DE LA RSPO

Estándar para la producción de aceite de palma sostenible: Este estándar está compuesto por una serie de principios, criterios, indicadores y guías que orientan al sector palmicultor. Es utilizado por los cultivadores y operadores de plantas de beneficio para implementar prácticas sostenibles de producción y por los organismos de certificación para verificar su adopción en el campo. Su primera versión fue elaborada en 2005 y luego de un periodo de prueba fue aprobada en octubre de 2007 (RSPO, 2007).



3. METODOLOGÍA

La metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el presente proyecto, se desarrolló en trece etapas que son explicadas a continuación. Cabe resaltar que primero se realizó una revisión exhaustiva de la planta COOPAR para el acopio de información del proceso de la planta extractora y el posterior diseño de planos, balances de masa y energía, así como la simulación realizada, no obstante, el proceso de extracción de aceite de palma africana está altamente estandarizado y es muy similar para las diferentes plantas extractoras en Colombia, difiriendo principalmente en la capacidad de procesamiento y disponibilidad de fruto.

La figura 6, esquematiza el procedimiento que se llevó a cabo para desarrollar la metodología y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

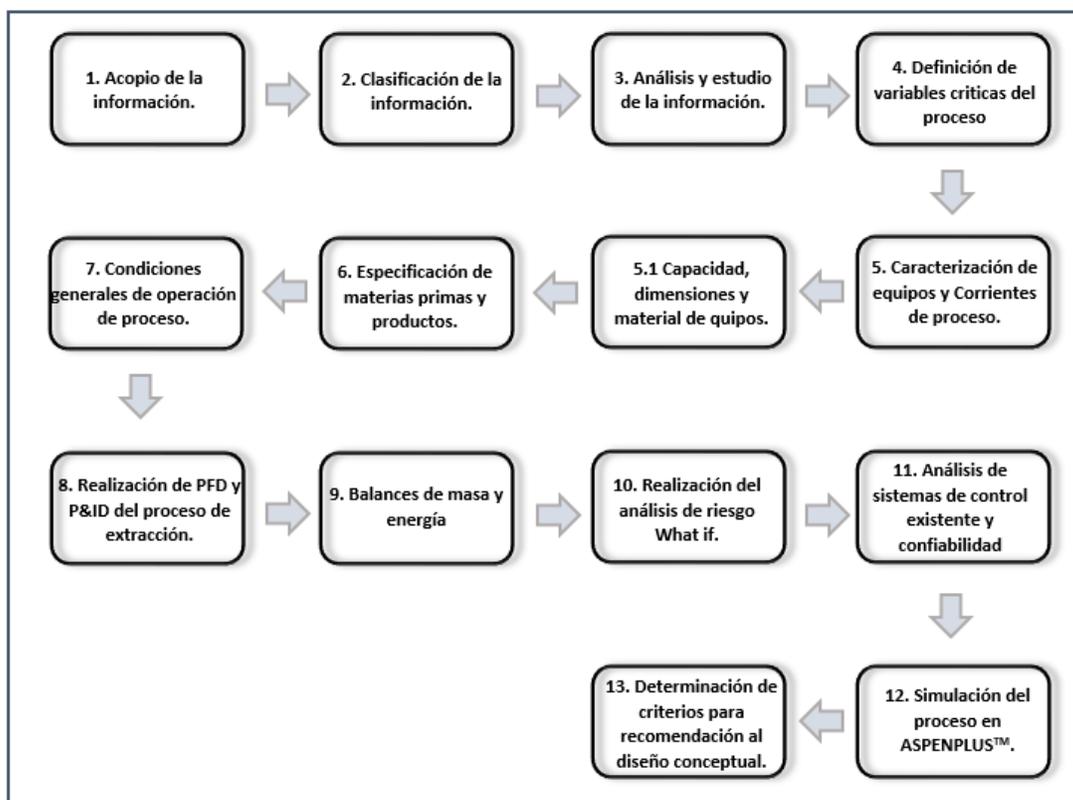


Figura 6. Metodología propuesta. (Autor)

3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DEL PROCESO

Con el fin de realizar los diseños plasmados en el diagrama de proceso de flujo, diagrama de instrumentación y tuberías, y la simulación del proceso, se realizaron visitas de campo donde se validó la información de proceso y se recolectó información útil para realizar el análisis de seguridad.

3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE EQUIPOS Y CORRIENTES DE PROCESO

En esta etapa se lleva a cabo el levantamiento de información detallado de todo el proceso de extracción, para consolidar la información de caracterización de los diferentes equipos instalados, flujos másicos, diámetros de tubería, análisis de instrumentación y accesorios utilizados en planta para garantizar el proceso, entre otros aspectos.

3.1.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA EXTRACTORA

La planta extractora Cooperativa palma Risaralda, se encuentra ubicada en el municipio de El Zulia, departamento de norte de Santander, específicamente en la vereda Agualasal, vía Tibu, km 7 corregimiento de Astilleros. Los principales datos operacionales con los que trabaja la planta actualmente son los siguientes. (Tabla 4.)

Tabla 4. Generalidades de la planta de beneficio. [Autor]

DESCRIPCIÓN	VALOR
Capacidad de procesamiento	20.000 kg/h
Turno de producción	16 h/día
Producción promedio aceite	50 ton/día
Cantidad de vapor saturado requerido	9.000 kg/h
Consumo de agua	450 L/ton
Subestación Eléctrica	500 Amperios



3.1.3. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Con base en la literatura se caracterizó el racimo de fruta fresca con una composición en peso de mesocarpio 50%, racimos vacíos 25%, nuez 14% t humedad 11% (Warbeck, 1999). Cuyas composiciones se pueden ver más detalladas en la figura 7.

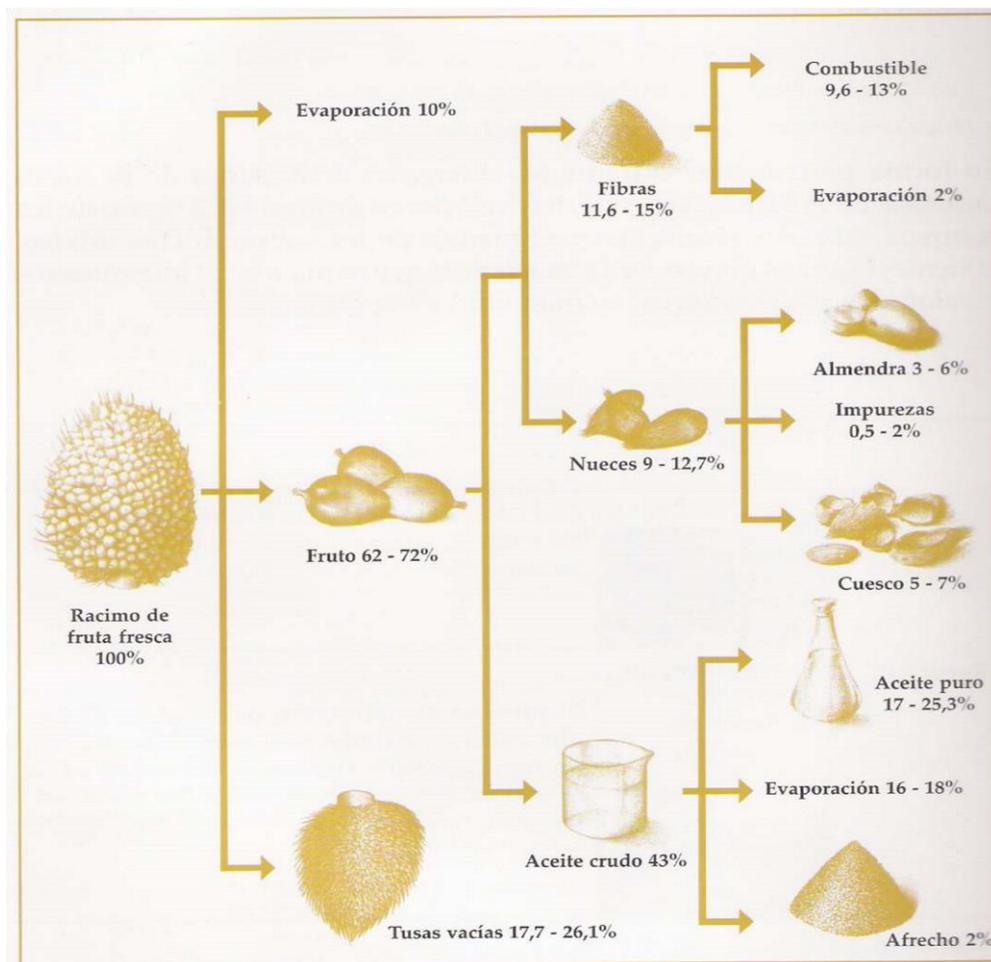


Figura 7. Balance de masa teórico de los racimos de fruta fresca durante la extracción. (Brugés, 2004)

3.1.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA ACEITE CRUDO DE PALMA

Los parámetros básicos de medición realizados al aceite crudo de palma extraído en la Cooperativa Palmas Risaralda se presentan a continuación en la tabla 5. En las tablas 6 y 7 se presenta composiciones típicas de ácidos grasos y glicéridos. Finalmente en la tabla 7 se muestra la caracterización fisicoquímica del aceite de palma.

Tabla 5. Parámetros Básicos de medición. (Coopar)

	MIN	MAX
Acidez, % ácido palmítico	2	5.00
Punto de fusión, °C	34	40
Humedad %	0,1	0,4
Impurezas %	0,030	0,100
Densidad a 40/25 °C	0,868	0,879
Índice de yodo	50	58

Tabla 6. Composición Típica de los Ácidos Grasos. (Autor)

Nombre	Fórmula molecular	Porcentaje (%)	Punto de Fusión °C
Ácido Mirístico	C13H27COOH	1.2-5.9	53.7
Ácido Palmítico	C15H31COOH	31.5-43.8	62.6
Ácido Estearico	C17H35COOH	2.2-5.9	69.3
Ácido Oléico	C17H33COOH	34.8-49.5	13.5
Ácido Linoléico	C17H31COOH	6.5-11.2	-24

Tabla 7. Composición Típica de Glicéridos. (Autor)

Nombre	Porcentaje (%)	Punto de Fusión °C
Tripalmitina	2.0-5.5	65.0
Dipalmito-Estearina	1.0-3-5	63-0
Dipalmito-Oleína	16.5-43-0	34.5
Oleo-Palmito-Estearina	11.0-15.0	31.0
Palmito-Dioleina	31.0-51.0	18
Oleína y Linoleina	6.0-14.0	15



Tabla 8. Caracterización Fisicoquímica. (COOPAR)

Punto de fusión	27-45°C	
Poder calorífico	8825 calorías	
Punto de chispa	280 °C	
Viscosidad absoluta	37. cp a 70°C	13.6 cp a 70°C
Índice de refracción	1.4531 a 1.4580	
Densidad	0.8981 a 40°C	0.8981 a 80°C
Coefficiente de dilatación	0.0008	
Índice de saponificación	195 a 205	
Índice de Cetano	35	

3.2. METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF

El objetivo principal de la metodología de análisis de riesgo What If es asegurar que los eventos catastróficos van a ser evitados durante el tiempo de vida útil de la planta extractora. Un análisis What If generalmente se combina con una lista de chequeo para proporcionar una “hoja de ruta” para la revisión de seguridad de proceso.

Permite la identificación de escenarios de peligro que no son realmente aparentes a menos que se aplique correctamente la metodología, además es fácil de implementar, en comparación a otras técnicas cualitativas. El What If es un método de preguntas directas a partir de una lista de chequeo estandarizada, flexible y adaptable a cualquier tipo de procesos

A partir de las condiciones de operación, información proporcionada por los operarios de la planta y estándares de la industria, se identificaron los principales peligros de proceso, se evaluaron y jerarquizaron los riesgos potenciales que pueden afectar al personal, población, medio ambiente, instalación y economía de la planta extractora.

La evaluación de riesgos permite emitir recomendaciones que apoyen las acciones preventivas y correctivas para controlar, minimizar o mitigar las consecuencias en las áreas de afectación por



algún evento no deseado (fuga, derrame, incendio, explosión, lesión) durante el proceso de operación de la planta. Finalmente se discute el comportamiento del análisis de riesgo y las medidas de prevención para mitigar los riesgos más significativos identificados. A continuación, se presentan algunos ítems relacionados explícitamente con el desarrollo del análisis What if.

- i. Definir las suposiciones técnicas que van a ser revisadas en el proceso de extracción de aceite de palma en la extractora COOPAR.
- ii. Identificar nodos de operación, especificando fronteras, objetivos, intenciones generales de diseño y condiciones generales
- iii. Seleccionar y formular la pregunta “Qué pasa si”
- iv. Identificar todos los escenarios de peligro de la pregunta en cuestión.
- v. Identificar todas las consecuencias asociadas con cada escenario de peligro, sin tener en cuenta las salvaguardas.
- vi. Especificar las salvaguardas predominantes para mitigar cada consecuencia.
- vii. Determinar la probabilidad y severidad de cada consecuencia y documentarla si es necesario usando (valorar mediante matriz RAM), priorizarlas de acuerdo al nivel de riesgo para implementación.
- viii. Hacer recomendaciones para mitigar las consecuencias, la severidad y probabilidad de acuerdo a los niveles de riesgo aceptables.
- ix. Elaborar un resumen de las recomendaciones en orden de prioridad (ranking) dando especial énfasis a los peligros identificados como críticos.

3.3 SIMULACIÓN DEL PROCESO

Se integraron los datos obtenidos de la planta extractora con las herramientas ofrecidas por el simulador ASPEN PLUSTM V8.8. Para este proyecto, se trabajó en modo SMS ya que resuelve los balances de masa y energía equipo a equipo, dividiendo el sistema en módulos que corresponden a las diferentes operaciones básicas. Además, se trabajó en estado estacionario, estimando las características del proceso, parámetros físicos, requerimientos de energía y



parámetros de los equipos, teniendo en cuenta o no, el dimensionamiento de equipos. El modelo termodinámico utilizado para el cálculo de los coeficientes de actividad fue UNIFAC (Functional-group Activity Coefficients) debido a la naturaleza de los componentes que intervienen en el proceso simulado.

3.3.1 INGRESO DE LOS COMPONENTES AL SIMULADOR

Se utilizó la base de datos de ASPEN PLUS™ para introducir los compuestos que intervienen en el proceso, sin embargo, fue necesario crear algunos componentes hipotéticos no disponibles en el software, como por ejemplo la triglicéridos (PPP,POP,POL,PLP,PSO). A continuación, se presenta la tabla 8, correspondiente a los componentes utilizados en la simulación.

Tabla 8. Componentes utilizados en la simulación. (Autor)

Componente ID	Tipo	Nombre Componente	Formula Molecular
WATER	Conventional	WATER	H2O
SILIC-01	Solid	SILICON-DIOXIDE	SiO2
PALMITIC	Conventional	N-HEXADECANOIC-ACID	C16H32O2
STEAR-01	Conventional	STEARIC-ACID	C18H36O2
OLEIC-01	Conventional	OLEIC-ACID	C18H34O2
LINOL-01	Conventional	LINOLEIC-ACID	C18H32O2
MYRISTIC	Conventional	N-TETRADECANOIC-ACID	C14H28O2
PPP (Tripalmito)	Conventional	TRIPALMITIN	C51H98O6
POP (Palmítico-Oleico-Palmítico)	Conventional	TAG-POP	C53H100O6-5
POO (Palmítico-Oleico-Oleico)	Conventional	TAG-POO	C55H102O6-6
POL (Palmítico-Oleico-Líoléico)	Conventional	TAG-POL	C49H92O6-2
PLP (Palmitico-Linoleico-Palmitico)	Conventional	TAG-PLP	C47H90O6-15
PSO (Palmítico-Esteárico-Oleico)	Conventional	TAG-POS	C55H104O6-3

En la tabla 9 se presenta las composiciones de las corrientes de entrada al simulador AspenPlus™.



Tabla 9. Especificación de Corrientes (Autor).

	LICOR DE PRENSA	AGUA DE DILUCION	LODOS ACEITOSOS	RECUP. CENTRIFUGA	CONDENSADOS
AGUA	28,346	100	91,218	91,218	99,9702
CENIZAS	3,748	0	6,48	6,48	0
PALMITICO	1,528	0	0,052	0,052	0,0007
ESTEARICO	0,149	0	0,005	0,005	0,0001
OLEICO	1,426	0	0,048	0,048	0,0006
LINOLEICO	0,258	0	0,009	0,009	0,0001
MIRISTICO	0,034	0	0,001	0,001	0
PPP	3,967	0	0,135	0,135	0,0017
POP	20,224	0	0,686	0,686	0,0089
POO	17,424	0	0,591	0,591	0,0077
POL	7,309	0	0,248	0,248	0,0032
PLP	6,716	0	0,228	0,228	0,0029
PSO	4,393	0	0,159	0,149	0,0019



4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados que se obtuvieron, tal como se explicó en la metodología, mediante la recopilación de datos del proceso, la elaboración del PFD y P&ID correspondiente al proceso de extracción de aceite de palma, la evaluación de riesgo por medio de la metodología What if y por último la simulación del proceso en el software ASPENPLUS™.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la elaboración del PFD y P&ID del proceso de extracción de aceite de palma en la planta de beneficio COOPAR.

4.1. ELABORACIÓN DEL PFD y P&ID CORRESPONDIENTES AL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN LA PLANTA DE BENEFICIO COOPAR.

El diseño del diagrama de flujo de procesos (PFD) elaborado es mostrado en el la Figura 8, donde se presenta un esquema general correspondiente a la planta extractora COOPAR, cabe resaltar que fue elaborada con base en las normativas convencionales de diseño. De igual manera en la figura 9, se presenta el diseño P&ID realizado específicamente para la empresa.



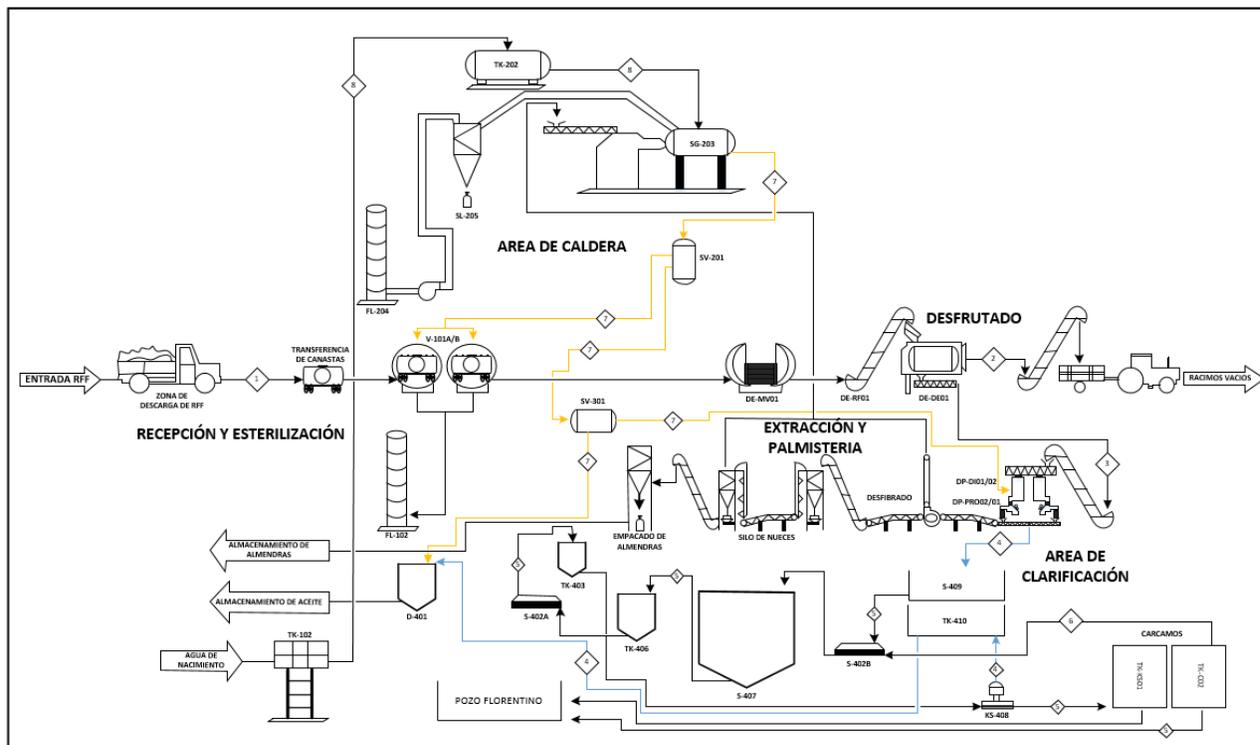


Figura 8 .PFD proceso de extracción de aceite de palma. [Autor]

La primera etapa llamada esterilización, empieza con la recepción de los racimos de fruta fresca (RFF), los cuales son pesados antes de cargarse en las canastas de transferencia; como se muestra en el PFD, la corriente es llevada hacia los esterilizadores V-101A/B finalizando esta etapa. Luego se procede a la etapa de Desfrutamiento, en la cual encontramos la Mesa de Volteo DE-MV01 y el Desfrutador DE-DE01, la salida del desfrutador cuenta con dos salidas de proceso, los racimos vacíos y el fruto obtenido. Los racimos son conducidos a un sitio de acopio y salen del proceso. El fruto, procede a la etapa de Digestión DP-D101A/B y Extracción mediante prensa DP-PRO01/02 donde se obtienen dos productos torta y licor de prensa; la torta se procesa en el área de palmistería finalizando así esta etapa. El licor de prensa se conduce a la etapa de Clarificación donde encontramos una serie de equipos encargados de retirar las impurezas del aceite crudo mediante clarificación y sedimentación básicamente.

El servicio industrial más relevante del proceso es el área de caldera SG-203 encargada de brindar vapor saturado a las diferentes áreas del proceso. . El PFD que describe la planta extractora, se presenta detalladamente en el Anexo A.

4.1.1. NARRATIVA DEL DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS

A continuación, en la figura 9, se presenta el P&ID del proceso de extracción de aceite de palma de la planta de beneficio COOPAR, sin embargo, en el Anexo B se pueden apreciar a fondo todos los detalles del mismo.

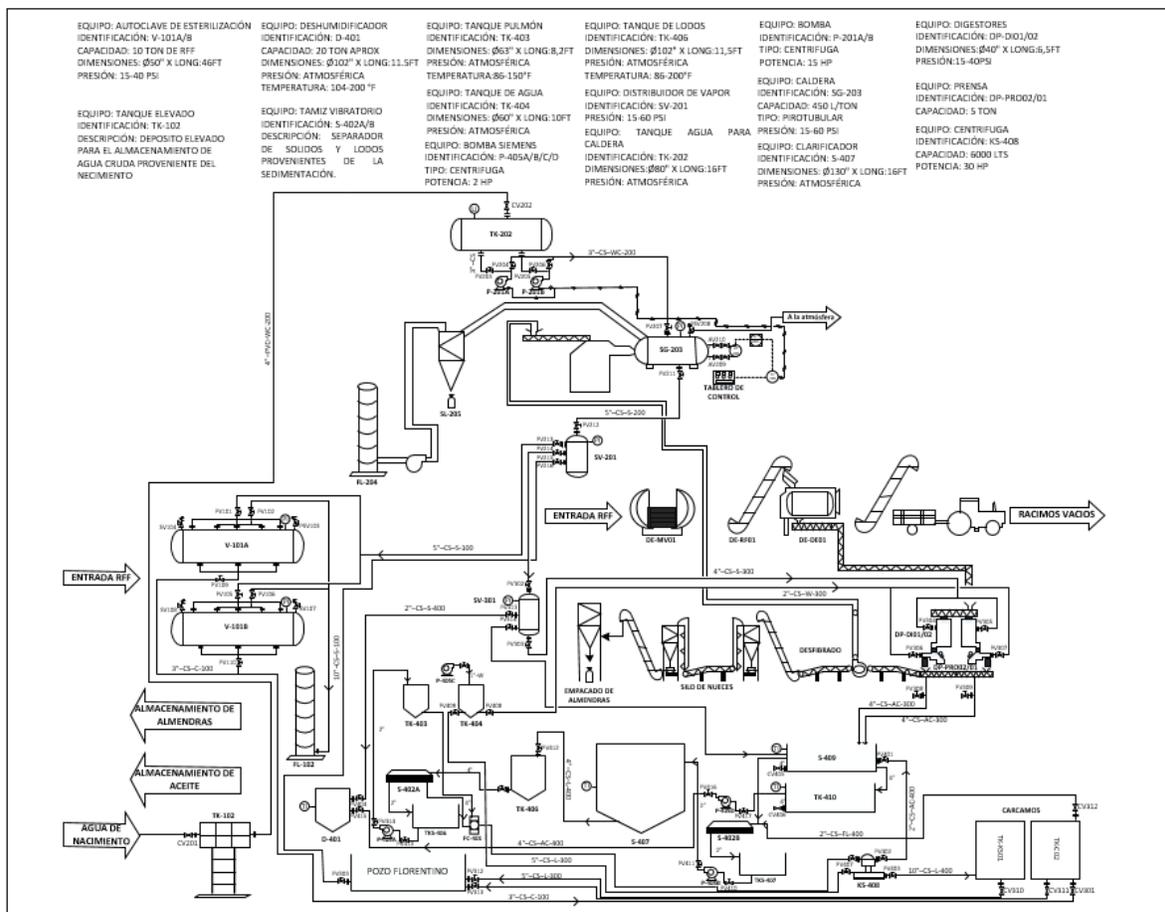


Figura 9. P&ID proceso de extracción de aceite de palma. [Autor]

A continuación, se presenta la narrativa del P&ID por etapas mediante las cuales se llevará a cabo una descripción detallada de proceso, se tendrán en cuenta características de corrientes de proceso, variables y análisis de sistemas de control existente. Cabe resaltar que el P&ID se elaboró de acuerdo a los lineamientos establecidos por las siguientes normas: ANSI/ISA-S5.1 (Identificación y símbolos de instrumentación), ANSI/ISA-S5.2 (Diagramas lógicos binarios para operaciones de procesos), ISA-S5.3 (Símbolos gráficos para control distribuido, sistemas lógicos y computarizados), ANSI/ISA-S5.4 (Diagramas de lazo de instrumentación), ANSI/ISA-S5.5 (Símbolos gráficos para visualización de procesos).

4.1.1.1. RECEPCIÓN Y ESTERILIZACIÓN

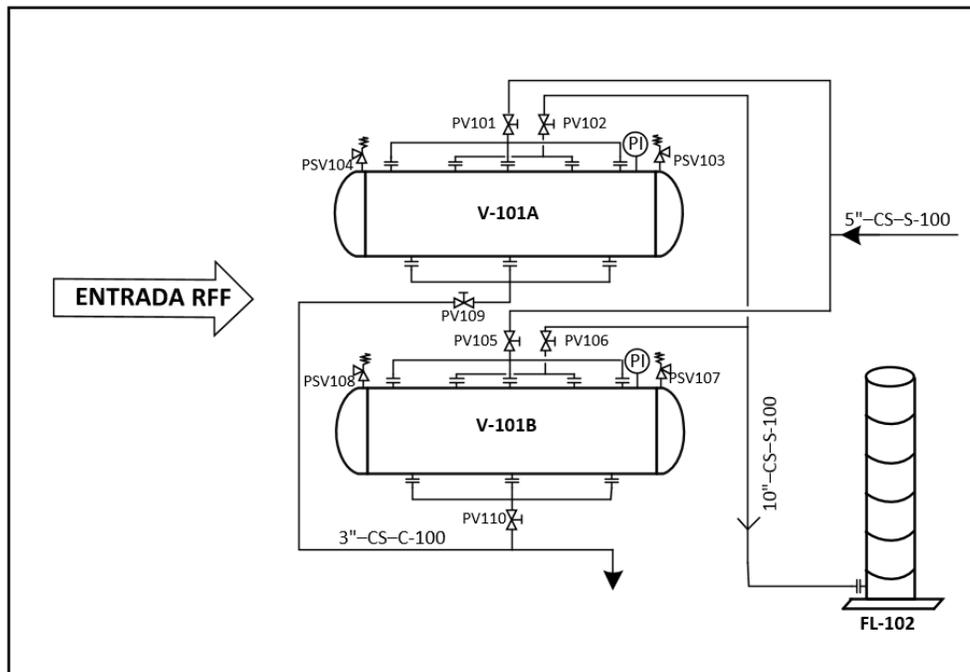


Figura 10. Recepción y Esterilización. [Autor]

Los racimos que llegan a las instalaciones de la planta son pesados en una báscula camionera, de 60 toneladas de capacidad, según los criterios de calidad de la empresa se evalúa y califica la materia prima recibida, uno de los criterios más importantes para calificar la materia prima es el

grado de madures del fruto. Los racimos que cumplen con las características de calidad se descargan y mediante un sistema de carga se alimentan las canastas o vagonetas de esterilización. Mediante un sistema de rieles se introducen baches a los esterilizadores V-101A/B con una capacidad de 20.000 kg de Racimos de Fruta Fresca. El vapor utilizado en la esterilización, suministrado por el área de caldera, es controlado manualmente por las válvulas PV101 y PV105, debe asegurarse que el vapor este saturado con el fin de facilitar el proceso de hidrólisis y garantizar la mayor transferencia de calor; se aplica un ciclo de esterilización en el cual se aumenta y disminuye la presión en un determinado tiempo como se puede ver en la figura 11. Se debe permitir que los racimos permanezcan en calentamiento suficiente. La temperatura alcanzada en el fruto es de aproximadamente 120 °C y en el centro del tallo 100 °C, dependiendo del tamaño de los racimos. Parte del condensado sale con el vapor de escape por las válvulas de seguridad PSV103/104/107/108, pero se requiere desalojar la gran mayoría durante el proceso, para ello existen varios puntos de salida de condensados en la parte inferior, todos ellos conectados a un tubo principal para su desalojo, controlado manualmente por la válvula PV109/110 y llevado finalmente al área de cárcamos. Finalizando la etapa, el vapor que se encuentra en los esterilizadores es evacuado por medio del mechurrio FL-102.

El único sistema de control utilizado es un indicador de presión, el cual consiste en un manómetro analógico ubicado en la parte superior del equipo, utilizado para regular los ciclos de esterilización, por ultimo las canastas salen por el sistema de rieles para la siguiente etapa.

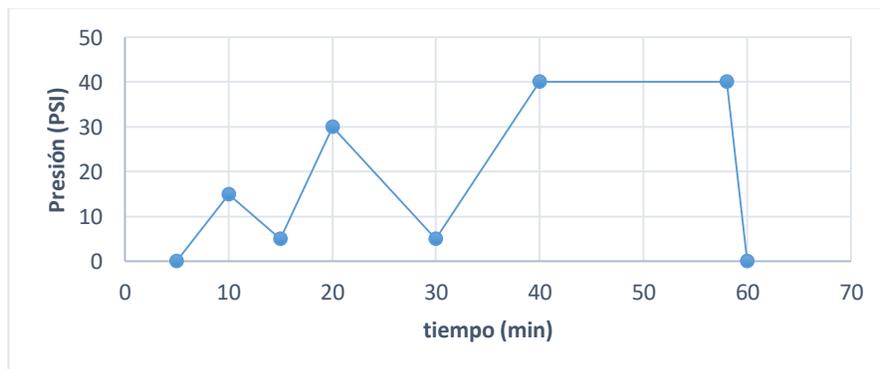


Figura 11. Ciclos de Esterilización. [Autor]



4.1.1.2. DESFRUTADO

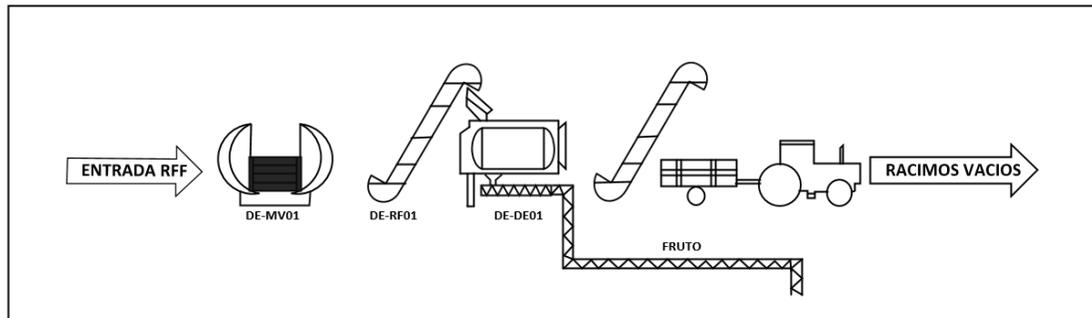


Figura 12. Desfrutado. [Autor]

Una vez se han esterilizado los racimos, se inicia la separación de los frutos por medio de un proceso mecánico constituido por la Mesa de Volteo DE-MV01, la cual envía el RFF a un elevador DE-RF01 que transporta el fruto del piso, hacia el desfrutador DE-DE01. A través de los cuales pasan los frutos que se desprenden como consecuencia de los golpes a que se exponen los racimos. El desfrutador o tambor rotatorio gira a velocidad de 23 r.p.m., interiormente, el tambor posee una serie de paletas fijas inclinadas que proporcionan una retención de los racimos, que son enviados hacia el centro y abajo, incrementando la eficiencia en los golpes.

Los racimos vacíos o tusas, salen a una banda transportadora que los lleva hasta una carreta, donde posteriormente son transportados hasta un botadero aledaño a la planta. Los racimos vacíos constituyen entre el 18-26% del peso que se procesa en cada lote. El producto restante de la separación, el cual es el fruto, es llevado a la siguiente etapa para su posterior tratamiento.

Esta etapa del proceso es mecánica y no se cuenta con un sistema de control.

4.1.1.3. EXTRACCIÓN Y PALMISTERÍA

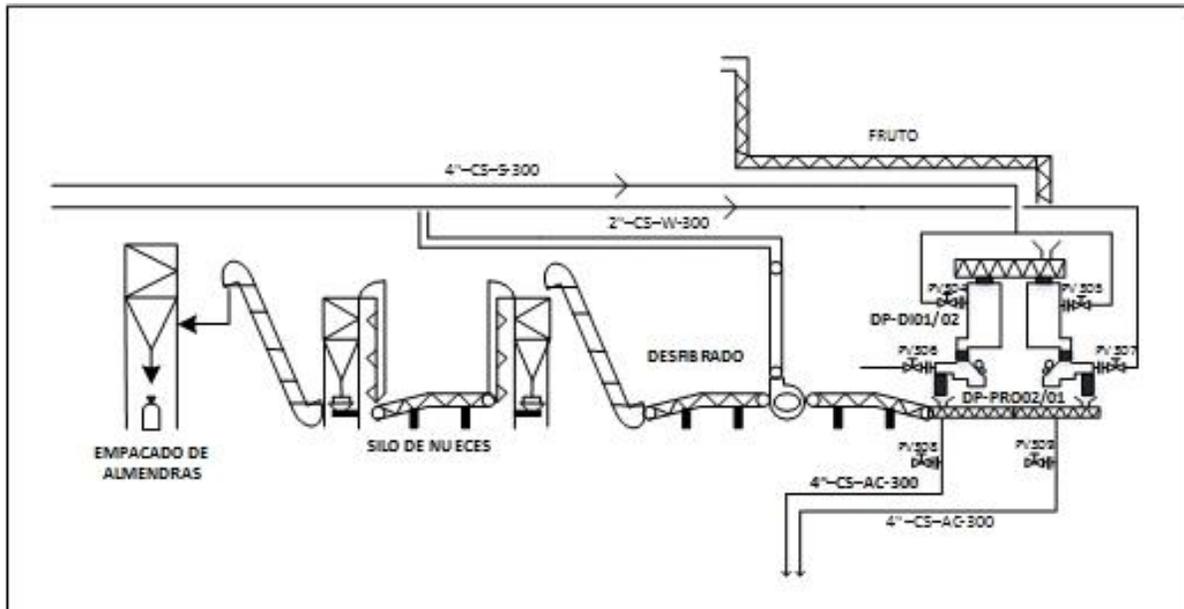


Figura 13. Extracción y Palmistería. [Autor]

Es una de las principales etapas en el proceso de extracción de aceite de palma. Se lleva a cabo en dos digestores DP-DI01/02 cilíndricos verticales de 1750 litros cada uno, integrados por brazos de agitación sobre un eje, realizan un movimiento giratorio. El fruto al entrar, es sometido a un proceso de digestión durante aproximadamente 20 minutos, la temperatura de los frutos dentro del digestor, alcanza los 90-95°C, esto se logra por la inyección de vapor saturado, controlado por medio de las válvulas PV304/305. Seguidamente encontramos dos prensas DP-PRO01/02 con capacidad para 5 toneladas de fruto hora dentro de la cual existe un tornillo que gira en línea recta en sentido contrario a un gato hidráulico, haciendo posible la obtención del licor de prensa el cual pasa a la etapa de clarificación. La parte sólida (fibra y nueces), se separa en el proceso de desfibrado, dando paso al área de palmistería. Esta etapa es mecánica, en la cual por medio de un ventilador separamos la fibra, la cual se utiliza como fuente energética en el área de caldera. La nuez restante es llevada a los silos en los cuales es fracturada, obteniéndose la almendra, la cual es empacada y llevada a una zona de almacenamiento.

4.1.1.4. CLARIFICACIÓN

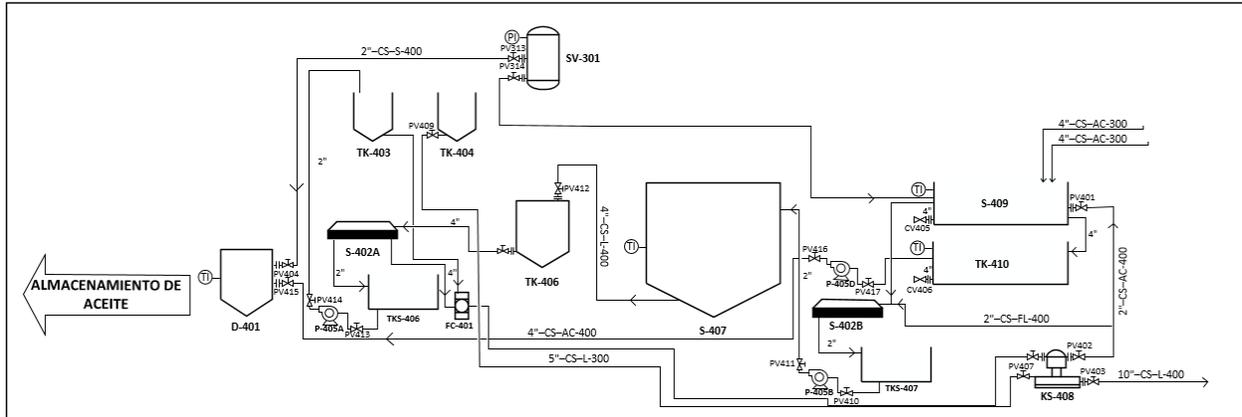


Figura 14. Clarificación. [Autor]

En esta etapa se realiza la purificación del aceite crudo extraído de las prensas (licor de prensas), con el fin de eliminar el agua, lodo y materia celular. El clarificador es un tanque de forma cuadrangular horizontal identificado como S-409, (figura 14), el cual cuenta con un indicador de temperatura y su principal función es separar las diferentes fases encontradas por decantación estática debido a la diferencia de densidad.

Tamizado del aceite bruto (mezcla de aceite, agua, lodos y materia celular). Esta operación se realiza utilizando un tamiz vibratorio malla MSH # 40, se observa que el proceso de clarificación cuenta con dos tamices S-402A/B, los cuales se utilizan en el proceso para eliminar la materia celular, las partículas extrañas de mayor tamaño, y facilitar la separación de los demás componentes de la mezcla.

La serie de tanques TK-403/404/406 y el clarificador S-407 tienen como función separar la mezcla de aceite, agua y lodos, esta corriente se debe manejar en flujo laminar cuando se alimenta a el colector y durante el recorrido, a lo largo de los equipos, el aceite va separándose de la mayor parte de los sólidos en suspensión, los cuales permanecen en el agua. Por medio de calentadores de vapor directo, suministrado por el área de caldera; es necesario subir la temperatura entre 90-95°C

para que la mezcla pueda separarse por decantación estática posteriormente. El aceite recuperado es llevado al Pre-clarificador TK 410. Los lodos a la salida del clarificador pasan a través de la centrífuga deslodadora KS-408.

A la salida de clarificación, la humedad es aún muy alta para poder almacenar el aceite durante periodos largos, haciéndose necesario un proceso de secado. La operación de este equipo D-401 se efectúa a una presión absoluta por medio de eyectores de vapor. La humedad final del aceite después del secado a vacío es del orden de 0.10 a 0.22%. Posterior al secado, el aceite es llevado a los tanques de almacenamiento, donde se mantendrá el aceite hasta ser despachado.

4.1.1.5. ÁREA DE CALDERA

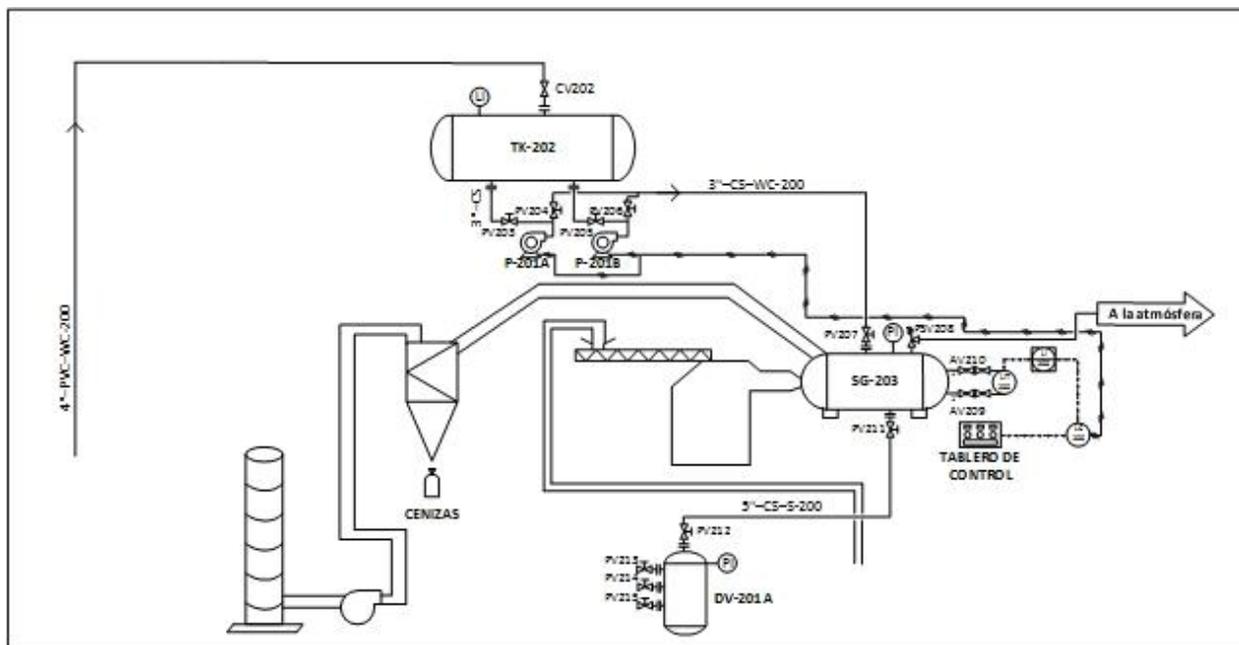


Figura 15. Caldera. [Autor]

El área de Caldera es una de las fuentes energéticas del proceso, brindando el vapor saturado a las áreas que lo requieren. El suministro de agua para Caldera proviene de un nacimiento y es almacenado en el depósito TK-202 el cual está conectado a dos bombas P-201A/B con una

potencia de 15 Hp, tienen como función bombear agua a la caldera SG-203 controladamente; como sistema de control, la caldera SG-203 cuenta un lazo de control simple como se muestra en la figura 15, encargado de medir el nivel de agua el cual posee un transmisor indicador de nivel (LIT), indicador de nivel (LI), controlador de nivel (LC), encargados de activar las bombas cuando el nivel de agua está bajo. El poder calorífico de la caldera se obtiene por medio de la fibra proveniente de la etapa de palmistería.

4.2. ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF

La metodología se desarrolló, con la selección de cinco nodos (Área de Caldera, Esterilización, Clarificación, Equipo rotativo y tuberías, Manejo de efluentes y emisiones), en los cuales se encuentran puntos críticos en el ámbito de seguridad y operatividad del proceso de extracción. Se procedió a analizar y completar los ítems necesarios que exige la metodología What if. Gracias al análisis se desarrollaron propuestas estratégicas para el mejoramiento operacional y de control en relación al diseño conceptual, debido a que el análisis nos arroja los puntos críticos que se deben tener en cuenta, permitiendo identificar algunas problemáticas que presenta opción de mejora para la planta de beneficio COOPAR.

La revisión de análisis de riesgo What If permite que los eventos de fallo puedan ser mitigados durante el tiempo la operación de la planta, proporciona un análisis en la etapa conceptual para suministrar una mayor confiabilidad. Este análisis también proporciona la oportunidad de descubrir problemas potenciales ya que puede arrojar la identificación, evaluación y control de los eventos ocurridos en la planta extractora. Los procesos y equipos, así como sus políticas y procedimientos operativos, se desarrollaron para lograr operaciones seguras. De cualquier forma, esta metodología permite realizar una evaluación interna para implementar prácticas de trabajo seguro y disminuir los posibles riesgos de proceso. A continuación, se presenta en la tabla 10, la matriz RAM elaborada para la extractora COOPAR utilizada para evaluar los riesgos identificados durante el análisis de riesgo. Posteriormente en las tablas 11-15 muestran el análisis What if de todos los nodos identificados en la extractora



Tabla 10. Matriz RAM adaptada a COOPAR. (Autor)

CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD				
					A	B	C	D	E
Personas	Ambiental	Económica	Imagen de la empresa	#	No ha ocurrido en la industria	Ha ocurrido en la industria	Ha ocurrido en la empresa	Sucede varias veces al año en la empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad
Una o más fatalidades	Contaminación irreparable	Catastrófica (< \$100 M)	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (Parcial o total)	Contaminación Mayor	Grave(\$20M A \$50M)	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Contaminación Localizada	Severo (\$5M A 20\$M)	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión Menor (sin incapacidad)	Efecto Menor	Importante (\$1M A 5\$M)	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Efecto leve	Marginal (> \$1M)	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ningún efecto	Ninguno	Ningún Impacto	0	N	N	N	N	N

Tabla 11. Interpretación de riesgos. (Autor)

Color	Riesgo	Interpretación del riesgo
VH	Muy alto	Riesgo intolerable para asumir, requiere buscar alternativa.
H	Alto	Inaceptable deben buscarse alternativas
M	Medio	Se deben buscar alternativas para reducir el riesgo a niveles razonables.
L	Bajo	Discutir y gestionar mejoras de los sistemas.
N	Ninguno	Riesgo muy bajo, usar sistemas de control y calidad establecidos.



Tabla 12. Nodo No° 1 Clarificación. (Autor)

¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	RAM	RECOMENDACIÓN	VARIABLE CRITICA
Nodo 1. Clarificación					
Qué pasa si no hay aislamiento y señalización de tuberías	Riesgo inminente para los operarios y personal	Uso de equipo de seguridad para los operarios	1C=N	Se requiere un sistema de enchaquetado para las tuberías que manejan vapor saturado y señalización para tubería con temperatura elevada.	Temperatura
Qué pasa si fallan las bombas de clarificación	Debido al tipo de fluido que se transporta ocurre fallo en las bombas y ocasiona parada de esta etapa del proceso.	Personal de la empresa encargado de reparación de equipos	1D=L	Se recomienda el mantenimiento preventivo, si es posible utilizar bombas especializadas en este tipo de fluido.	--

Tabla 13. Nodo No° 2 Área de Caldera. (Autor)

¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	RAM	RECOMENDACIÓN	VARIABLE CRITICA
Nodo 2. Área de Caldera					
Qué pasa si aumenta la presión de la caldera desmesuradamente.	Sobre presurización de la caldera (explosión inminente)	Sistema de válvulas de alivio.	5C=H	Establecer un sistema de control de presión con alarma en tablero de control PLC. Asegurar los parámetros de calidad de agua para caldera	Presión
Qué pasa si ocurre el rompimiento de soldadura en la caldera	Daño en el equipo ocasionando una parada de planta y pérdidas económicas	Personal de la empresa encargado de reparación de equipos	2D=L	Realizar un plan de mantenimiento para criticidad de equipos Teniendo en cuenta que el rompimiento de la soldadura es causado por la corrosión y esto se debe al tipo de agua utilizada, se recomienda implementar la planta de tratamiento de agua para caldera.	---
Qué pasa si la caldera se queda sin agua	Aumento de la temperatura interna de la caldera, causando el rompimiento o incineración de la tubería	Control de nivel de agua para caldera	2D=L	Debido a que se utiliza un control crítico para este equipo, se recomienda hacer mantenimiento preventivo	Temperatura



Qué pasa si se forman incrustaciones dentro de la caldera	El aumento en consumo de combustible y la disminución de la capacidad de la caldera debido al aislamiento y disminución de la sección libre de los fluxes	No se encuentra ningún mecanismo previsto para este tipo de incidentes	2C=M	Se plantea la implementación de la planta de tratamiento de agua, que ayudara a disminuir problemas relacionados a la corrosión, incremento en los costos de producción y mantenimiento, bajo rendimiento, gasto de agua en exceso, gasto en exceso de combustible.	--
	Bloqueo en la acción adecuada de los controles como el McDonnell (nivel de agua) e incluso las válvulas de seguridad		3C=M		flujo
	la temperatura del metal sobrepase los 600 °C, límite en el cual el acero pierde resistencia mecánica		4C=M		Temperatura
Qué pasa si hay presencia de corrosión en la caldera	El oxígeno reacciona con el hidrogeno permitiendo la disolución gradual de más hierro. Las picaduras son encontradas en zonas sometidas a esfuerzos durante la fabricación de la caldera, tales como las soldaduras, secciones trabajadas en frio o discontinuidades del metal.	No se encuentra ningún mecanismo previsto para este tipo de incidentes	2C=M	Se plantea la implementación de la planta de tratamiento de agua, para mitigación de la corrosión	--

Tabla 14. Nodo No° 3 Equipo rotativo y tuberías. (Autor)

¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	RAM	RECOMENDACIÓN	VARIABLE CRITICA
Nodo 3. Equipo rotativo y tuberías					
Qué pasa si los motores en cargados de procesos mecánicos fallan	Los elevadores, poleas y motores de arrastre fallan continuamente, causando paradas en el proceso.	Personal de mantenimiento encargado de esta área	3C=M	Elaboración de un plan preventivo de mantenimiento para llevar un control y levantamiento de bitácoras de equipos.	--
Qué pasa si hay fallo mecánico en las prensas	Se presentan problemas mecánicos en la prensa	Observación continua del operario para brindar solución al problema en el momento necesario	3C=M	El equipo es de suma importancia y presenta exceso de trabajo, se recomienda sumar al proceso una prensa adicional o reemplazar la existente por una de mayor capacidad.	--



Tabla 15. Nodo No° 4 Manejo de efluentes y emisiones (Autor)

¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	RAM	RECOMENDACIÓN	VARIABLE CRITICA
Nodo 4. Manejo de efluentes y emisiones					
Qué pasa si no hay un manejo adecuado de efluentes en la planta extractora	Contaminación de cuencas hidrográficas	Las prácticas actuales de tratamiento usadas para estabilizar o manejar los efluentes se desarrollan utilizando lagunas anaeróbicas.	3C=M	Para obtener una buena calidad de efluentes, se recomienda intensificar las etapas de refinamiento utilizando lagunas grandes, un sistema mecanizado de aeración y un sistema de Biofiltro de alto rendimiento	..
	Contaminación excesiva en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)				
Qué pasa si no hay control de la contaminación atmosférica	Afectación al sistema respiratorio por la producción de partículas menores a 10um	Solo se utiliza el ciclón de la caldera para la reducción de emisiones	3C=M	Se recomienda utilizar equipos modernos para el control del aire como: centrifugadores, segmentadores, mecanismos de impacto directo y precipitadores hidrostáticos, para gases se usa absorción postcombustión y catalización.	..
	Contaminación ambiental y atmosférica por producción excesiva de gases				

Tabla 16. Nodo No° 5 Esterilización. (Autor)

¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	RAM	RECOMENDACIÓN	VARIABLE CRITICA
Nodo 5. Esterilización					
Qué pasa si hay despresurización en los esterilizadores	Perdidas energéticas (Vapor, temperatura y presión)	Personal de mantenimiento encargado de esta área	1E=L	Instalar un sistema de control para la automatización de válvulas en cargadas del flujo de vapor	Presión
	Desgaste del enchaquetado de los esterilizadores	Personal de mantenimiento encargado de esta área	3C=M	Se recomienda el cambio del enchaquetado de los Autoclave de esterilización. Mantenimiento.	--
Qué pasa si se presenta desgaste en los rieles de transporte de canastas	Volcamiento de canastas, presentando para de planta y riesgo	Operadores encargados del Área	3C=M	Se recomienda el mantenimiento preventivo y si es posible el cambio total de rieles. Precaución al realizar la actividad	--



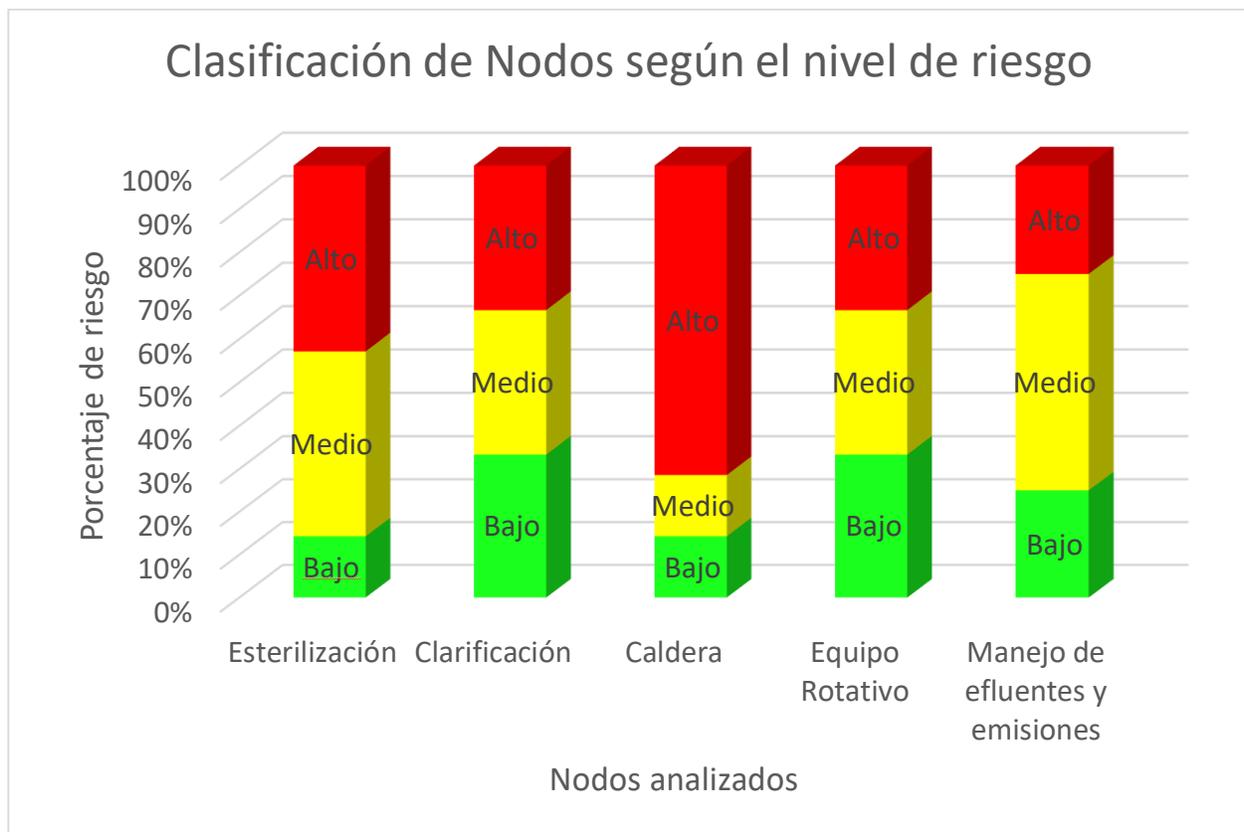


Figura 16. Clasificación de Nodos según el nivel de riesgo. (Autor)

La figura 16. Evidencia la clasificación de nodos según el nivel de riesgo, demuestra que el nodo de caldera seguidamente del nodo de esterilización presentan el mayor porcentaje de riesgo, observándose la inminente necesidad de evitar incidentes previstos, dando lugar a la propuesta estratégica de mejoramiento al diseño conceptual, la cual se presenta a continuación.

4.2.1. PROPUESTA ESTRATEGICA PARA EL MEJORAMIENTO OPERACIONAL Y DE CONTROL DEL DISEÑO CONCEPTUAL

El análisis What if proporcionó la oportunidad de descubrir problemas potenciales ya que arrojó la identificación, evaluación y control de los eventos ocurridos en la planta extractora. El análisis se enfocó en dos puntos críticos del proceso. El área de caldera en la cual se evidencia que no se está implementando un tratamiento previo para el agua, la cual es considerada como un aspecto

vital para el óptimo funcionamiento de la caldera, prolongando una serie de problemas para este equipo, los cuales se expondrán a continuación con la respectiva propuesta de mejoramiento. De igual manera se identificó la opción de mejoramiento operacional de las autoclaves de esterilización, descrito a continuación.

4.2.2. IMPLEMENTACIÓN DE LAZOS DE CONTROL DE FLUJO EN EL ÁREA DE ESTERILIZACIÓN

La empresa COOPAR no tiene a su disposición soluciones tecnológicas que permitan controlar el proceso del área de esterilización, el funcionamiento manual, ha generado un alto impacto en la calidad del servicio prestado en el ámbito de seguridad y operacional. Dando lugar a una propuesta para la automatización de la red de distribución de vapor en las autoclaves. La planta cuenta con un operario en esta área para realizar múltiples funciones manuales, como abrir y cerrar válvulas, estar pendiente de los diferentes niveles, provocando un aumento en los errores de cálculo y en el consumo de energía.

Por estas razones se ve necesario desarrollar una propuesta que permita aumentar la eficiencia y disminuir la accidentalidad. Es posible optimizar los ciclos de esterilización al implementar un control de flujos, además es recomendable instalar un sistema de control centralizado en esta área.

A continuación, se presenta el P&ID donde se especifica el esquema de control propuesto para el mejoramiento del área de esterilización (figura 16), en el cual se puede evidenciar el esquema actual de operación (color gris), y los lazos de control propuestos para el control de flujo (color negro). Los lazos de control feedforward y feedback deben ser instalados en el sistema de condensado y entrada y salida de vapor del autoclave de esterilización V 101A/B.



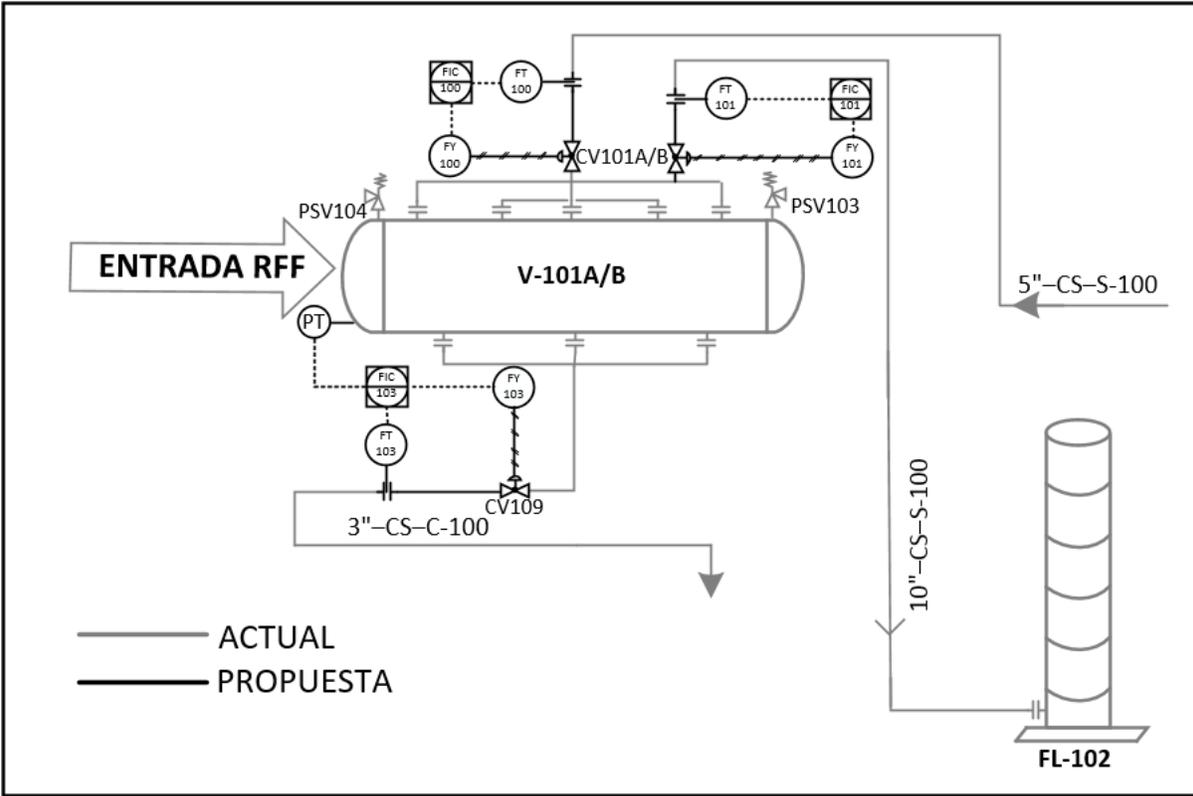


Figura 17. Lazos de control para esterilizadores. (Autor)

4.2.3. IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERA

Actualmente la empresa utiliza agua subterránea en la caldera para generar vapor, la planta utiliza una Caldera tipo Piro-tubular, se desconoce de un tratamiento adecuado del agua requerida por la caldera. Se presenta problema de oxidación e incrustaciones en la tubería de la caldera debido a las características del agua utilizada que son poco favorables para un óptimo funcionamiento. La utilización de agua con baja calidad también genera pérdidas en cuanto al desgaste de la vida útil de la caldera.

Actualmente se está utilizando un anti-incrustante directamente sobre la caldera y además hacen mantenimiento periódicamente con el fin de disminuir los riesgos que se pueden generar; pero esto no es suficiente ya que no se logra reducir la dureza y sólidos disueltos totales del agua utilizada.

El tratamiento inadecuado o el no tratamiento del agua utilizada para la generación de vapor en calderas provocan la formación de incrustaciones, problemas de corrosión e iniciación de depósitos.

Es por esta razón que se plantea el diseño de la planta de tratamiento de agua, que ayudara a disminuir problemas relacionados a la corrosión, como son: incremento en los costos de producción y mantenimiento, bajo rendimiento, gasto de agua en exceso, gasto en exceso de combustible. Por anterior se debe implementar una planta de tratamiento de agua en sus instalaciones para eliminar o disminuir los elementos fisicoquímicos del agua en aras de buscar una solución y evitar este tipo de pérdidas.

Aunque la empresa adquirió una nueva caldera es necesario continuar con la presente propuesta de mejoramiento debido a que seguirán presentándose las mismas problemáticas que se mostraron en esta recomendación operacional.

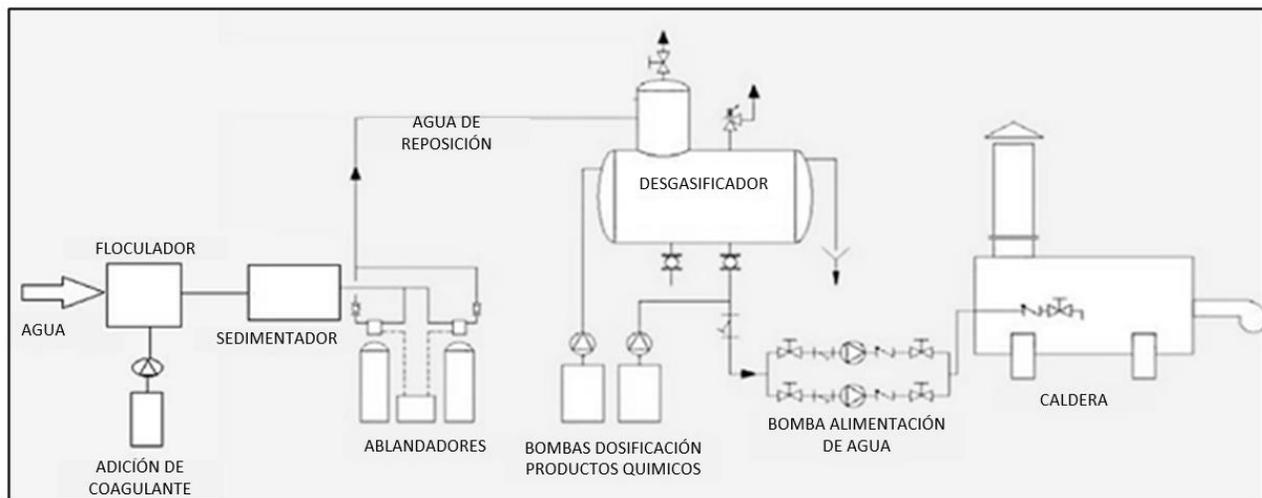


Figura 18. Planta de desmineralización de agua para COOPAR. (Villamizar, 2015)

4.2.4. ANALISIS DE COSTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA CALDERA EN LA EMPRESA DE BENEFICIO COOPAR.

La comparación de este análisis con estudios previos de implementación de sistemas de tratamientos de aguas en empresas del sector industrial de norte de Santander fue desarrollado teniendo en cuenta la tabla 17, el dimensionamiento y costos serán ajustados en la medida en que se conceptualice la construcción de la planta desmineralizadora y se limite la calidad final del agua tratada.

Tabla 17. Análisis de costos planta desmineralizadora. (Autor)

EQUIPO	DIMENSIONAMIENTO	COSTOS (\$)
FLOCULADOR	20000 Lts aprox	29.545.005
SEDIMENTADOR	20000 Lts aprox	32.445.935
TANQUE	15 Lts aprox	9.345.574
BOMBAS	(6,5 -2 -2 -2) hp	6.675.780
DESGASIFICADOR	3000 Lts aprox	18.456.343
OBRA CIVIL	--	45.578.642
DISEÑO CONCEPTUAL	--	10.532.196
GASTOS VARIOS	--	25.678.432
TOTAL		178.347.907

La tabla 17, arroja un costo final de \$ 178.347.907 millones de pesos con un porcentaje de error aproximado al 50 %. Se evidencia que la implementación de la planta de tratamiento de agua para caldera es viable para la empresa COOPAR a corto plazo. De igual manera se evidencia que no tratar el agua requiere el cambio continuo de la caldera, la cual representa un costo aproximado de \$180.000.000 millones de pesos aproximadamente en el mercado, cada cuatro años, lo que produce mayores costos para la empresa.

La implementación de la planta de tratamiento de agua en la empresa Cooperativa Palmas Risaralda traerá varios beneficios debido a que disminuye los gastos de energía y aumenta la vida



util en la caldera y mitiga los riesgos de algún accidente en la planta de producción. Además esto permitirá que la empresa Cooperativa Palmas Risaralda Ltda se encuentre a la vanguardia en temas de tratamiento de agua para uso en calderas de vapor y normativas ambientales.

4.3. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN ASPEN PLUS™.

La simulación del proceso de extracción de aceite de palma es clave en la toma de decisiones para procesos de reingeniería de planta, diseño de nuevas instalaciones de fabricación, el ahorro de costes, la optimización de procesos industriales, escalamiento y dimensionamiento de nuevos equipos. Supone una fuente de competitividad para la empresa, mediante modelos que permiten simular el comportamiento del proceso en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias.

La figura 19, esquematiza el diagrama del proceso modelado, el cual está enfocado en el área de clarificación. En el Anexo D, se presenta los resultados obtenidos durante la simulación del proceso de aceite de palma crudo. Tal y como se mencionó anteriormente, el proceso fue diseñado recreando las condiciones de operación utilizadas en la planta extractora.

La clarificación (decantación y centrifugación) presentan una eficiencia del 72%. Este valor es debido a que se logra purificar correctamente el licor de prensa de los compuestos no deseados permitiendo así recuperar la mayor cantidad de aceite posible. Las irreversibilidades son del 28% evidenciándose que la clarificación sobresale como una de las etapas eficientes del proceso. Es necesario evitar el daño por oxidación, cambio de color o degradación del aceite, que es causado por la exposición al ambiente y tiempos prolongados a temperaturas altas. Cabe resaltar que la oxidación es la causa más importante de una baja calidad del aceite, no obstante, los datos obtenidos en la simulación son similares a los encontrados en el proceso real llevado a cabo en la planta extractora COOPAR.



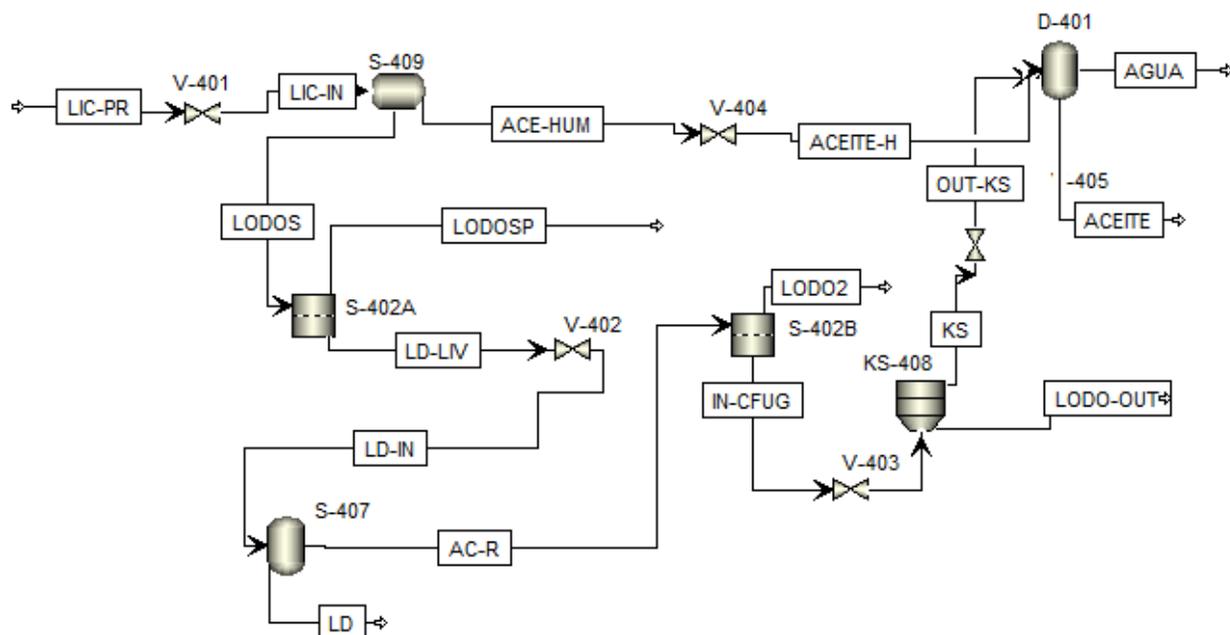


Figura 19. Diagrama de flujo del Área de Clarificación en el proceso de extracción de aceite de palma realizado en Aspen Plus. (Autor)

A continuación se presenta los resultados de la simulación en la Tabla 16, no obstante en el Anexo D, podemos encontrar los datos detalladamente.

Tabla 18. Resultados simulación del proceso de extracción de aceite de palma. (Autor)

CORRIENTE	LIC-PR	LODOS	ACE-HUM	LD-LIV	AC-R	OUT-KS	ACEITE
WATER	76,95735	73,84225	3,115097	73,33528	0,0384996	0,0150606	0,7033842
PALMITIC	0,2914444	0,0692352	0,2222092	0,0687599	4,15E-03	1,62E-03	0,2238326
STEAR-01	0,025617	1,07E-03	0,0245446	1,07E-03	3,49E-04	1,37E-04	0,0246813
OLEIC-01	0,2469172	0,0107156	0,2362016	0,0106421	3,43E-03	1,34E-03	0,2375414
LINOL-01	0,0449946	2,02E-03	0,0429705	2,01E-03	6,35E-04	2,49E-04	0,0432189
MYRISTIC	7,28E-03	5,02E-03	2,26E-03	4,99E-03	4,19E-05	1,64E-05	2,28E-03
POO	0,9916219	0,0101237	0,9814982	0,0100542	0,0100542	3,93E-03	0,9854313
POL	0,4599257	9,70E-03	0,4502241	9,64E-03	9,64E-03	3,77E-03	0,4539932
PLP	0,4372585	6,46E-04	0,4366123	6,42E-04	6,42E-04	2,51E-04	0,4368634
PSO	0,2494261	2,55E-03	0,2468797	2,53E-03	2,53E-03	9,89E-04	0,247869
Total Flow kg/hr	4488,684	1384,089	3104,595	1374,586	33,80042	13,22235	3074,098
Temperatura C	24,85	24,85	24,85	24,85	24,85	24,84995	100
Presión bar	1,01325	1,01325	1,01325	1,01325	1,01325	1,01325	1,01325
Densidad g/cc	0,8358443	0,9744211	1,279129	0,9744211	1,212078	1,212078	1,635105



5. CONCLUSIONES

El diseño del diagrama de instrumentación y tuberías correspondiente al proceso de extracción de aceite de palma, cuenta con la simbología y nomenclatura utilizada en la extractora, adicionalmente se asignaron TAG's para los equipos que no contaban con identificación, de acuerdo a la normativa ISA.

Se demostró la aplicabilidad de la metodología utilizada para realizar el análisis de riesgo en la extractora de aceite COOPAR. Se identificó, que existen oportunidades de mejora en área de confiabilidad de proceso y manteniendo proactivo en base condición. Es indispensable realizar el análisis de criticidad de equipos, instalación de alarmas, señalizaciones, elaboración de listas completas de contingencias y modos de fallas, los cuales se consideran de vital importancia.

Los escenarios de riesgo evaluados en las tablas 11-15, indicaron que las amenazas y vulnerabilidades asociadas a la operación, por su valoración RAM alta, se encuentran principalmente, en el área de caldera y esterilización. Debido a este análisis se realizó la propuesta de implementación de lazos de control para cada uno de los puntos críticos encontrados con el propósito de aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la operación, así como la operación segura. De igual manera se recomienda implementar una planta de tratamiento de agua para caldera, con el fin de disminuir corrosión e incrustaciones en el equipo, aumentar su vida útil, y mejorar la seguridad de proceso.

El proceso de producción de aceite de palma fue modelado de acuerdo con las condiciones de operación utilizadas en la empresa. Las simulaciones realizadas permiten hacer un estimado de las propiedades resultantes para el aceite crudo, dependiendo de la composición y el porcentaje de rendimiento del mismo, lográndose escalado de proceso y optimización de procesos. (Anexo D). El modelo termodinámico usado UNIFAC, permite estimar los parámetros teniendo en cuenta el método de contribución de grupos, es decir se tienen en cuenta los grupos funcionales y los enlace que conforman la molécula para estimar el comportamiento del aceite de palma.



6. RECOMENDACIONES

En el ámbito del análisis de riesgo se recomienda realizar auditorías periódicas de los sistemas de control de procesos e instrumentación, a los equipos y unidades utilizadas. Capacitar a todos los empleados involucrados en la empresa en temas como seguridad de proceso y seguridad industrial. Elaborar y aplicar procedimientos de inspección de los sistemas de control instrumental. Realizar el seguimiento respectivo para el cumplimiento de las acciones recomendadas en las diferentes matrices. Realizar validaciones periódicas de las matrices estudiadas para determinar si el riesgo aun es tolerable.

Teniendo en cuenta las características del agua del pozo subterráneo, utilizada para la caldera, siguiendo parámetros y recomendaciones sugeridas, y de acuerdo a las necesidades de la empresa Cooperativa Palmas de Risaralda Ltda., desde el punto de vista productivo, económico y social, se recomienda implementar el diseño un sistema que consta de dos etapas: tratamiento convencional y desmineralización del agua. Con estos sistemas de tratamiento propuestos, se espera obtener la calidad requerida de agua que se ajuste a las normas estipuladas para su uso y satisfaga los requerimientos de la caldera instalada en la empresa.

Debido a que se presentan pérdidas energéticas evidentes en las áreas de Esterilización, digestión y prensado, se recomienda realizar un análisis exergetico para la localización y magnitud de los principales sumideros de exergia, la cual es una gran alternativa para un mayor aprovechamiento de la energía y aumento de las eficiencias del proceso.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apolo, A. (2012). *Elaboración de un manual de procedimientos de seguridad industrial para el proceso de extracción de aceite de palma y almendra en la empresa Negcorpbis S.A. ubicada en Sebastián del Coca, provincia de Orellana*. (Tesis de Grado Ingeniería Industrial), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Bernal, F. (2005). *El cultivo de la palma de aceite y su beneficio - Guía general para el nuevo palmicultor* (F. y. Cenipalma Ed.). Bogotá D.C., Colombia.
- Brugés, C. (2004). *Estimación y reducción de pérdidas en el proceso de extracción de aceite de palma en la planta de beneficio de fruto palmar Santa Elena S.A (Tumaco)*. (Trabajo de Grado Ingeniería Química), Universidad de la Sabana, Bogotá D.C., Colombia.
- Cenipalma. (2007). Evaluación a escala piloto de ciclos de esterilización con racimos de fruto de palma desespigados. *Ceniavances*, N° 145.0
- Enriquez, L. (2009). *Estrategia para la implementación de la norma iso 14001 en empresas productoras de palma de aceite de la zona oriental Colombiana*. (Trabajo de Grado para optar al título de Magister en Gestión Ambiental), Universidad Pontificie Javeriana, Bogota D.C, Colombia.
- Fedepalma. (2006). Brochure La agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- Fedepalma. (2010). La Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. from <http://www.fedepalma.org/>
- Fedepalma. (2017). Brochure El Palmicultor, Edición N.º540. Bogotá D.C., Colombia.
- G. Cuesta, F. B. (2013). Recuperación del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas mediante la aplicación de vibraciones mecánicas. *Prospect*, Vol. 11, No. 2, 53-60.



- I.C. Garcés, M. S. (1997). Products derived from the palm oil industry. *Uses Palmas*, 18(1), 33-48.
- J. Calderón, Y. S. (2004). Mediciones e Instrumentación Industrial. *Sartenejas*, 8-26.
- J. Castillo, J., Chaves (2008). *Implementación de la documentación de las Buenas Prácticas de Manufactura y establecimiento de los Manuales de Procedimiento de las pruebas Fisicoquímicas en la planta de enfriamiento*. (Tesis de Grado), Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.
- J. Estupiñan, J. G. (2009). *Análisis de los aspectos cualitativos que afectan la cadena de abastecimiento agroindustrial de la Palma de Aceite*. (Trabajo de Grado Ingeniería Industrial), Universidad Javeriana, Bogotá D.C., Colombia.
- M. Acuña, et al. . (2015). The Oil Palm Agroindustry in Colombia and the World. *Fedepalma*.
- Maldonado, J. (2015). *Síntesis de resinas alquídicas a partir de aceite de palma mediante reacción con diferentes polioles*. (Tesis de Grado Ingeniería Química), Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.
- Mazorra, M. (2007). Guía ambiental para el subsector de la agroindustria de la palma de aceite. *Passim*.
- O. Maldonado, J. D. (2009). *Caracterización de la cadena productiva del aceite de palma en Santander*. (Trabajo de Grado Economista), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Parras, J. (2016). *Determinación de los niveles de contaminantes emergentes en aceites vegetales*. (Tesis de Grado Química), Universidad de Jaén, Jaén, España.
- R. Ortiz, O. F. (1994). *El Cultivo de la Palma Aceitera*. (Tesis de Grado), Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Rodriguez, B. (1998). *La reforma ambiental en Colombia. Anotaciones para la historia de la gestión pública ambiental* (T. Mundo Ed.). Bogotá D.C., Colombia.
- RSPO. (2007). Sistema de Certificación RSPO.



- S. Rocha, J. V. (2011). *Evaluación Exegética del proceso de extracción de aceite de Palma Africana*. (Trabajo de Grado Ingeniería Química), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Uribe, G. (2011). *Análisis teórico-práctico del proceso de extracción de aceite crudo de palma en la planta de beneficio de palmas del Cesar S.A, Ubicada en el corregimiento de Minas, sur del Cesar*. (Trabajo de Grado Ingeniería Química), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Villamizar, C. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de desmineralización del agua para el uso de la caldera en la empresa cooperativa palmas risaralda*. (Tesis de Grado), Universidad de Pamplona, Pamplona, Norte de Santander.
- Warbeck, N. (1999). Oil palm Process Synopsis. *Oil palm mill systems and process Vol.1, 2 ed.*
- Xavier, F. (2012). *Propuesta estratégica de marketing para la extractora de aceite rojo de palma africana Palmex S.A. En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. (Tesis de Grado Ingeniería en Mercadotecnia), Escuela Politécnica del Ejército, Tsáchilas, Ecuador.



8. ANEXOS A.

FIGURA A.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA LA PLANTA EXTRACTORA COOPAR

EQUIPO: AUTOCLAVE DE ESTERILIZACIÓN
 IDENTIFICACIÓN: V-101A/B
 CAPACIDAD: 10 TON DE RFF
 DIMENSIONES: Ø50" X LONG:46FT
 PRESIÓN: 15-40 PSI

EQUIPO: TANQUE ELEVADO
 IDENTIFICACIÓN: TK-102
 DESCRIPCIÓN: DEPOSITO ELEVADO PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA PROVENIENTE DEL NACIMIENTO

EQUIPO: DESHUMIDIFICADOR
 IDENTIFICACIÓN: D-401
 CAPACIDAD: 20 TON APROX
 DIMENSIONES: Ø102" X LONG:11.5FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA
 TEMPERATURA: 104-200 °F

EQUIPO: TAMIZ VIBRATORIO
 IDENTIFICACIÓN: S-402A/B
 DESCRIPCIÓN: SEPARADOR DE SÓLIDOS Y LODOS PROVENIENTES DE LA SEDIMENTACIÓN.

EQUIPO: TANQUE PULMÓN
 IDENTIFICACIÓN: TK-403
 DIMENSIONES: Ø63" X LONG:8,2FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA
 TEMPERATURA:86-150°F

EQUIPO: TANQUE DE AGUA
 IDENTIFICACIÓN: TK-404
 DIMENSIONES: Ø60" X LONG:10FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA

EQUIPO: BOMBA SIEMENS
 IDENTIFICACIÓN: P-405A/B/C/D
 TIPO: CENTRÍFUGA
 POTENCIA: 2 HP

EQUIPO: TANQUE DE LODOS
 IDENTIFICACIÓN: TK-406
 DIMENSIONES: Ø102" X LONG:11,5FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA
 TEMPERATURA: 86-200°F

EQUIPO: DISTRIBUIDOR DE VAPOR
 IDENTIFICACIÓN: SV-201
 PRESIÓN: 15-60 PSI

EQUIPO: TANQUE AGUA PARA CALDERA
 IDENTIFICACIÓN: TK-202
 DIMENSIONES: Ø80" X LONG:16FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA

EQUIPO: BOMBA
 IDENTIFICACIÓN: P-201A/B
 TIPO: CENTRÍFUGA
 POTENCIA: 15 HP

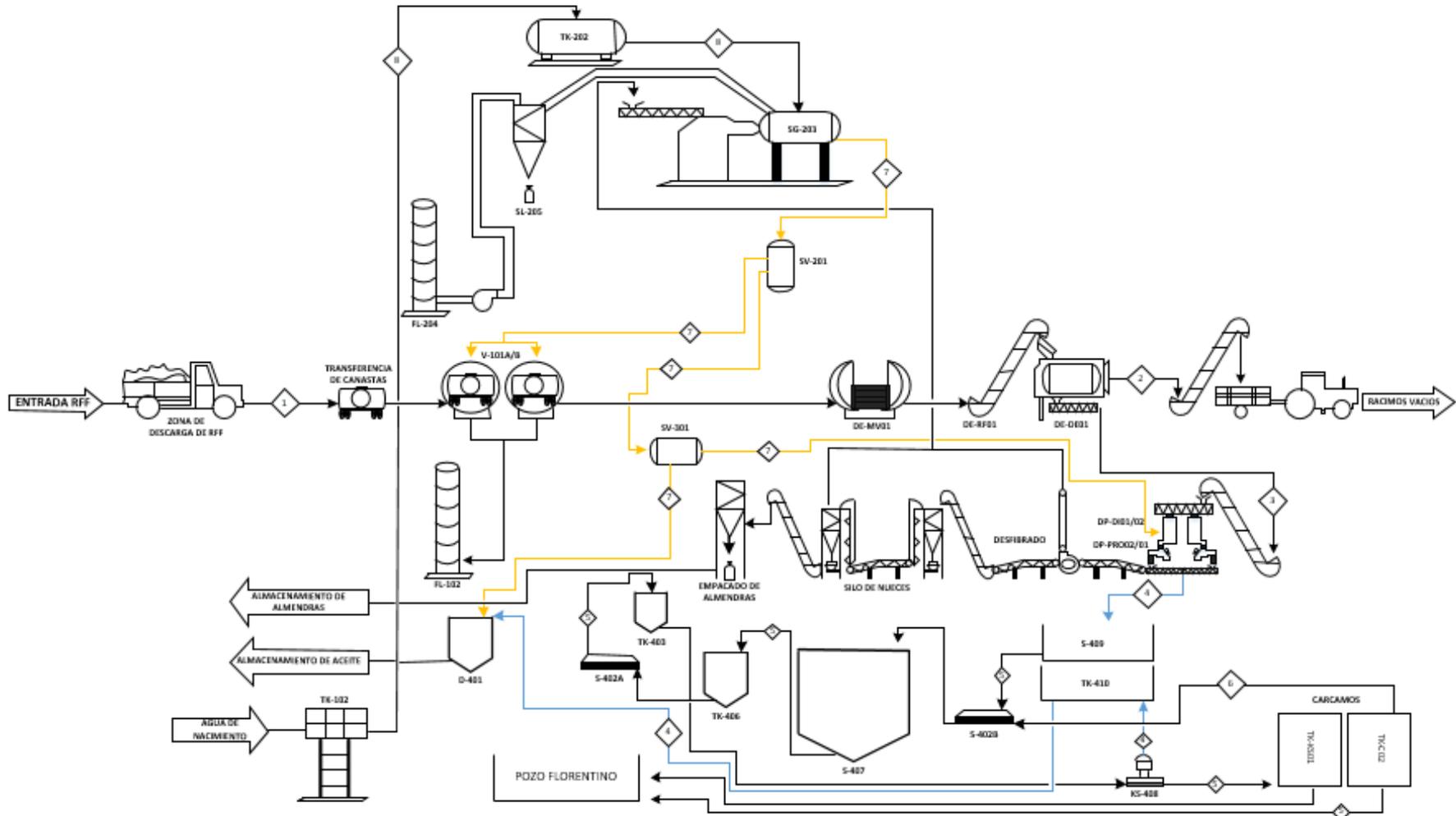
EQUIPO: CALDERA
 IDENTIFICACIÓN: SG-203
 CAPACIDAD: 450 L/TON
 TIPO: PIROTUBULAR
 PRESIÓN: 15-60 PSI

EQUIPO: CLARIFICADOR
 IDENTIFICACIÓN: S-407
 DIMENSIONES: Ø130" X LONG:16FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA

EQUIPO: DIGESTORES
 IDENTIFICACIÓN: DP-D01/02
 DIMENSIONES:Ø40" X LONG:6,5FT
 PRESIÓN:15-40PSI

EQUIPO: PRENSA
 IDENTIFICACIÓN: DP-PRO02/01
 CAPACIDAD: 5 TON

EQUIPO: CENTRÍFUGA
 IDENTIFICACIÓN: KS-408
 CAPACIDAD: 6000 LTS
 POTENCIA: 30 HP



NOTAS:	DIBUJO DE REFERENCIA: 		DISEÑO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	DESCRIPCIÓN: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA	PROYECTO: COOPERATIVA PALMAS RISARALDA		
			NOMBRE:	JEFER RINCÓN	SANDRA ZAMBRANO		ALVARO VILLAMIZAR	Fecha:	09/06/2017
			FIRMA:					Rev.:	01

ANEXO B.

**FIGURA B.1. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERIAS PARA EL
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA**

EQUIPO: AUTOCLAVE DE ESTERILIZACIÓN
 IDENTIFICACIÓN: V-101A/B
 CAPACIDAD: 10 TON DE RFF
 DIMENSIONES: Ø150" X LONG:46FT
 PRESIÓN: 15-40 PS

EQUIPO: TANQUE ELEVADO
 IDENTIFICACIÓN: TK-102
 DESCRIPCIÓN: DEPOSITO ELEVADO PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA PROVENIENTE DEL NACIMIENTO

EQUIPO: DESHUMIDIFICADOR
 IDENTIFICACIÓN: D-401
 CAPACIDAD: 20 TON APROX
 DIMENSIONES: Ø102" X LONG:11.5FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA
 TEMPERATURA: 104-200 °F

EQUIPO: TAMIZ VIBRATORIO
 IDENTIFICACIÓN: S-402A/B
 DESCRIPCIÓN: SEPARADOR DE SÓLIDOS Y LÓDOS PROVENIENTES DE LA SEDIMENTACIÓN.

EQUIPO: TANQUE PULMÓN
 IDENTIFICACIÓN: TK-403
 DIMENSIONES: Ø63" X LONG:8,2FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA
 TEMPERATURA:86-150°F

EQUIPO: TANQUE DE AGUA
 IDENTIFICACIÓN: TK-404
 DIMENSIONES: Ø60" X LONG:10FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA

EQUIPO: BOMBA SIEMENS
 IDENTIFICACIÓN: P-405A/B/C/D
 TIPO: CENTRÍFUGA
 POTENCIA: 2 HP

EQUIPO: TANQUE DE LÓDOS
 IDENTIFICACIÓN: TK-406
 DIMENSIONES: Ø102" X LONG:11,5FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA
 TEMPERATURA: 86-200°F

EQUIPO: DISTRIBUIDOR DE VAPOR
 IDENTIFICACIÓN: SV-201
 PRESIÓN: 15-60 PS

EQUIPO: TANQUE AGUA PARA CALDERA
 IDENTIFICACIÓN: TK-202
 DIMENSIONES:Ø80" X LONG:16FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA

EQUIPO: BOMBA
 IDENTIFICACIÓN: P-201A/B
 TIPO: CENTRÍFUGA
 POTENCIA: 15 HP

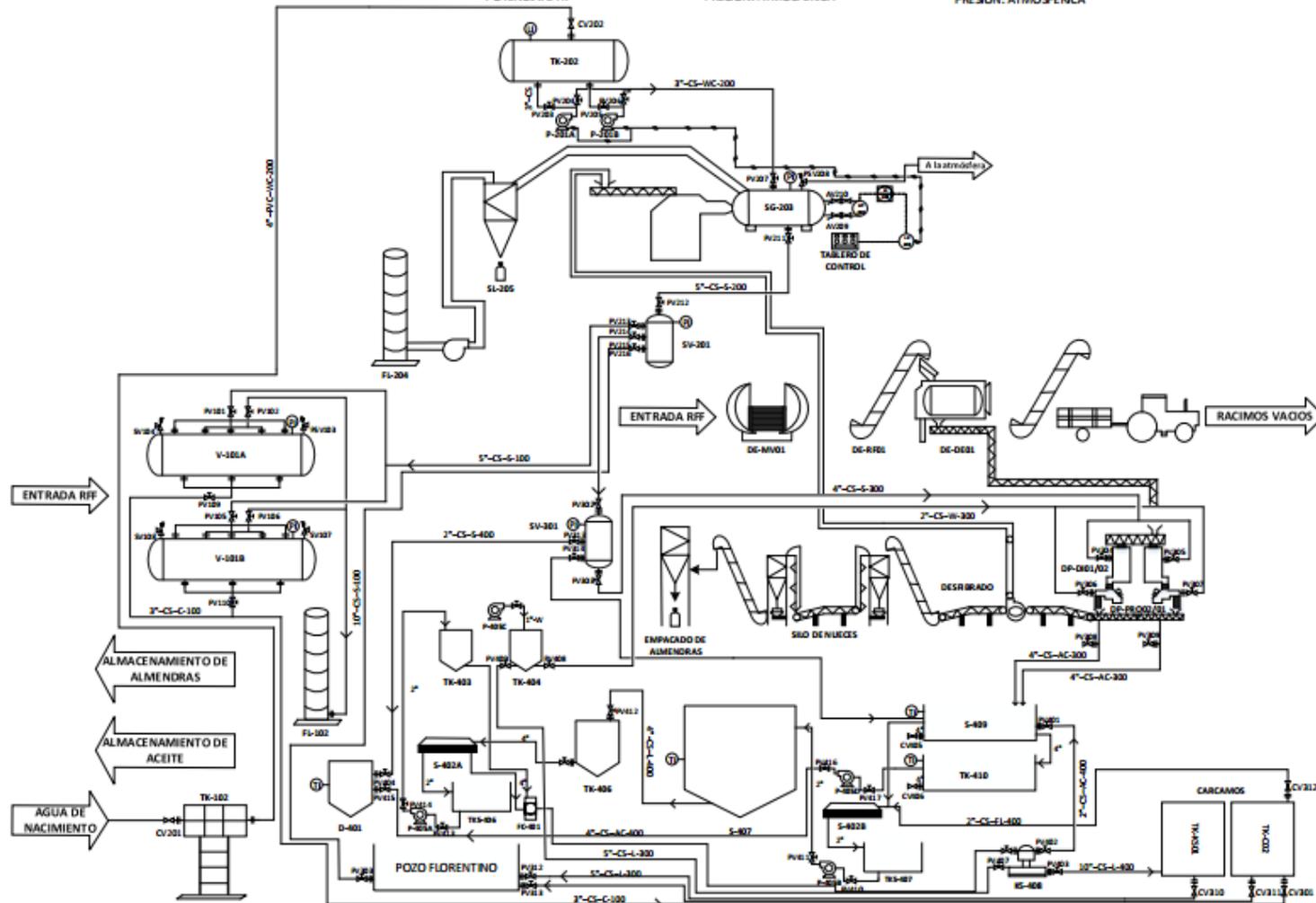
EQUIPO: CALDERA
 IDENTIFICACIÓN: SG-203
 CAPACIDAD: 450 L/TON
 TIPO: PIROTUBULAR
 PRESIÓN: 15-60 PS

EQUIPO: CLARIFICADOR
 IDENTIFICACIÓN: S-407
 DIMENSIONES: Ø130" X LONG:16FT
 PRESIÓN: ATMOSFÉRICA

EQUIPO: DIGESTORES
 IDENTIFICACIÓN: DP-D01,02
 DIMENSIONES:Ø40" X LONG:6,5FT
 PRESIÓN:15-40PS

EQUIPO: PRENSA
 IDENTIFICACIÓN: DP-PRO02/01
 CAPACIDAD: 5 TON

EQUIPO: CENTRÍFUGA
 IDENTIFICACIÓN: KS-408
 CAPACIDAD: 6000 LTS
 POTENCIA: 30 HP



NOTAS:

DESBLO DE REFERENCIA:



DESIGNADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
JEFER RINCÓN	SANDRA ZAMBRANO	ALVARO ULLAMEAR
FIRMA		

DESCRIPCIÓN:
 DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

PROYECTO:
 COOPERATIVA PALMAS RISARALDA

Fecha:
 09/06/2017

Rev.
 01

ANEXO C.

FIGURA C.1. DIAGRAMA EXPLICATIVO SOLICITADO POR COOPAR

