



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Determinación de las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción de aceite
crudo de palma (*Elaeis guineensis*) de la empresa INDUPALSA - provincia
de Lamas**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR:

Bach. Carlos Enrique Santos Pérez

ASESOR:

Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge

Tarapoto – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ACEITE DURANTE EL
PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA (*elaeis
guineensis*) DE LA EMPRESA INDUPALSA-PROVINCIA DE LAMAS**


Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial

AUTOR:

Bach. Carlos Enrique Santos Pérez

Sustentada y aprobada ante el honorable jurado el día 6 de setiembre del 2017.


.....
Dr. Mario Pezo Gonzales
PRESIDENTE


.....
Ing. M. Sc. Jaime Ramírez Navarro
SECRETARIO


.....
Ing. Cicerón Tuanama Reátegui
MIEMBRO


.....
Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge
ASESOR

Declaratoria de Autenticidad.


Carlos Enrique Santos Pérez, identificado con DNI N° 46764167, egresado de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE ACEITE DURANTE EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA (*ELAEIS GUINEENSIS*) DE LA EMPRESA INDUPALSA-PROVINCIA DE LAMAS**.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría
2. He presentado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por lo tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. El trabajo de tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por lo tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagios (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 06 de Setiembre del 2017.

.....

Carlos Enrique Pérez
DNI N°46764167



Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Santos Pérez Carlos Enrique	
Código de alumno :	082143	Teléfono:
Correo electrónico :	cesp1090@gmail.com	DNI: 46764167

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de:	Ingeniería Agroindustrial

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(x)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	Determinación de las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción de aceite crudo de Palma (<i>Elaeis guineensis</i>) de la empresa INAPALSA - Provincia de Lamas
Año de publicación:	2017

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(x)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**



.....
Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

16 / 04 / 2019



.....
Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

* **Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación al amor de mi vida, hija hermosa **Luciana Sofía** quien siempre será mi motor y motivo y a **Iris Hidalgo** por su apoyo y motivación constante durante todo este tiempo con mucho amor y cariño. Las amo.

A mi sobrino querido **Luis Hernán**, por su pronta partida que dejó un vacío enorme en nuestros corazones.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece:

A la empresa Industria de Palma aceitera de Loreto y San Martín S.A dirigida por su Gerente General el **Econ. Américo Arévalo Ramírez** por la oportunidad y apoyo brindado para la ejecución de la realización del presente trabajo de investigación.

A mi familia, por brindarme su apoyo incondicional en todos los aspectos necesarios a mis hermanos **Jorge, Paco, Rosa, Flor, Walter y Marilú**; a mi padre **Roberto Santos** y en especial a mi madre **Leomila Pérez Gupioc** por confiar siempre en mí.

Al **Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge** por su apoyo como asesor de tesis en la realización del presente trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE.....	viii
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
HIPÓTESIS.....	2
CAPÍTULO I	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1. Botánica de la planta.	3
1.1.1. Clasificación.	3
1.1.2. Morfología.	3
1.1.2.1. La semilla.	3
1.2. Producción y cosecha de racimos.	4
1.2.1. Herramientas de cosecha.	4
1.2.2. Tiempo, frecuencia y criterios de cosecha.....	4
1.2.3. Transporte de racimos.	5
1.3. Generalidades del aceite crudo de palma.	5
1.4. Situación actual del aceite de palma aceitera en el Perú.	6
1.5. Diagnóstico del proceso de producción de aceite de palma en la empresa INDUPALSA-provincia de Lamas.	8
1.5.1. Recepción.....	10
1.5.2. Esterilización.....	10
1.5.3. Desfrutado.....	11
1.5.4. Digestión.....	11
1.5.5. Prensado.....	12
1.5.6. Clarificación.....	12
1.5.7. Secado.....	14
1.5.8. Almacenamiento.	14

1.5.9.	Desfibrado.....	14
1.5.10.	Palmisteria.	15
1.5.11.	Generación de vapor (caldero).....	15
a)	Proceso de esterilización.....	16
b)	Inactivar la lipasa.	17
c)	Facilitar el desprendimiento de los frutos del escobajo.....	17
d)	Ablandar los tejidos de la pulpa.	17
e)	Calentar y deshidratar parcialmente las almendras para facilitar su posterior recuperación.	17
1.5.12.	Ciclo de la esterilización.....	17
a)	Desaeración.....	18
b)	Ascenso y expansion en un primer y segundo pico.	18
c)	Sostenimiento.	18
d)	Expansion final y operaciones de descarque y carga del esterilizador.....	19
1.5.13.	Esterilizador Horizontal.....	19
1.5.14.	Esterilizado vertical.	19
1.6.	Pérdidas de aceite.	19
1.6.1.	Control de pérdida de aceite en condensados de esterilización.	20
1.6.2.	Control de perdida de aceite en racimos vacios o tusas.	20
1.6.3.	Control de pérdidas de aceite en prensas.	20
1.6.4.	Control de pérdidas de aceite en lodos a la descarga de la centrifuga.	21
	CAPÍTULO II.....	23
	MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1.	Lugar de ejecución.	23
2.2.	Materiales.....	23
2.2.1.	De campo.	23
2.2.2.	Materiales, equipos y reactivos de laboratorio.	24
2.3.	Métodos.	24
2.3.1.	Metodología.	24
2.3.2.	Evaluación de las presiones.	27
2.3.2.1.	Determinación de pérdidas de aceite crudo de palma en base seca.	27
2.3.2.2.	Cálculos de porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca.....	29
	CAPÍTULO III.....	33
	RESULTADOS Y DISCUSIONES	33

3.1.	Análisis de los resultados de pérdidas en base seca.	33
3.2.	Análisis del índice de peróxidos, índice de acidez, índice de iodo.	37
3.3.	Análisis estadístico de los datos.	40
3.4.	Balance de masa.	43
	CONCLUSIONES	46
	RECOMENDACIONES.....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	48
	ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones del aceite crudo de palma.....	6
Tabla 2: Ubicación de áreas instaladas de aceite de palma.	7
Tabla 3: Balance de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA.....	16
Tabla 4: Estándares de pérdidas de aceite en los puntos de muestreo.	21
Tabla 5: Modelo de formato para recolección de las pérdidas de aceite en base seca (ac/ss).	28
Tabla 6: Tabla modelo para la determinación del porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca.	29
Tabla 7: Matriz de tratamientos.....	32
Tabla 8: Efecto de las presiones en la pérdida de aceite crudo de palma en diferentes puntos.	34
Tabla 9: Prueba de tukey al 5% de probabilidad del efecto de la presión en los porcentajes de pérdidas de aceite de palma	41
Tabla 10: Prueba de tukey al 5% de probabilidad del factor del punto de pérdida en los porcentajes de pérdidas de aceite de palma.	42
Tabla 11: Características fisicoquímicas del aceite de palma extraído a tres diferentes presion	43
Tabla 12: Porcentaje de pérdidas de aceite a diferentes presiones.	43
Tabla 13: Pérdidas de aceite crudo de palma en toneladas.	45

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Fruta de Palma Aceitera.	4
Figura 2: Aceite Crudo de Palma (a), aceites refinados de palma (b), aceite crudo de palmiste (c) y aceite refinado de palmiste (d).	6
Figura 3: Flujo Grama de Producción de Extracción de Aceite Crudo	9
Figura 4: Esterilizadores Verticales . Fuente Planta Indupalsa.	10
Figura 5: Proceso de desfrutado. Fuente Cenipalma (2000)	11
Figura 6: Digestor. Fuente Brugés (2004).....	11
Figura 7: Prensa de doble tornillo sinfin. Fuente. Planta Indupalsa	12
Figura 8: Fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite para su clarificación. Fuente Alvarado. 2010	13
Figura 9: Ventilador- Desfibrador. Fuente. Planta Indupalsa.....	14
Figura 10: Vista lateral del Caldero. Fuente. Consultécnica. 2004.	15
Figura 11: Composición en peso de RFT. Fuente. Pedraza, et, al, .1997.	22
Figura 12: Ubicación Satelital de las Instalaciones de la Empresa INDUPALSA. Fuente. Google Earth.....	23
Figura 13: Flujograma Experimental de la Determinación de Pérdidas de Aceite. Fuente: Elaboración Propia. 2016.....	25
Figura 14: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en escobajo a diferentes presiones. Fuente: Elaboración Propia.....	34
Figura 15: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudi de palma en fibra a diferentes presiones. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 16: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en cáscara a diferentes presiones. Fuente: Elaboración Propia.....	35
Figura 17: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en tamizado a diferentes presiones. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Figura 18: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en florentino a diferentes presiones.....	37
Figura 19: Variación del índice de acidez de aceite crudo de palma a diferentes presiones.	38
Figura 20: Variación del índice de peróxido del aceite crudo de palma a diferentes presiones.	39
Figura 21: Variación del índice de yodo del aceite crudo de palma a diferentes presiones.	40

Figura 22: Prueba de Tukey al 5%, para los promedios del porcentaje de pérdida de aceite del factor Presión.	41
Figura 23: Prueba de Tukey al 5% para los promedios en porcentaje de pérdida de aceite del factor punto de pérdida. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 24: Flujograma definitivo para el procesamiento de aceite de palma aceitera. Fuente: Elaboración propia.	44

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cálculo de las pérdidas de aceite sobre Racimo de Fruta Fresca (RFF).....	50
Anexo 2: Pérdidas de aceites sobre RFF a 45 Psi.....	50
Anexo 3: Pérdidas de aceites sobre RFF a 50 Psi.....	51
Anexo 4: Pérdidas de aceites sobre RFF a 50 Psi.....	53
Anexo 5: Análisis de la varianza de los análisis químicos de aceite de palma en diferentes presiones.	53
Anexo 6: Balance de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA a diferentes presiones. Presión 40 PSI.....	54
Anexo 7: Balance de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA a diferentes presiones. Presión 45 PSI.....	55
Anexo 8: Balance de masa de la producción aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA a diferentes presiones. Presión 50 PSI.....	57
Anexo 9: Fruta de Palma proveniente de pongo del Caynarachi-Lamas	60
Anexo 10: Planta extractora INDUPALSA, Lamas-San Martín.....	60

RESUMEN

En la presente investigación se determinó las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción por presión de aceite crudo de palma africana (*Elaeis guineensis*) de la empresa INDUPALSA-Provincia de Lamas, lo que permitirá lograr una mayor y mejor eficiencia en el proceso de extracción del aceite crudo de palma, determinando y cuantificando las pérdidas de aceite que existen durante el proceso de extracción de la empresa INDUPALSA.

El procedimiento se basó en cuantificar las pérdidas en base seca de aceite de los principales puntos de perdidas (escobajo, fibra, cáscara, tamizado y florentino), variando la presión de esterilizado, dichas presiones fueron 40, 45 y 50 PSI, y consecuentemente se realizó un balance de masa.

Se logró cuantificar en unidades de la tasa de extracción por presión, la cantidad de aceite que es eliminado en cada flujo másico que sale del proceso; asimismo se hizo el análisis químico (índice de acidez, índice de yodo e índice de peróxido) del aceite obtenido por cada presión; los resultados se encontraron dentro de los límites permisibles de la norma técnica de aceite de palma, asimismo el análisis estadístico indicó que no existe diferencia entre los valores ($p > 0,05$).

De las presiones estudiadas se determinó que la presión a 40 PSI generó el mayor rendimiento con 92,48%, asimismo las pérdidas en los puntos a esta presión, fueron menores que las presiones de 45 y 50 PSI, cuyos rendimientos fueron 91,08 % y 86,09% respectivamente. Por ello se planteó a la empresa INDUPALSA usar una presión de 40 psi en la etapa del esterilizado, ya que asegura la reducción deseada de las pérdidas de aceite en los puntos en mención.

Palabra clave: Aceite de palma, esterilización, palma africana, extracción por presión, *Elaeis guineensis*, pérdida de aceite, Lamas [provincia]-San Martín-Perú.

ABSTRACT

The following investigation was developed to determine oil losses during the process of extraction of palm oil (*elaeis guineensis*) from the INDUPALSA Company located in the Province of Lamas, this allows to achieve a greater and better efficiency in the process of extraction of the crude oil of palm determining and quantifying the oil losses that exist during the process of extraction of the INDUPALSA Company.

The procedure was based on quantification of losses in dry oil base of the main points of loss (pick, fiber, husk, sieving and florentine), varying the sterilization pressure, these pressures were 40, 45 and 50 PSI, and consequently performed a mass balance.

It was possible to quantify in units of the extraction rate, the quantity of oil that is eliminated in each mass flow that leaves the process; Also the chemical analysis (acid index, iodine index and peroxide index) of the oil obtained by each pressure was made; The results were within the permissible limits of the technical standard of palm oil, and statistical analysis indicated that there was no difference between the values ($p > 0.05$).

From the pressures studied it was determined that the pressure at 40 PSI generated the highest yield with 92.48%, also the losses at the points at this pressure, were lower than the pressures of 45 and 50 PSI, whose yields were 91.08% And 86.09% respectively. Therefore, the company INDUPALSA was asked to use a pressure of 40 PSI in the sterilization stage, as it ensures the desired reduction of oil losses at the points mentioned.

Keywords: Oil palm, African palm, extraction by pressure, *Elaeis guineensis*, oil loss, Lamas [province]-San Martín-Perú.



INTRODUCCIÓN

El aceite crudo de palma es un recurso renovable y año tras año cobra una gran importancia en su uso, actualmente es materia prima para su transformación en muchos procesos de las industrias de alimentos, de oleo-químicos, y como combustible alternativo llamado biocombustible (biodiesel). En los últimos años el aceite de palma ha ganado un posicionamiento en el ranking mundial como aceite en bruto y refinado, asimismo en el Perú actualmente la superficie instalada de palma aceitera es de 57 752 hectáreas (**Oviedo, 2012**), sin embargo, no se puede cubrir con la demanda, ello es necesario la importación del aceite de otros países.

La extracción del aceite crudo de palma se realiza en la planta de beneficio INDUPALSA, donde se realizan procesos continuos, mecánicos y físicos, en las etapas de esterilización, desfrutado, prensado, clarificación, secado y almacenamiento, sin la adición de insumos químicos. En la etapa de prensado se genera el licor de prensa y en la etapa de clarificación se separa dicho licor por medio de un proceso estático, por la diferencia de densidades con los lodos, donde se obtiene una eficiencia de separación del aceite del 68% (**Indupalsa, 2016**). El aceite no separado en esta etapa se recupera en parte en centrifugas industriales y a su vez se generan pérdidas de aceite hacia las aguas residuales cercanas al 1% (**Indupalsa, 2016**).

Durante el diagnóstico tecnológico de las plantas de beneficio de Colombia, realizado por Cenipalma en 1996, se concluyó que uno de los principales inconvenientes para la comparación de la eficiencia entre las mismas, era la forma de expresar las pérdidas de aceite. Con la implementación de los balances de pérdidas de aceite, éstas se expresan en los mismos términos de la extracción de aceite, es decir, porcentaje de aceite sobre racimo, facilitando la comparación entre plantas.

En esta investigación se presenta una propuesta para monitorear el efecto del esterilizado a diferentes presiones, durante el proceso y su influencia en los puntos de pérdidas encontrados de la empresa INDUPALSA.

Objetivos

➤ Objetivo general.

Evaluar las pérdidas durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA.

➤ Objetivos específicos.

Identificar y evaluar los principales puntos de pérdidas de aceite crudo que existen durante el proceso de extracción y su cuantificación en la etapa de esterilización.

Realizar el balance de materiales del proceso de extracción del aceite crudo por efecto de la presión en la operación de esterilizado a 40, 45 y 50 PSI.

Cuantificar las pérdidas de aceite en porcentaje en función a la cantidad de racimo de fruta fresca que se procesa.

Determinar la influencia de la variación de la presión afecta las propiedades químicas del aceite crudo de palma, índice de yodo, índice de peróxido e índice de acidez.

Hipótesis

Ho: La influencia de la presión en la etapa de esterilizado afecta las pérdidas de aceite en la etapa de esterilizado, prensado, clarificación y palmistería.

Ha: La influencia de la presión en la etapa de esterilizado no afecta las pérdidas de aceite en la etapa de esterilizado, prensado, clarificación y palmistería.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Botánica de la planta

1.1.1. Clasificación

Harley (1983), menciona la siguiente clasificación botánica:

Phylum : *Phyta*
Clase : *Monocotiledonea*
Orden : *Palmales*
Género : *Elaeis*
Especie : *Elaeis guineensis*

1.1.2. Morfología

1.1.2.1. La semilla

El embrión de las semillas de palma es siempre pequeño y el cotiledón nunca está erecto como un órgano fotosintético verde. Más bien, el ápice del cotiledón aumenta de volumen, y como haustorio absorbe las reservas nutritivas del endospermo. Así en la palma de aceite, la semilla está adaptada para mantener una plantita en desarrollo durante muchas semanas después de la germinación, **Harley (1983)**.

La semilla de la palma es la nuez que queda después de que se ha extraído el mesocarpio aceitoso suave, generalmente por prensado del fruto. Consta de un cuesco o endocarpio y una, dos o tres almendras. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, la semilla sólo contiene una almendra puesto que dos de los tres óvulos en el ovario tricarpelar generalmente abortan. A veces se presentan ovarios anormales y de ellos pueden surgir, aunque rara vez, nueces con cuatro o cinco semillas. El tamaño de la nuez varía mucho y depende tanto del grosor de la cáscara como del tamaño de la almendra (fig. 1). Las nueces típicas duran africanas pueden ser de 2 a 3 centímetros de largo y en promedio tienen de 4 g. Las nueces Deli dura y las africanas grandes, son mayores y pesan hasta 13 g. Las nueces *teneras* africanas generalmente son de 2 cm o menos de largo y pesan en promedio dos gramos. No es raro encontrar nueces muy pequeñas que pesen 1 g. El cuesco tiene fibras que lo atraviesan longitudinalmente y otras que se adhieren a él.

Dentro del cuesco está la almendra, esta contiene capas de endospermo aceitoso duro, de color blanco grisáceo, rodeado por la testa parda oscura, cubierta por una red de fibras. Encajado en el endospermo y frente a uno de los poros germinales, se encuentra el embrión.

El embrión es recto y mide de 3 mm de largo. Su extremo distal se encuentra frente al poro germinal, pero está separado de él por una capa delgada de células endospermicas, la testa y la estructura laminar. Estas tres estructuras en conjunto se han llamado el opérculo, pero están separadas. En estado latente la yema ya está bien desarrollada lateralmente dentro del extremo distal del embrión, (Harley, 1983).



Figura 1: Fruta de Palma Aceitera.

1.2. Producción y cosecha de racimos

1.2.1. Herramientas de cosecha

Según Urueta (2008), para cosechar racimos de palma jóvenes (menores de 3 años) se utiliza un cincel o macana de 6-8 cm de ancho acoplado al extremo de una vara de madera o tubo de metal de 1.20 a 1.50 m de longitud, con una agarradera. Estas medidas son las adecuadas para cortar únicamente el racimo sin dañar las hojas a la vez que el tubo largo permite evitar accidentes por las espinas.

Después del cincel se usa la chuzo o lanza, un instrumento con una hoja de 14 cm de ancho y un tubo de 1.3 m de largo, dimensiones que dependerán de la altura de la palma. Estas herramientas son usadas para cosechar racimos de alturas de hasta 3.4 m aproximadamente. El empleo de chuzos requiere de mucho cuidado para no sufrir ningún accidente, por lo que es necesario el uso de guantes.

1.2.2. Tiempo, frecuencia y criterios de cosecha

La cosecha de la palma aceitera inicia a los 48 meses después de sembrada. El nivel máximo de producción de una plantación puede ser superior a 12 toneladas de racimo por año. El

fruto está maduro cuando toma un color pardo-rojizo en la punta y rojo-anaranjado en la base; se considera maduro el racimo cuando se separan con facilidad por lo menos 03 frutos o cuando han caído unos 06 frutos.

Los ciclos de cosecha son cada ocho o diez días y hasta de cinco o seis días en tiempo de mucha producción. La cosecha se realiza en brigadas de cinco hombres, un supervisor controla el trabajo de las brigadas; el trabajo consiste en el corte de los racimos, recolección de éstos y de los frutos caídos, arrume de las hojas cortadas en las interlíneas.

1.2.3. Transporte de racimos

Los racimos normalmente se llevan del campo a puntos de recolección en el borde del camino en transporte manual o en mulas a vehículos que han de llevarlos a la planta extractora de aceite, donde son procesados tan frescos como sea posible.

1.3. Generalidades del aceite crudo de palma

Según **Brugés (2004)** del fruto de palma se obtienen dos productos: el aceite crudo de la pulpa de los frutos, y las almendras que están dentro de las semillas. De las almendras se obtiene el aceite de palmiste. En la figura 02, se observa el aceite crudo de palma y de palmiste, y asimismo las fracciones obtenidas después del refinamiento.

El aceite crudo de palma se obtiene de la maceración o extracción del mesocarpio mediante procesos físicos o químicos de la pulpa o parte blanda del fruto de la palma de aceite. Se caracteriza por ser un aceite rico en vitamina, tocoferoles, compuestos por cadenas de mono glicéridos, (**Wambeck, 2005**). En el Tabla N° 01, se observa las especificaciones del aceite crudo de palma que la empresa INDUPALSA procesa.

Brugés (2004), menciona que una vez obtenidos en las plantas de beneficio los aceites de palma crudo y de palmiste, se inicia la fase industrial. En ella se refinan y fraccionan tales aceites, para producir oleínas y las estearinas de palma y palmiste, que sirven en la fabricación de múltiples productos comestibles y no comestibles.

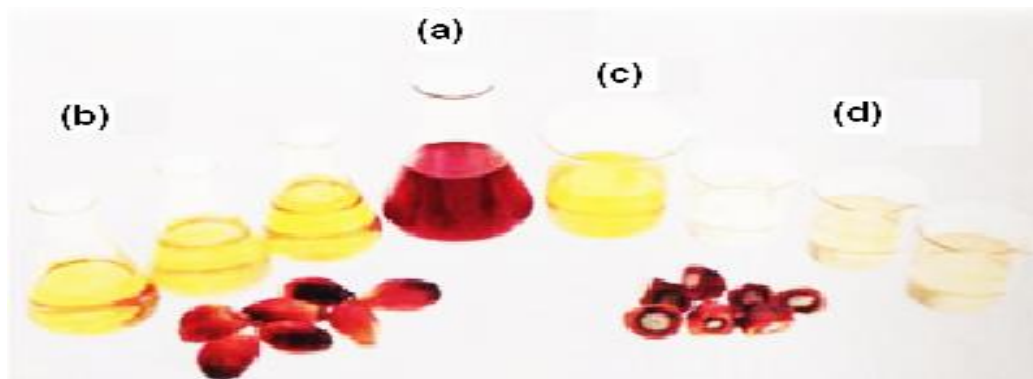


Figura 2: Aceite Crudo de Palma (a), aceites refinados de palma (b), aceite crudo de palmiste (c) y aceite refinado de palmiste (d).

Tabla 1
Especificaciones del aceite crudo de palma.

N°	ENSAYO	RESULTADOS
1	Carbohidratos (g / 100 g de muestra original)	0.0
2	Energía Total (Kcal / 100 de muestra original)	893.7
3	Grasa (Kcal / 100 de muestra original)	99.3
4	Humedad (g / 100 de muestra original)	0.1
5	Proteínas (g / 100 de muestra original)	0
6	Cenizas (g / 100 de muestra original)	0.1
7	Calcio (g / 100 de muestra original)	56.0
8	Fósforo (g / 100 de muestra original)	0
9	Hierro (g / 100 de muestra original)	3.2
10	Sodio (g / 100 de muestra original)	0.0
11	Potasio (g / 100 de muestra original)	0.0
12	Magnesio (mg / kg de muestra original)	8.2
13	Manganeso (*) (mg / kg de muestra original)	No detectable
14	Fibra Dietaria Total (g / 100 de muestra original)	0.0
15	Colesterol (C.G) (mg / 100 de muestra original)	0.0

Fuente: SIS-CC – INDUPALSA, (2014).

1.4. Situación actual del aceite de palma aceitera en el Perú

El cultivo de palma aceitera en el Perú es considerado deficitario, porque para satisfacer la demanda es necesaria la importación de otros países productores. Su producción surgió por tener el más alto rendimiento de aceite por unidad de área (de 4–7 TM aceite/Ha), alta rentabilidad y nuestro país cuenta con áreas de gran potencial para el cultivo, (Oviedo, F., et al, 2012).

En el Perú hasta el año 2011 la superficie instalada de palma aceitera era de 55,980 has. Actualmente se ha incrementado en un 3% siendo el área de palma aceitera de 57,752 ha., constituida de la sumatoria de áreas de las regiones de San Martín, Ucayali, Loreto y Huánuco, que son las zonas potenciales del país (Tabla 02), (Oviedo, F., et al, 2012).

Del total de 57,752 hectáreas instaladas en campo definitiva y en crecimiento de palma aceitera en zonas nuevas se tiene que 28,657 hectáreas (49%) se encuentran en la Región San Martín; 14,791 hectáreas (26%) en la Región Ucayali; 13,354 hectáreas en la región Loreto (23%) y 1000 hectáreas pertenecen a la Región Huánuco (2%). Actualmente, la superficie en producción es de 32,567 has., siendo el 56% del total. En el año 2012 se produjo un incremento en la producción ya que algunas plantaciones iniciaron su producción al completar el tercer año de edad.

Tabla 2

Ubicación de áreas instaladas de aceite de palma.

Región	En producción Has.	En crecimiento Has.	Superficie Total Has.	Producción TM/RFF	Aceite Crudo TM
San Martín					
Tocache- Caynarachi	23,134	5,523	28,657	462,680	92,536
Ucayali					
Neshuya- Aguaytia	3,392	11,349	14,741	61,056	12,211
Loreto					
Nauta- Yurimaguas	5,970	7,384	13,354	71,640	14,328
Huánuco					
Honorar	71	1,000	1,000	568	114
Total	32,567	25,256	57,752	595,944	119,189

Fuente: Oviedo, F., et al. (2012)

1.5. Diagnóstico del proceso de producción de aceite de palma en la empresa INDUPALSA-provincia de Lamas

INDUPALSA, es una empresa agroindustrial ubicada en el distrito del Pongo de Caynarachi, provincia de Lamas, dedicada al cultivo y beneficio de la palma de aceite, cuenta con 3,000 hectáreas en producción y además la materia prima es abastecida por agricultores dedicados a la producción de palma aceitera.

Uno de sus principales enfoques, es el impacto ambiental que los residuos del proceso pueden generar. Dichos residuos producidos se distribuyen como abono orgánico sobre cerca de 4692 hectáreas de palma sembradas en un sector aledaño a la planta de producción.

La planta funciona desde el año 2005, cuenta con maquinaria moderna y tiene una capacidad instalada de 10 toneladas RFF/hrs, con proyecciones a una ampliación a 15 toneladas RFF/hrs. Se trabaja con dos turnos de producción, procesando en promedio de 240 toneladas de fruto diariamente. El aceite producido se distribuye tanto al mercado nacional como al internacional. El proceso de obtención del aceite crudo de palma, se puede describir a través del diagrama de flujo que se presenta en la Figura 03. Asimismo, en el Tabla 03, se observa el balance de masa de la obtención de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA.

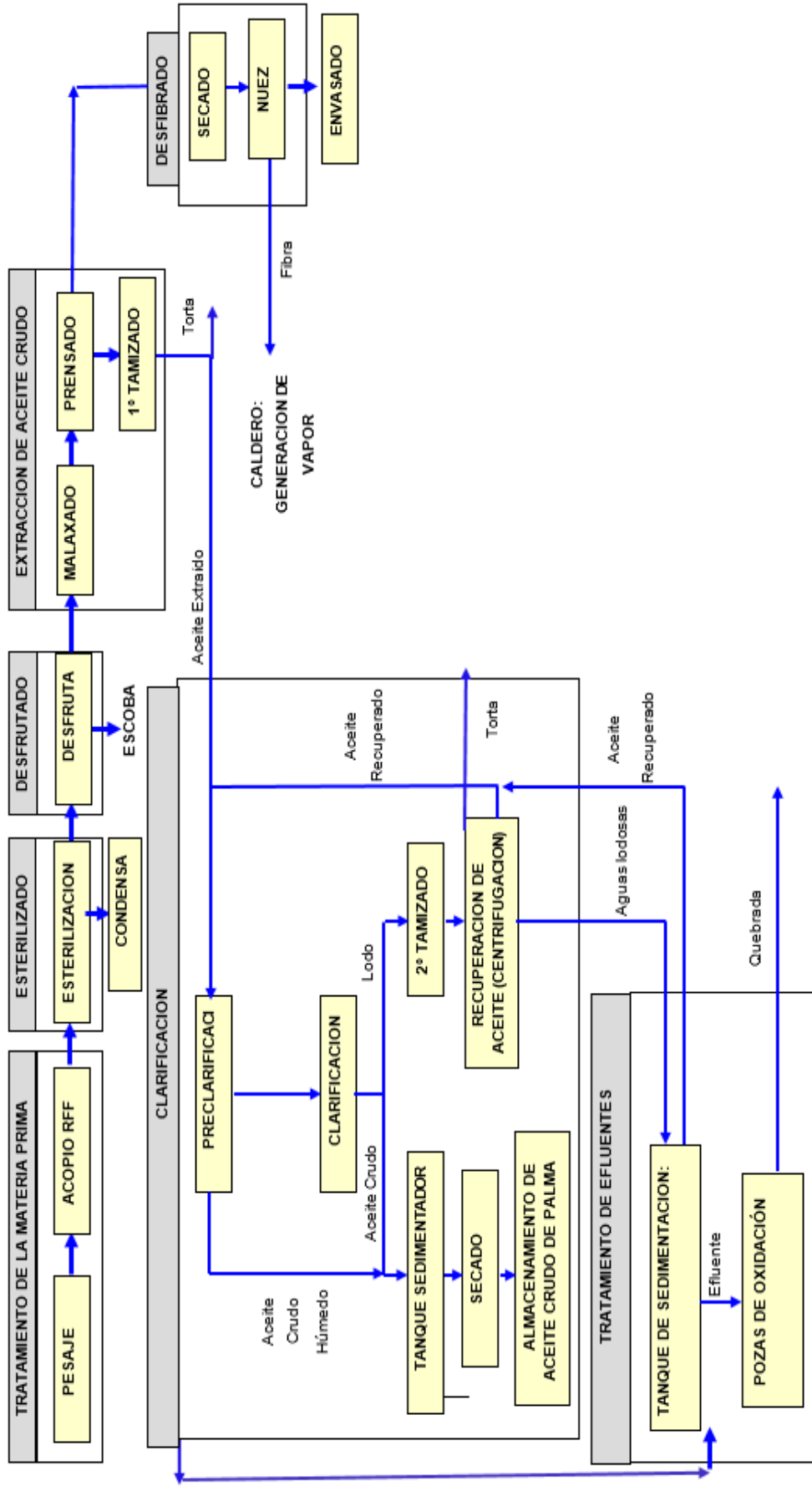


Figura 3: Flujo Grama de Producción de Extracción de Aceite Crudo

1.5.1. Recepción.

Los racimos que llegan a las instalaciones de la planta son pesados en una balanza electrónica, con 60 ton de capacidad y según los criterios de calidad de la empresa se evalúan y califica la materia prima recibida. El racimo fresco en fruta, en adelante RFF, según **Fedepalma (2004)** presenta una composición en peso de mesocarpio 50%, racimos vacíos 25%, nuez 14% y humedad 11%.

1.5.2. Esterilización.

La esterilización de los RFF, se realiza en dos autoclaves verticales (ver figura 4) con capacidad de 5 ton que tiene cada uno de ellos en promedio y uno de 10 ton. Se introduce los racimos de fruto fresco dentro del esterilizador hasta llenarlos por completo, se cierra correctamente la puerta. Después se hace el desairado, abriendo la válvula de alimentación de vapor hasta llegar a 45 PSI por un tiempo de 10 min, luego se procede a purgar. Terminado el proceso anterior se cierra la válvula de desfogue y se abre la válvula de alimentación de vapor hasta llegar a una presión interna en la autoclave de 45 PSI una vez llegado se cierra la válvula de alimentación y se mantiene a esta presión por 40 min de cocción haciendo un tiempo total de 50 minutos desde el inicio del proceso. Concluido el tiempo de esterilización se cierra las válvulas de entrada de vapor, se realiza el purgado para alcanzar la presión a cero en el interior de la autoclave esto se realiza en 10 min, esto con la finalidad de evitar posibles accidentes. Luego se abre la compuerta y se procede a la descarga del fruto. Según el Tabla 03, se obtiene 16,5 ton de evaporación como subproducto, el resto pasa a la etapa de desfrutado.



Figura 4: Esterilizadores Verticales . Fuente Planta Indupalsa.

1.5.3. Desfrutado

Luego de haber esterilizado los racimos, se procede a separar los frutos estériles del escobajo o del racimo, por la acción de los golpes propiciados por el tambor desfrutador, así como se observa en la figura 05. A esta etapa ingresan 83,5 ton. Los frutos caen a un tornillo sin fin que alimenta al transportador de cangilones, y los escobajos son conducidos por una faja transportadora hacia un camión recolector para llevarlos fuera de la planta; parte del escobajo sirve como abono de las plantaciones de palma. Según **Fedepalma (2004)** el racimo vacío como desecho representa el 21% sobre fruta. En el balance de masa de la empresa INDUPALSA, la cantidad de escobajo es 19,5%, dentro de este porcentaje el 0,67% representa la pérdida de aceite, quedando 18,83% en escobajo.

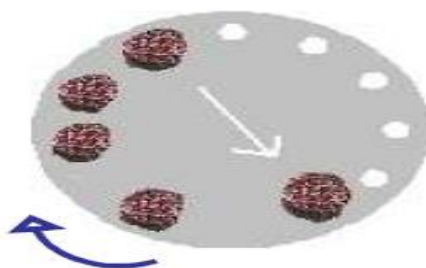


Figura 5: Proceso de desfrutado. Fuente Cenipalma (2000)

1.5.4. Digestión

El fruto es depositado en un cilindro llamado digestor (figura 06), el cual presenta unas paletas en las cuales va a macerar el fruto por medio de la agitación circular, además se le aplica vapor directo, conservándose en el tanque a una temperatura que 85 a 90°C, permaneciendo cada carga por un tiempo de 25 a 30 minutos. Esto ayuda a que las células de aceite se desprendan del fruto y la recuperación del aceite en el momento del prensado sea eficiente. En esta operación se separa el pericarpio de las nueces y las células son rotas para dar paso a la liberación de aceite contenido mediante el prensado.



Figura 6: Digestor. Fuente Brugés (2004)

1.5.5. Prensado

A esta etapa ingresan 64 ton de fruto digerido. Este proceso se efectúa en prensas de tornillos sinfín continuas (figura 07), las cuales están compuestas por una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica doble y por dos tornillos del tipo de sinfín.

Los frutos digeridos son prensados dentro de la canasta por acción de dos tornillos sinfín de paso regresivo, girando paralelamente en sentido contrario. La contrapresión la ejerce cada tornillo, el uno contra el otro mutuamente y que trabajan además contra unas piezas cónicas colocadas en los extremos de la canasta y operadas hidráulicamente. Para facilitar la salida del aceite durante el prensado, se agrega agua caliente, cuya cantidad es controlada estrictamente para asegurar una buena extracción por una parte y además, para obtener una adecuada dilución del aceite crudo, de modo que se facilite su clarificación posterior.

Del prensado se producen dos efluentes uno sólido (28 ton) y otro líquido (36 ton), el sólido está compuesto por la semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado, el líquido va a ser una mezcla aceite – agua – lodos.

Según **Fedepalma (2004)**, la eficiencia del prensado depende de dos factores; la presión adecuada aplicada a los conos de los tornillos y el estado por desgaste de canastas tornillos y conos, además de la buena digestión realizada previamente.



Figura 7: Prensa de doble tornillo sinfin. Fuente. Planta Indupalsa

1.5.6. Clarificación

Es este proceso ingresa la parte líquida (36 ton), donde se purifica el aceite extraído y se eliminan las impurezas como fibras, células muertas y arena; en el camino hacia la obtención de un aceite crudo clarificado el primer equipo a sortear es el tamiz vibratorio en el que son

atrapadas las partículas en suspensión de mayor tamaño tales como fibra y arena. El aceite pasa al tanque crudo el mismo que cuenta con dos secciones separadas con baffles que permiten una nueva separación del sobrenadante y partículas en suspensión pesadas, estos tanques son alimentados con vapor mediante un serpentín y en forma directa para mantener el aceite de 90 a 95°C.

Inmediatamente después el aceite es bombeado hacia el tanque clarificador (decantador primario) en donde es separado en tres cuerpos: aceite (23 ton), aguas lodosas (9,3 ton) y lodos pesados (2,1 ton como subproducto y 0,1 ton como pérdida); el contenido en el tanque es mantenido a una temperatura de 90 a 95°C y el aceite es recogido por rebose a través de un baffle y conducido hacia el tanque el aceite recuperado, mientras tanto, los lodos son conducidos a través a un tanque de lodos, de aquí se da una recuperación secundaria en una centrifuga, el aceite recuperado es inmediatamente pasado a al tanque pre clarificador para su recuperación, y la parte lodosa es bombeado a los tanques florentinos para su posterior recuperación. Según **Alvarado (2010)**, las gotas de aceite se encuentran dispersas en la mezcla, debido a que la densidad del aceite es menor que la del agua, la gota tiende a subir. Existe, sin embargo, una fuerza llamada fricción, la cual se define como el esfuerzo de rozamiento que hace la mezcla evitando que la gota suba fácilmente (figura 08). A medida que la fricción aumenta, la fuerza con que sube la gota disminuye, impidiendo la separación.

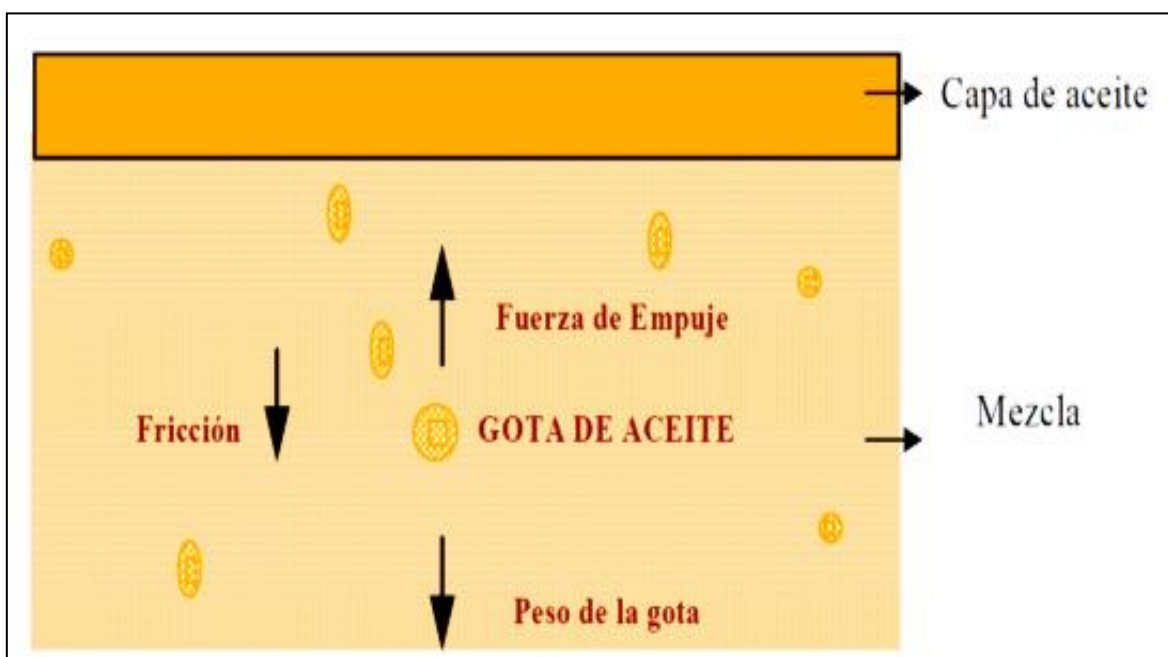


Figura 8: Fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite para su clarificación. Fuente Alvarado. 2010

1.5.7. Secado

Una de las ventajas del sistema de vacío es la de evitar el contacto del aceite con el aire, el cual favorece la oxidación y ocasiona el fenómeno de la rancidez. El Secador atmosférico opera entre 90 a 95°C. Allí se evapora la humedad del aceite (**Consultecnica, 2004**).

1.5.8. Almacenamiento

El aceite permanece almacenado conservándose una temperatura de 50°C en los tanques de almacenamiento de 150 ton y 370 ton.

1.5.9. Desfibrado

La mezcla sólida del prensado (28 ton), según **Fedepalma (2004)** está representada 60 % sobre fruta, además se produce 6 % de semilla (4% almendra y 2% de cáscara) el 9 % es fibra. Esta mezcla es separada por medio de una columna de aire con una velocidad lineal que se puede ajustar entre 8 y 12 m/s (figura 09). Por diferencia de peso la fibra (16,5 ton) es succionada y transportada por medio de transportador sinfín, para ser utilizadas como combustible en las calderas para alimentación del caldero; mientras que las nueces (8 ton) caen al piso y son almacenadas en costales de propietileno. Además, como se observa en el Tabla 03, la empresa experimenta una pérdida de aceite de 0,62 ton.



Figura 9: Ventilador- Desfibrador. Fuente. Planta Indupalsa.

1.5.10. Palmisteria

Esta es la sección de recuperación de nueces. La torta descargada por las prensas, después del proceso de prensado es transportada hacia la columna de desfibración y a la vez desmenuzada en un transportador sinfín del tipo de paletas, el cual cumple tres funciones principales (**Consultecnica, 2004**):

- Permitir el secado de la torta proveniente de las prensas.
- Desmenuzar la torta teniendo en cuenta que ella sale de las prensas como una masa densa muy compacta.
- Transportar la torta hacia el sistema de desfibración neumática, en el cual serán separadas las nueces de las fibras.

1.5.11. Generación de vapor (caldero)

El proceso de la extracción del aceite de palma necesita una cantidad importante de vapor, especialmente para la esterilización y para el calentamiento en las demás etapas de la producción de aceite crudo de palma, en la figura 10 se observa la vista lateral del caldero. La producción de este vapor es asegurada de manera muy amplia por la combustión de las fibras y cáscaras de desecho que según **Consultécnica (2004)**, representan aproximadamente entre un 19% y un 20% del peso de los racimos frescos.

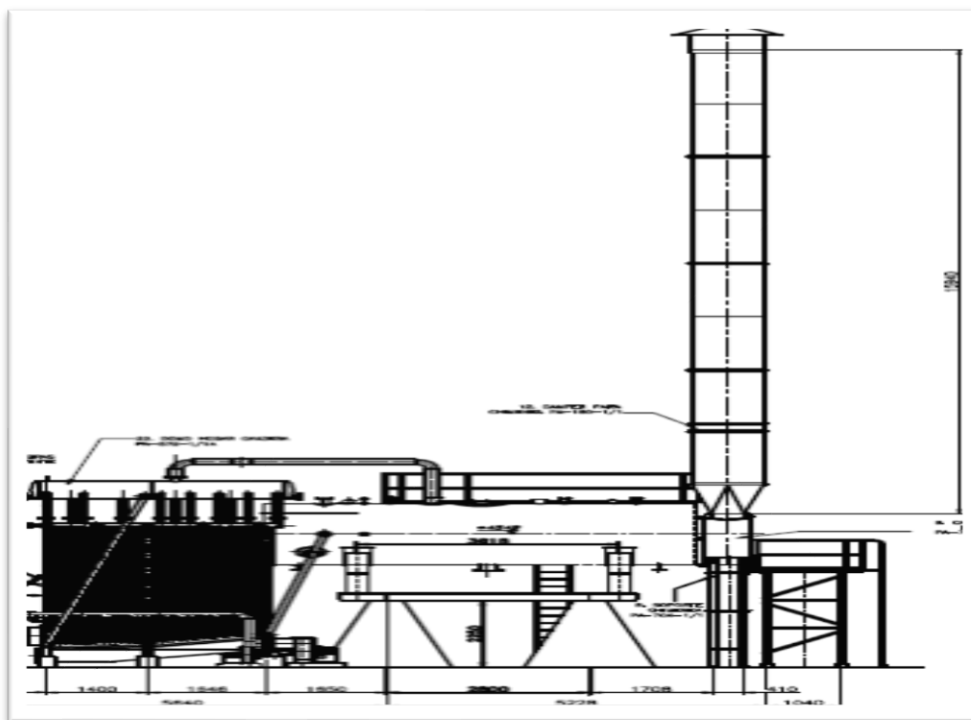


Figura 10: Vista lateral del Caldero. Fuente. Consultécnica. 2004.

Tabla 3

Balace de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA

Recepción	Salidas	Contenido de aceite	Producto	Subproducto	Pérdidas
Esterilización (100 TM)	16,50	Evaporación		16,50	
Desfrutado (83,5 TM)	19,5	Racimos Vacíos		18,83	
		Pérdida de aceite			0,67
Extracción 64 TM	28	Sólidos			
	36	Líquidos			
		Agua		9,3	
Clarificación 36 TM		Sólidos No Aceitosos		2,1	0,10
		Pérdida de Aceite			1,48
		Aceite	23,00		
	28	Evaporación		2,9	
Desfibrado 28 TM		Pérdida de Aceite			0,62
		Fibra		16,5	
		Nuez	8		
Total	100,00		31,00	66,13	2,87
EXTRACCIÓN DE ACEITE		23,00	89,25%	PÉRDIDA DE ACEITE	2,77
RECUPERACIÓN DE NUEZ		8	98,77%	PÉRDIDA DE NUEZ	0,10

Fuente: Indupalsa. (2015)

a) Proceso de esterilización

Dentro del proceso de extracción de aceite del fruto de la palma africana, el primer proceso y quizás el más importante, es la esterilización. Ello se debe a la incidencia que este proceso tiene en los pasos subsiguientes, al dar al fruto un tratamiento físico químico que afectará el rendimiento y la calidad final del aceite y de la almendra obtenida en las plantas extractoras. La generalidad de los productores de aceite cree que los principios fundamentales del proceso de esterilización son:

b) Inactivar la lipasa

La lipasa se inactiva a temperaturas relativamente bajas, del orden de los 60°C. Por ello, se considera que el tratamiento de esterilización de los racimos es posible efectuarlo mediante el uso de agua caliente simplemente, pero para cumplir con los demás objetivos de esta primera etapa se requieren temperaturas mayores. Por esta razón se utiliza vapor saturado.

c) Facilitar el desprendimiento de los frutos del escobajo

En la esterilización el fruto es preparado para la etapa de desfrutación, mediante la aceleración del proceso natural de desprendimiento de los frutos similar a cuando llegan a su estado óptimo de madurez. Este proceso ocurre por la evaporación del agua presente en los tejidos del pedúnculo de unión entre el fruto y la tusa, lo cual los ablanda. Al conseguir este objetivo, se minimizan las pérdidas de fruto que se causan por la mala desfrutación.

d) Ablandar los tejidos de la pulpa

En la esterilización, los tejidos de la pulpa del fruto se debilitan, facilitando el rompimiento de las celdas que contienen el aceite durante los procesos de digestión y prensado. Este objetivo se consigue con poco tiempo de esterilización y una temperatura relativamente baja.

e) Calentar y deshidratar parcialmente las almendras para facilitar su posterior recuperación

Con la esterilización se busca un desecamiento de la almendra que al perder tamaño se desprende de la cáscara que la envuelve, facilitando de esta forma, el rompimiento de las nueces y la recuperación de las almendras en la sección de palmistería. La desecación o deshidratación general de la fruta también conlleva a la evaporación de la humedad del interior de la almendra, **(Ojeda, 1991)**.

Abdul (1991), comenta que la esterilización prácticamente es un proceso químico, ya que la alta temperatura y la presión de la esterilización determinan la formación de ácidos grasos libres en los frutos; ayudan a separar los frutos del racimo y causan contracciones de la almendra de la nuez.

1.5.12. Ciclo de la esterilización

Brugés (2004), menciona que, al inicio del proceso, el esterilizador y la masa de frutos contenido en su interior trabajan como un condensador, lo cual demanda un consumo

elevado de vapor. El gradiente de temperatura es bastante alto: $T=90^{\circ}\text{C}$. Se considera que el consumo pico corresponde al 40% del consumo promedio total, en el 25% del tiempo de inyección y cuando el esterilizador y el fruto se han calentado la demanda de vapor disminuye radicalmente al disminuir el área transferida. Esta segunda parte corresponde al 50% del tiempo de inyección. Asimismo, considera que, durante el tiempo a presión constante, el consumo baja aún más y solo se requiere para la reposición del calor perdido hacia el exterior por convección y radiación. Para este periodo la demanda es del 5% del consumo promedio total en el 25 % del tiempo de inyección de vapor.

El ciclo de esterilización según el mismo autor comprende los siguientes pasos:

a) Desaeración

Consiste en inyectar vapor lentamente con el fin de empujar el aire hacia atrás y descargarlo. Esta operación es importante por que en el esterilizador tiene una atmosfera absoluta de aire y cuando se introduce vapor a 3 atm absolutas, la presión por dentro del esterilizador sera de 3 atm absolutas compuestas de acuerdo a la ley de Dalton (de presiones parciales) en 1 atm absoluta de aire y 2 atm absolutas de vapor. El vapor tiene una temperatura de $119,6^{\circ}\text{C}$ a 2 atm absolutas, que no es adecuada para el proceso, mientras que a 3 atm absolutas el vapor tiene una temperatura de $132,9^{\circ}\text{C}$.

b) Ascenso y expansion en un primer y segundo pico

Se realizan con el objetivo de expulsar al aire residual que haya podido quedar hasta cero, sino hasta 5 PSI durante estas expansiones, ya que podría ingresar nuevamente aire al equipo. Es necesario desalojar permanentemente los condensadores para obtener un rendimiento máximo de vapor y evitar que entren en equilibrio vapor y condensado, disminuyendo la cesión de calor al fruto.

c) Sostenimiento

En este paso es donde es realmente se alcanzan los objetivos de la esterilización. La presión y el tiempo utilizados en el sostenimiento, depende del grado de madurez de los frutos.

d) Expansion final y operaciones de descarque y carga del esterilizador

Desde el punto de vista de la seguridad es importante tener en cuenta que cada esterilizador debe haber una válvula indicadora del momento de la apertura de la puerta. Mientras haya descarga de vapor por dicha válvula no debe proceder la apertura de la puerta.

1.5.13. Esterilizador Horizontal

Actualmente, en general, la esterilización se efectúa en esterilizadores cilíndricos horizontales llamados también “autoclaves”, los cuales se fabrican en diversos diámetros, con una o dos puertas de acceso, dependiendo del tamaño y diseño de la planta. Tienen un par de rieles internos sobre los cuales se desplazan las vagonetas o canastas hechas en lámina de acero, con perforaciones en el fondo y, a veces, en los costados laterales. Las canastas van montadas sobre chasis con ruedas provistas de rodamientos o bujes de soporte, (Ojeda, 1991).

1.5.14. Esterilizado vertical

Sistema utilizado inicialmente para pequeñas cantidades de fruto, pero el cual se ha acondicionado para grandes cantidades en plantas hasta de 120 Tn/RFF/h. El fruto es transportado por cintas transportadoras hasta las autoclaves ubicadas en posición vertical fija, donde son esterilizados, (IPROMAQ, 2012).

1.6. Pérdidas de aceite

Al realizar un diagnóstico en las plantas de beneficio de palma aceitera, mediante el cual se pretende conocer el estado tecnológico de esta agroindustria, **García, et al, (2000)**, observó que uno de los puntos más sobresalientes fue el de encontrar una completa disparidad en la forma de expresar las pérdidas de aceite, esto, según el mismo autor, en algunos casos el aceite perdido se expresaba sobre base húmeda, en otros casos la pérdida de aceite estaba relacionada en base seca o con los sólidos secos no aceitosos. Asimismo, el autor determinó que las principales pérdidas de aceite que ocurren en una planta de beneficio de fruto de palma de aceite están en: el aceite impregnado en la tusa o Escobajo, el aceite impregnado en las fibras y el aceite contenido en los efluentes. Otras pérdidas menores de aceite se encuentran en el fruto adherido en la tusa y en la impregnación en la nuez. Según **Fedepalma (2004)**, los estándares aceptables de pérdidas de aceite, como se observa en el Tabla 03, para Escobajo 0,57%, para Fibras 0,50%, para Cáscaras 0,10%, en florentino 0,97 y finalmente para lodos tamizados se acepta una pérdida de 0,10%.

García, et al, (2000) reporta la variación periódica de la tasa de extracción de aceite y su aparente relación con eventos climáticos. En trabajos de **Yáñez, et al. (2000)**, sobre un estudio del comportamiento de la extracción de aceite en la Zona Norte, se observa como el porcentaje de tusa en relación con los racimos de fruta procesada varía mensualmente y está relacionado con la tasa de extracción de aceite (TEA). Con esto se confirma la idea de poder analizar por el comportamiento de las pérdidas, como el porcentaje de tusa y fibras, con el fin de evaluar si se tiene alguna relación con la variación de la TEA.

En la Figura 11 se observa un balance teórico de los racimos de fruta fresca, donde se puede apreciar los rangos de porcentaje de cada una de las corrientes de salida, sin embargo, estos valores pueden variar en cada una de las plantas dependiendo de las características del fruto que se procesa, de la continuidad del proceso y del control mismo que se tenga sobre él.

1.6.1. Control de pérdida de aceite en condensados de esterilización

Este es el primer control que se realiza durante el proceso. En este punto, las pérdidas de aceite son considerables y tienen una alta variación, dependiendo principalmente del grado de madurez de los racimos, así como del periodo de esterilización. El aumento del tiempo de cocción a presión constante incrementa las pérdidas de aceite en condensados y en el raquis (**Brugés, 2004**).

1.6.2. Control de pérdida de aceite en racimos vacíos o tusas

Aunque la muestra para el análisis es tomada en la etapa de desfrutamiento, es la Esterilización la que afecta directamente el resultado de la prueba. El tiempo de esterilización afecta directamente la pérdida de aceite en las tusas, así como el grado de madurez del fruto, que la presencia de pedúnculos largos en los racimos y a unas malas condiciones de desfrutamiento, pueden incrementar de manera considerable el valor de dicha pérdida, (**Brugés, 2004**). Asimismo, el mismo autor considera que los parámetros para determinar si las pérdidas se encuentran en rangos aceptables, estos son de 6% Ac/SSNA y 8% Ac/SSNA respectivamente para los condensados de esterilización y las tusas.

1.6.3. Control de pérdidas de aceite en prensas

Brugés (2004), menciona que a pesar que la presión ejercida sobre la masa digerida es alta, dadas las características de la fibra, no es posible que todo el aceite impregnado en estas, sea evacuado por completo. Las nueces son otro producto donde se presentan pérdidas de aceite, el cual se aloja en las cavidades de los cuercos. No obstante, no es muy elevado el valor de

dicha pérdida, si se mantienen los controles adecuados del proceso. El mismo autor considera un límite aceptable de 5.5% Ac/SSNA para las fibras.

1.6.4. Control de pérdidas de aceite en lodos a la descarga de la centrifuga

Los lodos que salen de la centrífuga, son el efluente final del proceso de clarificación, compuesto en su mayor parte por agua y lodos pesados, y en pequeñas proporciones por aceite, que no logró recuperarse en su totalidad durante el proceso. Estos efluentes son conducidos a los tanques miniflorentinos, donde se recupera aceite y es retornado al proceso, para determinar si las pérdidas se encuentran en rangos aceptables, este es de 12% Ac/SSNA (Burgés, 2004).

Tabla 4

Estándares de pérdidas de aceite en los puntos de muestreo.

Puntos de pérdidas.	STANDARD
Pérdidas de aceite en escobajos	0.57%
Pérdidas de aceite en fibras	0.50%
Pérdidas de aceite en cascara	0.10%
Pérdidas de aceite en lodos de salida de florentino	0.75%
Pérdidas de aceite en sólidos tamizados	0.10%
Total Pérdidas	2.02%

Fuente: FEDEPALMA (2004).

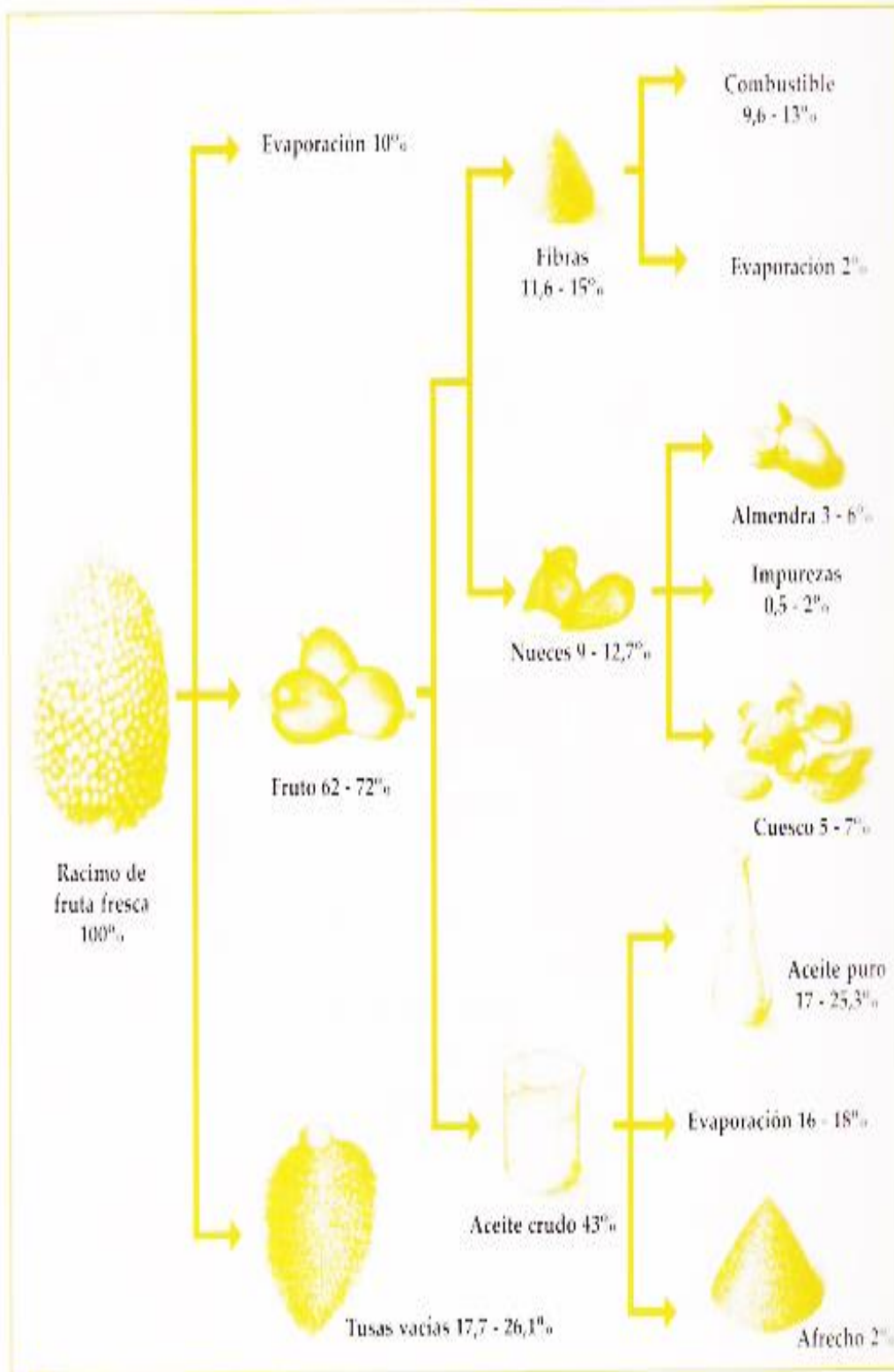


Figura 11: Composición en peso de RFT. Fuente. Pedraza, et, al. .1997.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de la Planta Extractora de la Empresa Industria de Palma Aceitera de Loreto y San Martín S.A (INDUPALSA), ubicada al margen derecho de la carretera FERNAND BELAUNDE TERRY tramo Tarapoto-Yurimaguas km 63.5, provincia de Lamas (**figura 12**).

La parte experimental fue desarrollada en los meses de enero hasta setiembre del 2016, la etapa de recopilación de información y la etapa de redacción se realizó en la ciudad de Tarapoto.

Luego del reconocimiento del proceso se procedió a recolectar toda la información necesaria para la implementación y la realización de los balances másicos. Considerando tres presiones 40, 45, 50 psi en la etapa del esterilizado, por lo tanto la realización de los balances másicos se efectuó específicamente a las tres presiones estudiadas.



Figura 12: Ubicación Satelital de las Instalaciones de la Empresa INDUPALSA. Fuente. Google Earth

2.2. Materiales

2.2.1. De campo

- Materia Prima: Palma Aceitera.

2.2.2. Materiales, equipos y reactivos de laboratorio

Materiales.

- Vasos de precipitación.
- Varilla de vidrio.
- Matraces Erlenmeyer.
- Papel toalla.
- Envases de vidrio.
- Machete.
- Guantes de cuero.
- Papel filtro.
- Pinzas para cápsula.
- Pinzas para balón.
- Algodón

Equipos

- Balanza analítica,
- balanza de precisión.
- Extractor Soxhlet con volumen nominal De 100 ml para balones de 250 ml.
- Estufa.
- Desecador.

Reactivos

- Hidróxido de sodio 0.1 N.
- Fenolftaleína.
- Estufa.
- Alcohol 96°.
- Desecador.
- Hexano o éter de petróleo.

2.3. Métodos

2.3.1. Metodología

La parte experimental se desarrolló de acuerdo al flujograma para la determinación de pérdidas de aceite durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma (figura 13), que incluye el proceso de extracción, las variables de evaluación, los 5 puntos de pérdidas de aceite y los respectivos análisis realizados.

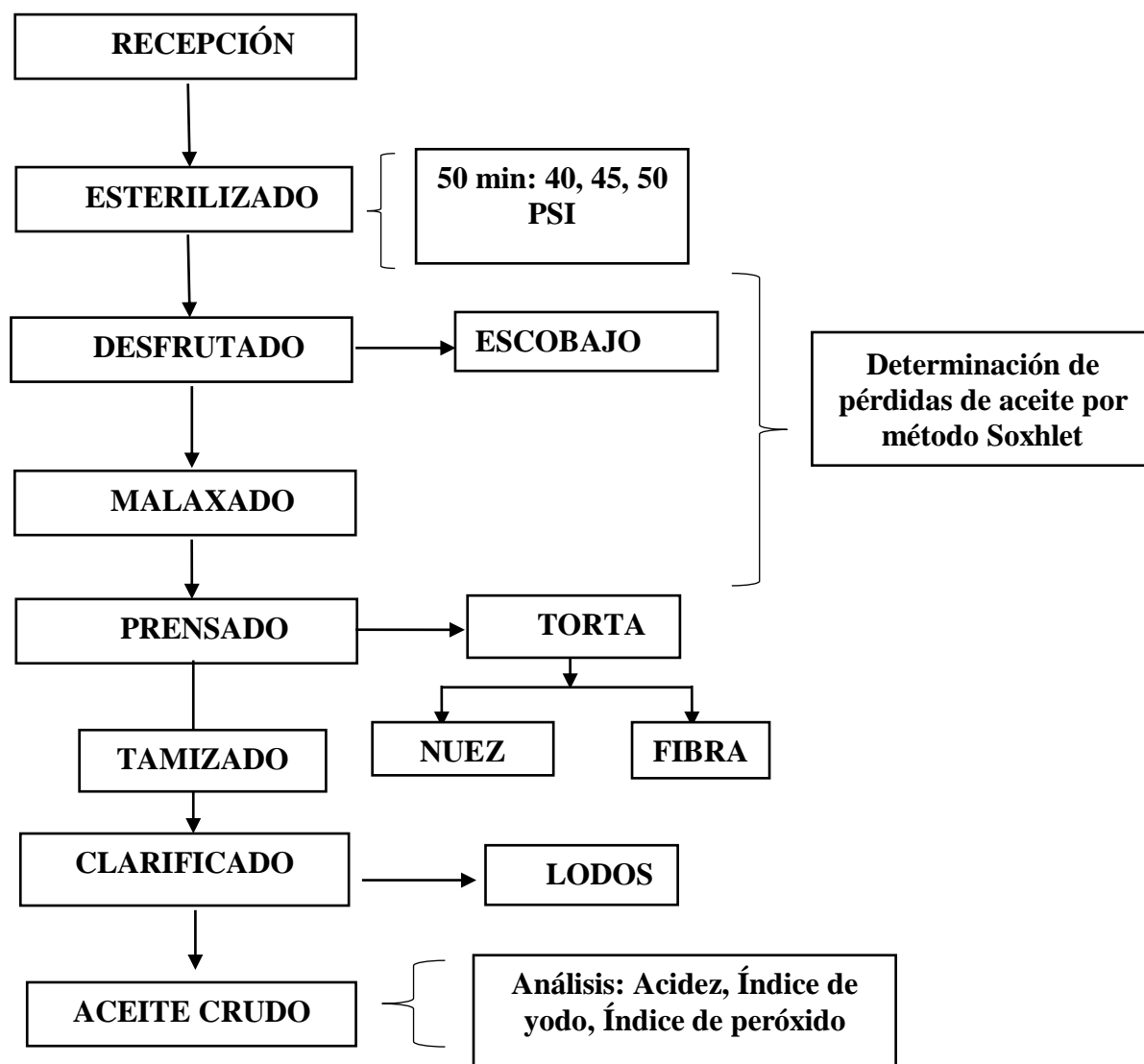


Figura 13: Flujograma Experimental de la Determinación de Pérdidas de Aceite.
Fuente: Elaboración Propia. 2016

2.3.1.1. Descripción del Diagrama de flujo de cada operación

1. Recepción

Los racimos de fruto fresco (RFF) fueron cosechados en los campos de cultivo con una madurez óptima, seguidamente fueron transportados hacia la planta de extracción, donde se pesaron 100 toneladas en el mismo vehículo; posteriormente el vehículo pasó a la tolva de recepción de RFF en donde se evaluaron características físicas de los frutos, tales como: estado de madurez, pedúnculo largo, con la ayuda visual se descartaron así lo verdes, luego fueron llevados al esterilizador vertical.

2. Esterilización

En el proceso de esterilización, se varió la presión disminuyendo y aumentando en 5 PSI la presión actual (45 PSI) que la empresa usa en esta etapa del proceso; de manera que las presiones analizadas fueron 40, 45 y 50 PSI. Las variables de temperatura y tiempo fueron las mismas para todas las presiones.

3. Desfrutado

Al realizar la separación de los frutos del Escobajo, por la acción de los golpes propiciados por el tambor desfrutador, se tomó una muestra de 15 g de Escobajo para determinar la cantidad de aceite adherido, mediante el método Soxhlet.

4. Malaxado

En esta operación se separó el pericarpio de las nueces, con el rompimiento de las células se dio paso a la liberación de aceite contenido mediante el prensado. Asimismo, los frutos fueron macerados por medio de brazos batidores de tal manera que quedó al descubierto la parte fibrosa; todo fue calentado por vapor directo, conservándose en el tanque la temperatura (85 a 90°C) y el tiempo (25 a 30 minutos) que la empresa INDUPALSA utiliza en el proceso de producción.

5. Prensado

Los frutos digeridos fueron prensados por acción de dos tornillos sinfín de paso regresivo, girando paralelamente en sentido contrario. Para facilitar la salida del aceite durante el prensado, se agregó agua caliente, cuya cantidad se controló estrictamente para asegurar una buena extracción y para obtener una adecuada dilución del aceite crudo. En esta etapa se extrajo la fibra y las cáscaras de las nueces, asimismo se tomaron muestras para determinar la cantidad de aceite impregnado mediante el método soxhlet.

6. Tamizado

Es este proceso se purificó el aceite extraído, usando el tamiz vibratorio en el que fueron atrapadas las partículas en suspensión de mayor tamaño tales como fibra y arena, y se tomaron muestras de fibras para su posterior análisis mediante el método soxhlet, a estas muestras se denominaron “tamizado”. El aceite crudo pasó al tanque, el mismo que cuenta con dos secciones separadas con baffles que permitió una nueva separación del sobrenadante y partículas en suspensión pesadas.

7. Clarificación

El aceite crudo obtenido en la etapa anterior, inmediatamente fue bombeado hacia el tanque clarificador en donde se separaron en tres cuerpos: aceite, aguas lodosas y lodos pesados; el aceite se recogió por rebose a través de un baffle y conducido hacia el tanque aceite recuperado, mientras tanto, los lodos fueron conducidos a través a un tanque de lodos, de aquí se dio una recuperación secundaria en una centrifuga, el aceite recuperado inmediatamente pasó a al tanque pre clarificador para su recuperación, y la parte lodosa se bombeó a los tanques florentinos para su posterior recuperación. Finalmente se extrajeron muestras de los tanques de florentino para su respectivo análisis mediante método soxhlet.

2.3.2. Evaluación de las presiones

Los racimos de fruta fresca de palma fueron sometidos a 3 diferentes presiones de esterilizados: 40, 45 y 50 PSI de presión por 50 minutos; ya que depende de un buen esterilizado para que el proceso de extracción sea eficiente, seguidamente se determinaron las pérdidas de aceite crudo en los 5 puntos: escobajo, fibra, cáscara, tamizado y florentino; además se evaluaron las características químicas como índice de acidez, índice de yodo e índice de peróxido.

2.3.2.1. Determinación de pérdidas de aceite crudo de palma en base seca

Las muestras para cada análisis fueron tomadas por manojos en cada proceso, dos laterales y una superior, al finalizar los turnos de proceso, se cuarteó el total de la muestra obtenida, finalmente se obtuvo una muestra de 2000 g aproximadamente, la cual fue llevada al laboratorio para su respectivo análisis. Esta información se recolectó durante un periodo de 09 meses desde enero del 2016 hasta setiembre del mismo año, con una frecuencia diaria.

Los ensayos de laboratorio para obtener el valor de la pérdida en base seca, se realizaron usando la metodología establecida por Cenipalma en el Manual de Laboratorio de Plantas de Beneficio y adecuándolo a las condiciones mismas del laboratorio de la empresa INDUPALSA, el Tabla modelo para registrar los datos a determinar el porcentaje de pérdida de aceite en base seca (Ac/ss) se presentan en el Tabla 05; asimismo, en la ecuación 01 se detalla la fórmula para el cálculo de dichos valores.

Los análisis requeridos para cuantificar la cantidad de aceite presente en cada punto de pérdida dentro del proceso de extracción, se realizó mediante el método Soxhlet (CENIPALMA, 2011), la cual implica realizar la acción de separar con un líquido una

fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible de la manera Extracción sólido – líquido. Lo que hace el extractor Soxhlet es realizar un sinnúmero de extracciones de manera automática, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando siempre de manera pura al material.

La extracción Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas:

- a) Colocar el solvente en un balón.
- b) Ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo.
- c) El condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior.
- d) Ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el solvente con el material extraído al balón.
- e) Se vuelve a producir este proceso la cantidad de veces necesaria para que la muestra quede agotada. Lo extraído se va concentrando en el balón del solvente.

Tabla 5

Modelo de formato para recolección de las pérdidas de aceite en base seca (ac/ss).

Fecha	ANÁLISIS DE LABORATORIO				
Muestras	Peso de Cartucho (Cv)	Cartucho + muestra seca (Cms)	Peso de Balón (Bv)	Balón + aceite extraído (Bac)	% Aceite en SS
Racimos vacíos					
Fibra					
Cáscaras					
Tamizados (lodos)					
Salida florentino					

Fuente: Elaboración propia.

$$\% \text{ Ac en Ss} = \frac{Bac - Bv}{Cms - Cv} * 100 \dots \dots \dots (1).$$

2.3.2.2. Cálculos de porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca

Según la metodología enunciada en el ítem 5.3.2.1, sobre la determinación de pérdidas de aceite en base seca, se procedió a calcular las pérdidas de aceite expresado en porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca (% Ac/ RFF).

En el Tabla 06 se presenta el modelo de Tabla para recolectar la información correspondiente a los porcentajes en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca.

Para calcular la pérdida de aceite como porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca, primero se calculó los porcentajes de pérdidas en toneladas producidas por mes, según la ecuación 2 se multiplica los % de aceite en sólidos secos por la muestra húmeda (1-%H), el porcentaje en peso de muestra sobre los racimos RFF (SS) y multiplicando por el RFF procesado en ton.

$$\% \frac{Tn}{mes} = (1 - \%H) * RFF * SS * \%Ac / SS * 100..... (2)$$

Finalmente, la pérdida de aceite como porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca se calculó dividiendo el porcentaje de pérdidas en TN/mes entre el RFF procesado en TN y multiplicando por el factor para convertir a porcentaje de aceite sobre RFF. Dichos cálculos se observan de manera detallada en el Anexo 02.

Asimismo, se determinó la pérdida total experimentada con las 3 presiones analizadas, sumando las pérdidas en cada punto, este valor se usó para determinar las pérdidas de aceite en toneladas para cada mes del año 2016.

Tabla 6

Tabla modelo para la determinación del porcentaje en peso de aceite sobre racimo de fruta fresca.

DATOS MENSUALES	CANTIDAD
RFF Procesado	(TM)
Aceite Obtenido	(TM)
% Escobajo/RFF	
%Fibra/RFF	
%Cáscara/RFF	
% Efluente / RFF	
% tamizado/RFF	
Pérdida de Aceite	(TM)

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2.3. Análisis Químicos

Para determinar el índice de acidez, índice de peróxido e índice de yodo, se extrajeron 5 gramos de muestras de aceite crudo de palma a cada presión 40, 45 y 50 PSI. Los análisis mencionados fueron realizados en el laboratorio de control de calidad de la empresa INDUPALSA.

Los análisis químicos que se realizaron para cada prueba fueron los siguientes:

1. Índice de peróxidos (AOAC, 1998)

- Pesar al 0,1 mg 5 gramos de muestra en un erlenmeyer con tapa esmerilada.
- Añadir 30 mL. De la solución de ácido acético – cloroformo y 1 mL de solución saturada de IK.
- Agitar el matraz durante aproximadamente 1 minuto y añadir 30 mL. De agua destilada.
- Titular con la solución de tiosulfato de sodio 0,1N, agitando vigorosamente la muestra, empleando almidón como indicador.
- Hacer en forma paralela una prueba en blanco.

$$i = \frac{vN}{m} * 1000 \dots \dots (3)$$

- i: Índice de peróxido en meq. de O₂ por kg del producto.
- v: Volumen de la solución de tiosulfato de sodio empleado en la titulación de la muestra en cm³, corregido de blanco.
- N: Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio
- m: Masa de muestra analizado en gramos.

2. Índice de iodo (AOAC, 1998)

- Pesar al 0,1 mg, una muestra de 0.25 g de aceite la cantidad de muestra apropiada en un erlenmeyer de 250 mL
- Añadir 20 mL de tetracloruro de carbono y 25 mL de reactivo de Wijs.
- Dejar en reposo 30 minutos, en un lugar oscuro.
- Añadir 20 mL de solución IK al 15% y 100 mL de agua destilada, agitar.
- Titular con solución de tiosulfato de sodio al 0,1N empleando almidón como indicador, hasta desaparición del color azul.

Hacer prueba en blanco.

$$I = \frac{12.69(V-V_1)N}{m} \dots\dots\dots (4)$$

- I: Índice de yodo de la muestra.
- V: Media aritmética de los volúmenes de la solución de tiosulfato de sodio empleados en la titulación de sodio empleados en la titulación en cm³.
- V1: Volumen de solución de tiosulfato de sodio empleados en la titulación en cm³.
- m: masa de la muestra analizada en g.

3. Índice de acidez (AOAC, 1998).

- Pesar la muestra (5 gramos de aceite) debidamente homogeneizada en un erlenmeyer de 250 ml. Añadir 50 ml de alcohol neutralizado y agregar unas gotas de indicador fenolftaleína.
- Titular con NaOH 0,1 N hasta ligero color rosa.
- Anotar el gasto de álcali y calcular el índice de acidez y porcentaje de acidez.

$$A = \frac{M.V.N}{m} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

A: Acidez del producto, en porcentaje de masa

M: Masa molecular del ácido usado

V: Volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cm³.

N: Normalidad de solución de hidróxido de sodio.

m: Masa de la muestra analizada en g.

2.3.2.4. Análisis estadístico de los datos

Para determinar el mejor tratamiento en el proceso de esterilizado se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial 5 x 3, donde el primer factor es el punto de pérdida (escobajo, fibra, florentino, nueces y tamizado) y el segundo factor es la presión (40, 45 y 50 PSI) con tres repeticiones. Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT versión estudiantil (Anexo 3 y 4). Los datos fueron analizados mediante Análisis de Varianza (ANVA) y sometidos a la prueba de TUKEY (**p < 0.05**) para determinar las diferencias estadísticas entre los factores estudiado, es decir punto de pérdida y presión. El análisis de datos es como se detalla a continuación en el Tabla 07:

Tabla 7
Matriz de tratamientos

VARIABLES	A1	A2	A3	A4	A5
P1	P1A1	P1A2	P1A3	P1A4	P1A5
P2	P2A1	P2A2	P2A3	P2A4	P2A5
P3	P3A1	P3A2	P3A3	P3A4	P3A5

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Puntos de pérdida

Presiones

A1: Punto de pérdida de escobajos

P1: 40 PSI, 130.7 °C

A2: Punto de pérdida de fibras

P2: 45 PSI, 134.7 °C

A3: Punto de pérdida de nueces

P3: 50 PSI, 138.3 °C

A4: Punto de pérdida de tamizados

A5: Punto de pérdida de lodos (florentino)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Análisis de los resultados de pérdidas en base seca

En el Tabla 08 se observa los resultados de las pérdidas de aceite de palma en % de Ac/RFF, dichos cálculos son especificados en el Anexo 02. En los puntos de escobajo, fibra, cáscara, tamizado y florentino; asimismo estos resultados se ilustran en las figuras 14, 15, 16, 17 y 18. Estos resultados obtenidos varían de acuerdo a la presión utilizada en forma ascendente, es decir a menor presión menor pérdida; asimismo se observa que la mayor pérdida de aceite en Ac/RFF se observa en el punto Florentino para las presiones de 40 PSI (0,91%) y 45 PSI (0,86%), pero la presión de 50 psi experimenta mayor pérdida en el punto Escobajo (1,43%). Por lo tanto, estas dos corrientes de salida (escobajo y florentino) deben ser identificadas como puntos críticos; resultados similares a la presente investigación, **Bruges (2004)** determinó que los puntos críticos de control con mayores porcentajes de pérdida se presentan en escobajo (0,93%) y en efluentes (1,07%).

En la suma total de las pérdidas de aceite obtenidas en los 5 puntos (escobajo, cáscara, fibra, tamizado y florentino), se observa que a 40 PSI es de 1,95%, a 45 psi es de 2,05% y en la presión de 50 psi la pérdida alcanza 3,46%. **Fedepalma (2004)**, menciona que el porcentaje total de pérdida de aceite en Ac/RFF aceptable es de 2,02%

Los resultados de las pérdidas de aceite en el punto de escobajo (figura 14), demuestran que la curva de variación incrementa a mayor presión, lo que significa que la mayor pérdida de aceite determinado se observa a una presión de 50 PSI (1,43 %). **Fedepalma (2004)** menciona que la pérdida de aceite aceptable es 0,57 % en este punto y de acuerdo a los resultados obtenidos la presione de 40 PSI presenta un valor de pérdida de aceites por debajo de este límite, pero las presiones de 45 y 50 PSI presentaron valores fuera del límite establecido. El mismo autor menciona que el porcentaje de pérdida de aceite aumenta debido a frutos no separados del racimo, esto debido principalmente a una esterilización inadecuada. En efecto la presión de 45 y 50 PSI podría ser considerada una esterilización inadecuada. Según **Fedepalma (2004)**, la cantidad aceptable de pérdidas de aceite en fibra es de 0,50%; como se puede observar en la figura 15. La presión de 40 psi generó una pérdida de 0,42% y a 45 psi una pérdida de 0,49%, cuyos valores se pueden considerar aceptable por estar

dentro del límite establecido por **Fedepalma (2004)**; sin embargo, a 50 PSI la pérdida es 0,62%; lo que demuestra que esta presión no sería adecuada para el proceso de aceite crudo de palma. Según **Brugés (2004)**, que, aunque la presión ejercida sobre la masa digerida es alta, dadas las características de la fibra, no es posible que todo el aceite impregnado en estas, sea evacuado por completo. Sin embargo, se puede mantener una cantidad aceptable manteniendo la presión constante.

Tabla 8

Efecto de las presiones en la pérdida de aceite crudo de palma en diferentes puntos.

PRESIONES (PSI)	PUNTOS DE PÉRDIDAS					Total pérdidas (%)
	Escobajo (%)	Fibra (%)	Cáscara (%)	Tamizado (%)	Florentino (%)	
40	0,52	0,42	0,06	0,04	0,91	1,95
45	0,59	0,49	0,07	0,04	0,86	2,05
50	1,43	0,62	0,08	0,05	1,28	3,46

Fuente: Elaboración propia.

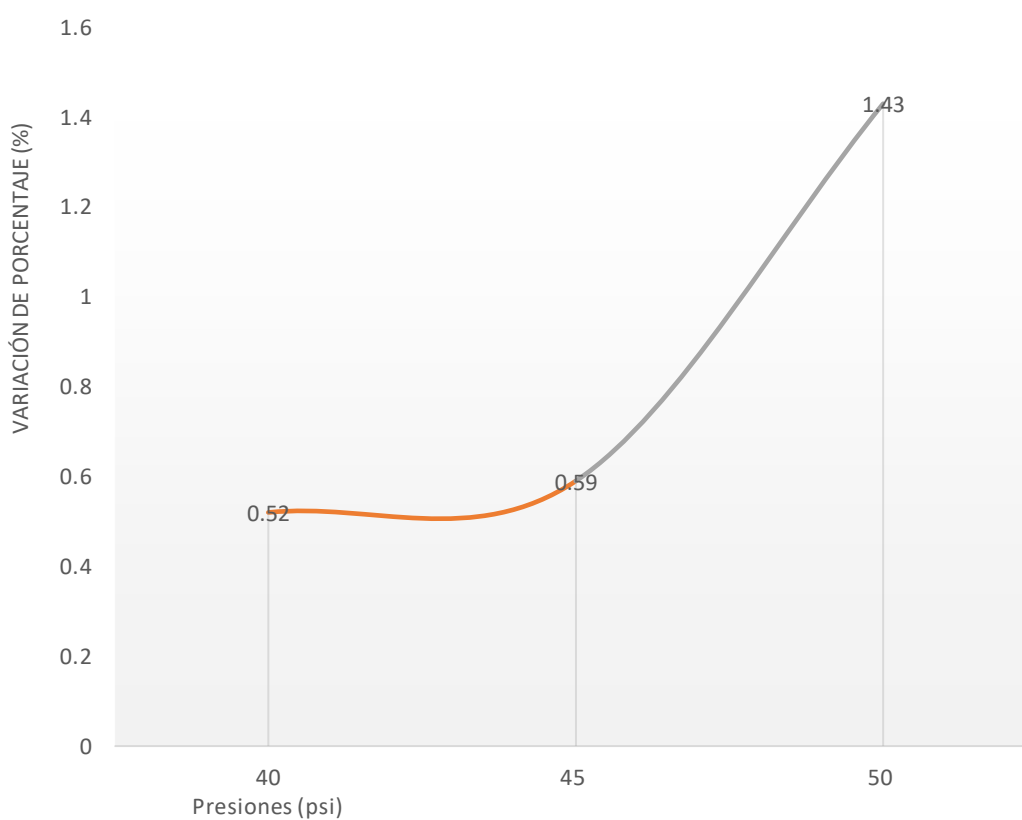


Figura 14: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en escobajo a diferentes presiones. Fuente: Elaboración Propia

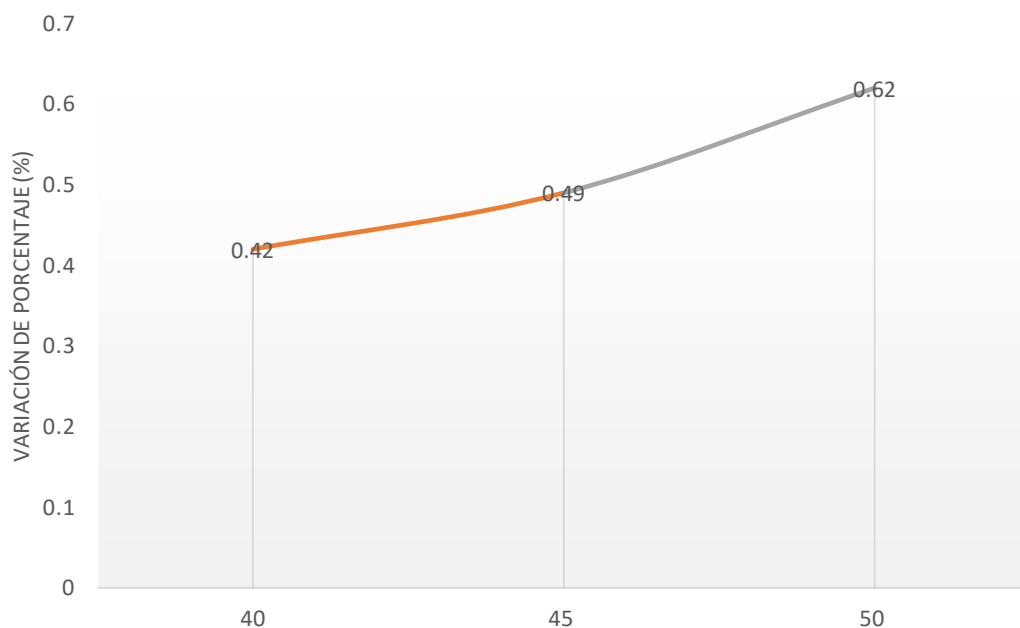


Figura 15: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en fibra a diferentes presiones. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se observa que los valores de pérdida de aceite en cáscara de nueces (figura 16) están dentro de los límites que según **Fedepalma (2004)** es 0,1%. A 40 psi la pérdida es de 0,06 % y la mayor pérdida experimentada es a 50 psi con 0,08%.

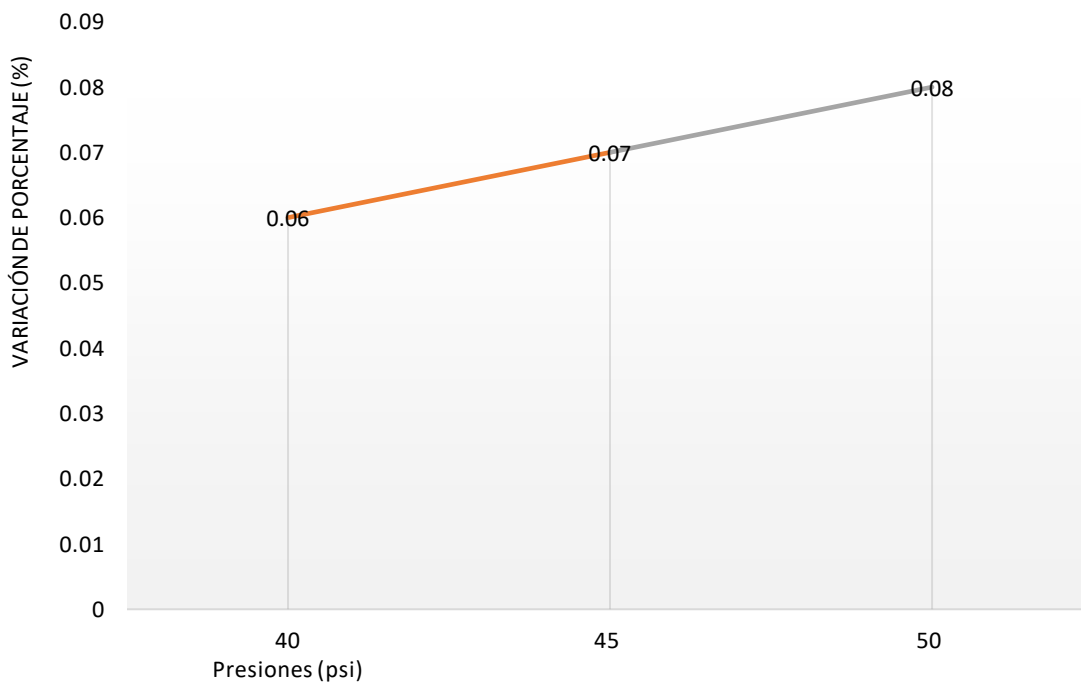


Figura 16: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en cáscara a diferentes presiones. Fuente: Elaboración Propia.

Las pérdidas de aceite en el Tamizado (ver figura 17) se encuentran dentro de los límites permisibles, que según **Fedepalma (2004)** es de 0,1%. La mayor presión utilizada (50 psi) generó una pérdida en base seca de 0,05 % de aceite. Según **Brugés (2004)** la mezcla a separar se debe mantener con baja temperatura (95°C - 100°C), para evitar que la densidad del aceite se asemeje a la densidad de las aguas lodosas, puesto que esto dificultando la separación estática y aumenta las pérdidas de aceite. Asimismo, el uso de frutos verdes ocasiona la formación de una "tercera capa" entre el aceite y las aguas lodosas; dichas capas causan dificultades y ocasionan aumentos en las pérdidas de aceite.

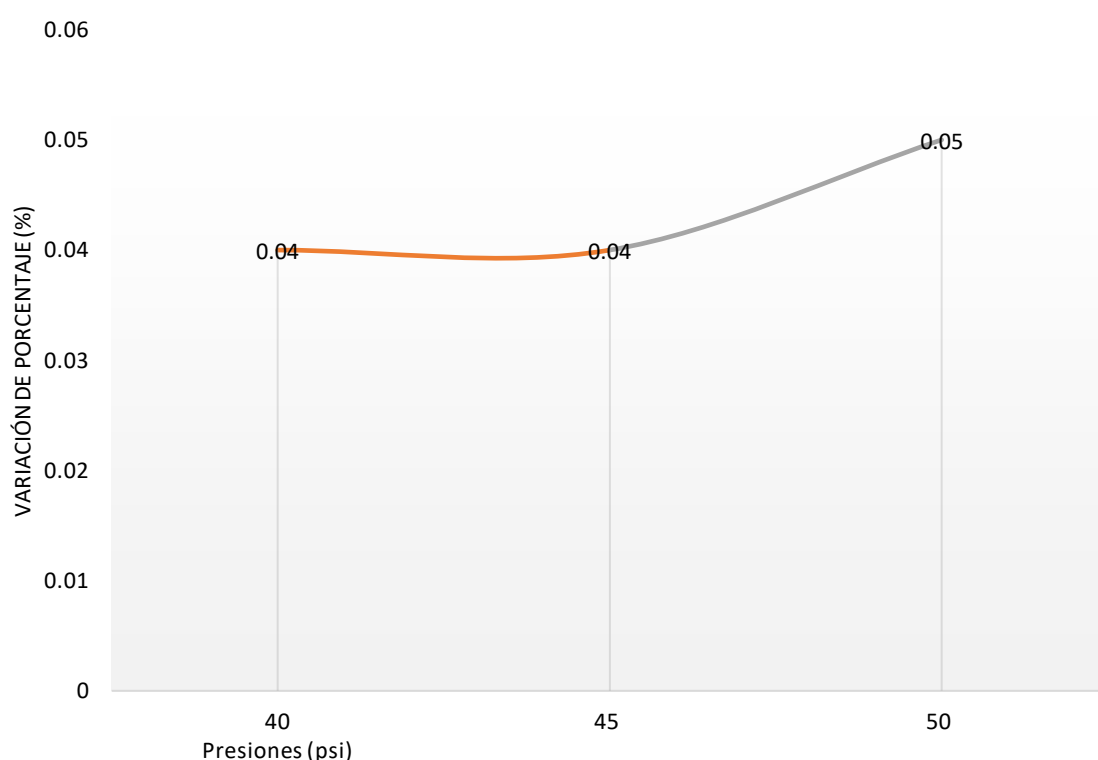


Figura 17: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en tamizado a diferentes presiones. Fuente: Elaboración Propia.

En el caso de los afluentes (florentino) el límite permisible es de 0,75% (**Fedepalma, 2004**), según los resultados obtenidos, las pérdidas generadas por las tres presiones se encuentran sobre el límite establecido: a 45 psi la pérdida es de 0,86 %, a 40 psi la pérdida es aún mayor (0,91%) y la mayor pérdida se observó a 50 psi 1,28%. Un incremento en las pérdidas de aceite en los florentinos según **Gómez (1994)**, citado por **Bruges (2004)**, se puede presentar por la baja temperatura en el clarificador, ya que esto ocasiona que la densidad del aceite aumente, impidiendo así la separación estática que se debe presentar en este tanque entre las

capas de aceite y lodo, esto ocasiona que los lodos salgan con una mayor contenido de aceite, aumentando así el valor de la pérdida.

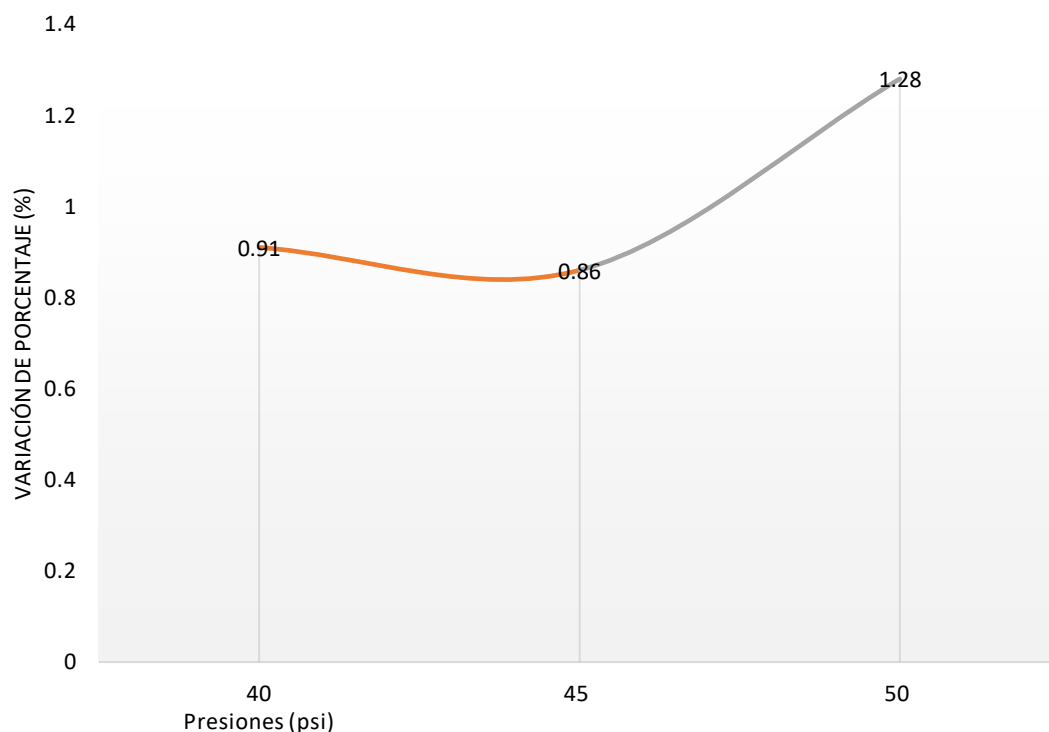


Figura 18: Variación del porcentaje de pérdida de aceite crudo de palma en florentino a diferentes presiones.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Análisis del índice de peróxidos, índice de acidez, índice de iodo.

En el Tabla 08 se observa los resultados del análisis del índice de peróxidos, índice de acidez e índice de iodo; los mismos fueron ilustrados en las figuras 19, 20 y 21. Las líneas muestran un comportamiento inestable, demostrando que estos valores no dependen directamente de la presión ejercida en el proceso de esterilizado.

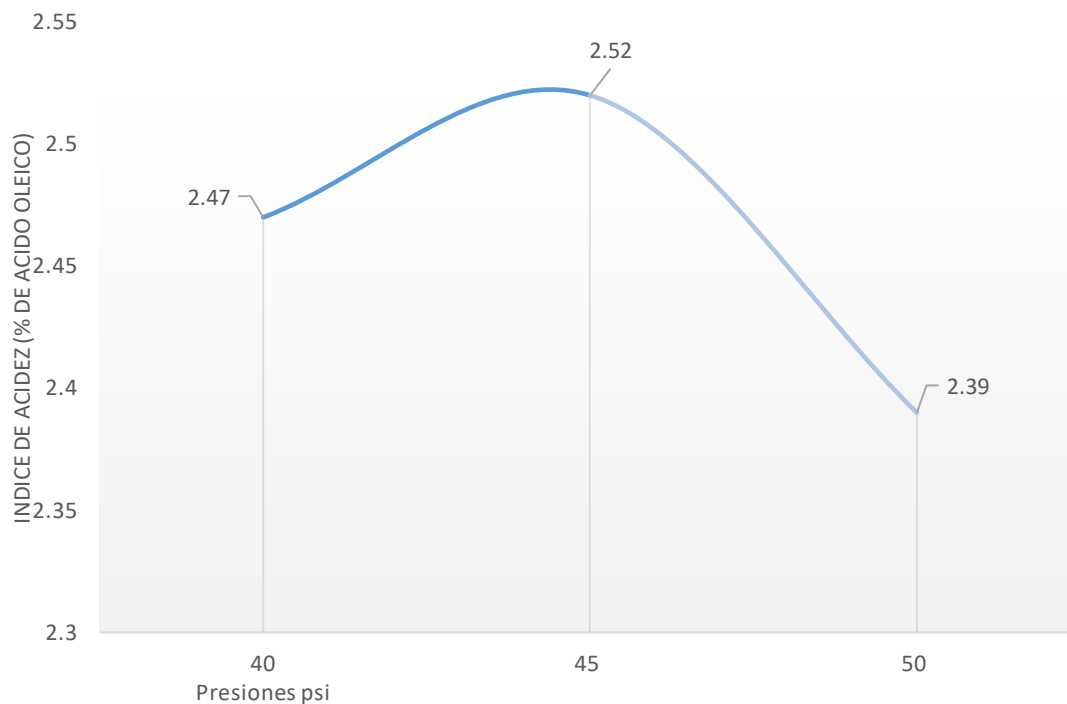


Figura 19: Variación del índice de acidez de aceite crudo de palma a diferentes presiones.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 19, se observa que a 40 psi la muestra de aceite crudo de palma presenta una acidez de 2,47% de acidez; a 45 psi 2,52 % de acidez y a 50 psi el índice de acidez disminuye a 2,39% de acidez. El índice de acidez según **Fedepalma (2004)**, está relacionado con el índice de madurez de la fruta, el mismo autor menciona que al entrar una gran cantidad de fruto sobremaduro al proceso el aceite producido tendrá un índice de acidez mayor a 4.5%.

Los resultados presentan valores por debajo de 4.5 %, además según la norma técnica para el índice de acidez crudo por debajo, es de 5.0% de acidez (ver anexo1), los valores obtenidos están por debajo de este valor

Según **Brugés (2004)** el fruto de palma contiene una enzima muy activa llamada lipasa, la cual lleva a cabo la descomposición de las moléculas en ácidos grasos, la acidificación se acelera considerablemente cuando el fruto es cortado. El mismo autor menciona que los daños sufridos por los frutos durante la cosecha, el transporte y la manipulación hasta las canastas de esterilización, son la causa más grave en el aumento de la acidez.

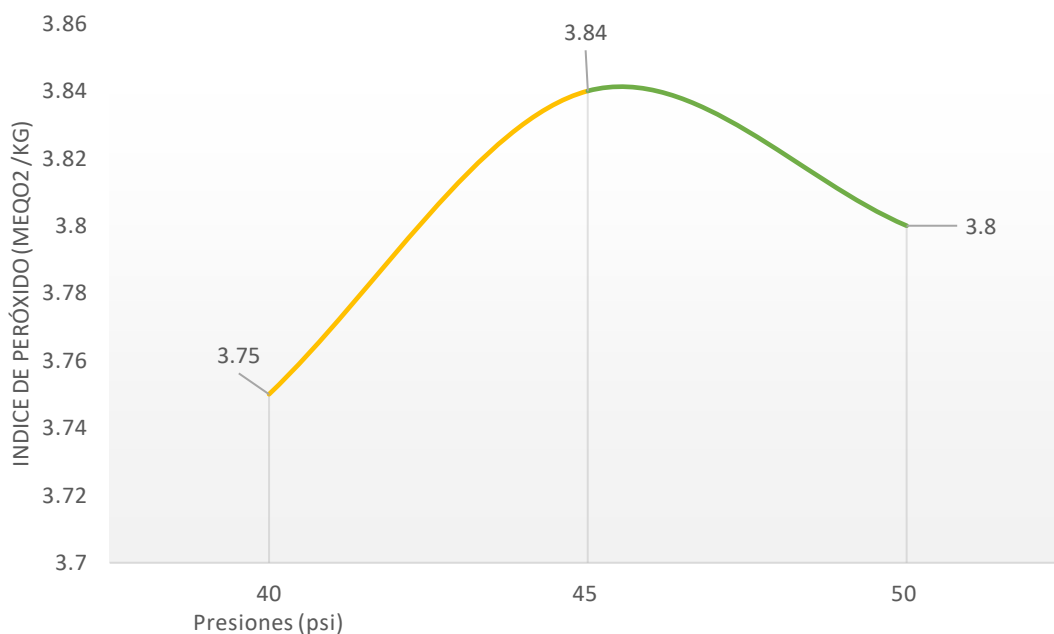


Figura 20: Variación del índice de peróxido del aceite crudo de palma a diferentes presiones.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del índice de peróxidos del aceite de palma (ver figura 20), presenta variaciones mínimas, la muestra de aceite obtenida a la presión de 40 psi presenta 3,75 meqO₂ /kg, seguida la muestra de aceite a la presión de 50 psi con 3,80 meqO₂ /kg meqO₂ /kg y el mayor índice de peróxido se obtuvo a 45 psi (3,84 meqO₂ /kg).

En el índice de yodo del aceite de palma (ver figura 21), se observa que a 40 psi es de 51,38 I/100 g de grasa, con la presión de 45 psi el valor del índice de yodo desciende a 51,05 I/100 g de grasa y 50 psi se observa un aumento de este valor a 52,25 I/100 g de grasa. La norma técnica, según **Fedepalma (2004)**, para el índice de yodo en el aceite crudo de palma debe presentar valores entre 50 y 58 I/100 g de grasa, los resultados obtenidos están dentro de este rango.

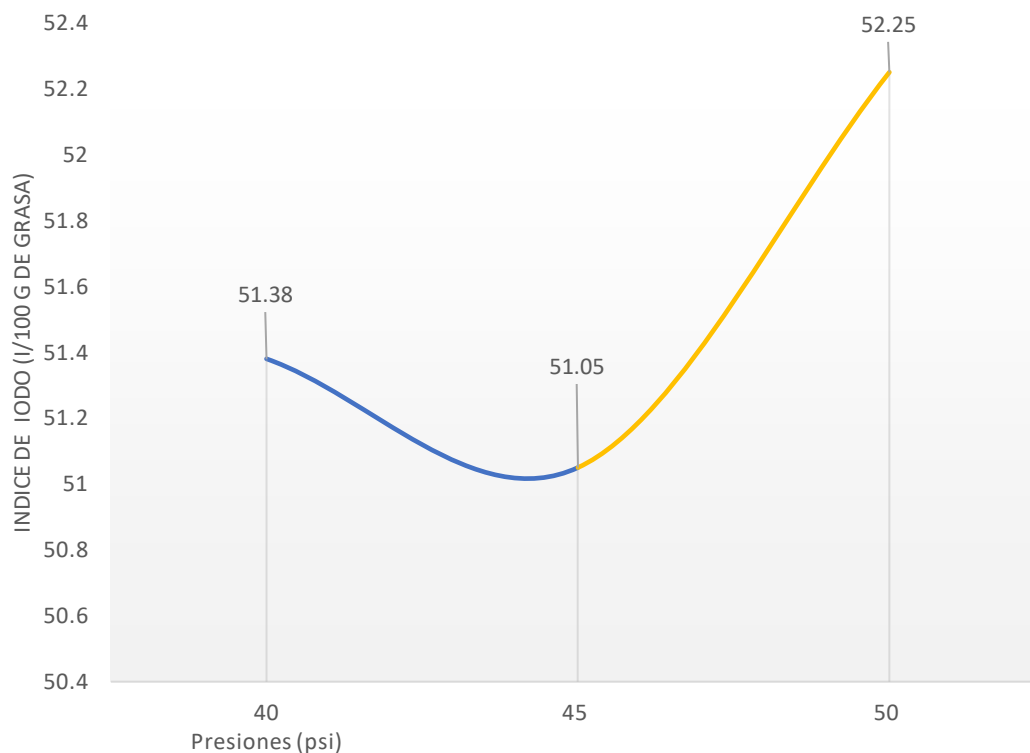


Figura 21: Variación del índice de yodo del aceite crudo de palma a diferentes presiones.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis estadístico de los datos

El análisis de varianza como se observa en el anexo 03, se observa que existe diferencia significativa en el factor presión y el factor punto de pérdida en el total de las pérdidas de aceite de palma aceitera en % de Ac/RFF. Es decir, la presión influye directamente en la cantidad de pérdida de aceite; demostrando que las pérdidas de aceite crudo de palma no es la misma al variar la presión en el proceso de esterilización del fruto de la palma aceitera, además esto demuestra que al menos una de las presiones utilizadas es estadísticamente superior a los otros.

La prueba de Tukey al 5% de probabilidad realizado a las medias del sumatorio total de las pérdidas, se observa en el Tabla 10, asimismo estos resultados fueron ilustrados en la figura 22. Los resultados de las presiones a 40 y 45 psi son estadísticamente iguales pero diferentes al resultado de la presión a 50 psi; sin embargo, la presión de 40 psi presenta el menor valor en pérdida de aceite de palma en % Ac/RFF (1,95%), por lo tanto, esta presión fue considerada la más adecuada para realizar la esterilización del fruto de palma aceitera con la seguridad que las pérdidas serán mínimas

Tabla 9
Prueba de tukey al 5% de probabilidad del el efecto de la presión en los porcentajes de pérdidas de aceite de palma

PRESIONES (psi)	Total pérdidas (%)
40	1,95 A
45	2,05 A
50	3,46 B

Fuente: Elaboración propia.

Letras diferentes comparadas verticalmente indican diferencias significativas con probabilidad de error de 5%.

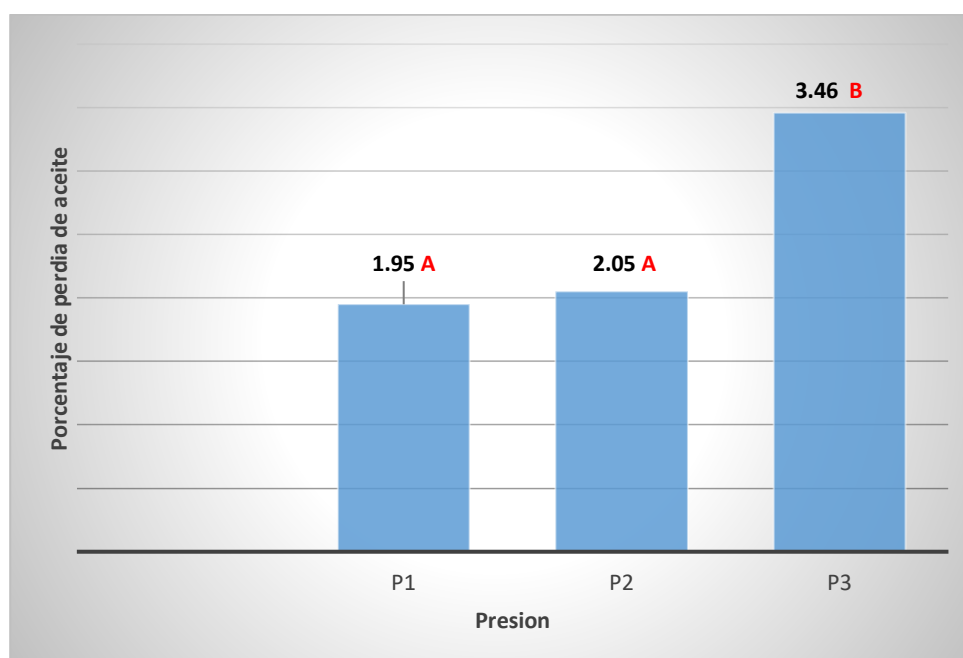


Figura 22: Prueba de Tukey al 5%, para los promedios del porcentaje de pérdida de aceite del factor Presión.

Fuente: Elaboración propia.

En el Tabla 10 se observa la prueba de tukey realizado al porcentaje de pérdida de aceite según el factor del punto de pérdida. La pérdida de aceite en los puntos tamizado y cáscara, además los puntos escobajo y florentino son estadísticamente iguales. Dichos resultados son ilustrados en la figura 23.

Tabla 10
Prueba de tukey al 5% de probabilidad del factor del punto de pérdida en los porcentajes de pérdidas de aceite de palma.

Puntos de pérdidas (psi)	Total pérdidas (%)
Tamizado	0.04 A
Cascara	0.07 A
Fibra	0.51 B
Escobajo	0.85 C
Florentino	1.01 C

Fuente: Elaboración propia.

Letras diferentes comparadas verticalmente indican diferencias significativas con probabilidad de error de 5%.

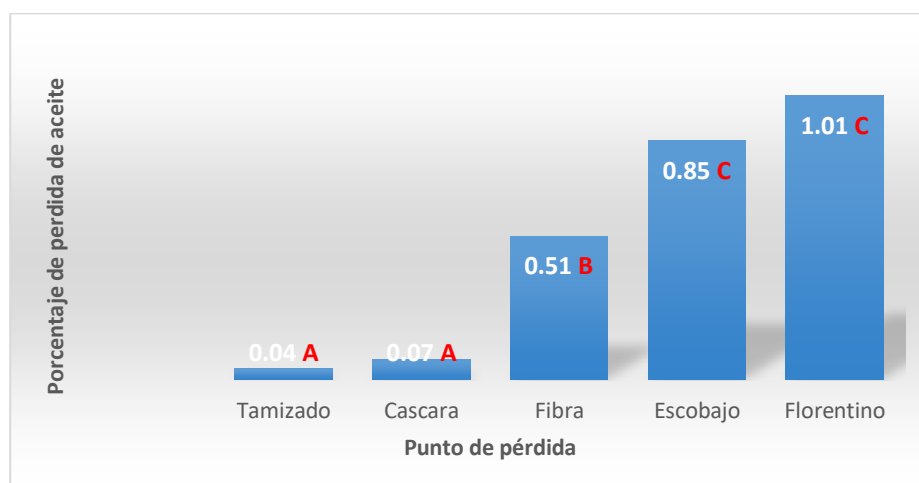


Figura 23: Prueba de Tukey al 5% para los promedios en porcentaje de pérdida de aceite del factor punto de pérdida. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la varianza realizada a los resultados químicos (índice de acidez, índice de yodo e índice de peróxido) del aceite de palma aceitera con cada presión se observa en el anexo 04; donde se observa que estos resultados son estadísticamente iguales ($P > 0,05$); es decir la presión utilizada en el proceso de esterilización no es un factor influyente en la cantidad de índice de acidez, índice de peróxido e índice de yodo.

Tabla 11
Características fisicoquímicas del aceite de palma extraído a tres diferentes presiones.

Presión	Índice de Acidez	Índice de peróxido	Índice de yodo
40 PSI	2.47 A	3.75 A	51.38 A
45 PSI	2.52 A	3.84 A	51.05 A
50 PSI	2.39 A	3.80 A	52.25 A

Fuente Elaboración propia.

Letras diferentes comparadas verticalmente indican diferencias significativas con probabilidad de error de 5%.

3.4. Balance de masa

En el Anexo 05 se observa el balance de masa de los resultados obtenidos durante el proceso de aceite crudo de palma a presiones de 40, 45 y 50 PSI. Asimismo, en el Tabla 12, se observa los rendimientos obtenidos con dichas presiones. El mayor rendimiento con 92,58%, lo observamos a 40 psi, superando matemáticamente; a 45 psi con 91,22% de rendimiento. Como podemos observar en el rendimiento de aceite crudo de palma (89,25%) en la empresa INDUPALSA (ver Tabla 03), está por debajo al rendimiento de aceite crudo de palma obtenido a 40 y 45 psi. Por cuanto se considera que el uso de 40 PSI en el proceso de esterilización, aumentara el rendimiento en la producción de aceite crudo de palma en 3,23%.

Tabla 12
Porcentaje de pérdidas de aceite a diferentes presiones.

Presión (psi)	Pérdida de aceite (%)	Rendimiento de la extracción de aceite (%)
40	1,95	92,58
45	2,05	91,22
50	3,46	86,26

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados estadísticos y al rendimiento de la producción de aceite de palma aceitera, en la figura 24 se observa el flujo definitivo para realizar el proceso producción, con un rendimiento de 92.58%.

Tabla13
Pérdidas de aceite crudo de palma en toneladas.

2016	TM RFF	PÉRDIDA		
	PROCESO	1,95%	2,05%	3,46%
ENERO	2975,999	58,0	61,0	103,0
FEBRERO	3153,568	61,5	64,6	109,1
MARZO	3470,556	67,7	71,1	120,1
ABRIL	3540,64	69,0	72,6	122,5
MAYO	3262,866	63,6	66,9	112,9
JUNIO	2663,529	51,9	54,6	92,2
JULIO	2825,542	55,1	57,9	97,8
AGOSTO	3299,796	64,3	67,6	114,2
SEPTIEMBRE	4000,000	78,0	82,0	138,4
TOTAL	29192,496	569,3	598,4	1010,1
RECUPERACIÓN		29,2	440,8	
AHORRO AL AÑO \$		20,434.7	308,564.7	

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los puntos de pérdida evaluadas durante el proceso de extracción de aceite crudo de palma fueron escobajo, fibra, cáscara, tamizados y florentino. A una presión de 40 psi la pérdida total resultó 1.95%, a 45 psi se obtuvo 2.05% de pérdida y a 50 psi la pérdida de aceite fue 3.46%. 40 psi es la presión recomendable debido a que genera menor pérdida, no se recomienda una menor presión de trabajo debido a que el fruto no tuviera una buena cocción (crudo) y provocaría mayor pérdida de aceite por frutos adheridos.

Los principales puntos de pérdida identificados fueron escobajo, fibra, y florentino. De los cuales, la mayor pérdida fue experimentada en el escobajo con 1.43% de aceite.

Determinado las pérdidas de aceite según cada presión utilizada, se realizó los balances máscicos de aceite en la empresa adaptando las condiciones con el fin de establecer procedimientos de muestreos prácticos. El mejor rendimiento obtenido fue a 40 PSI con 92,58%.

Las pérdidas de aceite están directamente relaciones con la presión utilizada en el proceso de esterilizado, 40 psi generó una pérdida de aceite total de 1,95 % y a 50 psi este valor alcanza 3,46%. El análisis de estadístico demostró que los valores son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$), es decir la presión utilizada en la etapa de esterilizado es un factor influyente en la pérdida de aceite de palma.

Las presiones utilizadas no influyen directamente las características químicas del aceite crudo de palma, como índice de acidez (2.47; 2.52; 2.39) y la norma técnica indica 5% máximo, índice de peróxido (3.75; 3.84; 3.8) y la norma nos indica 4 meqO₂ /kg; índice de yodo (51.38; 51.05; 52.25) y la norma nos indica entre 50-58 l/100 g de grasa. Estos valores son estadísticamente iguales ($p > 0,05$) y no superan los máximos de la norma, es decir la presión no es un factor influyente en las características químicas.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio sobre los factores de influencia de pérdidas en los puntos de tamizados y salida de florentino ya que no dependen directamente de la presión en la etapa del esterilizado.

Mejorar el rendimiento de la producción de aceite usando la presión de 40 psi en la etapa de esterilizado, ya que generó el menor porcentaje de pérdida de aceite en base seca, es decir 1,95%.

Determinar los factores que afecta directamente a las características químicas (índice de acidez, índice de yodo e índice de peróxido) en la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO, M. (2010). Evaluación del proceso de clarificación en la planta de beneficio PALMAGRO S.A. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Especialidad. Colombia.
- ABDUL AZIS, A. 1991. Chemical changes during sterilization process affecting strippability and oil chemistry. Proceedings: Seminar on Developments in Palm Oil Milling Technology and Environment Management, Genting Highland (Malaysia).
- AOAC, 947.05. (1998). Association of Official Methods Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the Association Chemistry. 15ed.
- 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.AC. (Tumaco). Tesis de grado. UNIVERSIDAD DE LA SABANA-Colombia.
- CENIPALMA. (2011). Manual de laboratorio plantas de beneficio primario para fruto de palma de aceite. Cenipalma, Bogotá, Colombia.
- CONSULTECNICA. (2004). Manual de operación, repuestos y mantenimiento de maquinaria. Bogotá, D.C., Colombia- Sur América.
- FEDEPALMA. (2004). Manual de laboratorio plantas de beneficio primario para fruto de palma de aceite. Fedepalma, Bogotá, Colombia.
- GARCÍA N.; YÁÑEZ A.; RODRÍGUEZ, C. (2000). Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas Norte y Central. Cenipalma, Bogotá, Colombia
- HARTLEY, W (1983). “La Palma de Aceite” Compañía Editorial Continental S.A, CECSA. Primera Edición en español; México.

IPROMAQ, (2012). Sistema automatizado de esterilizado.

NOE WAMBECK, (2005).Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), edición en español

OJEDA, J. (1991). Esterilización. Palmas (Colombia) v.12 no.

OVIEDO, F., et al (2012).Cadena agroproductiva de la Palma aceitera. Revista científica, Primera Edición.

ANEXOS

Anexo 1

Cálculo de las pérdidas de aceite sobre Racimo de Fruta Fresca (RFF)

Muestra	Humedad (%)	Aceite		Pérdidas de aceite Tn	Pérdida de Ac/RFF (%)
		en solidos secos (SS) %.	Materia Solida Seca		
Racimos vacíos	61.17	6.70	35.36	0.92	0.52
Fibra	26.64	5.16	19.55	0.74	0.42
Cáscaras	12.28	2.17	5.78	0.11	0.06
Tamizados (lodos)	84.30	29.16	1.53	0.07	0.04
Salida florentino	92.57	18.46	119	1.63	0.91

Anexo 2

Pérdidas de aceites sobre RFF a 45 Psi.

Muestra	Humedad (%)	Aceite		Pérdidas de aceite Tn	Pérdida de Ac/RFF (%)
		en solidos secos (SS) %.	Materia Solida Seca %		
Racimos vacíos	62.59	7.64	35.36	1.01	0.59
Fibra	29.05	5.98	19.55	0.83	0.49
Cáscaras	15.67	2.46	5.78	0.12	0.07
Tamizados (lodos)	85.77	32.16	1.53	0.07	0.04
Salida florentino	93.48	18.71	119	1.45	0.86

Anexo 3

Pérdidas de aceites sobre RFF a 50 Psi.

Muestra	Humedad (%)	Aceite		Pérdidas de aceite Tn	Pérdida de Ac/RFF (%)
		en solidos secos (SS) %.	Materia Solida Seca %		
Racimos vacíos	62.46	18.31	35.36	2.43	1.43
Fibra	28.66	7.53	19.55	1.05	0.62
Cáscaras	23.07	2.93	5.78	0.13	0.08
Tamizados (lodos)	88.09	38.43	1.53	0.07	0.05
Salida florentino	92.99	26.05	119	2.17	1.28

Cálculo de la humedad

$$\% H = \frac{Pmi - Pms}{Pmi} * 100 \dots \dots \dots (1)$$

Siendo:

Pmi =Peso muestra fresca.

Pms =Peso muestra seca.

%H=Porcentaje de agua evaporada de la muestra.

Calculo del porcentaje (%) de Aceite en solidos secos

$$\% Ac \text{ en } Ss = \frac{Ba - Bv}{Cms - Cv} * 100$$

Donde:

%Ac en SS: % de Aceite en solidos secos.

Bac: Peso balón con aceite.

Bv: Peso balón vacío.

Cms: Peso Cartucho con muestra seca.

Cv: Peso cartucho Vacío.

Calculo del porcentaje (%) de Aceite en solidos secos

$$\% \text{ Ac en Ss} = \frac{Ba - Bv}{Cms - Cv} * 100$$

Donde:

%Ac en SS: % de Aceite en solidos secos.

Bac: Peso balón con aceite.

Bv: Peso balón vacío.

Cms: Peso Cartucho con muestra seca.

Cv: Peso cartucho Vacío.

Calculo de muestra Sólida Seca (Ss)

$$M Ss = TM RFF * \frac{\%SS}{RFF}$$

Donde:

%MS: Porcentaje de muestra seca según punto de pérdida.

TM RFF: Peso en TM de RFF.

Escobajo: 20.8%, Fibra:11.5%,Cáscara:3.4%,Tamizados:0.9 y Florentino 0.7.

Calculo de porcentaje de pérdida de aceite en función a RFF

$$\frac{Ac}{RFF} = (1 - H) * \frac{SS}{RFF} * \% \frac{Ac}{SS}$$

Donde:

Ac/RFF: % de perdida de aceite.

% H: % de humedad

RFF: Racimos de frutas frescas procesadas

Ss: Muestra Solidos secos.

% de Ac / Ss: % de aceite en solidos secos.

Anexo 4

Pérdidas de aceites sobre RFF a 50 Psi.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Total de pérdidas					
Presión	0.85	2	0.42	21,88	<0.0001
Punto de pérdida	7.00	4	1.75	90.13	<0.0001
Presión*Puntos de pérdida	1.06	8	0.13	6.80	<0.0001
Error	0.58	30	0.02		
Total	9.49	44			

Anexo 5

Análisis de la varianza de los análisis químicos de aceite de palma en diferentes presiones.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Índice de acidez					
Presión	0,03	2	0,01	0,15	0,8660
Error	0,55	6	0,09		
Total	0,58	8			
Índice de peróxido					
Presión	0,01	2	0,01	0,30	0,7483
Error	0,10	6	0,02		
Total	0,11	8			
Índice de Iodo					
Presión	2,30	2	1,15	0,16	0,8589
Error	44,13	6	7,36		
Total	46,43	8			

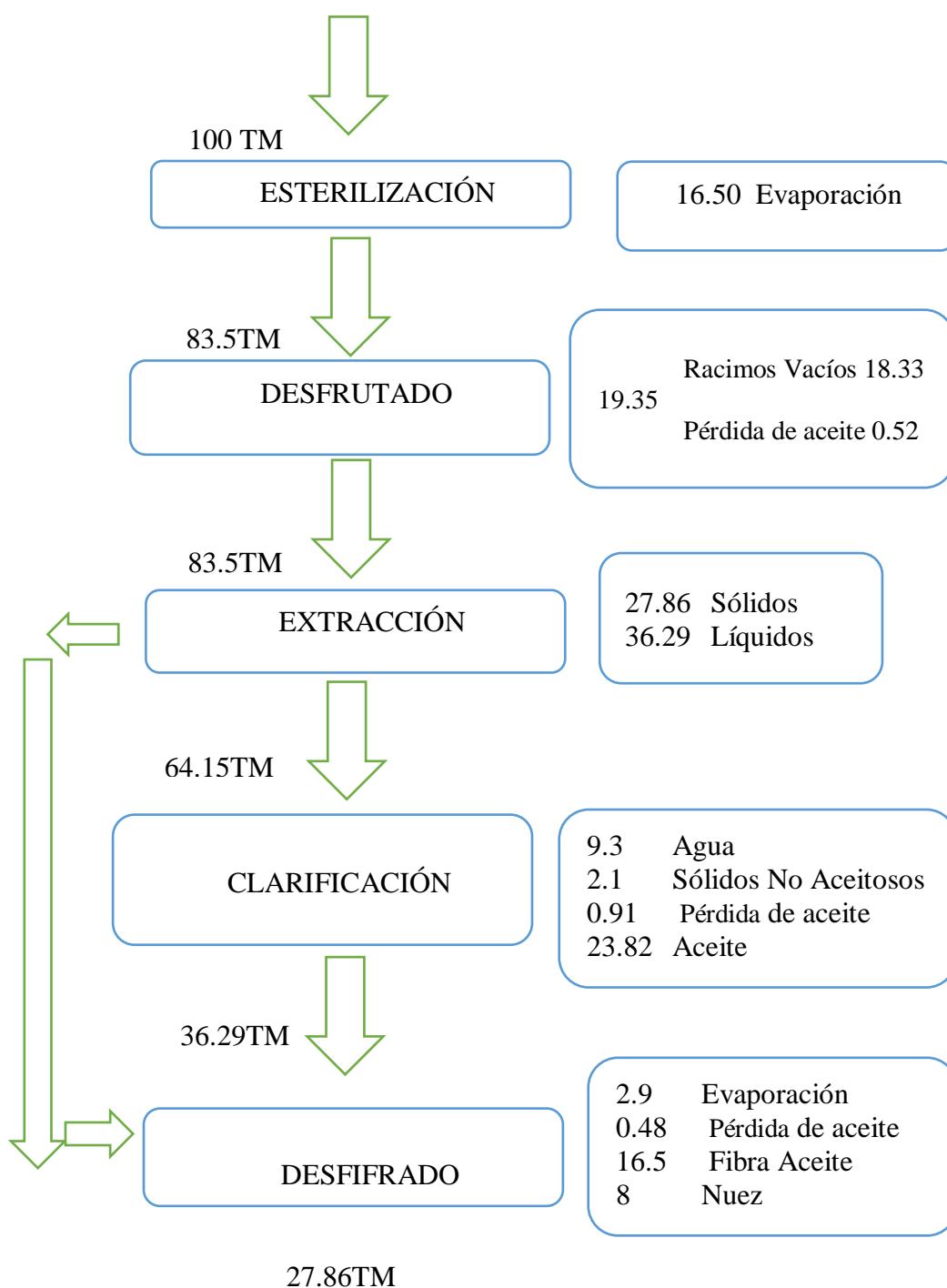
Anexo 6

Balance de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA a diferentes presiones. Presión 40 PSI.

Recepción	Salidas	Contenido de aceite		Producto	Subproducto	Pérdidas
Esterilización (100 TM)	16,50	Evaporación			16,50	
Desfrutado (83,5 TM)	19,35	Racimos Vacíos			18,83	
		Pérdida de aceite				0,52
Extracción 64,15 TM	27,86	Sólidos				
	36,29	Líquidos				
		Agua			9,3	
Clarificación 36,29 TM		Sólidos No Aceitosos			2,1	0,04
		Pérdida de Aceite				0,91
		Aceite		23,82		
	27,86	Evaporación			2,9	
Desfibrado 27,86 TM		Pérdida de Aceite				0,48
		Fibra			16,5	
		Nuez		8,00		
Total	100,00			31,82	66,13	1,95
EXTRACCIÓN DE ACEITE	23,00	92,58	%	PÉRDIDA DE ACEITE		1,91
RECUPERACIÓN DE NUEZ	8	99,50	%	PÉRDIDA DE NUEZ		0,04

RECEPCIÓN RFF EN TM

Salida

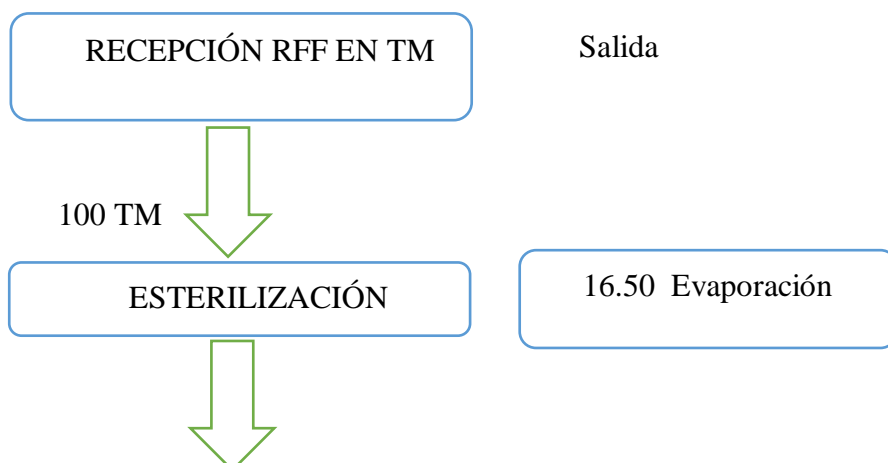


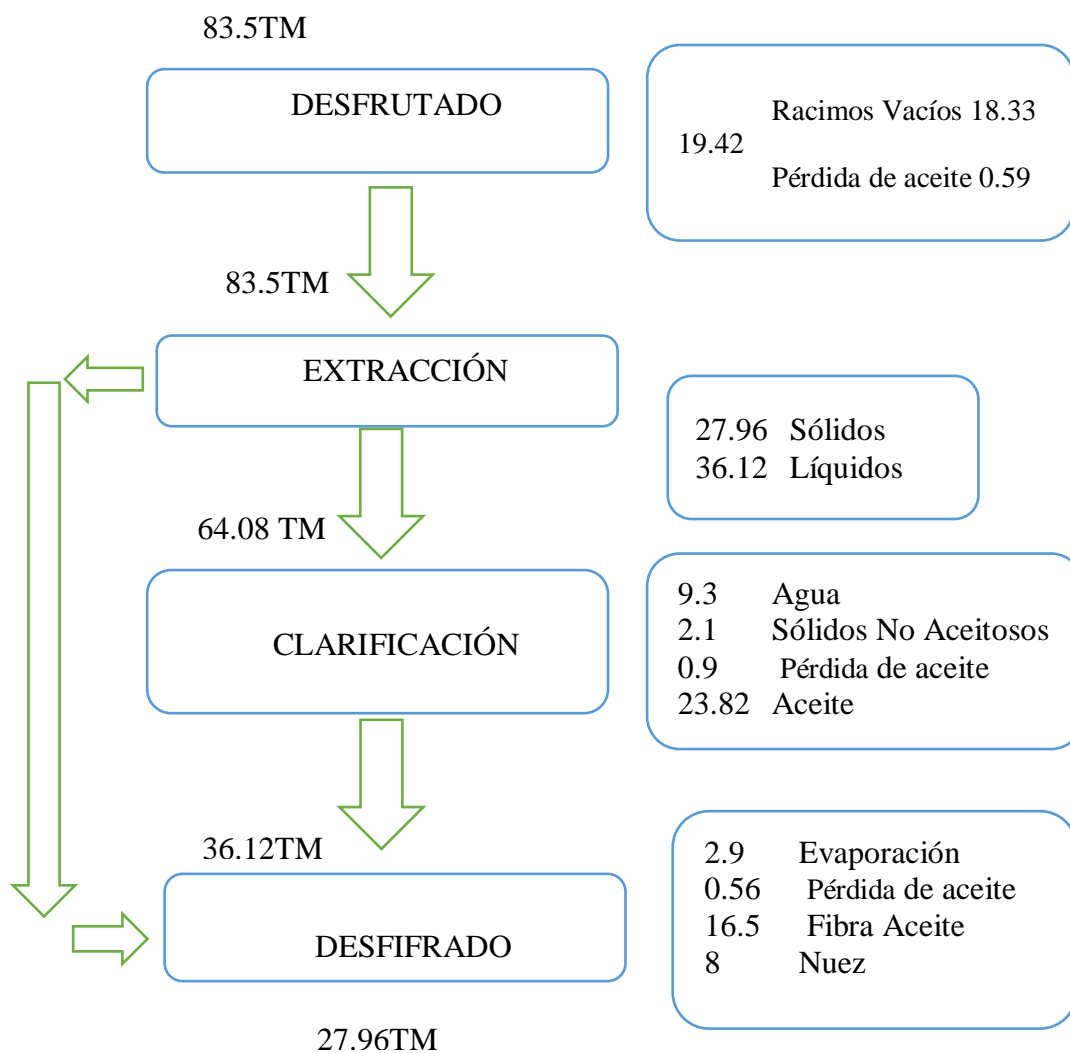
Anexo 7

Balace de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA a diferentes presiones. Presión 45 PSI.

Recepción	Salidas	Contenido de aceite	Product o	Subproduct o	Pérdida s
-----------	---------	---------------------	--------------	-----------------	--------------

Esterilización (100 TM)	16,50	Evaporación	16,50	
Desfrutado (83,5 TM)	19,42	Racimos Vacíos	18,83	
		Pérdida de aceite		0,59
Extracción 64,00 TM	27,96	Sólidos		
	36,14	Líquidos		
	36,12	Agua	9,3	
Clarificación 36,12 TM		Sólidos No Aceitosos	2,1	0,04
		Pérdida de Aceite		0,86
		Aceite	23,82	
	27,96	Evaporación	2,9	
Desfibrado 27,96 TM		Pérdida de Aceite		0,56
		Fibra	16,5	
		Nuez	8,00	
Total	100,00		31,82	47,30
				2,05
EXTRACCIÓN DE ACEITE	23,82	92,08%	PÉRDIDA DE ACEITE	2,05





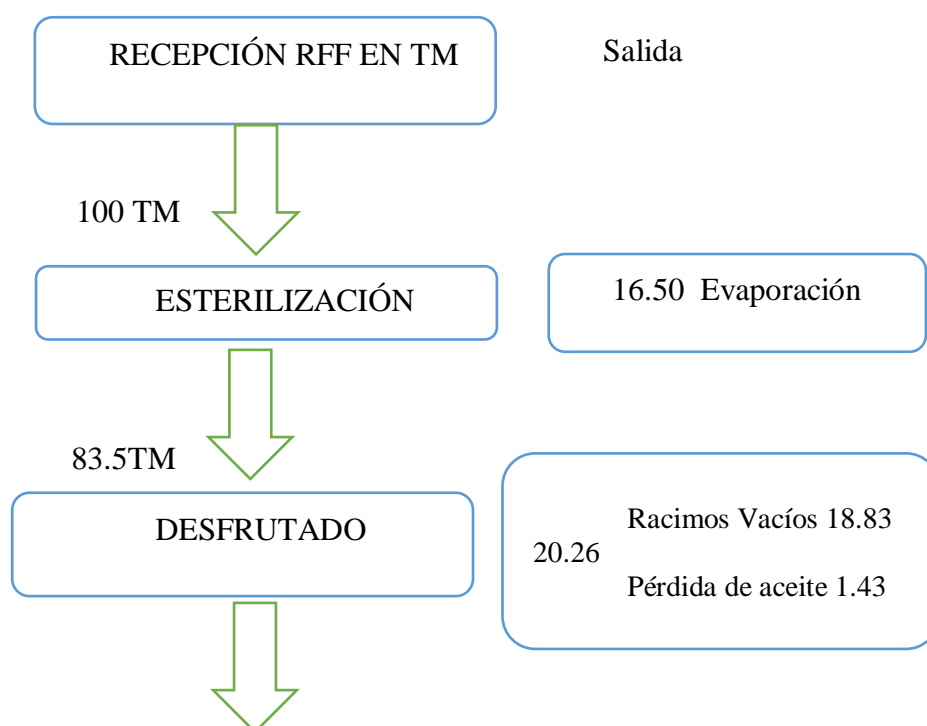
Anexo 8

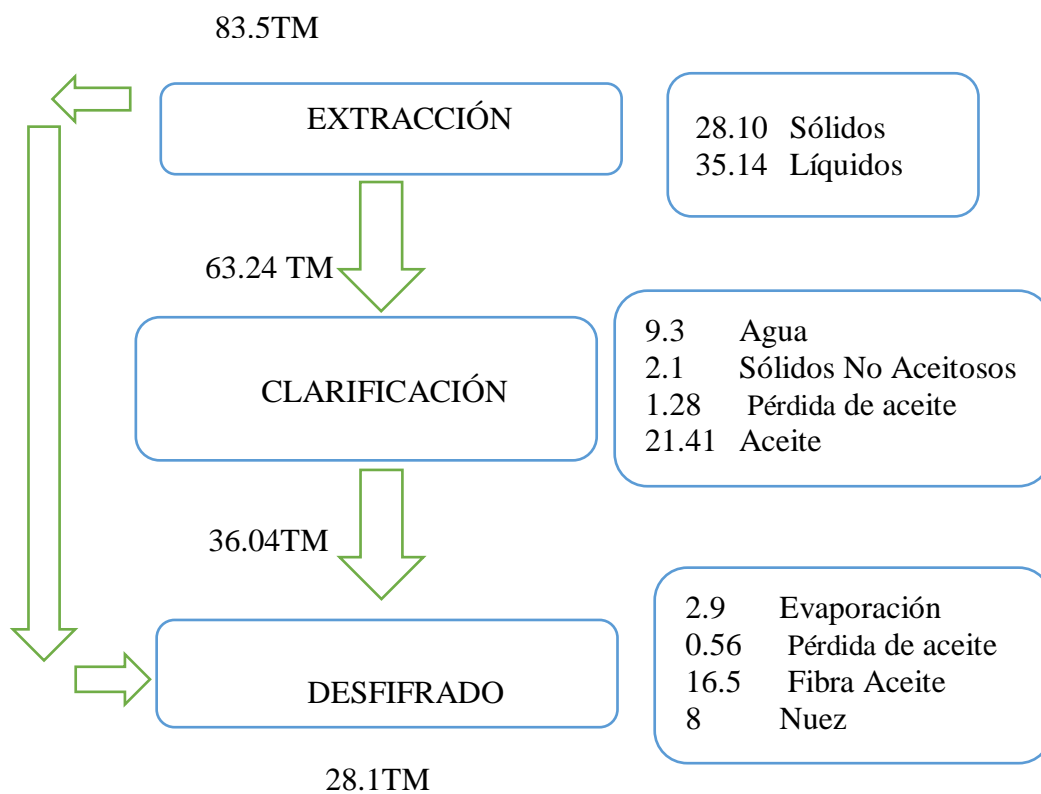
Balance de masa de la producción de aceite crudo de palma en la empresa INDUPALSA a diferentes presiones. Presión 50 PSI.

Recepción	Salidas	Contenido de aceite	Producto	Subproducto	Pérdidas
Esterilización (100 TM)	16,50	Evaporación		16,50	
Desfrutado (83,5 TM)	20,26	Racimos Vacíos		18,83	
		Pérdida de aceite			1,43

	28,1			
Extracción	0	Sólidos		
63,24TM	35,1	Líquidos		
	4			
		Agua	9,3	
Clarificación		Sólidos No Aceitosos	2,1	0,05
36,04 TM		Pérdida de Aceite		1,28
		Aceite	21,41	
	28,1	1Evaporación	2,9	
Desfibrado	0	Pérdida de Aceite		0,70
28,1 TM		Fibra	16,5	
		Nuez	8,00	
Total	72,0		29,41	66,13
	4			3,46

EXTRACCIÓN DE	21,4	86,26		
ACEITE	1	%	PÉRDIDA DE ACEITE	3,41
RECUPERACIÓN DE	8	99,38		
NUEZ		%	PÉRDIDA DE NUEZ	0,05





Anexo 9

Fruta de Palma proveniente de pongo del Caynarachi-Lamas



Anexo 10

Planta extractora INDUPALSA, Lamas-San Martín

