

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TESIS PARA TITULO PROFESIONAL

**“MODIFICACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE
CLARIFICACIÓN PARA INCREMENTAR LA RECUPERACIÓN DE
ACEITE CRUDO DE PALMA EN LA EMPRESA INDUSTRIAS DEL
SHANUSI S. A”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ELABORADO POR

CARLOS RAMÓN CALVO RENGIFO

Tingo María – Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail: fia@unas.edu.pe

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 011-2017

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 14 de agosto de 2017, a horas 08:00 a.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bach. **CALVO RENGIFO, Carlos Ramón**, titulada:

"MODIFICACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE CLARIFICACIÓN PARA INCREMENTAR LA RECUPERACIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA EN LA EMPRESA INDUSTRIAS DEL SHANUSI S.A"

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 23 de agosto de 2017

.....
Ing. Washington Paredes Pereda
Presidente

.....
Ing. Raida Lourdes Matos Bustamante
Miembro

.....
Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Miembro

.....
Ing. Humberto Hugo Rivera Rojas
Asesor

HOJA PARA ESCANEAR EL ACTA DE PROBACION DE LA TESIS

DEDICATORIA

Primeramente, al creador de todas las cosas, el que me dió la fortaleza para continuar cuando estuve a punto de caer; por ello, con toda humildad que de mi corazón puede emanar, dedico mi trabajo a DIOS.

A mi padre Edison Q.P.D y D.D.G quién hace poco partió para estar al lado de Dios, ha estado siempre apoyándome desde mi infancia hasta el último día de su vida, haciendo lo máximo posible para darnos lo mejor a mi madre, hermanos y a mí. Gracias por ser el mejor papa del mundo, además de un padre has sido un buen amigo y consejero, te amo papa Edi.

A mi mamá Melita, por su apoyo incondicional, por el desvelo que ha tenido por mí y mis hermanos, por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por ser una amiga y comprenderme, lo que me ayudo a salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis hermanos que siempre estuvieron apoyándome.

A mis hijos Pier, Thais, Jeyson, Jefry, por darme la alegría para seguir adelante.

A mi familia, por apoyarme y compartir conmigo buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme dado la fuerza y el valor para culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mi papá Edison Q.P.D y Q.D.D.G, que siempre estuvo presente en mi vida. Y sé que desde el cielo el estará orgulloso de la persona que soy.

A mi mamá Melita, a mis hermanas Zonia, Karem, Dafne y mi hermano Pedro, por ayudarme a afrontar los retos que se presentaron a lo largo de mi vida.

A la mujer de mi vida Paola Encinas por su apoyo incondicional.

Al ingeniero Humberto Hugo Rivera Rojas y Dr. Juan Edson Villanueva Tiburcio, asesores de mi tesis por la orientación y colaboración que hizo posible el presente trabajo de investigación.

Al Ing. Jorge Alayo Rodríguez por sus sabios consejos y por la colaboración brindada durante la elaboración de este proyecto.

A mis compañeros de trabajo de la empresa Palmas del Shanusi, por el trabajo en equipo del día a día, enriqueciendo así, mis conocimientos profesionales cada día.

ÍNDICE

RESUMEN	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Palma aceitera	3
2.2. Procesamiento de aceite de palma	4
2.3. Composición nutricional de los frutos de palma aceitera	5
2.4. Importancia del aceite de palma	10
2.5. Características del aceite crudo de palma	11
2.5.1. Calidad del aceite de palma.....	11
2.5.2. Usos del aceite de palma.....	13
2.6. Principales operaciones para la extracción de aceite crudo de palma	15
2.6.1. Esterilización.....	15
2.6.2. Desfrutado.....	16
2.6.3. Digestión o malaxado.....	17
2.6.4. Extracción o prensado.....	17
2.6.5. Clarificación.....	18
2.6.6. Licor de prensa.....	20
2.6.7. Tanques reclarificadores.....	20
2.6.8. Tricanter.....	21

2.6.9. Perdida y recuperación de aceite en una planta extractora de palma.....	22
2.6.10. Desfibración y trituración.....	23
2.7. Modificación de operaciones durante el proceso de obtención de aceite de palma.....	23
2.8. Cadena agroproductiva de la palma de aceite.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Lugar de ejecución	28
3.2. Materiales y equipos	28
3.2.1 Materia prima.....	28
3.2.2 Reactivos.....	28
3.2.3 Equipos.....	28
3.2.4 Materiales de vidrio.....	29
3.3. Métodos De Análisis.....	29
3.4. Metodología	30
3.4.1. Caracterización del aceite crudo de palma.....	30
3.4.2. Determinación del porcentaje de aceite en el lodo a la salida del clarificador.....	30
3.4.3. Determinación del porcentaje de aceite (base seca) en el flujo líquido y solido a la salida del tricanter.....	31

3.4.4. Determinación del contenido de agua en las aguas lodosas a la salida del tricanter.....	32
3.5. Modificaciones en el área de clarificación	32
3.5.1. Configuración del sistema original.....	32
3.5.2. Configuración del sistema modificado.....	34
3.5.3. Composición de flujo en el tricanter.....	34
3.6. Diseño experimental.....	36
3.6.1. Análisis de las tres configuraciones estudiadas en clarificación y su efecto en:	36
3.6.2. Efecto de la optimización en los caudales de descarga del tricanter.....	37
3.7. Análisis estadístico.....	38
3.7.1. Pruebas experimentales para la modificación de flujo en el tricanter.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Componentes del aceite crudo de palma durante el proceso de clarificación	39
4.2. Modificaciones experimentales en el sistema de clarificación de aceite crudo de palma	40
4.3. Resultados de la modificación en el área de clarificación	43
4.3.1. Determinación del porcentaje de aceite en el lodo a la salida del clarificador.....	43

4.3.2. Determinación del porcentaje de aceite (base seca) en el fluido líquido a la salida del tricanter.....	44
4.3.3. Determinación del porcentaje de aceite (base seca) en el sólido a la salida tricanter (Máximo 17%).....	46
4.3.4. Determinación del porcentaje de aceite p/p perdido en la clarificación respecto al RFF (máximo 0,44%).....	47
4.3.5. Rendimiento económico en la recuperación de aceite rudo de palma.....	48
V. CONCLUSIONES.....	52
VI. RECOMENDACIONES.....	53
ABSTRACT.....	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO.....	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Rangos en el contenido de varios componentes en aceite de palma no saponificable.....	6
2. Contenido de tocoferol y tocotrienol (mg/kg) en algunos aceites refinados.	7
3. Composición (%) de triacilgliceroles en aceite de palma.....	8
4. Algunos parámetros de calidad durante la obtención de aceite crudo de palma.....	12
5. Rendimiento del flujo del tricanter antes y después de la modificación	34
6. Componentes del aceite crudo de palma durante el proceso de clarificación.....	39
7. Modificaciones experimentales en el sistema de decantación de aceite crudo de palma.....	41
8. Prueba de rangos múltiples para % aceite de salida al 10% máximo por tratamientos.....	44
9. Pruebas de rangos múltiples para porcentaje de aceite en base seca y agua a la salida del tricanter (máx. 20%).....	45
10. Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de aceite en base seca y sólidos a la salida del tricanter (máx. 17%).....	47

11.Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de aceite perdido (máx. de 0,44%).	48
12.Registro anual de producción estimada de aceite crudo de palma en la empresa Shanusi antes de la modificación del sistema de decantación de aceite.	50
13.Registro anual de producción estimada de aceite crudo de palma en la empresa Shanusi después de la modificación del sistema de decantación de aceite.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Planta y Fruto de Palma Aceitera.....	4
2. Frutos de palma aceitera.	5
3. Estructura química algunos compuestos químicos presente en el aceite de palma. a) α -caroteno, b) β -caroteno, c) Vitamina E, d) Estructura del triglicérido POO (1-palmitoil-2,3-dioleoil-sn-glicerol) de acuerdo con la ubicación de los ácidos grasos en el glicerol.	9
4. Importación de aceite por parte del mercado peruano.	10
5. Reacción de transesterificación de un triglicérido para producir biodiesel.	13
6. Producción de jabón en Perú a partir de palma aceitera.	14
7. Esterilización de racimos de palma aceitera.	16
8. Desfrutadora de racimos de palma.	16
9. Digestor de frutos de palma.	17
10. Prensado de frutos de palma para obtener aceite.	18
11. Clarificación de aceite de palma	19
12. Licor de aceite crudo de palma.	20
13. Tanque preclarificador de aceite crudo de palma.	21
14. Tricanter utilizado para clarificación de aceite crudo de palma.	21

15. Imagen de un Tricanter.	24
16. Estructura química del jabón.	24
17. Estructura química de la margarina.	25
18. Cadena productiva de la palma de aceite.	27
19. Diagrama de flujo para la extracción de aceite de palma en el sistema original.	33
20. Diagrama de flujo para la extracción de aceite de palma en el sistema modificado.	35
21. Diseño experimental para las pruebas del efecto del cambio de sistema de clarificado para el aceite crudo de palma: S1: sistema 1, S2: sistema 2, S3: sistema 3.	36
22. Diseño experimental para la evaluación de la optimización de los caudales salida del tricanter: C1, C2 y C3: Contenido de aceite en el caudal de fase superior salida del tricanter (línea aceite recuperado).	37
23. Porcentaje de aceite a la salida del clarificador (máx. 10%, según el estándar interno de calidad).	43
24. Porcentaje de aceite en base seca y agua a la salida del Tricanter (máx. 20%, según el estándar interno de calidad).	45
25. Porcentaje de aceite en base seca y sólidos a la salida del Tricanter (Max 17%, según el estándar interno de calidad).	46
26. Porcentaje de aceite perdido (ideal máximo de 0,44%).	47

RESUMEN

Durante el proceso para la obtención de aceite crudo de palma (ACP) a partir de los racimos de frutos frescos (RFF) de la palma aceitera, ocurren operaciones como: esterilizado, desfrutado, malaxado, prensado, clarificado, sedimentado, secado y almacenado; dentro de estas la operación del proceso de clarificación tiene las siguientes etapas: Decantación estática, decantación dinámica, atrapamiento de finos (sedimentación secundaria) y secado. En las etapas de decantación estática y dinámica se modificó la configuración del sistema original donde su decantación era en serie de 2 etapas (preclarificador y clarificado) y utilizaba agua industrial para la dilución de licor de prensa, la composición del flujo de la fase ligera a la salida del tricanter era 100% de aceite recuperado, en el sistema modificado se utilizó como único decantador al clarificador y se reemplazó el agua industrial de dilución de licor de prensa por un flujo similar de agua lodosa de la salida de tricanter, se cambió la composición del flujo de la fase ligera a la salida del tricanter de 95%, 75% y 40%. Esta modificación se realizó buscando incrementar las eficiencias de recuperación de ACP en estas etapas. La investigación se desarrolló en la empresa de Industrias Shanusi-Loreto. Como resultado se logró un incremento en la recuperación de aceite de 3,2 kg de ACP/TM RFF procesado. Por ejemplo en el 2016, donde la planta extractora de Industrias del Shanusi procesó 246773 TM de RFF obteniendo

59225 TM de ACP/año y con las mejoras de la modificación logro incrementar la producción en 790 TM /año de ACP lo que equivale a una ganancia adicional de S/. 1579347.00 Con ello se demostró que con las modificaciones en el sistema de clarificación y los cambios de flujo de la fase ligera a la salida del tricanter que correspondieron a los tratamientos T3a T3b T3c, se incrementó las ganancias económicas en la empresa Industrias del Shanusi.

I. INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) es una planta que crece en climas tropicales y de cuyo fruto se extraen dos tipos de aceite (el aceite de palma y el aceite de palmiste) y la torta de palmiste. El aceite de palma se utiliza para el consumo humano y para la producción de detergentes, jabones, cosméticos entre otros, este recurso natural se utiliza en su totalidad. Una plantación de palma aceitera es aprovechable entre 30 a 40 años, posteriormente el rendimiento en producción disminuye.

El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), a través de la Dirección de Estadística Agraria de la Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP) cita que en el Perú el año 2015 tuvo una producción de aceite crudo de palma (ACP) de 170819 TM de ACP, importó 54789 TM de ACP y exportó 22594 TM de ACP, el cual hace una demanda interna aparente de 203014 TM de ACP esto significa que tenemos un déficit de 27% de aceite crudo de palma (ACP) debido a las importaciones.

En nuestro país, el grupo Romero es el principal productor de palma con aproximadamente 12500 hectáreas que producen 300000 TM de RFF y 72000 TM de ACP/año sin embargo, como en todo proceso de producción, existen mermas o pérdidas de aceite (0,77%) en el área de clarificación, el

objetivo del presente proyecto de investigación es realizar los estudios respecto a las modificaciones al sistema de clarificación para incrementar la recuperación del aceite crudo de palma (ACP) de las aguas lodosas provenientes del tricanter.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Palma aceitera

La planta tropical de palma aceitera es exclusiva de climas cálidos que se desarrolla en altitudes de 0 a 500 msnm. Su nombre científico es *Elaeis guineensis*. El nombre de palma africana de aceite es porque su ubicación geográfica es en el golfo de Guinea en el África occidental (CORTÉS, 2009).

Según CORTÉS (2009), La palma aceitera ha sido clasificado por el científico Hutchinson como:

- División: Fanerógamas
- Tipo: Angiosperma
- Clave: Monocotiledóneas
- Orden: Palmales
- Familia: Palmaceae
- Tribu: Coccoinea
- Género: *Elaeis*
- Especie: *guineensis* y oleífer

Los colonizadores y comerciantes de esclavos que traían al Brasil, para sobrevivir en sus largos viajes en el siglo XVI, utilizaban los frutos de la

palma aceitera como parte de su alimentación y de esta manera se le atribuye la introducción de la planta de palma de aceite africana a América (PRECIADO Y ARROYO, 2007).

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*), es uno de los más importantes cultivos de aceite en el mundo (HOFFMANN *et al.*, 2014), que incluye 111 géneros en todo el mundo (FORERO *et al.*, 2012). El aceite de palma tiene una producción de cinco veces mayor por unidad de tierra que otros cultivos oleaginosos como la soja o colza, que junto con la creciente demanda mundial de aceite vegetal y los biocombustibles impulsa su rentabilidad (HOFFMANN *et al.*, 2014). Cultivado en 42 países con aproximadamente 11 millones de hectáreas en todo el mundo (TEIXEIRA *et al.*, 2013). El cultivo de palma cubre aproximadamente el 34% de la producción mundial de aceites (USDA, 2015).



Figura 1. Planta y Fruto de Palma Aceitera

2.2. Procesamiento de aceite de palma

El fruto de palma africana produce dos tipos de aceites, el aceite del fruto (mesocarpio) de palma y el aceite de la almendra o semilla (OWOYELE y

OWOLABI, 2014), los derivados del aceite de fruto de palma, son utilizados en la obtención de aceite para uso en cocina, margarinas, pastas para untar, helados y productos lácteos (TEIXEIRA *et al.*, 2013). El aceite de palma está compuesto por ácido palmítico, oleico, linoleico y otros constituyentes como tocoferoles, tocotrienoles, carotenoides, fitosteroles, compuestos fenólicos y otros fitonutrientes (MORTENSEN, 2005).

Desde la perspectiva del rendimiento de obtención de aceite, NIETO *et al.*, (2011), reportó a nivel de investigación que se consigue una mayor eficiencia y velocidad de sedimentación cuando el factor de dilución es 1:4 de aceite y agua, con valores de 75% y 7,71 mL/min respectivamente en medios estáticos a una temperatura de 95 °C para disminuir la viscosidad en el licor.



Figura 2. Frutos de palma aceitera.

2.3. Composición nutricional de los frutos de palma aceitera

El consumo mundial de aceite de vegetal de palma fue 52,1 millones de toneladas entre 1997 y 2012, siendo el aceite de mayor consumo en el mundo (EUROPEAN PALM OIL ALLIANZE, 2016). Una característica importante en el

aceite de palma son sus diversos componentes (Cuadro 1, Figura 3), los cuales ofrecen beneficios positivos a la salud tales como los carotenos, xantofilas y los carotenoides como α -tocoferol, β - tocoferol, γ - tocoferol, algunos esteroides como el β -sitosterol. Asimismo, la composición de tocoferoles y tocotrienoles varían con respecto a otras fuentes aceites (Cuadro 2) también posee variedad de triacilgliceroles (Cuadro 3).

Cuadro 1. Rangos en el contenido de varios componentes en aceite de palma no saponificable.

Componente	%	mg/kg (de aceite de palma)
Carotenoides		
α -caroteno	36,2	
β -caroteno	54,4	
γ -caroteno	3,3	500 – 700
licopeno	3,8	
Xantofilas	2,2	
Vitamina E		
α -tocoferol	28	
β - tocoferol	29	500 – 800
γ - tocoferol	28	
δ -tocoferol	14	
Esteroides		
Colesterol	4	
Campesterol	21	~300
Estigmasterol	21	
β -sitosterol	63	
Fosfátidos		500 – 1000
Alcoholes totales		
Alcohol triterpénico	80	
Alcohol alifático	20	~800

Fuente: SUNDRAM *et al.*, (2003).

Cuadro 2. Contenido de tocoferol y tocotrienol (mg/kg) en algunos aceites refinados.

Toco isómeros	Aceite de soya	Aceite de maíz	Aceite de oliva	Aceite de girasol	Mantequilla	Aceite de germen de trigo	Aceite de salvado de arroz	Aceite de palma	Oleína de palma	Estearina de palma
α-Tocoferol	117,2	248,9	151,4	485,2	32,7	218,9	64	188,2	179,0	50,0
β-Tocoferol	19,8	10,1	13,3	3,0	n.d.	33,2	10,6	n.d.	n.d.	n.d.
γ-Tocoferol	560,7	464,1	10,9	51,0	n.d.	84,7	n.d.	n.d.	17,6	n.d.
δ-Tocoferol	178,2	58,2	n.d.	n.d.	33,8	n.d.	187	n.d.	n.d.	n.d.
α-Tocotrienol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	31,4	198,1	219,9	47,4
β-Tocotrienol	20,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	347,5	83,2	10,0	8,1	9,0
γ-Tocotrienol	6,2	n.d.	n.d.	8,3	n.d.	n.d.	783,2	198,8	332,7	134,9
δ-Tocotrienol	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18,4	38,6	98,4	67,0	31,4
Total	902,2	781,4	175,6	547,5	66,5	702,7	1198	693,5	824,3	272,8

Fuente: SUNDRAM *et al.*, (2003).

Cuadro 3. Composición (%) de triacilgliceroles en aceite de palma.

N° de dobles enlaces		1 doble enlace		2 dobles enlaces		3 dobles enlaces		≥ 4 dobles enlaces	
MPP	0,29	MOP	0,83	MLP	0,26	MLO	0,14	PLL	1,08
PMP	0,22	MPO	0,15	MOO	0,43	PLO	6,59	OLO	1,71
PPP	6,91	POP	20,02	PLP	6,36	POL	3,39	OOL	1,76
PPS	1,21	POS	3,50	PLS	1,11	SLO	0,60	OLL	0,56
PSP	0,12	PMO	0,22	PPL	1,17	SOL	0,30	LOL	0,14
		PPO	7,16	OSL	0,11	OOO	5,38		
		PSO	0,68	SPL	0,10	OPL	0,61		
		SOS	0,15	POO	20,54	MOL	-		
		SPO	0,63	SOO	1,81				
				OPO	1,86				
				OSO	0,18				
				PSL	-				
Otros	0,16		0,34		0,19		0,15		0,22
Total	9,57		33,68		34,12		17,16		5,47

M: mirístico; P: palmítico, S: esteárico; O: oleico; L: linoleico

Fuente: SUNDRAM *et al.*, (2003).

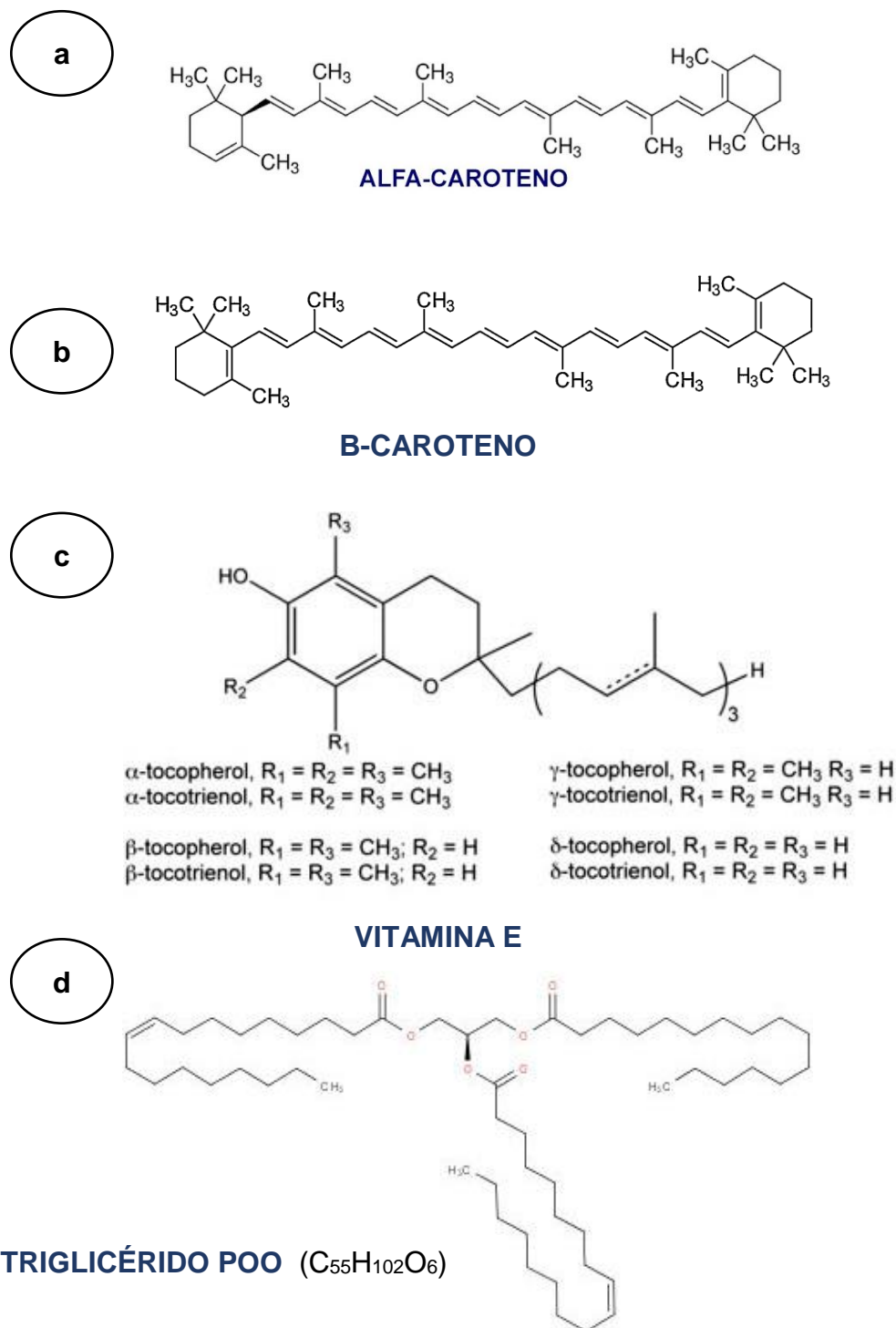


Figura 3. Estructura química algunos compuestos químicos presente en el aceite de palma. a) α -caroteno, b) β -caroteno, c) Vitamina E, d) Estructura del triglicérido POO (1-palmitoil-2,3-dioleoil-sn-glicerol) de acuerdo con la ubicación de los ácidos grasos en el glicerol.

2.4. Importancia del aceite de palma

El Perú importa aceite (Figura 4), entre ellos predomina el aceite de soya (PALMAS, 2012), que representa el 70% de las 694000 toneladas métricas de aceites y grasas (DAMMERT, 2014), ante ello, el cultivo de palma aceitera adquiere importancia, porque representa una alternativa para el desarrollo de la agroindustria en el Perú, especialmente para la región de la selva porque dinamiza la economía (PALMAS, 2012). La palma aceitera se caracteriza por su rentabilidad, debido a que su producción es durante todo el año, pero sobre todo ha demostrado que como cultivo alternativo es lo suficientemente fuerte para crecer aún sobre terrenos débiles como los que deja la hoja de coca (LA REPÚBLICA, 2015). La empresa PALMAS, reportó hasta el mes de agosto del 2011 una producción de 33,6 mil toneladas por mes (PALMAS, 2011), de manera similar en la región Ucayali existen 25 mil hectáreas sembradas, de las cuales 13 mil se encuentran en plena producción (LA REPÚBLICA, 2015).

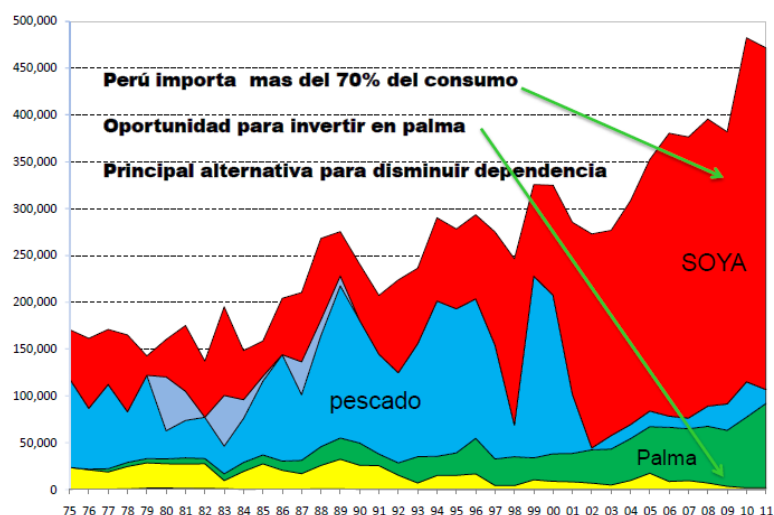


Figura 4. Importación de aceite por parte del mercado peruano.

Fuente: PALMAS (2012).

2.5. Características del aceite crudo de palma

2.5.1. Calidad del aceite de palma

LAL (1992), menciona que las plantas de refinerías de aceite de palma exigen que el aceite crudo de palma a refinar cumpla con los criterios de calidad en lo posible, para luego elaborar productos blandos inoloros e incoloros para que el consumidor utilice directamente. Las refinerías buscan las siguientes características en el aceite crudo de palma:

- Baja acidez (ácidos grasos libres -AGL-)
- Baja humedad (un 0,19% es óptimo) e impurezas
- Buena blanqueabilidad
- Oxidación mínima
- Bajo contenido de monoglicéridos y diglicéridos
- Alto contenido de antioxidantes naturales

La calidad del aceite de palma es una característica importante dentro de la industria, ya que hay que tener cuidados durante todas las etapas de la obtención del aceite. El factor principal que influye en la calidad del aceite es la oxidación de los dobles enlaces de las grasas insaturadas (DONGO, 2014). Como la oxidación lipídica es un proceso iniciado por una reacción en cadena, se espera que los peróxidos e hidroperóxidos tienden a incrementarse durante el almacenamiento hasta llegar a la refinación del aceite. Sin embargo, una vez sean eliminados con la desodorización, la estabilidad a la oxidación del aceite de palma es sobresaliente; puede permanecer por largos periodos de tiempo con sabor y olor neutro (RINCÓN y MARTÍNEZ, 2009).

Entre las principales cualidades que tiene que cumplir y mantener el aceite crudo de palma se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Algunos parámetros de calidad durante la obtención de aceite crudo de palma.

Análisis	Límite máximo
Acidez libre máx.	5,00%
Índice de peróxido máx.	5,00 meq/kg
Color, lovibond celda ½" máx.	20 R 30 A
Humedad y mat. Volátil	0,20 %
Densidad	0,89 g/mL
Viscosidad a 40 °C	39,35 cp

Fuente: Adaptado de DONGO (2014), RINCÓN y MARTÍNEZ (2009)

Según CENIPALMA (2013), luego de la extracción del aceite crudo de palma, es sometido a un proceso de refinado, blanqueado y desodorizado obteniendo dos productos, que son la oleína ($C_{18}H_{34}O_2$) y la estearina ($C_{18}H_{36}O_2$). La oleína se puede mezclar con diferentes aceites vegetales y es líquida en climas cálidos. La estearina es sólida y se encarga de producir grasas, para la elaboración de margarinas y jabones. Las propiedades de la oleína y estearina obtenidas del aceite de palma explican su versatilidad, así como sus numerosas aplicaciones.

2.5.2. Usos del aceite de palma

Usos alimentarios

En la actualidad el aceite de palma es uno de los aceites de mayor consumo nivel mundial y se utiliza en la industria de alimentos y gastronomía, por ejemplo, para la elaboración productos de heladería, panadería, pastelería, confitería, sopas instantáneas, margarinas y mantecas, mayonesas, aderezos para ensaladas, sustituto de manteca de cacao, helados, salsas, diversos platos congelados y deshidratados, también se utiliza en la elaboración de cremas no lácteas para mezclar con el café (CENIPALMA, 2013; CENIPALMA, 2015).

Usos no alimentarios

Dentro los usos no alimentarios se encuentra el biodiesel mediante la transesterificación (Figura 5), se da con la reacción entre un aceite o grasa y un alcohol en un medio con catalizador, para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos (biodiesel) y glicerol o glicerina (ZAPATA *et al.*, 2007).

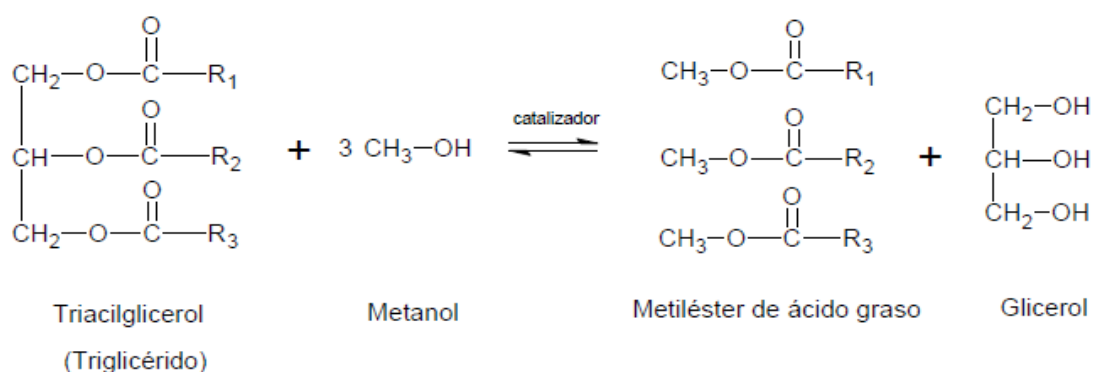


Figura 5. Reacción de transesterificación de un triglicérido para producir biodiesel.

En la provincia de Tocache, en el año 2008 el Grupo Romero (Palmas del Espino) instaló la planta de biodiesel a partir de la palma aceitera. Asimismo, en el departamento de Lima funcionan tres empresas dedicadas a procesar biodiesel: Biodiesel Perú Internacional S.A.C., Grupo Herco y Pure Biofuels, cabe señalar que, las tres empresas utilizan como materia prima el aceite de soya importado de Estados Unidos debido a que es más barato por ser subsidiado por el estado (BRUINSMA, 2009).

Otra aplicación prometedora, es en el diseño de mezclas asfálticas tibias (LOPERA, 2011).

Otro uso que se obtiene a partir de los frutos de palma aceitera, es la producción de jabones, reportes de la empresa PALMAS, se muestra en la figura 6.

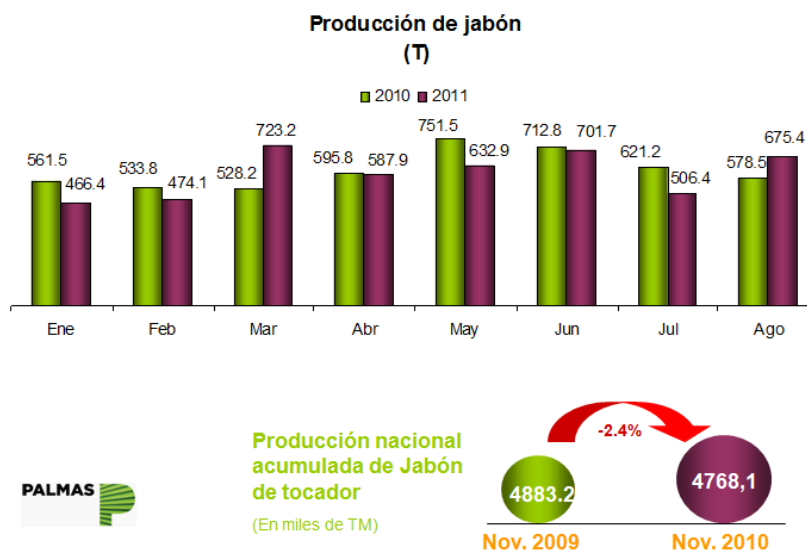


Figura 6. Producción de jabón en Perú a partir de palma aceitera.

Fuente: PALMAS (2011).

2.6. Principales operaciones para la extracción de aceite crudo de palma

En Industrias del Shanusi, para obtener el aceite crudo de palma no se utiliza ningún tipo de solvente, los procesos son mecánicos y térmicos lo que lo hace un aceite vegetal totalmente natural y consta de las siguientes operaciones unitarias.

2.6.1. Esterilización

Según ALVARADO, (2010), la esterilización es la operación que sirve para ablandar la fruta utilizando la presión y temperatura con vapor de agua generado, en los esterilizadores.

(ALFARO y ORTIZ 2006), mencionan que la operación de esterilización se considera la etapa más importante y los objetivos fundamentales son:

- Inhibir las enzimas que origina el desdoblamiento del aceite y como resultado se incrementa el porcentaje de ácidos grasos libres.
- Ablandamiento con el fin de facilitar la separación de los frutos que están unidos al tallo (raquis o tuza).
- Debilitar la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr la destrucción de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.
- Deshidratar o desecación de las almendras contenida en la nuez, para facilitar su recuperación posterior en palmisteria.

En esta operación unitaria se pierde hasta el 13% del peso de los frutos procesado (NUÑEZ y RAMIREZ, 2004).



Figura 7. Esterilización de racimos de palma aceitera.

2.6.2. Desfrutado

Se realiza mediante operación mecánica en el cual sirve para separar los frutos de los racimos por medio de un tambor rotatorio que gira entre 23 a 26 rpm, en el interior del tambor cuenta con unas paletas que sirven para golpear los racimos para desprender los frutos que luego pasan por unos barros longitudinales, los cuales son transportados hacia los digestores (ALVARADO, 2010; ALFARO y ORTIZ 2006).



Figura 8. Desfrutadora de racimos de palma.

2.6.3. Digestión o malaxado

Los frutos son depositados en un cilindro vertical con agitador llamado digestor, el cual presenta unas paletas que trituran y maceran al fruto por medio movimientos circulares, además se inyecta vapor a 95 °C por 25 minutos, el cual afecta en la estructura del mesocarpio de los frutos, rompiendo los vasos lipogénicos y favorece al desprendimiento de las células de aceite respecto al fruto y en el momento del prensado la recuperación de aceite sea más eficiente (ALFARO y ORTIZ 2006; NUÑEZ Y RAMIREZ, 2004).



Figura 9. Digestor de frutos de palma.

2.6.4. Extracción o prensado

Según ALFARO y ORTIZ (2006); URIBE (2011), digerido el fruto se envía a prensarlo. En esta operación se inyecta agua a la salida del digestor y en la parte inferior de la prensa con el objetivo de lavar las fibras y lograr que la extracción del aceite sea más eficientemente, además es importante lograr la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación. Asimismo, en el prensado la eficiencia depende de dos factores; la presión que se aplica a los conos de los tornillos y el segundo es el estado por desgaste de

canastas tornillos y conos, además de la buena digestión que se realizó (ALFARO y ORTIZ, 2006).

En el proceso de prensado se genera dos corrientes, una fase sólida, compuesto por la semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado y la fase líquido, compuesto por una mezcla aceite – agua – lodos. El prensado representa 60% sobre fruta, asimismo se produce 6% de nuez que contiene 4% almendra y 2% de cáscara y el resto es 9% es fibra (ALFARO y ORTIZ, 2006).



Figura 10. Prensado de frutos de palma para obtener aceite.

2.6.5. Clarificación

En esta operación unitaria el aceite virgen de palma derivado del prensado, ingresa con cantidades de impurezas de tipo vegetal, arena y agua, que deben ser separados con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia (ALFARO y ORTIZ, 2006). El aceite virgen de palma que ingresa a clarificación, teóricamente debe contener 35% de aceite, 5% de lodos ligeros, 35% de agua y 25% de lodos pesados. Debido que el aceite de palma es muy viscoso, es inevitable adicionar suficiente agua de dilución para lograr una buena separación del aceite y los lodos. Para lograr un rápido

decantado y obtener aceite en volumen del 35 a 40 %, es necesario adicionar agua a 90 °C (ALFARO y ORTIZ, 2006).

El aceite que se extrae de las prensas es enviado a un tanque de sedimentación con conos de drenaje. El aceite que fluye del tanque de sedimentación pasa por un tamiz vibrador, en esta etapa se separa las fibras (cachaza) que no fueron retiradas en el tanque de sedimentación. La cachaza es utilizada para la alimentación de porcinos.

Según ALVARADO (2010), el aceite tamizado es enviado al tanque clarificador con el fin de separar la mezcla proveniente del licor tamizado en tres fases, de acuerdo a su densidad, las cuales son:

- El aceite purificado (capa superior) es el aceite limpio de baja densidad que pasa directamente al tanque de aceite húmedo.
- Lodoso ligero (capa intermedia), tiene bajo contenido de aceite y se deriva al tanque de lodos para un posterior tratamiento de recuperación de aceite de palma.
- Lodos pesados (capa inferior), tiene alta densidad se les denomina aguas lodosas y están compuestos principalmente de agua y de sólidos pesados. Los lodos pesados que se acumulan en el extremo inferior del tanque.



Figura 11. Clarificación de aceite de palma

2.6.6. Licor de prensa

ALFARO y ORTIZ (2006), URIBE (2011) y DONGO (2014) mencionan que el licor que sale de la prensa es enviado a un vertedero el cual permite el paso del aceite a través de una rendija que está diseñada para medir y controlar el nivel de agua de acuerdo al volumen de aceite, el cual va depender del número de prensas que están trabajando. El flujo de agua que pasa por la rendija es monitoreado continuamente por un sensor de sonido que controla el nivel de dilución (1,4:1 aceite/agua). Posteriormente, el licor de prensa es llevado hacia los tamices vibratorios, hasta obtener el licor crudo de palma.



Figura 12. Licor de aceite crudo de palma.

2.6.7. Tanques preclarificadores

ALFARO y ORTIZ (2006) y ALVARADO (2010), mencionan que el licor de aceite proveniente de la prensa pasa de los tamices a los clarificadores el cual consta de tuberías llamadas flautas, que sirven para distribuir el flujo de forma que sea homogéneo y laminar. El licor de prensa es sometido a calentamiento suave por medio de serpentines inyectadas de vapor, que elevan la temperatura facilitando la separación del aceite. La recuperación de aceite se da en tanques cónicos de altura. En el fondo de los tanques se acumula lodos pesados que son separados por una lámina diseñada para tal fin. Las aguas

lodosas formada por lodos livianos, aceite y agua van al tricanter o a las centrifugas. El aceite recuperado del tricanter se envía al tanque preclarificador.

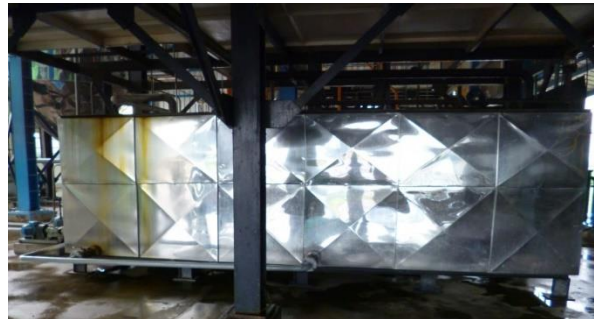


Figura 13. Tanque preclarificador de aceite crudo de palma.

2.6.8. Tricanter

La función principal del Tricanter es de dividir simultáneamente en tres fases al agua lodosa salida del clarificador, la primera fase es el aceite, la segunda fase es el agua y la tercera fase es el sólido (barro), aprovechando la diferencia de densidad que existe entre los dos líquidos y que los sólidos constituyen la fase más pesada (STEIGER Y RACKERSEDER, 2007).

La puesta en marcha del tricanter es similar a los del decanter. La diferencia es que el decanter tiene la descarga de las dos fases líquidas por separado. La parte indispensable de un decanter / tricanter es el rotor, el cuál consiste en un tambor cilíndrico –cónico, con tornillo sinfín transportador incorporado, que gira con una velocidad diferencial.



Figura 14. Tricanter utilizado para clarificación de aceite crudo de palma.

2.6.9. Pérdida y recuperación de aceite en una planta extractora de palma

- Recuperación de aceite

Cuando mayor es la recuperación menor son las pérdidas de aceite y ayuda a incrementar la tasa de extracción de aceite crudo de palma en el proceso, adicionando ingresos económicos, específicamente en la etapa de clarificación (CUESTA y BARRAZA, 2013).

Por otro lado, CASTELLANOS (2012), menciona que el porcentaje de aceite en la corriente de lodos a la salida del separador primario fue de 9,92%, debido a que, a mayor capacidad del equipo, mayor será tiempo de residencia y por consiguiente mayor será la recuperación de aceite.

- Pérdida de aceite

Según FERNANDEZ *et al.* (2016) En la clarificación estática se determina la pérdida de aceite que se da en la corriente de efluentes a la salida del proceso. BALBOA (2015), señala que durante el proceso de clarificación existen pérdidas de aceite en la fase líquida salida del clarificador. CASTELLANOS (2012), menciona que el comportamiento del porcentaje de pérdidas de aceite en las corrientes de las aguas lodosas de las centrifugas expresadas en unidades de base seca sin aceite obtuvieron un valor promedio de 12,268%. FERNANDEZ *et al.* (2016), manifiesta que los resultados obtenidos en las pérdidas de aceite en la etapa de clarificación disminuyeron notablemente de 0,65% Ac/tRFF con clarificación estática a 0,45% Ac/tRFF con clarificación dinámica, concluyendo que con clarificación dinámica se recupera más aceite.

2.6.10. Desfibración y trituración.

La torta compuesta por fibra y nueces, es secada hasta obtener una humedad requerida y es conducida mediante tornillos sinfines para su separación, donde se utiliza una columna vertical a través de la cual se inyecta un flujo de aire ascendente a una velocidad determinada con el objetivo de que toda la fibra sube y las nueces por su peso caen al fondo de la columna de separación. Las nueces ingresan al tambor pulidor en el cual se elimina las impurezas y luego son depositados en el silo de almacenamiento, donde se secan con la finalidad de romper la cascara de la nuez y poder recuperar la almendra contenida en ella.

La fibra es enviada a las calderas que sirve como combustible y como abono natural en las plantaciones (INDUAGRO, 2014).

2.7. Modificación de operaciones durante el proceso de obtención de aceite de palma

Desde la década de 1980, la utilización acertada de los diferentes subproductos mediante el reciclaje de nutrientes en los cultivos ha reducido el impacto ambiental, de manera que se ha preparado el terreno hacia una política de cero desechos (SUBRAMANIAM, 2013).

Según STEIGER Y RACKERSEDER (2007), durante la extracción de aceite de palma se utiliza diferentes equipos, la separación entre aceite, agua y sólidos es un punto clave que se realiza con la decantación natural o centrifugación. Es así que la selección del equipo adecuado para la separación es muy importante para la rentabilidad de la planta. Cuando la producción de

el respectivo cultivo o conjunto de cultivos. Después de la cosecha los frutos deben llevarse inmediatamente a la planta extractora, debido que el fruto es muy perecedero después del corte. El aceite de palma está compuesto por dos fases: la fase líquida conformada por la oleína ($C_{18}H_{34}O_2$), que se puede mezclar con otros aceites vegetales; y la fase más sólida conformada por la estearina de palma ($C_{18}H_{36}O_2$), que sirve para producir grasas para la elaboración de margarinas y jabones.

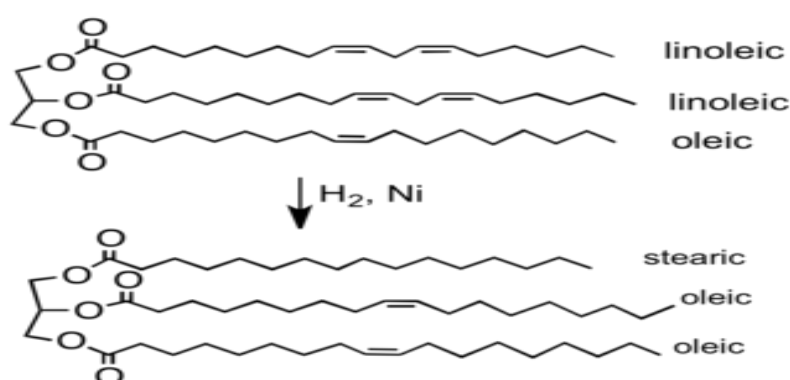


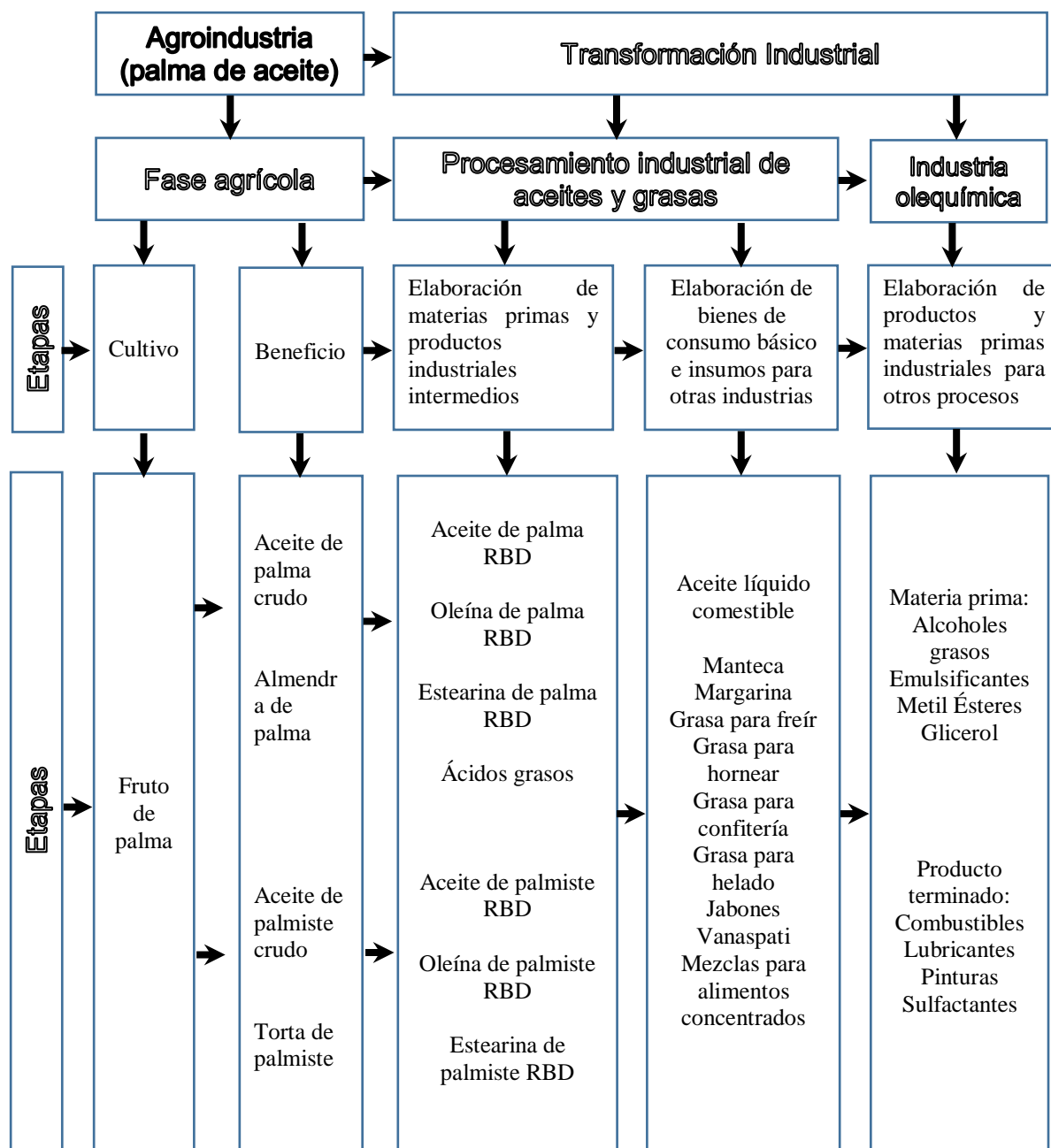
Figura 17. Estructura química de la margarina.

El sub producto en el proceso de extracción de aceite es la torta de palmiste, que se utiliza en la producción de concentrados o como suplemento para la alimentación animal. Aparte del fruto, las fibras de las hojas de la palma y los escobajos también se utilizan en la fabricación de láminas de aglomerado y contrachapado. De igual modo, la madera de los troncos viejos, luego de la renovación de las plantaciones, es útil en la fabricación de muebles.

Según las conclusiones del MINAG (2012), económicamente el cultivo de palma aceitera es muy rentable, ya que, la relación beneficio costo es

de 1,43 (RBC), con 22,38% (TIR) y S/. 45198 (VAN). La inversión se recupera en 9 años, puede ser en menor tiempo, si se obtiene una mayor productividad y mejora sustancial en los precios internacionales.

En la figura 18 se hace muestra un resumen genérico de las etapas y productos en la cadena productiva de la palma de aceite.



RBD. Refinado, blanqueado y desodorizado

Figura 18. Cadena productiva de la palma de aceite.

Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta extractora de crudo de palma de Industrias del Shanusi S.A, de propiedad de la empresa "Palmas del Shanusi S.A", que está ubicado en el caserío de Pampa Hermosa en el kilómetro 71,3 a la margen derecha de la carretera Fernando Belaúnde Terry tramo Tarapoto - Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, región Loreto; con una altitud de 147 m.s.n.m., con una humedad relativa de 70 - 80%.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1 Materia prima

El aceite crudo de palma (ACP) se obtuvo de la planta industrial Shanusi. S.A que se encuentra ubicado en la región amazónica peruana.

3.2.2 Reactivos

- Hexano C_6H_{14}

3.2.3 Equipos

- Estufas con control de temperatura, marca MEMMERT Modell 100-800.
- Centrifuga marca HETTICH, modelo 1004, cap. 18000U/min.

- Analizador de humedad PMB marca METTLER TOLEDO
- Balanza analítica, marca METTLER TOLEDO, modelo ML204, 0,1g-220 g.
- Balanza analítica, marca OHAUS, modelo AP210S, de 0,01g-3100 g de cap. (USA).
- Equipo de soxhlet, marca GERHARDT, modelo de 6 plazas

3.2.4 Materiales de vidrio

- Tubos de ensayo marca ORTOALRESA
- Vasos de precipitación marca PIREX, con capacidad de 50, 100, 150 y 500 mL.
- Fiolas con tapas esmeriladas marca FORTUNA, con capacidad de 10 y 1000 mL.
- Probetas marca BEOCO, cap. de 50 y 100 mL.
- Termómetro marca DYNAMIC, de 0 - 100 °C.
- Microtubos marca BIOSIGNA
- Puntas para micropipeta marca BEOCO
- Micropipetas marca BEOCO de 0,1 y 0,5 mL.
- Matraces de Erlenmeyer marca KINAX de 150 y 250 mL.
- Desecadores marca BRAUND

3.3. Métodos De Análisis

- Aceite en aguas lodosas por el método de CENIPALMA (2000).
- Humedad en aguas lodosas por el método de CENIPALMA (2000).

- Composición Volumétrica de los flujos del proceso de extracción de aceite por el método de CENIPALMA (2011).

3.4. Metodología

3.4.1. Caracterización del aceite crudo de palma

Se tomó una muestra representativa del agua y el lodo del tricanter, el mismo que luego se llevó al laboratorio para realizar los análisis de humedad y aceite en base seca del agua y el lodo a la salida del tricanter.

Por otra parte, las muestras de aceite crudo de palma a la salida del clarificador, se tomó cada dos horas durante el día, para realizar los análisis de composición del aceite en el laboratorio.

3.4.2. Determinación del porcentaje de aceite en el lodo a la salida del clarificador

Se utilizó la metodología, reportado por Cenipalma (2000). Cada 2 horas se tomó 50 mL de aceite a la salida del clarificador luego las muestras se homogenizaron y se llenaron en tubos de ensayo hasta la marca de 10 mL, seguidamente se llevaron a centrifugación a 4500 rpm/5 min, posteriormente se retiraron las muestras (tubos) de la centrífuga y se realizaron mediciones en el volumen tales como presencia de aceite, lodo ligero, agua y lodo pesado. El volumen utilizado en la centrifugación representó el 100% de muestra.

El porcentaje de composición volumétrica fue calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{Composicion volumetrica} = \frac{\text{Volumen de cada fase}}{\text{Volumen Total}} \times 100 \quad (1)$$

3.4.3. Determinación del porcentaje de aceite (base seca) en el flujo líquido y sólido a la salida del tricanter

Se utilizó la metodología reportado CENIPALMA (2011). Se tomó 10 g de muestra de agua lodosa y lodo a la salida del tricanter, se preparó un cartucho de papel filtro de tamaño adecuado para el equipo Soxhlet. Seguidamente se pesó un matraz limpio fondo plano de 250 mL y se agregó entre 150 a 200 mL de Hexano, seguidamente se conectó a la parte central del extractor y el matraz se puso en contacto con la plancha de calentamiento. Se encendió el equipo durante 3 a 4 horas, luego con la ayuda de una pinza se retiró cuidadosamente el cartucho del dedal de extracción, posteriormente se retiró el Hexano con la ayuda de una pipeta, hasta que quede el aceite en el balón de extracción; seguidamente, el matraz con la muestra de aceite se colocó en una estufa a 130 °C/1 hora hasta la total eliminación del solvente remanente. Luego el matraz se puso dentro de un desecador (por 1 hora) hasta el enfriamiento total y se pesó en una balanza analítica, registrando los resultados en el formato respectivo.

El porcentaje de aceite en base seca fue calculado de la siguiente manera:

$$\%BH = \frac{\text{Peso aceite extraído}}{\text{Peso muestra inicial}} \times 100 \quad (2)$$

$$\%BS = \frac{\text{Peso aceite extraído}}{\text{Peso muestra} - \text{humedad}} \times 100 \quad (3)$$

3.4.4. Determinación del contenido de agua en las aguas lodosas a la salida del tricanter

Para determinar la humedad del agua y del sólido a la salida del tricanter, se utilizó la metodología reportado por CENIPALMA (2000). Este método se basa en el calentamiento en una estufa de una muestra representativa de aceite (50 mL a 130 °C por 1 hora) y del barro (50 g a 150 °C por 4 horas), seguido por una medición gravimétrica de pérdida de peso el cual ocurre después de la evaporación del agua.

El porcentaje de humedad fue calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso de muestra inicial} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra inicial}} \times 100 \quad (4)$$

3.5. Modificaciones en el área de clarificación

Para incrementar el porcentaje de extracción de aceite crudo de palma el siguiente trabajo de investigación se dividió en dos sistemas:

3.5.1. Configuración del sistema original

En Industrias del Shanusi, el área de clarificado tiene una decantación estática del licor de prensa en dos etapas en serie; el aceite extraído de las prensas se diluye con agua industrial el cual tiene un factor de dilución de 1,4:1 (aceite/agua en licor diluido), que ingresa directo al tanque preclarificador y el lodo saliente de dicho tanque se envía al clarificador que tiene una temperatura de 90 °C - 95 °C, para la recuperación de aceite. El lodo del

clarificador es ingresado al tricanter con una composición de flujo de 100% de aceite recuperado (Figura 19).

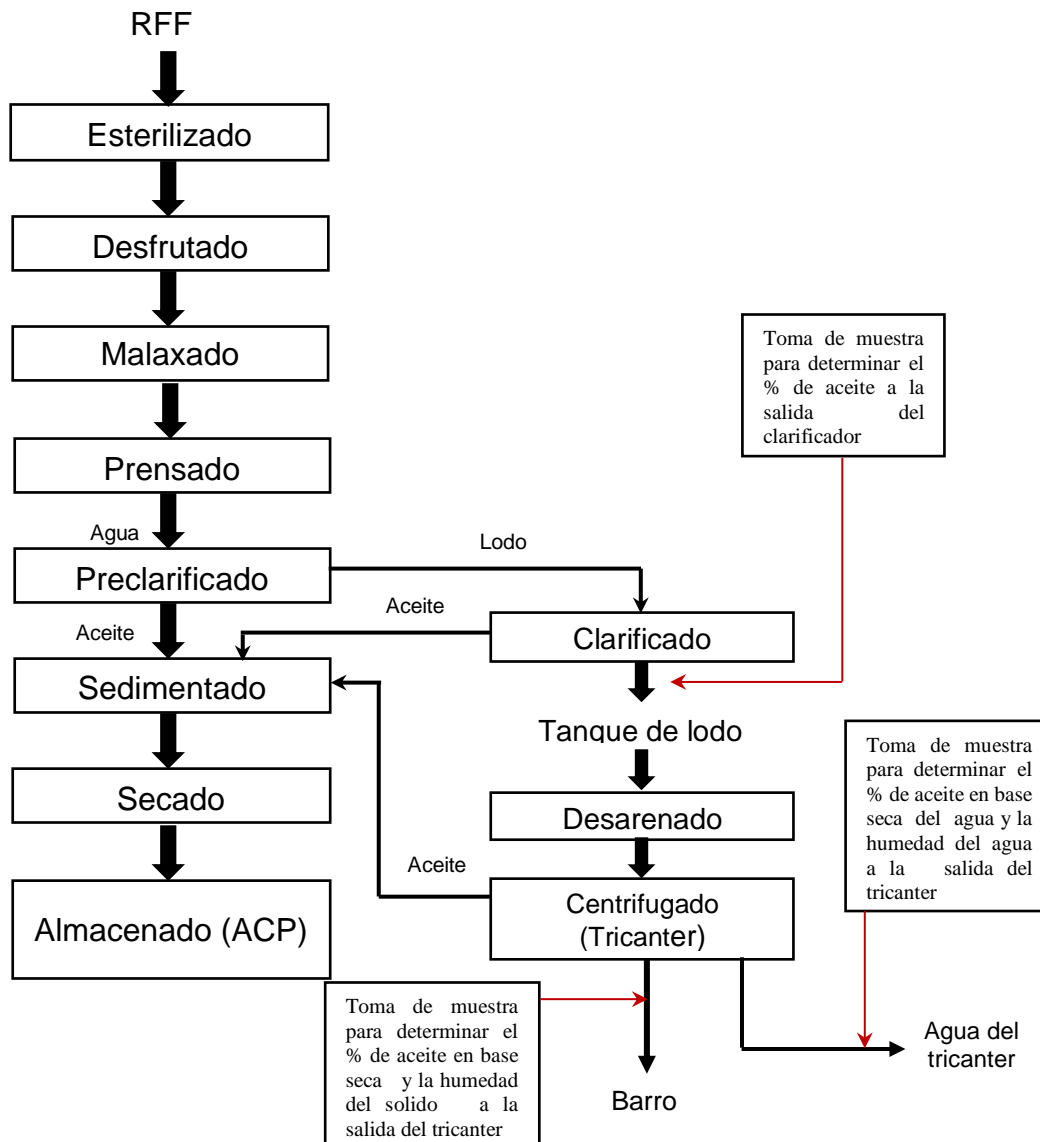


Figura 19. Diagrama de flujo para la extracción de aceite de palma en el sistema original.

3.5.2. Configuración del sistema modificado

Primera modificación: Consistió en utilizar el clarificador a temperatura entre 90 °C - 95 °C, como decantador único del licor de prensado, utilizando como diluyente agua industrial con un factor de dilución de 1,4/1, así mismo el lodo del clarificador que se envía al tricanter con una composición de flujo de 100% de aceite recuperado (Figura 20).

Segunda modificación: Se propuso la utilización del agua lodosa a la salida del tricanter como único diluyente de licor de prensado utilizando el mismo cambio de la primera modificación (Figura 20).

3.5.3. Composición de flujo en el tricanter

A la segunda modificación se evaluó las composiciones de los flujos de la fase ligera de salida del tricanter cual varió en 100%, 90%,75% de aceite recuperado respectivamente (Figura 20). El rendimiento de recuperación de aceite crudo de palma se determinó mediante la ecuación:

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Aceite de salida del tricanter}}{\text{Aceite de ingreso al tricanter}} * 100 \quad (5)$$

Cuadro 5. Rendimiento del flujo del tricanter antes y después de la modificación

	Flujo de ingreso (m ³ /h)	Aceite en el lodo al ingreso del tricanter (TM)	Aceite a la salida del tricanter a clarificación (TM)	Rendimiento del tricanter (%)
Antes de la modificación	10	1,4	0,64	46
Después de la modificación	10	0,8	0,70	86

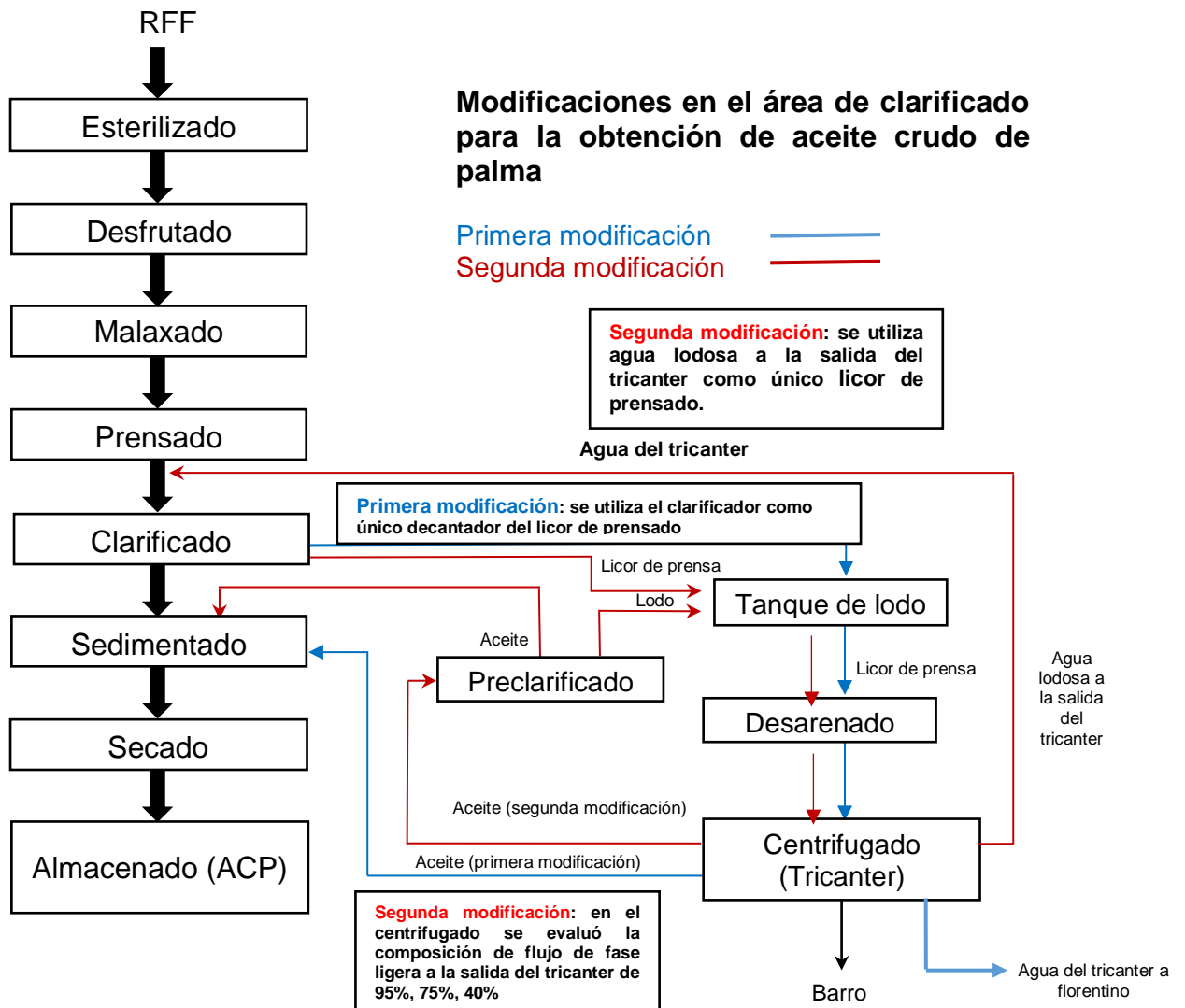


Figura 20. Diagrama de flujo para la extracción de aceite de palma en el sistema modificado.

3.6. Diseño experimental

3.6.1. Análisis de las tres configuraciones estudiadas en clarificación

y su efecto en:

- Contenido de aceite en lodos salida del clarificador, en % v/v.
- Contenido de aceite en agua salida tricanter, % aceite respecto al RFF (Racimo de Fruta Fresca).
- Contenido de aceite en sólidos salida tricanter, % aceite respecto al RFF.
- Contenido de aceite perdido en clarificación, % aceite respecto al RFF.

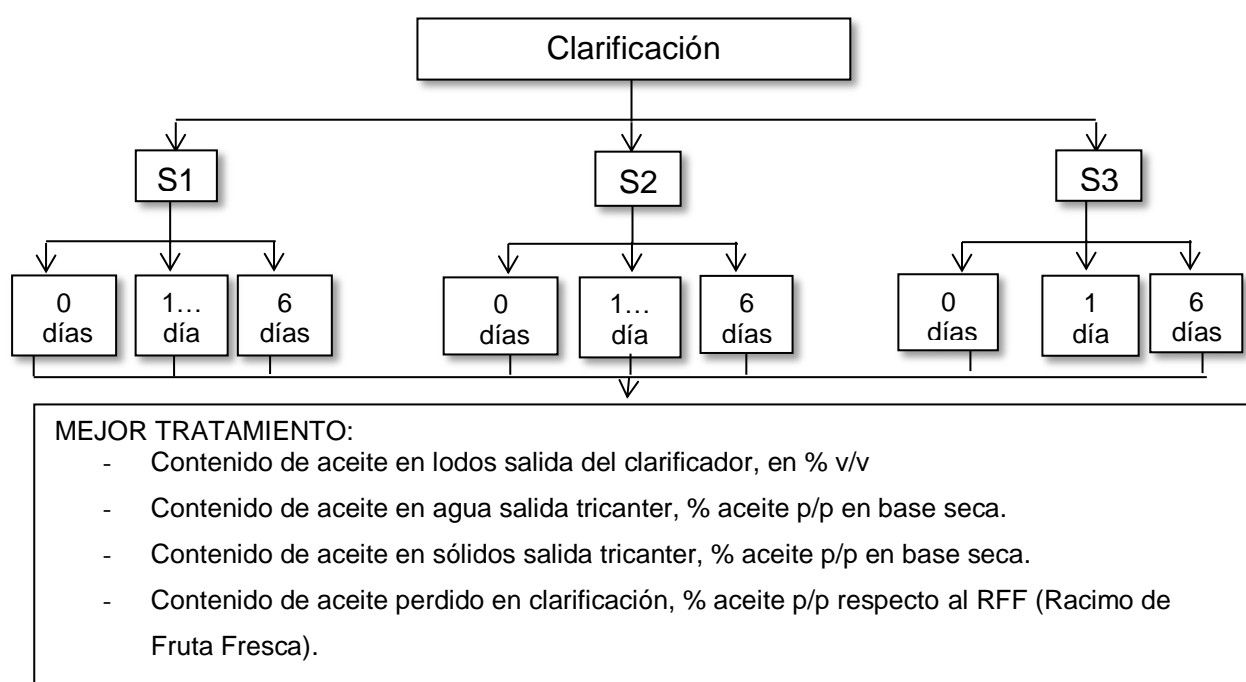


Figura 21. Diseño experimental para las pruebas del efecto del cambio de sistema de clarificado para el aceite crudo de palma: S1: sistema 1, S2: sistema 2, S3: sistema 3.

3.6.2. Efecto de la optimización en los caudales de descarga del tricanter

El estudio del efecto de la optimización de los caudales de salida del tricanter para el mejor tratamiento se hizo bajo el efecto del contenido de aceite en el lodo y agua. En la figura 22 se muestra el diseño experimental.

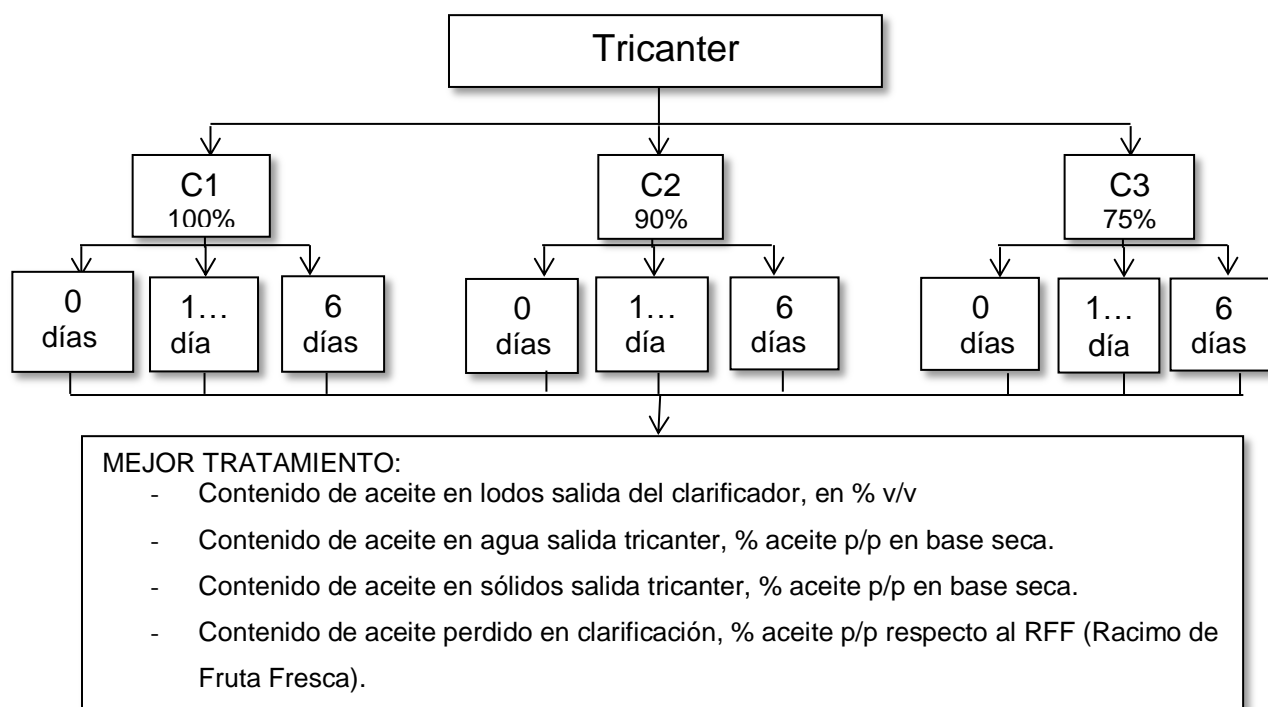


Figura 22. Diseño experimental para la evaluación de la optimización de los caudales salida del tricanter: C1, C2 y C3: Contenido de aceite en el caudal de fase superior salida del tricanter (línea aceite recuperado)

3.7. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se realizaron utilizando el software STATGRAPHICS PLUS 5.1.

3.7.1. Pruebas experimentales para la modificación de flujo en el tricanter

Se realizó mediante un Diseño Completo al Azar (DCA) con seis repeticiones, se utilizó la prueba Tukey $p > 0,05$. El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

T = Efecto del tratamiento i.

ϵ = Error aleatorio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Componentes del aceite crudo de palma durante el proceso de clarificación

El aceite crudo de palma, se obtiene de la pulpa de la fruta (*Elaeis guineensis*) y sus variedades, por proceso de extracción mecánica utilizando prensas. Se caracteriza por la relación 1:1 de ácido palmítico y ácido oleico, lo cual le da una alta estabilidad a la oxidación y no requiere de hidrogenación (proceso precursor de ácidos grasos trans). Además, tiene vitaminas A (carotenos) y vitaminas E (tocoferoles y tocotrienoles) que dan muchos beneficios para la salud.

Los resultados de los análisis del aceite a la salida del clarificador tomados cada dos horas, se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Componentes del aceite crudo de palma durante el proceso de clarificación.

Composición	Entrada al pre clarificador	Salida del pre clarificador	Lodo salida decantador	Lodo ingreso tricanter
Aceite	35%	15%	10%	10%
Lodo ligero	5%		10%	10%
Agua	35%		50%	50%
Lodo pesado	25%		30%	Restos

Como se puede observar, el flujo del fluido a la entrada al pre-clarificador, está compuesto por aceite, lodo ligero, agua y lodo pesado con 35%, 5%, 35% y 25% respectivamente. Del 100% del fluido ingresado al pre-clarificador, se obtiene 15% de aceite; tanto a la salida del decantador y del tricanter los porcentajes de aceite, lodo ligero, agua son 10%, 10% y 50%, en cuanto al lodo pesado comprendió 30% y restos; de acuerdo al cuadro 5, la clarificación es de vital importancia para el rendimiento en la obtención de aceite.

RAMACHANDRAN (2013), menciona que en la clarificación convencional del aceite de palma, se adiciona agua al licor vertido de las prensas de tornillo para bajar su viscosidad y ayudar la separación entre aceite y lodos, asimismo, el proceso de clarificación de aceite requiere de mejoras para optimizar tiempos y costos de operación y mejorar el rendimiento en la obtención de aceite.

4.2. Modificaciones experimentales en el sistema de clarificación de aceite crudo de palma

Las modificaciones experimentales en el sistema de decantación de aceite crudo de palma (ACP), se realizó durante el proceso de obtención del aceite, ya que se sabe que, durante el procesamiento en planta, el proceso “no debe detenerse”, porque implicaría pérdidas económicas. Las diferentes modificaciones, que también serían los tratamientos, se muestran en el cuadro 7.

Como lo mencionan ALFARO y ORTIZ (2006). El aceite virgen de palma derivado del prensado, ingresa con cantidades de impurezas de tipo

vegetal, arena y agua, que deben ser separados con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia, lo anterior se logra mediante el clarificado del licor por decantación y centrifugado.

Cuadro 7. Modificaciones experimentales en el sistema de decantación de aceite crudo de palma.

Tratamientos	Condiciones de trabajo del sistema de experimentos
T1	<p><u>Sistema original:</u> decantación estática del licor de prensa en dos etapas en serie (configuración en serie preclarificador-clarificador).</p> <p>Diluyente: agua industrial</p> <p>Composición del flujo fase ligera salida del tricanter: 100% aceite recuperado</p>
T2	<p><u>Primera modificación:</u> decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado).</p> <p>Diluyente: agua industrial</p> <p>Factor de dilución: 1,4/1: aceite/agua</p> <p>Temperaturas en la decantación estática y dinámica: de 90 °C - 95 °C</p> <p>Composición del flujo fase ligera salida del tricanter: 100% aceite recuperado</p>
T3	<p><u>Segunda modificación:</u> decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado).</p> <p>Diluyente: agua lodosa salida tricanter</p> <p>Factor de dilución: 1,4/1: aceite/agua lodosa (tricanter)</p> <p>Temperaturas en la decantación estática y dinámica: de 90 °C - 95 °C</p> <p>Composición del flujo fase ligera salida del tricanter: 100% aceite recuperado</p>
T3a	<p>Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado).</p> <p>Diluyente: agua lodosa salida tricanter</p> <p>Factor de dilución: 1,4/1: aceite/ agua lodosa (tricanter)</p> <p>Temperaturas en la decantación estática y dinámica: de 90 °C - 95 °C</p>

T3b	<p>Composición flujo fase ligera salida del tricanter: % aceite de 90% - 95%</p> <p>Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado).</p> <p>Diluyente: agua lodosa salida tricanter</p> <p>Factor de dilución: 1,4/1: aceite/ agua lodosa (tricanter)</p> <p>Temperaturas en la decantación estática y dinámica: de 90 °C - 95 °C</p>
T3c	<p>Composición flujo fase ligera salida del tricanter: % aceite de 65% - 75%</p> <p>Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado)</p> <p>Diluyente: agua lodosa salida tricanter</p> <p>Factor de dilución: 1,4/1 : aceite/ agua lodosa (tricanter)</p> <p>Temperaturas en la decantación estática y dinámica: de 90 °C - 95 °C</p> <p>Composición flujo fase ligera salida del tricanter: % aceite de 40% - 60%</p> <p>Factor de dilución: 1,4/1 : aceite/ agua lodosa (tricanter)</p>

Debido que el aceite de palma es muy viscoso, es inevitable adicionar suficiente agua de dilución para lograr una buena separación del aceite y los lodos. Para lograr un rápido decantado y obtener aceite en volumen del 35 a 40 %, es necesario adicionar agua a 90 °C. Los lodos de la clarificación son depositados en un tanque para luego enviarlos a las centrifugas con la finalidad de recuperar el aceite contenidos en ellos, este lodo centrifugado es trasladado a los florentinos donde se trata de recuperar el aceite residual, y luego se envía a las lagunas de tratamiento ALFARO y ORTIZ (2006). En el sistema de modificación de experimentos, se hizo algunas modificaciones al sistema de decantación de aceite crudo de palma, en algunos casos se varió el diluyente (ver cuadro 7).

4.3. Resultados de la modificación en el área de clarificación

4.3.1. Determinación del porcentaje de aceite en el lodo a la salida del clarificador

Como se puede observar, en la figura 23, el porcentaje de aceite a la salida del clarificador, el T1 muestra diferencia estadística ($p < 0,05$) con respecto a los tratamientos posteriores que van desde el T2 hasta el T3c, ello evidencia que el sistema de decantación en dos etapas que consta de preclarificador y clarificador, utilizando agua industrial como diluyente se obtiene una recuperación de aceite del 100%, con un promedio de salida de aceite del clarificador equivalente al 13,86% (cuadro 8).

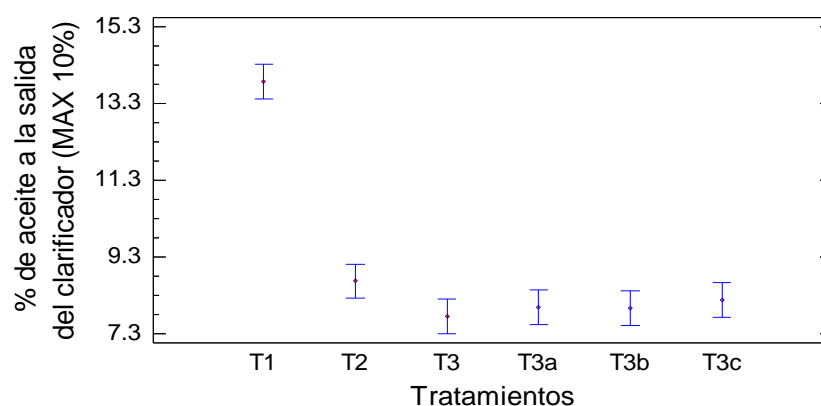


Figura 23. Porcentaje de aceite a la salida del clarificador (máx. 10%, según el estándar interno de calidad).

Sin embargo, entre el T2 y T3, los resultados de la prueba de rangos múltiples (cuadro 8) muestran que existe diferencia estadística ($p < 0,05$), entre los tratamientos T3a, T3b y T3c no existe diferencia estadística significativa ($p > 0,05$) y con un rango de salida de aceite que va desde 7,96 hasta 8,17 %, los valores encontrados en el sistema modificado es inferior a lo reportado por **CASTELLANOS (2012)** menciona que el porcentaje de aceite en la corriente de

lodos a la salida del separador primario fue de 9,92%, debido a que, a mayor capacidad del equipo, mayor será tiempo de residencia y por consiguiente mayor será la recuperación de aceite.

Cuadro 8. Prueba de rangos múltiples para % aceite de salida al 10% máximo por tratamientos.

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3	6	7,75	a
T3b	6	7,96	bc
T3a	6	7,99	bc
T3c	6	8,17	bc
T2	6	8,67	b
T1	6	13,87	c

4.3.2. Determinación del porcentaje de aceite (base seca) en el fluido

líquido a la salida del tricanter

Los resultados de los análisis de la composición del aceite a la salida del tricanter tomados cada dos horas, se muestran en la figura 24.

Como se puede observar, existe diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los diferentes tratamientos, asimismo, se observa tres grupos homogéneos (cuadro 9), el primer grupo conformado por T1, T2 y T3 ($p > 0,05$), el segundo grupo conformado por T3a y el tercer grupo conformado por T3b y T3c ($p > 0,05$). En el primer grupo homogéneo, el sistema de decantación estática en dos series (T1) y la decantación estática el cual usa el clarificador como decantador único del licor de prensado (T2 y T3) se obtuvieron de 24,16% hasta 23,62% de aceite ($p > 0,05$), al igual que T3a (21,26%) los cuales fueron superior al 20% máximo.

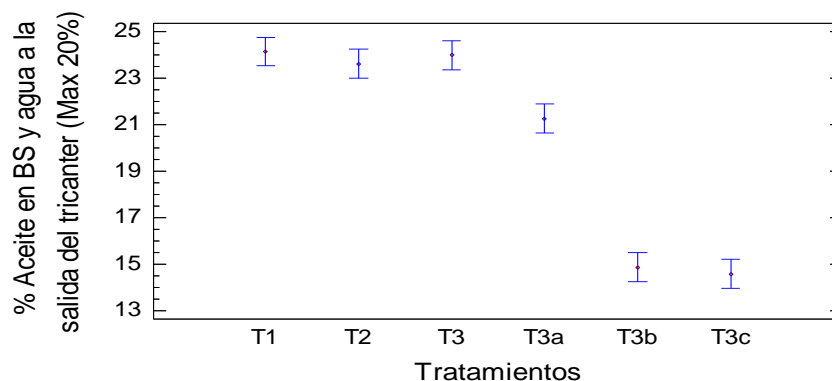


Figura 24. Porcentaje de aceite en base seca en el fluido líquido a la salida del Tricanter (máx. 20%, según el estándar interno de calidad).

Mientras que los tratamientos T3b y T3c (cuadro 9) obtuvieron 14,86% y 14,58% que son porcentajes por debajo del límite máximo (20%). De los tratamientos realizados, el tercer grupo (T3b y T3c) ofreció mejor resultado. Según **FERNANDEZ et al. (2016)** en la clarificación estática se determina la pérdida de aceite que se da en la corriente de efluentes a la salida del proceso. **BALBOA (2015)** menciona que durante el proceso de clarificación existen pérdidas de aceite en la fase líquida salida del clarificador.

Cuadro 9. Pruebas de rangos múltiples para porcentaje de aceite en base seca en el fluido líquido a la salida del tricanter (máx. 20%).

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3c	6	14,58	a
T3b	6	14,86	a
T3a	6	21,26	b
T2	6	23,62	c
T3	6	23,99	c
T1	6	24,16	c

4.3.3. Determinación del porcentaje de aceite (base seca) en el sólido a la salida tricanter (Máximo 17%)

Luego de las modificaciones realizadas, se observa (figura 25) que existe diferencias entre los tratamientos ($p < 0,05$), los dos grupos homogéneos (cuadro 10) están conformados por T1, T2, y T3 (primer grupo) y T3a, T3b, y T3c (segundo grupo). En el primer grupo homogéneo no hubo diferencia ($p > 0,05$) y se obtuvo de 14,46% a 15,67 % de aceite en base seca y sólidos a la salida del Tricanter.

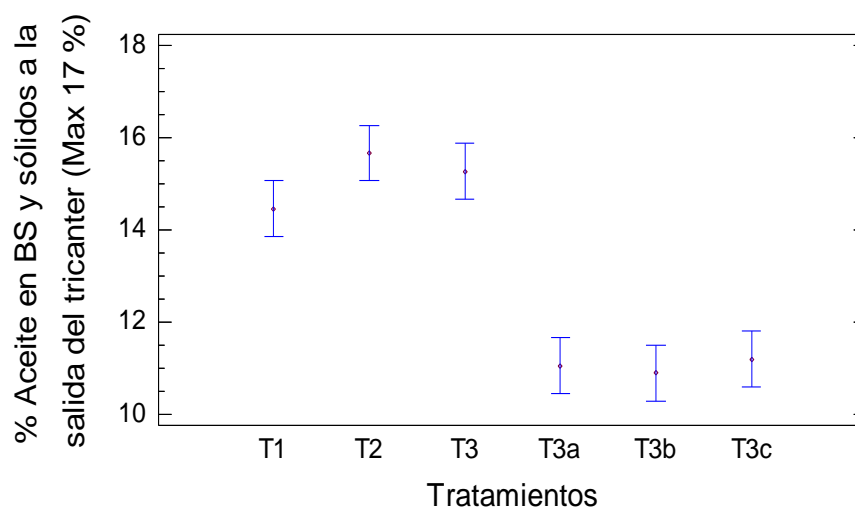


Figura 25. Porcentaje de aceite en base seca en el sólido a la salida del Tricanter (Max 17%, según el estándar interno de calidad).

Sin embargo, en el segundo grupo homogéneo ($p > 0,05$) se obtuvieron 10,90% a 11,19% de aceite en base seca y sólidos a la salida del tricanter, estos porcentajes, estarían por debajo del límite máximo de 17%. El resultado encontrado es inferior a lo reportado por **CASTELLANOS (2012)** el comportamiento del porcentaje de pérdidas de aceite en las corrientes de las

aguas lodosas de las centrifugas expresadas en unidades de base seca sin aceite obtuvieron un valor promedio de 12,268%.

Cuadro 10. Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de aceite en base seca en el sólido a la salida del tricanter (máx. 17%).

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3b	6	10,90	a
T3a	6	11,05	a
T3c	6	11,19	a
T1	6	14,46	b
T3	6	15,27	b
T2	6	15,67	b

4.3.4. Determinación del porcentaje de aceite p/p perdido en la clarificación respecto al RFF (máximo 0,44%)

Referente a la determinación del porcentaje de aceite perdido en la clarificación, en la figura 26, se muestra el comportamiento de los diferentes tratamientos los cuales muestran diferencias significativas ($p < 0,05$), se puede evidenciar que entre los tratamientos T3b y T3c no hubo diferencia ($p > 0,05$).

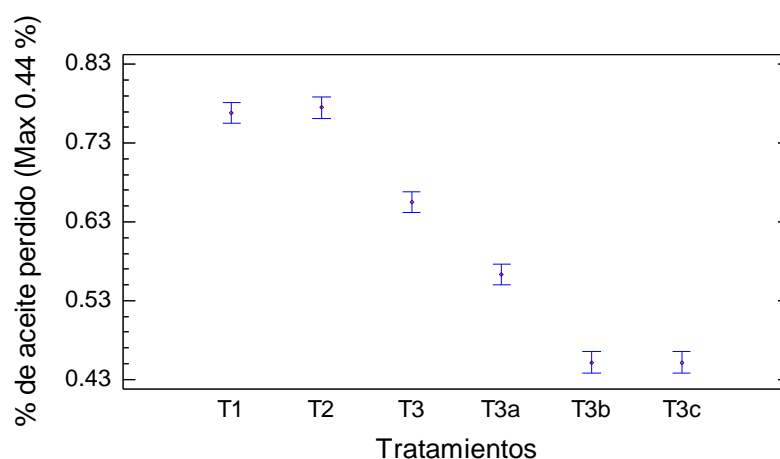


Figura 26. Porcentaje de aceite perdido (ideal máximo de 0,44%).

La media de aceite perdido en la clarificación, con respecto a los tratamientos T3b y T3c (Cuadro 11), fue 0,45% ($p > 0,05$).

Cuadro 11. Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de aceite perdido (máx. de 0,44%).

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T3c	6	0,45	a
T3b	6	0,45	a
T3a	6	0,56	b
T3	6	0,66	c
T1	6	0,77	d
T2	6	0,78	d

Los resultados, muestran una mejora significativa de 0,77% (T1) hasta 0,45% (T3b o T3c) esto es equivalente a 58,44% en la reducción de aceite perdido durante el proceso de clarificación, concordando con **FERNADEZ et al. (2016)** los resultados obtenidos en las pérdidas de aceite en la etapa de clarificación disminuyeron notablemente de 0,65% Ac/tRFF con clarificación estática a 0,45% Ac/tRFF con clarificación dinámica, concluyendo que con clarificación dinámica se recupera más aceite.

4.3.5. Rendimiento económico en la recuperación de aceite rudo de palma

Como se puede observar, en los cuadros 12 y 13 se muestra el registro anual de producción estimada de aceite crudo de palma en la empresa Shanusi antes de la modificación del sistema de decantación de aceite y el registro anual de producción estimada de aceite crudo de palma en la empresa Shanusi después de la modificación del sistema de decantación de aceite. Luego de realizar las modificaciones en el flujo de decantación de aceite, se obtuvieron

rendimientos en la recuperación de aceite, el cual tuvo un rendimiento muy importante desde el punto de vista económico. Cuando mayor es la recuperación menor son las pérdidas de aceite y ayuda a incrementar la tasa de extracción de aceite crudo de palma en el proceso, adicionando ingresos económicos, específicamente en la etapa de clarificación (**CUESTA y BARRAZA, 2013**).

Cuadro 12. Registro anual de producción estimada de aceite crudo de palma en la empresa Shanusi antes de la modificación del sistema de decantación de aceite.

ACTIVIDADES	Años																	
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RFF PROCESADO ^{TM/Hora}	17	20	31	37	43	46	48	48	47	46	46	46	46	45	46	45	45	45
Mes (*)	9138	11267	16987	20564	23771	25461	26134	26152	25969	25536	25254	25294	25174	24939	25079	24684	24684	24684
Año	109654	135206	203840	246773	285250	305536	313605	313827	311628	306430	303053	303527	302091	299270	300951	296203	296203	296203
PÉRDIDA ACP DEBIDO A LA																		
CLARIFICACIÓN SIN	84434	104109	156957	190015	219643	235263	241476	241647	239954	235951	233351	233716	232610	230438	231732	228076	228076	228076
MODIFICACIÓN ^{TM/anual}																		

(*) Extracción Máxima 25 días/mes 22 horas/día. TM: Tonelada métrica. ACP: Aceite crudo de palma

Como se puede observar los datos del cuadro 12, el registro de producción estimada de aceite crudo de palma (ACP) desde el 2013 hasta el 2030 va en incremento, por ejemplo, en el 2013 la producción estimada de ACP fue 109654 TM y la pérdida de fue 84434 TM de ACP. Para el 2017 se tiene una producción estimada de ACP de 285250 TM y una pérdida de 219643 TM; y para el 2030 se estima una producción de 296203 TM y una pérdida de 228076 TM, todas las pérdidas a lo largo de los años conllevarían a pérdidas económicas para la empresa.

Cuadro 13. Registro anual de producción estimada de aceite crudo de palma en la empresa Shanusi después de la modificación del sistema de decantación de aceite.

ACTIVIDADES	Años																	
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RFF PROCESADO TM/Hora	17	20	31	37	43	46	48	48	47	46	46	46	46	45	46	45	45	45
Mes (*)	9138	11267	16987	20564	23771	25461	26134	26152	25969	25536	25254	25294	25174	24939	25079	24684	24684	24684
Año	109654	135206	203840	246773	285250	305536	313605	313827	311628	306430	303053	303527	302091	299270	300951	296203	296203	296203
PERDIDA ACP DEBIDO A LA CLARIFICACION MODIFICADO TM/año	49344	60843	91728	111048	128363	137491	141122	141222	140233	137894	136374	136587	135941	134672	135428	133291	133291	133291
ACP RECUPERADO CON LA MODIFICACION TM/año	351	433	652	790	913	978	1,004	1,004	997	981	970	971	967	958	963	948	948	948
COSTO EN S/.	701786	865318	1304576	1579347	1825600	1955430	2007072	2008493	1994419	1961152	1939539	1942573	1933382	1915328	1926086	1895699	1895699	1895699
COSTO EN \$/.	200510	247234	372736	451242	521600	558694	573449	573855	569834	560329	554154	555021	552395	547237	550310	541628	541628	541628

Luego de la modificación en el sistema de decantación, se observa que la recuperación en el 2016 fue de 790 TM de ACP/año lo que equivale a S/. 1579347.00 este monto se traduciría como “ganancia” ya que anteriormente se consideraba como pérdida y para el 2017 representaría una ganancia de S/. 1825600.00 y hasta el 2030 la ganancia estimada sería de S/. 1895699.00.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que el tratamiento 1 (sistema original) no cumple con los parámetros óptimos definidos por las extractoras al porcentaje de aceite en lodo a la salida del clarificador (13,87%), porcentaje de aceite (base seca) en el fluido de salida del tricanter (24,16%) y porcentaje de aceite perdido en clarificación respecto al RFF (0,78%).
- El mejor tratamiento en el sistema de clarificación fue el T3b (sistema modificado), reduciendo el contenido de aceite: En lodo de la salida del clarificador de un 13,87% a 7,96%, en el flujo de salida del tricanter de 24,16% a 14,86% y aceite perdido en la operación de clarificación de 0,77% a 0,45% respecto RRF. Obteniendo una recuperación del 58,45% del aceite perdido en el sistema de clarificación. Alcanzando una recuperación de 790 TM/año de aceite crudo de palma equivalente a una ganancia de S/.1579347 durante el año 2016.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar un control estadístico de todo el proceso de obtención de aceite.
- Realizar ajustes en los parámetros de recuperación de aceite y automatización de las etapas modificadas, para seguir mejorando el rendimiento en la recuperación de aceite crudo de palma.

ABSTRACT

During the process for obtaining raw palm oil (ACP – acronym in Spanish) from the bunches of fresh palm fruit (RFF – acronym in Spanish), operations occur: sterilization, fruit removal, kneading, pressing, clarification, sedimentation, drying and storage; within these, the operation of the clarification process has the following steps: static decantation, dynamic decantation. In the stages of the static and dynamic decantation the system configuration was modified to where the decantation was in two stages (pre clarification and clarification) and used industrial water for the dilution of pressed liquor, the composition of the flow in the light phase as it came out of the tricanter was 100% recovered oil, in the modified system, the clarifier was used as the only decanter and the industrial water from a pressed liquor dilution with a similar flow of miry water at the output of the tricanter, the composition of the flow during the light phase at the output of the tricanter changed by 95%, 75% and 40%. This modification was done looking to increase the ACP recuperation efficiencies during these stages. The research took place at the company, Industrias Shanusi-Loreto. For the results, an increase in the oil recovery by 3.2 kg of ACP/TM RFF processed was achieved. In 2016, 246,773 TM of RFF was processed, obtaining 59,225 TM of ACP/year and with the modifications an increase in the production of ACP by 790 TM/year was achieved, which is equal to an additional profit of S/. 1,579,347.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, M., Y ORTIZ, E. 2006. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACEITE DE PALMA 2006. [En línea]: Ministerio de agricultura, (<http://www.galeon.com/subproductospalma/proceso1.pdf>, documento, monografía. 20 Jun 2017).
- ALVARADO, M. 2010. Evaluación del Proceso de Clarificación en la Planta de Palmagro S.A. Tesis Esp. Cultivos Perennes Industriales. Valledupar, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 54 p.
- BALBOA, N. 2015. Determinación de pérdidas de aceite del proceso de prensado en la extracción de aceite en ALCOPALMA S.A. Tesis Ing. Químico. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 89 p.
- BRUINSMA, B. 2009. Producción de biodiesel de palma aceitera y jatropha en la Amazona del Perú y el impacto para la sostenibilidad. AGRITERRA Y CONVEAGRO. Perú. 91 p.
- CASTELLANOS, N. 2012. Estudio de la operación de un separador estático horizontal de aceite crudo de palma orientado a mejorar el manejo de sus purgas. Tesis Ing. Producción Agroindustrial. Santafé de Bogotá, Colombia. Universidad de la Sabana. 103 p.

- CENIPALMA. 2000. Manual de laboratorio plantas de beneficio primario para fruto de palma de aceite. Bogotá, Colombia. 117 p.
- CENIPALMA. 2011. Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio. Bogotá, Colombia. 117 p.
- CENIPALMA. 2013. Guía sobre el aceite de palma y sus aplicaciones. Bogotá, Colombia. 68 p.
- CENIPALMA. 2015. Salud & Nutrición. Usos y beneficios del aceite de palma. Bogotá, Colombia. Boletín Informativo trimestral N° 11. 12 p.
- CORTES, S. 2009. Manual técnico de palma africana.[En línea]: TechnoServe, (<http://palma.webcindario.com/manualpalma.pdf>, documento, 10 May. 2017).
- CUESTA, G., BARRAZA, F. 2013. Recuperación del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensa mediante la aplicación de vibraciones mecánicas, Rev. Prospect, Colombia. 11(2):53-60.
- DAMMERT, J. 2014. Cambio de uso de suelos por agricultura a gran escala en la amazonia andina: El caso de la palma aceitera.1ed. Lima, Peru, NEGRAPATA SAC. 74 p.
- DONGO, J. 2014. Proceso de extracción, purificación y refinación del aceite crudo de palma aceitera y obtención de productos derivados. Tesina Ing. Industrial. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.107 p.
- EUROPEAN PALM OIL ALLIANZE. 2016. Historia del aceite de palma datos y cifras. [En línea]: EPOA, (<https://www.palmoilandfood.edu> > downloads, documento,16 Nov.2016).

- FERNANDEZ, C., GARCIA, H., RAMIREZ, N., GARCIA, J. 2016. Impacto de la clarificación dinámica sobre el proceso de extracción y recuperación de aceite de palma crudo (estudio de caso). *Rev. Palmas, Colombia*. 37(3): 47-64.
- FORERO D.; HORMAZA, P.; ROMERO, H. 2012. Phenological growth stages of African oil palm (*Elaeis guineensis*). *Annals of Applied Biology* 160. (1): 56–65.
- HOFFMANN, M., CASTANEDA, A., VAN, M., GILLER, K., OBERTHÜR, T., DONOUGH, C., WHITBREAD, A. 2014. Simulating potential growth and yield of oil palm (*Elaeis guineensis*) with PALMSIM: Model description, evaluation and application. *Agricultural Systems*. 131: 1–10.
- INDUAGRO. 2014. Proceso productivo. [En línea]: Aceites de palma, (<http://www.induagro.com.mx/HOMEAP/ProcProductAP/ProcProductAP.html> ,documento, Boletín, 12 Dic. 2016).
- LAL, V. 1992. Aceite crudo de palma. Requisitos de calidad para obtener buenos productos refinados. *Revista Palmas*. Bogotá, Colombia. 13(3): 69-77.
- LA REPÚBLICA. 2015. Palma aceitera: el cultivo alternativo en Ucayali. [En línea]: (<http://larepublica.pe/17-01-2015/palma-aceitera-el-cultivo-alternativo-en-ucayali>, 15 Nov. 2016).
- LOPERA, C. 2011. Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis*). Informe final de investigación aplicada. Msc Ing. Infraestructura y Sistemas de Transporte. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 102 p.

- MINAG. 2012. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva. Dirección de Información Agraria. Lima, Perú. 32 p.
- MINAG. 2016. Plan nacional de desarrollo sostenible de la palma aceitera en el Perú (2016-2025). Dirección de Información Agraria. Lima, Perú. 92 p.
- MORTENSEN, A. 2005. Analysis of a complex mixture of carotenes from oil palm (*Elaeis guineensis*) fruit extract. Food Research International. 38 (8-9): 847–853.
- NIETO, D., YÁÑEZ, E., GARCÍA, J. 2011. Preclarificador de Aceite crudo de palma, diseño y operación. Cenipalma. Bogotá (Colombia). Boletín Técnico N° 29. 55 p.
- NUÑEZ, L y RAMIREZ, O. 2004. Aplicación y evaluación de los efectos de campos magnéticos en el rendimiento de la extracción de aceite crudo de palma. Tesis Ing. Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 15 p.
- OWOYELE, B., OWOLABI, G. 2014. Traditional oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) and its medicinal uses: A review. *TANGHUMANITAS MEDICINE* .4(3): 1-5.
- PALMAS. 2011. Producción Nacional de Palma Aceitera 2011. [En línea]: Palmas, (<http://www.palmas.com.pe/palmas/produccion-nacional-de-palma-aceitera-2011>, 15 Ene 2017).
- PALMAS. 2012. Palma aceitera cultivo y agroindustria. Oportunidad para el desarrollo ordenado de la Amazonía. Pucallpa (Perú): Ago.1:39.
- PRECIADO, W., Y ARROYO, C. 2007. Aprovechamiento de subproductos de la industria extractora de aceite de palma africana para la obtención de un

- alimento balanceado para animales. Tesis Ing. químico. Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 221 p.
- RAMACHANDRAN, B. 2013. Clarificación del aceite de palma mediante evaporación. *Rev. Palmas, Colombia*. 34(2): 26-35.
- RINCÓN, S., MARTINEZ, D. 2009. Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Rev. Pal, Colombia*. 30(2): 11-24.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Palma de aceite. Monografía de cultivos. Mexico. 19 p.
- STEIGER, W., RACKERSEDER, K. 2007. La centrifuga tipo decanter aplicada en la clarificación directa del aceite de palma. *Rev. Pal, Colombia*. 28(2): 138–142.
- SUNDRAM, K., SAMBANTHAMURTHI, R.; TAN, Y-A. 2003. Palm fruit chemistry and nutrition. *Asia Pac J Clin Nutr*. 12(3): 355-362.
- SUBRAMANIAM, V. 2013. Nueva tecnología para la recuperación de aceite de la fibra de prensa. *Rev. Palmas, Colombia*. 34: 19-25.
- SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. 2016. Agroindustria de la palma africana: diagnóstico de libre competencia. [En línea]: SIC, (http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/Palma.pdf , 10 Oct. 2016).
- TEIXEIRA, C., MACEDO, G., MACEDO, J., DA SILVA, L., RODRIGUES, A. 2013. Simultaneous extraction of oil and antioxidant compounds from oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by an aqueous enzymatic process. *Bioresource Technology* 129: 575–581.

- URIBE, G. 2011. Análisis teórico-práctico del proceso de extracción de aceite crudo de palma en la planta de beneficio de Palmas del Cesar S.A., ubicada en el corregimiento de Minas, sur del Cesar. Tesis Ing. Químico. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. 73 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2015. Oilseeds: World Markets and Trade. [En línea]:
(<http://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>, Documento. 15 Sep. 2015).
- ZAPATA, C., MARTÍNEZ, I., CASTIBLANCO, E., HENAO, C. 2007. Producción de biodiesel a partir de aceite crudo de palma: 1 diseño y simulación de dos procesos continuos. Rev.DYNA ,Colombia. 74(151): 71-82.

ANEXO

Anexo 1. Clarificación de aceite (Sistema convencional)

La decantación del licor de prensa se realiza por decantación estática en dos etapas en serie; el aceite extraído de las prensas se diluye con agua industrial el cual tiene un factor de dilución de 1,4:1 (aceite/agua en licor diluido), que ingresa directo al tanque preclarificador y el lodo saliente de dicho tanque se envía al clarificador que tiene una temperatura de 90 °C - 95 °C, para la recuperación de aceite. El lodo del clarificador es ingresado al tricanter con una composición de flujo de 100% de aceite recuperado.

Análisis de varianza (ANOVA) para el porcentaje de aceite a la salida del clarificador (Max 10%).

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	168,694	5	33,7388	57,46	0,0000
Intra grupos	17,6136	30	0,58712		
Total (Corr.)	186,308	35			

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia en el porcentaje de aceite utilizando decantación estática.

Hipótesis alternativa (H_a): Sí existe diferencia en el porcentaje de aceite utilizando decantación estática.

Conclusión

- Como P-value=0,0000 es menor que $\alpha = 0,05$, sí influyen los tratamientos para la salida del aceite del clarificador utilizando decantación estática.

Anexo 2. Primera modificación

Consistió en utilizar el clarificador a temperatura entre 90 °C - 95 °C, como decantador único del licor de prensado, utilizando como diluyente agua industrial con un factor de dilución de 1,4/1 ,así mismo el lodo del clarificador que se envía al tricanter con una composición de flujo de 100% de aceite recuperado.

Análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de aceite en base seca en el agua y sólido a la salida del tricanter.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	616,135	5	123,227	112,32	0,0000
Intra grupos	32,9131	30	1,0971		
Total (Corr.)	649,048	35			

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia en el uso del clarificador entre 90 - 95 °C como decantador único del licor prensado.

Hipótesis alternativa (H_a); Sí existe diferencia en el uso del clarificador entre 90-95 °C como decantador único del licor prensado.

Conclusión

- Como P-value=0,0000 es menor que $\alpha = 0,05$, sí influye el uso del clarificador entre 90 - 95 °C como decantador único del licor prensado.

Anexo 3. Segunda modificación: Se propuso la utilización del agua lodosa a la salida del tricanter como único diluyente de licor de prensado utilizando el mismo cambio de la primera modificación.

Análisis de varianza (ANOVA) para la determinación del porcentaje de aceite en base seca y sólidos a la salida tricanter (MAX 17%).

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	155,135	5	31,027	29,37	0,0000
Intra grupos	31,6922	30	1,05641		
Total (Corr.)	186,827	35			

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia en la utilización de agua lodosa como diluyente del licor prensado.

Hipótesis alternativa (H_a); Sí existe diferencia en la utilización de agua lodosa como diluyente del licor prensado.

Conclusión

- Como P-value=0,0000 es menor que $\alpha = 0,05$, sí influye el agua lodosa en el porcentaje de aceite a la salida del tricanter.

Anexo 4. Tercera modificación: Se propuso la utilización del agua lodosa a la salida del tricanter como único diluyente de licor de prensado utilizando el mismo cambio de la primera modificación.

Análisis de varianza (ANOVA) para la determinación del porcentaje de aceite p/p perdido en la clarificación respecto al RFF (MAX 0,44%).

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,639792	5	0,127958	247,93	0,0000
Intra grupos	0,0154833	30	0,000516111		
Total (Corr.)	0,655275	35			

Hipótesis

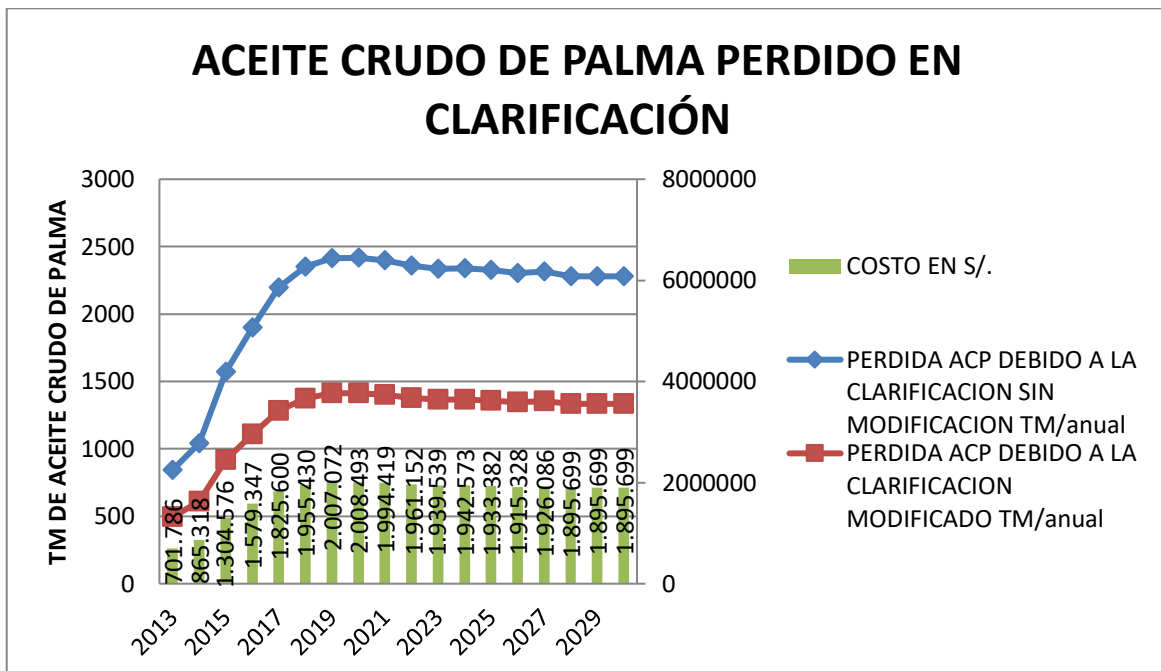
Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia en la utilización de agua lodosa a la salida del tricanter como único diluyente.

Hipótesis alternativa (H_a); Sí existe diferencia en la utilización de agua lodosa a la salida del tricanter como único diluyente.

Conclusión

- Como P-value=0,0000 es menor que $\alpha = 0,05$, sí influye el agua lodosa como único diluyente en el porcentaje de aceite a la salida del tricanter.

Anexo 5. Costo en soles de la perdida de aceite sin la modificación y con la modificación en el sistema de clarificado.



Anexo 6. Demanda interna aparente de aceite de palma (TM) en Perú.

Años	Producción nacional de aceite de palma	Importación de aceite de palma	Exportación de aceite de palma	Demanda interna aparente
2000	24500	828	8297	17031
2001	30800	21	-	30821
2002	23800	16048	-	39848
2003	27000	21663	4	48659
2004	28000	21101	-	49101
2005	29000	21639	223	50416
2006	32000	10397	300	42097
2007	34000	24038	745	57293
2008	59000	37254	354	95900
2009	65000	34480	40	99440
2010	70000	31047	28	101019
2011	87000	37873	-	124873
2012	129535	25082	-	154617
2013	141646	34951	19704	156893
2014	154434	54641	59284	149791
2015	170819	54789	22594	203014

Fuente: DGESEP-MINAGRI

Anexo 7. Sistema original. Decantación estática del licor de prensa en dos etapas en serie (configuración en serie preclarificador-clarificador). Diluyente agua industrial. Composición del flujo fase ligera salida del tricanter: 100% aceite recuperado.

Día de Evaluación	Hora	% Aceite salida del clarificador (MAX 10%)	% Humedad agua salida tricanter	% Aceite BS agua salida tricanter	%Humedad sólidos salida tricanter	% Aceite BS sólidos salida tricanter	Cantidad de RFF procesado	Cantidad de agua salida tricanter evacuada	Cantidad de sólidos salida tricanter	% aceite p/p perdido en clarificación respecto al RFF
12/01/2015	8:00	12,43%								
	Final del día	13,23%	94,39%	22,02%	56,55%	14,26%	57750 TM/Día	233,08 TM/Día	20,79 TM/Día	0,72%
13/01/2015	8:00	14,41%								
	Final del día	13,65%	93,98%	25,01%	59,38%	15,75%	62150 TM/Día	238,41 TM/Día	23,00 TM/Día	0,81%
14/01/2015	8:00	15,97%								
	Final del día	14,19%	94,71%	24,08%	53,82%	13,92%	64400 TM/Día	257,60 TM/Día	25,12 TM/Día	0,76%
15/01/2015	8:00	13,69%								
	Final del día	13,92%	94,20%	25,08%	54,64%	14,17%	63280 TM/Día	240,46 TM/Día	22,78 TM/Día	0,78%
16/01/2015	8:00	14,12%								
	Final del día	13,35%	94,40%	23,91%	59,30%	15,17%	60256 TM/Día	244,04 TM/Día	22,29 TM/Día	0,77%
17/01/2015	8:00	12,63%								
	Final del día	14,85%	93,62%	24,84%	56,85%	13,49%	68142 TM/Día	241,90 TM/Día	24,53 TM/Día	0,77%

Anexo 8. Primera modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado). Diluyente agua industrial. Composición del flujo fase ligera salida del tricanter: 100% aceite recuperado.

Día de Evaluación	Hora	% Aceite salida del clarificador (MAX 10%)	% Humedad agua salida tricanter	% Aceite BS agua salida tricanter	%Humedad sólidos salida tricanter	% Aceite BS sólidos salida tricanter	Cantidad de RFF procesado	Cantidad de agua salida tricanter evacuada	Cantidad de sólidos salida tricanter	% aceite p/p perdido en clarificación respecto al RFF
09/02/2015	8:00									
	Final del día	9,35%	93,81%	23,06%	61,85%	15,67%	100,90 TM/Día	38,34 TM/Día	3,73 TM/Día	0,76%
10/02/2015	8:00									
	Final del día	8,99%	94,35%	24,16%	58,06%	14,95%	369,73 TM/Día	147,89 TM/Día	13,68 TM/Día	0,78%
11/02/2015	8:00									
	Final del día	7,84%	94,20%	21,93%	60,42%	17,60%	249,60 TM/Día	96,84 TM/Día	9,73 TM/Día	0,77%
12/02/2015	8:00	9,15%								
	Final del día	9,51%	94,21%	24,13%	60,40%	16,12%	477,00 TM/Día	185,55 TM/Día	18,75 TM/Día	0,79%
13/02/2015	8:00	9,75%								
	Final del día	8,74%	93,89%	25,37%	59,77%	14,39%	576,64 TM/Día	210,47 TM/Día	22,09 TM/Día	0,79%
14/02/2015	8:00									
	Final del día	7,57%	93,99%	23,08%	56,84%	15,29%	348,16 TM/Día	128,82 TM/Día	12,88 TM/Día	0,76%

Anexo 9. Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado). Diluyente agua lodosa salida del tricanter. Composición del flujo fase ligera salida del tricanter: 100% aceite recuperado.

Día de Evaluación	Hora	% Aceite salida del clarificador (MAX 10%)	% Humedad agua salida tricanter	% Aceite BS agua salida tricanter	%Humedad sólidos salida tricanter	% Aceite BS sólidos salida tricanter	Cantidad de RFF procesado	Cantidad de agua salida tricanter evacuada	Cantidad de sólidos salida tricanter	% aceite p/p perdido en clarificación respecto al RFF
23/02/2015	8:00									
	Final del día	8,56%	94,88%	24,78%	63,62%	14,65%	266,56 TM/Día	95,96 TM/Día	10,40 TM/Día	0,66%
24/02/2015	8:00	8,50%								
	Final del día	7,94%	94,98%	22,81%	61,03%	13,79%	478,50 TM/Día	175,61 TM/Día	17,23 TM/Día	0,61%
25/02/2015	8:00	9,24%								
	Final del día	8,16%	94,90%	25,29%	60,03%	16,12%	559,85 TM/Día	199,86 TM/Día	20,32 TM/Día	0,69%
	8:00	8,16%		25,29%		16,12%	559,85			0,69%
26/02/2015	Final del día	7,10%								
	8:00	7,57%	95,50%	24,80%	60,27%	13,39%	401,51	160,60 TM/Día	14,57 TM/Día	0,64%
27/02/2015	Final del día	5,96%								
	8:00	6,48%	95,75%	23,70%	60,59%	17,88%	563,31	236,59 TM/Día	21,57 TM/Día	0,69%
28/02/2015	Final del día	7,94%								
		7,81%	95,60%	22,56%	61,50%	15,79%	591,76	248,54 TM/Día	21,48 TM/Día	0,64%

Anexo 10. Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado). Diluyente agua lodosa salida del tricanter. Composición flujo fase ligera salida del tricanter: % aceite de 90% - 95%.

Día de Evaluación	Hora	% Aceite salida del clarificador (MAX 10%)	% Humedad agua salida tricanter	% Aceite BS agua salida tricanter	% Humedad sólidos salida tricanter	% Aceite BS sólidos salida tricanter	Cantidad de RFF procesado	Cantidad de agua salida tricanter evacuada	Cantidad de sólidos salida tricanter	% aceite p/p perdido en clarificación respecto al RFF
17/03/2015	8:00	7,65%								
	Final del día 8:00	8,06%	95,63%	21,74%	60,50%	10,58%	601,16	252,49 TM/Día	23,45 TM/Día	0,56%
18/03/2015	Final del día 8:00	6,51%								
	8:00	7,04%	95,58%	20,61%	60,69%	11,51%	574,56	241,32 TM/Día	22,41 TM/Día	0,56%
19/03/2015	Final del día 8:00	7,35%								
	8:00	7,83%	95,16%	19,44%	59,26%	11,19%	287,28	112,04 TM/Día	10,34 TM/Día	0,53%
20/03/2015	Final del día 8:00	8,20%								
	8:00	8,82%	94,89%	20,99%	61,20%	10,49%	499,5	189,81 TM/Día	17,48 TM/Día	0,55%
21/03/2015	Final del día 8:00	8,32%								
	8:00	8,40%	95,02%	22,41%	60,20%	11,31%	506,88	197,68 TM/Día	17,74 TM/Día	0,59%
22/03/2015	Final del día	7,27%								
		7,76%	94,88%	22,39%	60,01%	11,23%	442,9	168,30 TM/Día	15,50 TM/Día	0,59%

Anexo 11. Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado). Diluyente agua lodosa salida del tricanter. Composición flujo fase ligera salida del tricanter: % aceite de 65% - 75%.

Día de Evaluación	Hora	% Aceite salida del clarificador (MAX 10%)	% Humedad agua salida tricanter	% Aceite BS agua salida tricanter	% Humedad sólidos salida tricanter	% Aceite BS sólidos salida tricanter	Cantidad de RFF procesado	Cantidad de agua salida tricanter evacuada	Cantidad de sólidos salida tricanter	% aceite p/p perdido en clarificación respecto al RFF
06/04/2015	8:00									
	Final del día	8,57%	94,82%	13,61%	61,25%	11,86%	240,800	91,50 TM/Día	9,39 TM/Día	0,45%
07/04/2015	8:00	9,28%								
	Final del día	8,56%	95,12%	13,98%	60,13%	11,02%	610,500	244,20 TM/Día	23,81 TM/Día	0,44%
	8:00	8,56%		13,98%		11,02%				0,44%
08/04/2015	Final del día	7,22%								
	8:00	7,07%	95,19%	15,84%	60,50%	10,49%	352,000	140,80 TM/Día	13,02 TM/Día	0,46%
09/04/2015	Final del día	8,12%								
	8:00	7,24%	95,48%	14,47%	58,92%	10,92%	407,000	162,80 TM/Día	15,87 TM/Día	0,44%
10/04/2015	Final del día	9,11%								
	8:00	8,37%	94,95%	15,75%	60,15%	10,02%	518,950	197,20 TM/Día	19,20 TM/Día	0,45%
11/04/2015	Final del día	7,38%								
		7,92%	94,77%	15,70%	63,56%	11,06%	518,950	202,39 TM/Día	19,20 TM/Día	0,47%

Anexo 12. Segunda modificación, decantación estática del licor de prensa en una etapa (uso del clarificador como decantador único del licor de prensado). Diluyente agua lodosa salida del tricanter. Composición flujo fase ligera salida del tricanter: % aceite de 40% - 60%.

Día de Evaluación	Hora	% Aceite salida del clarificador (MAX 10%)	% Humedad agua salida tricanter	% Aceite BS agua salida tricanter	% Humedad sólidos salida tricanter	% Aceite BS sólidos salida tricanter	Cantidad de RFF procesado	Cantidad de agua salida tricanter evacuada	Cantidad de sólidos salida tricanter	% aceite p/p perdido en clarificación respecto al RFF
20/04/2015	8:00	7,75%								
		7,90%	95,13%	14,88%	60,00%	12,46%	546	218,40 TM/Día	20,75 TM/Día	0,48%
21/04/2015	8:00	9,19%								
		9,47%	95,10%	14,60%	61,00%	10,15%	540,75	210,89 TM/Día	20,01 TM/Día	0,43%
22/04/2015	8:00	6,84%								
		6,39%	94,99%	15,37%	61,25%	10,21%	335	134,00 TM/Día	12,40 TM/Día	0,45%
23/04/2015	8:00	7,88%								
		7,97%	94,78%	14,06%	60,85%	12,09%	462	180,18 TM/Día	17,09 TM/Día	0,46%
24/04/2015	8:00	9,11%								
		9,22%	95,04%	13,96%	60,11%	10,50%	492,2	191,96 TM/Día	18,21 TM/Día	0,43%
25/04/2015	8:00	7,55%								
		8,08%	94,94%	14,60%	60,22%	11,75%	523,2	204,05 TM/Día	19,36 TM/Día	0,46%