

Evaluación del proceso de clarificación de aceite rojo de palma en la planta extractora de aceite:  
Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S

Karol Michel Medina Galvis

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Química  
Modalidad de pasantía empresarial

Directora

Yuly Fernanda López Contreras  
Doctora en Ingeniería Química

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas  
Escuela de Ingeniería Química  
Bucaramanga

2026

### ***Dedicatoria***

*Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la fuerza y la sabiduría en los momentos que más lo necesité. A mi mamá, por ser esa persona incondicional en mi vida, por alumbrarme el camino aun cuando el de ella ya no tuviera luz, por saber que decir en el momento exacto, por escucharme y por sostenerme en mis momentos más difíciles. A mi papá, por siempre creer en mí, aun cuando ni yo misma lo hacía, por su amor incondicional y por ser la persona que más duro aplaudía mis logros. A mi hermanito, por siempre darme fuerzas, porque con cada abrazo y beso me hacia la mujer más invencible del mundo, gracias por siempre creer en mí.*

*Gracias, porque todo lo que soy y aspiro a ser, se los debo a ustedes.*

### ***Agradecimientos***

*Quiero agradecer a cada una de las personas que estuvieron en este camino, A mi familia, principalmente a Valentina por ser mi refugio, por escucharme reír, llorar, gritar, por siempre apoyarme en mis momentos más difíciles, por siempre darme ánimo, gracias por cada comida, por cada viaje, por cada pelea, por cada traspasada, gracias por siempre acompañarme y nunca dejarme sola.*

*A mis amigos Stefy, Alexa, Jhoan, Sergio, Laura, Juan M, Lesly, Sofia, Nicole, Fernanda por acompañarme en este camino y recordarme que las cargas pesan menos cuando se comparten.*

*Gracias por cada consejo oportuno, por cada risa que alivió los días difíciles y por estar presentes incluso cuando no hacía falta decir nada. Este logro también es suyo, porque caminar a su lado hizo todo más sencillo.*

*Por último, a la Karol que nunca creyó en lograrlo, la que sacrifico muchas cosas en silencio, la que fue resiliente hasta el último instante, que orgullosa me siento de haber culminado esta pequeña etapa académica.*

**Tabla de contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	9
1. Planteamiento del problema .....	11
2. Objetivos .....	13
2.1 Objetivo general .....	13
2.2 Objetivos específicos .....	13
3. Marco conceptual.....	14
3.1 Características de la Palma Africana.....	14
3.2 Generalidades del aceite de Palma .....	14
3.3 Generalidades del proceso de extracción .....	14
3.4 Generalidades licor de prensa diluido (LPD).....	17
4. Metodología .....	18
4.1 Diagnóstico inicial .....	18
4.2 Balance de masa .....	20
4.3 Diagnóstico del preclarificador .....	22
4.3.1 Evaluación de la eficiencia en el preclarificador.....	23
4.3.2 Velocidad de asentamiento en el preclarificador.....	24
5. Resultados.....	27
5.1 Diagnóstico inicial .....	27
5.2 Balance de Masa .....	27
5.3 Desempeño del preclarificador .....	33
5.4 Soluciones viables que aumenten la recuperación de aceite .....	34
5.4.1 Nuevo diseño del preclarificador.....	35
5.4.2 Capacitación del personal.....	38
5.4.3 Usar otro equipo como preclarificador.....	40
Conclusiones .....	43
Apéndices.....	48

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Configuración de parámetros operacionales.....	26
Tabla 2. Muestras licor de prensa diluido.....	27
Tabla 3. Registro de las composiciones volumétricas .....	30
Tabla 4. Flujos de salida prensado y datos operacionales .....	31
Tabla 5. Flujos de entrada y salida del preclarificador .....	32
Tabla 6. Capacidad del preclarificador .....	33
Tabla 7. Datos obtenidos de la gráfica de curva de sedimentación .....	35
Tabla 8. Parámetros de diseño del nuevo preclarificador .....	37
Tabla 9. Resultados evaluación diagnóstica .....	39
Tabla 10. Resultados separación de aceite por equipo .....	42

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Proceso de extracción de aceite.....	<b>15</b>
<b>Figura 2.</b> Diagrama de flujo, proceso de clarificación.....	<b>16</b>
<b>Figura 3.</b> Etapas metodológicas del proyecto .....	<b>18</b>
<b>Figura 4.</b> Esquema metodológico prueba de sedimentación.....	<b>19</b>
<b>Figura 5.</b> Esquema metodológico de los aforos.....	<b>20</b>
<b>Figura 6.</b> Balance de masa en clarificación .....	<b>21</b>
<b>Figura 7.</b> Geometría del preclarificador .....	<b>22</b>
<b>Figura 8.</b> Curva de Sedimentación.....	<b>25</b>
<b>Figura 9.</b> Eficiencias de separación según su dilución .....	<b>28</b>
<b>Figura 10.</b> Esquema del proceso de clarificación .....	<b>29</b>
<b>Figura 11.</b> Eficiencia en función del tiempo de retención .....	<b>36</b>
<b>Figura 12.</b> Capacidades de los preclarificadores .....	<b>37</b>
<b>Figura 13.</b> Resultados evaluación de las capacitaciones.....	<b>40</b>
<b>Figura 14.</b> Resultados entrada al separador .....	<b>41</b>
<b>Figura 15.</b> Resultados salida del separador .....	<b>41</b>

## Resumen

**Título:** Evaluación del Proceso de Clarificación de Aceite Rojo de Palma en la Planta extractora de aceite: Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S\*

**Autora:** Karol Michel Medina Galvis†

**Palabras claves:** *Extractor, Aceite, causas, clarificación, perdidas, eficiencia, proceso, capacidad real, racimos de frutos frescos (RFF).*

**Resumen:** La planta extractora de aceite Palma Oleaginosas Bucarelia S.A.S se encuentra ubicada en el corregimiento el Pedral, en el municipio de Puerto Wilches. En esta extractora se evaluó el proceso de clarificación con el fin de analizar e identificar las causas que afectan la producción de aceite crudo de palma.

En este informe se presentan recomendaciones de mejoramiento para el proceso de clarificación enfocadas en la evaluación de los equipos durante la extracción (para una capacidad de  $45 \frac{TON RFF}{h}$ ), partiendo de un estudio inicial y la descripción del balance de masa de la planta. Con base en el estudio realizado durante los seis (6) meses de práctica, se determinó que el preclarificador no cuenta con la capacidad real suficiente para atender las condiciones actuales de operación de la planta, ya que opera al 65 % de su eficiencia, así mismo, se identificaron falencias en los conocimientos de los operarios del área. Para ello se propuso un nuevo diseño del equipo (preclarificador), la ejecución de capacitaciones y el uso de otro equipo como preclarificador.

---

\*Trabajo de Grado

† Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.  
Directora: Yuly Fernanda López Contreras, Doctora en Ingeniería Química

### Abstract

**Title:** Evaluation of the Red Palm Oil Clarification Process at the Oil Extraction Plant: Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S\*.

**Author:** Karol Michel Medina Galvis<sup>‡</sup>

**Keywords:** *Extractor, Oil, causes, clarification, losses, efficiency, process, actual capacity, fresh fruit bunches (RFF).*

**Abstract:** The Palma Oleaginosas Bucarelia S.A.S oil extraction plant is located in the village of Pedral, in the municipality of Puerto Wilches. The clarification process was evaluated at this extraction plant in order to analyze and identify the causes affecting the production of crude palm oil.

This report presents recommendations for improving the clarification process, focusing on the evaluation of the equipment during extraction (for a capacity of  $45 \frac{TON RFF}{h}$ ), based on an initial study and a description of the plant's mass balance. Based on the study carried out during the six (6) months of practice, it was determined that the pre-clarifier does not have sufficient actual capacity to meet the plant's current operating conditions, as it operates at 65% efficiency. Likewise, shortcomings in the knowledge of the operators in the area were identified. To this end, a new design for the equipment (preclarifier) was proposed, along with training and the use of other equipment as a preclarifier.

---

<sup>‡</sup> Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química.  
Directora: Yuly Fernanda López Contreras, Doctora en Ingeniería Química

**Nomenclatura**

---

<b>RFF</b>	Racimos de frutos frescos
<b>LP</b>	Licor de prensa
<b>LPD</b>	Licor de prensa diluido
<b>LPSD</b>	Licor de prensa sin diluir
<b>M1</b>	Corriente de entrada <i>(Alimentación del preclarificador)</i>
<b>M2</b>	Corriente de salida <i>(Salida del preclarificador)</i>
<b>M3</b>	Corriente pesada <i>(Descarga inferior)</i>
<b>O<sub>n</sub></b>	Aceite en la corriente <i>n</i>
<b>W<sub>n</sub></b>	Agua en la corriente <i>n</i>
<b>L<sub>n</sub></b>	Lodos en la corriente <i>n</i>

---

## Introducción

Colombia es uno de los países con mayor variedad de recursos orgánicos en Latinoamérica, uno de ellos es la palma, la cual ha venido impactando de manera positiva en la agroindustria, siendo este el sector agrícola que más ha crecido en la última década en el país, ya que no sólo lo beneficia económicamente, sino que también promueve el desarrollo rural sostenible de la zona. Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S, fundada en 1960, se dedica al cultivo y procesamiento de palma africana en el Magdalena Medio, donde cuenta con 6.000 hectáreas en una ubicación estratégica entre los ríos Magdalena y Sogamoso. Su labor ha estado orientada al desarrollo rural sostenible, incorporando tecnologías que han mejorado la eficiencia, productividad y posicionamiento en la agroindustria.

El proceso de extracción del aceite crudo de palma, aceite de palmiste y torta de palmiste, pasa por diferentes etapas, en las cuales se resaltan: esterilización, desfrutación, digestión y prensado, clarificación y palmisteria. La etapa de clarificación, determina en buena medida no solo la eficiencia del proceso, sino también la calidad del aceite crudo extraído, de ahí la importancia de conocer y mejorar este proceso.

De un diagnóstico inicial, que incluía el balance de masa en el proceso de clarificación, se observó que la manera en la que se estaba dando la separación de aceite podría responder de un modo más eficiente a un diseño alternativo del preclarificador existente. Es así como se plantea el diseño de un preclarificador que esté acorde a la capacidad de la planta, bajo nuevos parámetros de diseño que permitan incrementar la eficiencia del proceso, aumentar la capacidad de procesamiento y mejorar la calidad del aceite obtenido.

Este proyecto surge, inicialmente por el interés de la gerencia de Palmas Oleaginosas Bucarelia en identificar cuales factores estaban incidiendo en la tasa de extracción del aceite, específicamente en el área de clarificación.

A fin de buscar una solución, rápida, efectiva y económicamente viable, se plantea la realización de un diagnóstico inicial en esta área. Se describen las etapas presentes en la extracción del aceite, así como los resultados obtenidos en el diagnóstico inicial realizado, los pertinentes balances de masa y las propuestas de mejora. Todo con el fin de lograr una clarificación más eficiente.

## 1. Planteamiento del problema

Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S, es una planta extractora que se dedica al cultivo y procesamiento de la palma de aceite, en donde se destaca la extracción de aceite de origen vegetal. Como actividad económica esta extractora se dedica a la producción agrícola y adquisición de racimos de frutos frescos (RFF) de palma de aceite proveniente de agricultores de la región, con el fin de garantizar un abastecimiento constante, para el aprovechamiento de su capacidad instalada y garantizar el cumplimiento de las entregas de aceite a sus clientes.

El proceso de producción consiste en la extracción de aceite crudo de palma, este proceso consta de varias etapas: se comienza con la recepción y pesaje de los racimos de fruto fresco, seguido de su esterilización con vapor saturado a presiones relativamente bajas, esto con el fin de acelerar el ablandamiento de la unión de los frutos, lo que va facilitar su separación, la extracción del aceite y el desprendimiento de la almendra de la cáscara de la nuez. Posteriormente, los frutos pasan por un proceso de desfrutación y digestión, en donde la pulpa se desintegra mediante el calentamiento con vapor saturado y con la ayuda de los brazos del digestor los frutos son macerados hasta formar una masa homogénea y blanda de la cual se extrae el aceite.

La extracción del aceite se realiza mediante un prensado mecánico, obteniéndose una mezcla conocida como licor de prensa (LP) la cual básicamente es una mezcla de aceite, lodos livianos (pectinas, gomas) y lodos pesados (suelo, arena, material vegetal y demás impurezas). Finalmente, el licor de prensa (LP) pasa a la etapa de clarificación, donde se separan las impurezas mediante decantación y centrifugación, para posteriormente secarse, obteniendo aceite crudo de palma.

Actualmente, la empresa cuenta con una capacidad real de 45 ton RFF/h para el procesamiento de fruta de palma en prensas, sin embargo, la extractora fue originalmente diseñada con una capacidad instalada de 27 ton RFF/h, sin prever que el incremento en la capacidad de prensado debía ir acompañado de una ampliación en el sistema de clarificación para garantizar la eficiencia del proceso.

Con el fin de mejorar el proceso de extracción de aceite, se propone evaluar detalladamente la etapa de clarificación para identificar los factores que están limitando su desempeño, y así sugerir estrategias que permitan una rápida solución sin comprometer la viabilidad económica de la planta ni exceder su flujo de inversiones.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar los factores que afectan la productividad en el proceso de clarificación de aceite rojo de palma, en la planta extractora de aceite Palmas Oleaginosas Bucarelia.

### **2.2 Objetivos específicos**

Evaluar la capacidad de la clarificación actual identificando posibles pérdidas de aceite durante la etapa de extracción, usando una aproximación de balance de masa.

Evaluar el desempeño del preclarificador actual para determinar su eficiencia de separación y su impacto en la calidad final del aceite.

Proponer soluciones viables que aumenten la recuperación de aceite, reduzcan las pérdidas y aumenten la calidad del aceite producido.

### 3. Marco conceptual

#### 3.1 Características de la Palma Africana

Aunque Colombia es uno de los países con mayor cantidad de cultivos de palma, cada especie tiene características particulares que determinan su procesamiento específico.

En esta extractora, se hace uso de la palma africana (Palma aceitera africana, Coroto de Guinea, Palmera Aabora, Palmera de Guinea), una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis*.

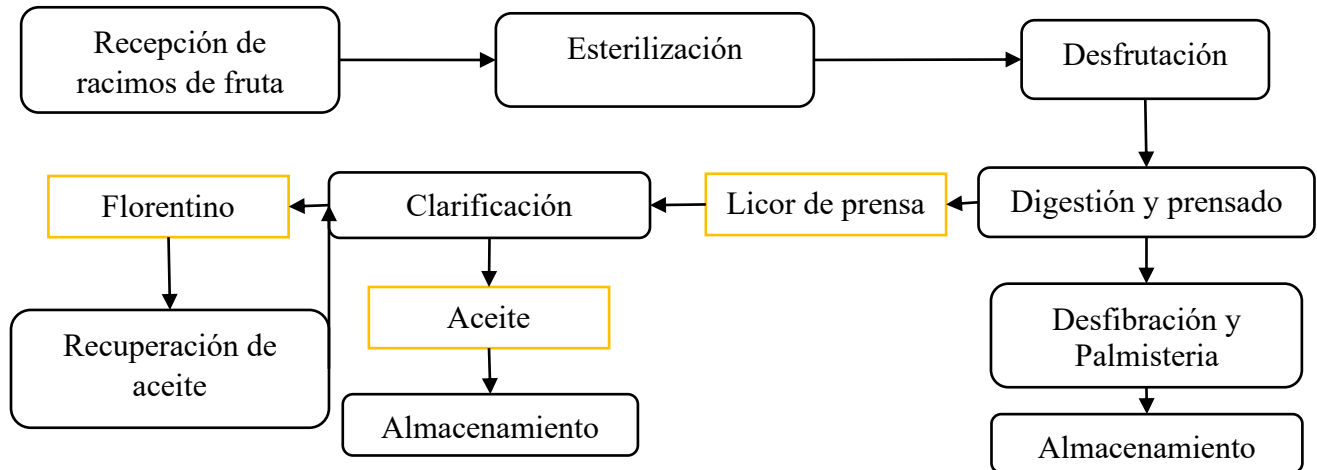
#### 3.2 Generalidades del aceite de Palma

El aceite de palma crudo usualmente presenta un pigmento rojo o naranja profundo y se encuentra en forma semisólida a temperatura ambiente.

Según el Gobierno de México (Vijay et al. (2016), el aceite de palma africana representa aproximadamente el 25% de la producción de aceites vegetales en el mundo y es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido solo superado por el aceite de soja.

#### 3.3 Generalidades del proceso de extracción

El aceite de palma se extrae a través de procesos mecánicos y térmicos, sin el uso de solventes, lo que lo convierte en un producto totalmente natural. Su composición física permite su uso en una amplia variedad de preparaciones sin necesidad de hidrogenación, evitando así la formación de ácidos grasos o trans. Este proceso de extracción incluye diferentes etapas (ver **figura 1**), cada una de ellas cumple un papel fundamental para lograr una alta extracción de aceite.

**Figura 1***Proceso de extracción de aceite***Nota:** elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente el proceso de extracción cuenta con diferentes etapas, parte desde el momento en el que se pesa el racimo de fruto fresco (RFF) que ingresa hasta su almacenamiento. No obstante, la etapa de **clarificación** es de especial interés, ya que es en ella donde se logra la mayor recuperación de aceite.

### 3.3.1 Clarificación

Es de las etapas más cruciales, la clarificación corresponde al proceso en donde se lleva a cabo la separación del aceite contenido en el licor de prensa.

A continuación, se expone la secuencia de equipos involucrados en la etapa de clarificación y a su vez la trayectoria del aceite y los lodos a lo largo del proceso (Ver **Figura 2**).



### **3.4 Generalidades licor de prensa diluido (LPD)**

El licor de prensa diluido, es una mezcla líquida compuesta principalmente por aceite de palma crudo, agua caliente, fibras y otros sólidos, que se obtienen tras el prensado de los frutos de palma y antes del proceso de clarificación.

Esta mezcla es afectada por diferentes factores, entre ellos destaca la viscosidad. Para poder reducir la viscosidad, la mezcla es sometida a una dilución Aceite/Agua de manera que ayude directamente a la separación de fases (aceite, agua y lodos).

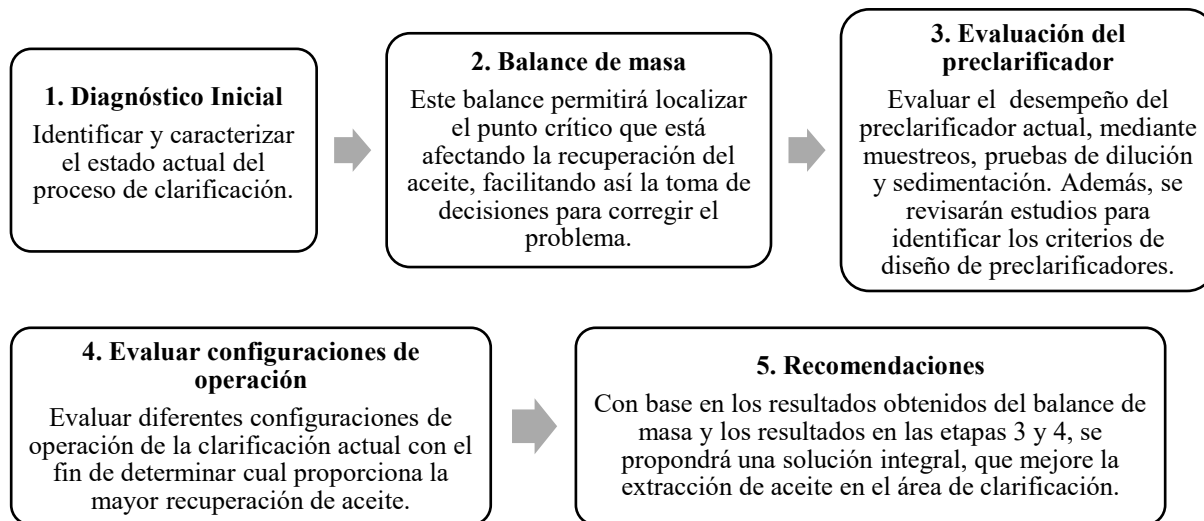
Según estudios realizados por Fedepalma y Cenipalma (Yáñez et al., 2008) (Nieto et al., 2011), el nivel de dilución más apropiado es de 1.4 partes de aceite por cada parte de agua, ya que permite obtener mayor eficiencia y velocidad de separación de aceite.

## 4. Metodología

La **figura 3**, presenta el resumen metodológico planteado para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

**Figura 3**

*Etapas metodológicas del proyecto*



**Nota:** Elaboración propia.

### 4.1 Diagnóstico inicial

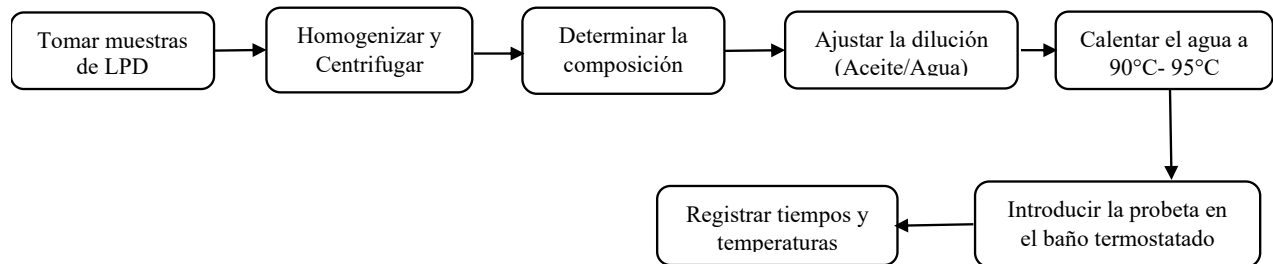
Para obtener el diagnóstico inicial en la extractora de Palma de aceite Bucarelia, se tomaron muestras del LPD durante una semana, con el fin de conocer los porcentajes volumétricos con los que la extractora operaba.

Para ello, se tomaron las muestras en tubos de ensayo de 10 mL cada 3 horas durante el día, a lo largo de una semana laboral (5 días). Para evidenciar la separación de la mezcla, las muestras eran sometidas a centrifugación, en donde se lograba separar el aceite de los demás compuestos. A partir de esta separación, se registraron los porcentajes volumétricos de agua, aceite y lodos.

Uno de los factores que más afecta la etapa de clarificación es la viscosidad, para poder disminuir su impacto se debe hacer una dilución aceite/agua. Para determinar el nivel de dilución adecuado y corroborar la información presentada por **Cenipalma (Nieto et al., 2011)** en cuanto a la evaluación de la eficiencia de separación en función de la dilución, se proceden hacer pruebas de sedimentación (Ver **Figura 4**).

#### Figura 4

*Esquema metodología para la prueba de sedimentación*



**Nota:** Elaboración propia.

Se realizaron cuatro pruebas de sedimentación, una prueba por día para cada nivel de dilución (1.0, 1.2, 1.3 y 1.4) durante una semana (la prueba se repetía cada 4 horas, durante el día).

#### 4.1.1 Sondeo operarios

Se realizó un sondeo con los operarios del área de clarificación en donde se abordaron temas relacionados al proceso y se evidenció que solo el operario más antiguo conocía las diferentes líneas de operación, por ende, se decidió comenzar con el levantamiento del esquema, en este se delimitaron las corrientes (entradas y salidas) involucradas en el proceso, así como los accesorios necesarios para manipular en casos de emergencia.

#### 4.2 Balance de masa.

El nivel de extracción de aceite con el que operaba la extractora era del 65% en base másica, sin embargo, el valor esperado para este tipo de proceso corresponde a una extracción cercana al 90%.

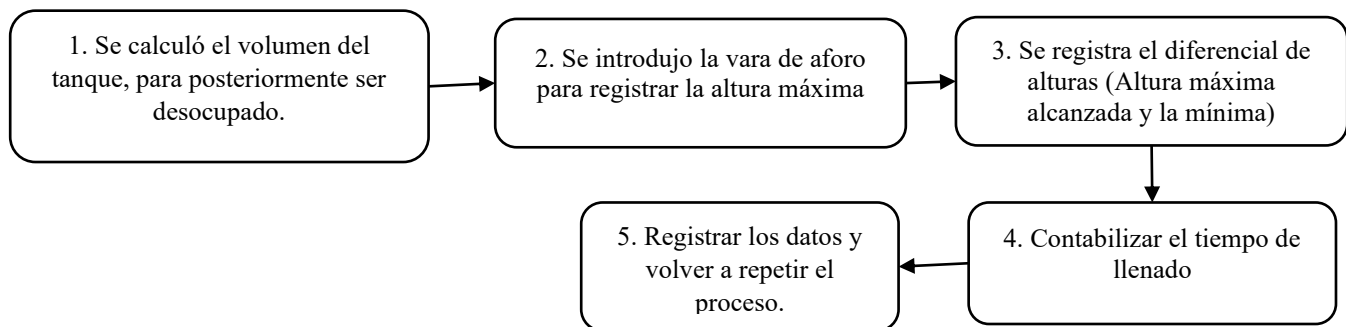
Ante esta diferencia, se procedió a identificar específicamente la limitación operativa que estaba afectando el proceso. Para ello, se realizó el balance de masa en las condiciones actuales de la planta.

Ahora bien, la etapa de clarificación involucra muchos equipos, cada uno depende del otro de manera consecutiva, por ende, se delimitó a estudiar el equipo en donde iniciaba la etapa de clarificación, que comprende el preclarificador.

Como no se contaba con los caudales de entrada ni salida del equipo, se procedió hacer aforos (ver **Apéndice A**), estos aforos se realizaron de la siguiente manera (Ver **Figura 5**) (Antes de iniciar con los aforos era importante revisar que las tres prensas estuvieran operando).

**Figura 5**

*Esquema metodológico de los aforos*



**Nota:** Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que se manejó una dilución acorde a la extracción, con el fin de estar por encima del rango de dilución convencional.

**Planteamiento:**

Para ejecutar el balance de masa, se tomaron muestras en un lapso de tiempo de dos meses. Estas muestras pasaron por un proceso de centrifugación, para luego hacerles un análisis volumétrico (los datos utilizados en este balance, son el promedio volumétrico en ese lapso de tiempo junto con los aforos realizados).

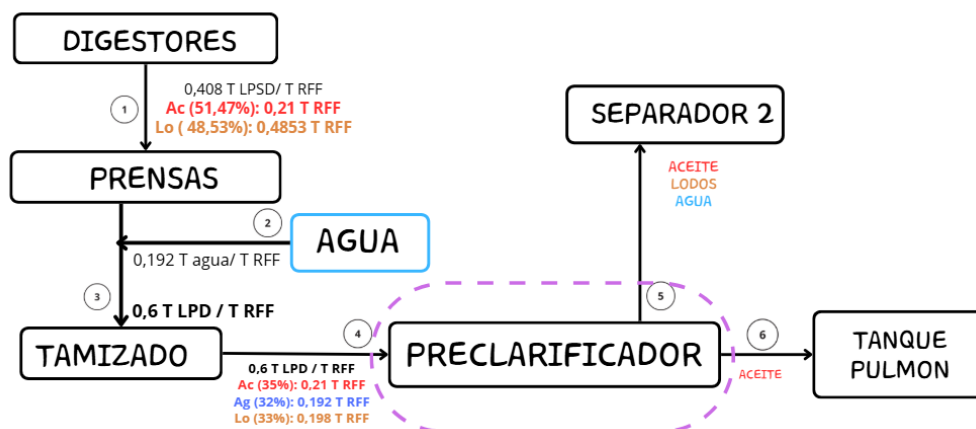
A partir de los aforos efectuados, se estableció la relación entre el licor de prensa diluido y los racimos de fruta fresca procesados, determinándose que por cada unidad de racimos de fruta fresca (RFF) se generan aproximadamente 0,60 unidades de licor de prensa diluido (LPD), relación que fue adoptada como base para el desarrollo del balance de masa del sistema.

$$0,60 \frac{t \text{ LPD}}{t \text{ RFF}}$$

En la **Figura 6** se presenta el balance de masa correspondiente a la etapa de clarificación, el cual permite visualizar la distribución de las corrientes y sus componentes a lo largo del proceso.

**Figura 6**

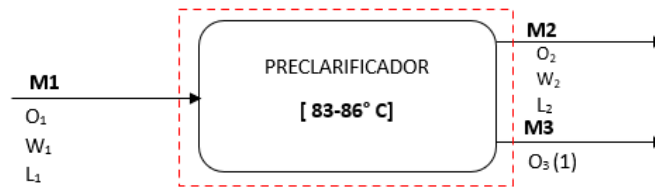
*Balance de masa en clarificación*



**Nota:** Elaboración Propia

Como se puede evidenciar en la **Figura 6**, las etapas en clarificación son continuas y están conectadas, de tal forma que una depende de la otra, es decir el caudal de salida de un equipo es el caudal de entrada del siguiente equipo. Siguiendo esa analogía, se plantea el balance de masa en el preclarificador:

Diagrama entrada-salida del preclarificador (primer equipo que recupera aceite en clarificación):



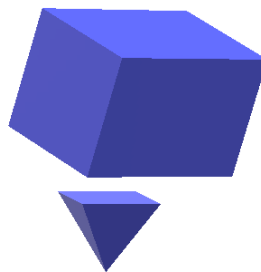
### 4.3 Diagnóstico del preclarificador

A partir de los resultados obtenidos en el balance de masa, se plantearon las ecuaciones correspondientes para determinar la capacidad real de operación del preclarificador. Considerando que el equipo presenta una capacidad instalada del 68 %, se evaluó su desempeño bajo las condiciones actuales de operación, con el propósito de establecer si su rendimiento constituye un factor determinante en la baja recuperación de aceite observada en la etapa de clarificación.

Para ello, se tuvo en cuenta la geometría del equipo (Ver **Figura 7**):

#### **Figura 7.**

*Geometría del preclarificador.*



**Nota:** Elaboración propia.

El preclarificador, fue analizado geométricamente dividiéndolo en dos secciones principales. La parte superior se modeló como un paralelepípedo rectangular, mientras que la parte inferior se aproximó como un conjunto de cuatro pirámides invertidas adosadas entre sí.

Con el fin de calcular el volumen de cada sección, se realizaron mediciones directas en campo utilizando un metro, determinando inicialmente las dimensiones del paralelepípedo y posteriormente las dimensiones correspondientes a cada una de las pirámides. El volumen total del preclarificador se obtuvo mediante la sumatoria de los volúmenes individuales de las figuras geométricas consideradas.

Una vez determinado el volumen efectivo del equipo, se procedió al cálculo del tiempo de retención hidráulica, el cual se estimó a partir de la relación entre el volumen útil del preclarificador y el caudal volumétrico de alimentación.

Para complementar la evaluación integral del equipo, se desarrolló una malla diagnóstica en la que se consideraron variables asociadas al rendimiento operativo, eficiencia de separación, capacidad volumétrica y configuración geométrica, entre otros aspectos relevantes.

Los criterios incluidos en dicha malla fueron seleccionados con base en los lineamientos establecidos por **Fedepalma (2018)** y en la literatura técnica relacionada con procesos de beneficio de palma de aceite, dado que estos factores inciden de manera directa en la eficiencia global de la etapa de clarificación.

#### **4.3.1 Evaluación de la eficiencia en el preclarificador**

Para poder hallar la eficiencia del preclarificador actual se hizo uso de la siguiente ecuación, obtenida del balance de masa planteado en **Geankoplis, C. J. (2003)**:

$$\eta = \left( \frac{\text{Aceite recuperado en la salida}}{\text{Aceite total en la alimentacion}} \right) * 100$$

**Ecuación 1.**

### 4.3.2 Velocidad de asentamiento en el preclarificador

Con el fin de obtener la velocidad de asentamiento ( $V_s$ ) del equipo, se realizaron pruebas de sedimentación (se hicieron 42 pruebas, tres por día durante 3 semanas) (Ver **Apéndice B**). La velocidad de asentamiento determina la capacidad de un sistema para separar eficientemente las fases sólida-líquida o aceite-agua.

La velocidad de asentamiento ( $V_s$ ) se empleó como parámetro experimental determinante para el dimensionamiento del área requerida del equipo ( $A$ ), aplicando el método gráfico de **Talmage y Fitch**.

Este procedimiento consistió en la construcción de la curva de sedimentación a partir de los datos experimentales obtenidos de la prueba de sedimentación (ver **Figura 8**). Una vez identificada la zona de transición entre la sedimentación libre y la sedimentación por compresión, se traza una recta tangente en el punto de inflexión de la curva. Posteriormente, se dibuja la bisectriz del ángulo formado entre dicha tangente y la horizontal. La intersección de la bisectriz con la curva permite determinar el tiempo crítico correspondiente a la concentración deseada en el fondo. Con este tiempo y las condiciones de flujo del sistema, se procede al cálculo del área necesaria, garantizando que el equipo opere bajo las condiciones de clarificación requeridas.

$$A = \frac{Q_o * T_u}{Z_o}$$

**Ecuación 2.**

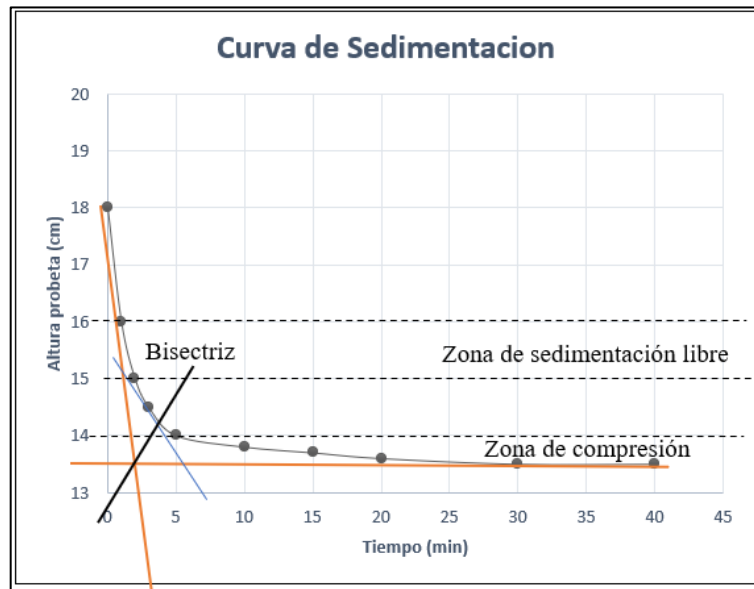
$Q_o$  = Caudal entrada a los equipos

$T_u$  = Tiempo ultimo de separacion

$Z_o$  = Altura inicial de los lodos en la probeta

**Figura 8**

Curva de sedimentación de los lodos y trazos según el método de Talmadge y Fitch.



**Nota:** Elaboración propia

Esta velocidad se define como la pendiente de la curva: altura de lodos en función del tiempo de separación; por tanto, según el volumen de aceite registrado en la sedimentación, se calcula la altura de lodos de cada una de las pruebas de la siguiente manera:

$$h_{\text{lodos}} = h_{\text{probeta}} - \frac{\text{Volumen del aceite}}{\pi * r^2} \quad \text{Ecuación 3.}$$

#### 4.4 Evaluación de configuraciones de operación

Se realizó la caracterización de la etapa de clarificación mediante la identificación de las condiciones operativas actuales, tales como caudales, temperatura de operación, tiempos de residencia y eficiencia de recuperación de aceite.

Para su evaluación, se definieron diferentes configuraciones de operación (ver **Tabla 1**), con el fin de comparar la eficiencia de los equipos ante modificaciones en los parámetros operacionales.

**Tabla 1***Configuración de parámetros operacionales*

<b>Parámetro / Operación</b>	<b>Rango o Configuración</b>	<b>Referencia</b>
Temperatura del LPD	85 – 95 °C	Poku (2002); McCabe et al. (2005)
Caudal de alimentación al preclarificador	70 – 110 % del caudal de diseño	Coulson & Richardson (2012)
Tiempo de residencia	30 – 90 min	Geankoplis (2003); Poku (2002)

**Nota:** Elaboración propia

## 5. Resultados

### 5.1 Diagnóstico inicial

De las muestras iniciales tomadas en este diagnóstico se obtuvieron los siguientes resultados, se presentan en la siguiente tabla (ver **Tabla 2**).

**Tabla 2**

*Muestras licor de prensa diluido*

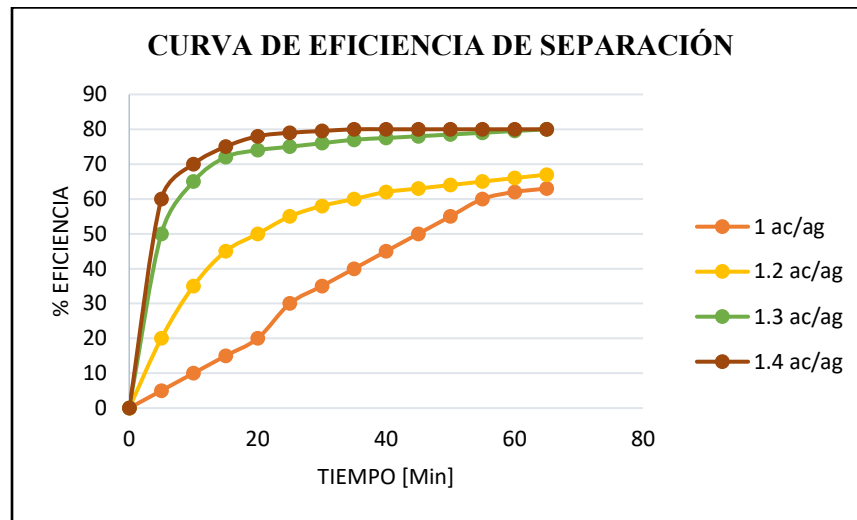
PRUEBAS DE LABORATORIO						
ENSAYOS	1	2	3	4	5	PROM (%)
AGUA	0,45	0,38	0,32	0,36	0,16	33%
ACEITE	0,37	0,37	0,35	0,4	0,43	38%
LODOS	0,18	0,25	0,33	0,24	0,41	28%

**Nota:** Datos de muestras experimentales, dilución reportada de 1.2.

En la **Tabla 2**, se observa la distribución porcentual de las fases presentes en el licor de prensa diluido (agua, aceite y lodos), lo que permite caracterizar su composición inicial antes del proceso de clarificación. A partir de estos resultados, se esperaba que la dilución controlada con agua caliente redujera la viscosidad del sistema y favoreciera una mejor separación de fases, incrementando la recuperación de aceite y disminuyendo su arrastre hacia los lodos y el efluente acuoso.

Sin embargo, los resultados indican que no se alcanzó en la magnitud esperada. La proporción de aceite presente en los lodos y en la fase acuosa sugiere que la dilución implementada no fue suficiente para mejorar el proceso de clarificación.

Con el fin de determinar el nivel óptimo de dilución que debe implementarse en la extractora de aceite Bucarelia, se realizaron pruebas de sedimentación, en donde se obtuvieron los siguientes resultados (Ver **Figura 9**).

**Figura 9***Eficiencia de separación de fases según su dilución*

**Nota:** En términos de dilución **ac**, corresponde al aceite y **ag**, corresponde al agua. Elaboración Propia

En la **figura 9** se evidencia la variación de la eficiencia de separación en función de la dilución utilizada durante un periodo de tiempo. Los resultados confirman no solo los resultados de estudio presentados por **Cenipalma** (Nieto et al., 2011), en los que recomiendan una dilución óptima en el rango de 1.3 – 1.4 (**relación aceite/agua, adimensional**) como la opción más eficiente sino también, el rango de dilución que la extractora debe manejar.

### 5.1.1 Sondeo de operarios en el área de clarificación

En cada uno de los recorridos realizados en la extractora, se evidenciaban derrames de aceite, lo que señalaba que una parte significativa de las pérdidas de aceite se originaban por fallas operativas, atribuibles principalmente al desconocimiento del proceso por parte del personal. Para ello se hizo el levantamiento del esquema del proceso en el área de clarificación (Ver **Figura 10**).



**Tabla 3***Registro de las composiciones volumétricas*

COMPOSICIÓN PROMEDIO CORRIENTES CLARIFICACIÓN					
FRACCIONES	LPSD [%v/v]	ENTRANDO PRECLARIFICADOR [%v/v]	SALIENDO PRECLARIFICADOR [%v/v]	ENTRANDO CLARIFICACIÓN [%v/v]	SALIENDO CLARIFICACIÓN [%v/v]
ACEITE	40%	35%	7%	7%	1%
LODOS LIGEROS		2%	6%	6%	8%
AGUA		32%	35%	35%	42%
LODOS PESADOS	60%	31%	52%	52%	49%

**Nota:** Elaboración propia.

Estos resultados (**Tabla 3**) evidencian que, aunque el sistema de clarificación logra reducir significativamente la fracción oleosa en el efluente final, aún existe un porcentaje importante de aceite retenido en los lodos, especialmente en la salida del preclarificador. Esto indica la necesidad de mejores parámetros operativos o reemplazar el equipo.

Reemplazando las ecuaciones del balance de masa (Ver **Apéndice D**) y usando las composiciones de la **Tabla 3**, tenemos las siguientes ecuaciones que nos relacionan el flujo de aceite en LP y LPSD, la cantidad de agua para la dilución y la relación de agua necesaria:

$$\frac{\text{Capacidad del prensado} \cdot \text{Tasa extracción teórica}}{100}$$
**Ecuación 3.**

$$\frac{\text{Flujo aceite LP}}{\% \text{Vol aceite}}$$
**Ecuación 4.**

$$\frac{\text{Flujo aceite LP}}{\text{Dilucion}}$$
**Ecuación 5.**

$$\frac{\text{Cant agua para dilucion}}{\text{LPSD} \cdot 100}$$
**Ecuación 6.**

$$\frac{\text{Flujo LPSD}}{\text{Flujo LPD} \cdot 100}$$
**Ecuación 7.**

**Nota:** LP: Licor de prensa, LPD: Licor de prensa diluido, LPSD: Licor de prensa sin diluir.

Reemplazando las ecuaciones del balance de masa (del proceso) obtenemos los siguientes resultados:

**Tabla 4**

*Flujos de salida prensado y datos operacionales*

PLANTA EXTRACTORA	PALMAS BUCARELIA	
<b>Prensas P-15 (3)</b>		
Capacidad de prensado de fruto	<b>45</b>	<b>Ton/h</b>
Tasa de extracción de aceite promedio	21	% p/p
Flujo de Aceite LP	9,45	Ton aceite/h
Flujo de LPSD	23,63	Ton/h
Dilución a manejar	1,2	kg aceite/kg agua
Agua agregar para dilución	7,88	Ton/h
Relación agua	29,17	% p/p
Relación LPSD	87,50	% p/p
Flujo de LPD	27,00	Ton/h

**Nota:** *Elaboración propia.*

La **tabla 4** muestra datos recolectados durante el proceso de prensado y dilución que se manejan en la extractora de aceite, Palmas Oleaginosas Bucarelia. En este caso, la capacidad de prensado de fruto se establece en 45 ton/h, con una tasa promedio de extracción de aceite del 21%, lo que refleja un desempeño dentro del rango típico de operación de este tipo de equipos industriales (Acevedo & Romero, 2020).

Los valores obtenidos concuerdan con los parámetros industriales y las recomendaciones técnicas reportadas por el Malaysian Palm Oil Board (MPOB, 2017) y estudios recientes de eficiencia en plantas extractoras latinoamericanas (Gómez et al., 2021; Acevedo & Romero, 2020). En conjunto, estos resultados permiten evidenciar un comportamiento operativo estable del sistema de prensado, donde las proporciones de aceite, agua y LPSD se encuentran en un equilibrio adecuado para garantizar una eficiente recuperación del aceite

En concordancia con los resultados operacionales del prensado presentados anteriormente, se procedió a realizar la evaluación específica del equipo preclarificador, con el fin de analizar el comportamiento del sistema de separación inicial. Para ello, se reemplazaron las ecuaciones planteadas en el balance de masa del preclarificador, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 5**

*Flujos de entrada y salidas del preclarificador*

<b>BALANCE PRECLARIFICADOR</b>		
Licor de prensas diluido entrando	27,00	Ton/h
Composición aceite entrada	35%	% p/p
Flujo de aceite entrando	9,45	Ton/h
Flujo Agua entrando	8,64	Ton/h
Flujo lodo entrando	8,91	Ton/h
Eficiencia teórica preclarificador	80%	Adimensional
Flujo aceite salida al sedimentador	7,56	Ton/h
Flujo de lodo aceitoso separador	19,44	Ton/h

**Nota:** Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados presentados en la **Tabla 5**, se evidencia que, aunque el flujo de licor de prensas diluido (LPD) alimentado al preclarificador es de 27 ton/h, el flujo de lodo aceitoso que sale hacia el separador indica una ineficiente separación de fases y un alto arrastre de aceite en los lodos. Este comportamiento representa una pérdida significativa de aceite, afectando directamente el rendimiento global de la planta.

La eficiencia real del equipo es del 68 %, mientras que la eficiencia teórica proyectada para el preclarificador es del 80 %. Desde el punto de vista técnico, esta eficiencia teórica es adecuada y suficiente para garantizar una separación eficiente bajo condiciones óptimas de operación, cumpliendo con los requerimientos del proceso de clarificación.

No obstante, en las condiciones actuales de la planta no se está alcanzando dicho valor, lo que se traduce en un menor flujo de aceite recuperado hacia el sedimentador respecto al esperado

teóricamente. Esta desviación evidencia la presencia de factores operativos que están limitando el desempeño real del equipo e impidiendo que se alcance la eficiencia proyectada.

### 5.3 Desempeño del preclarificador

Para evaluar el desempeño actual del equipo (preclarificador), se realiza un análisis respecto a su capacidad, en donde se obtiene lo siguiente:

**Tabla 6**

*Capacidad del preclarificador*

<b>CAPACIDAD PRECLARIFICADOR</b>		
Volumen	10,50	m <sup>3</sup>
Caudal	22,02	m <sup>3</sup> /h
Tiempo residencia	0,48	h
Tiempo residencia	28,62	min
Densidad	1060	kg/m <sup>3</sup>
<b>Capacidad real</b>	<b>23,33</b>	<b>Ton /h</b>
<b>Capacidad requerida</b>	<b>27,01</b>	<b>Ton /h</b>

**Nota:** Datos de caudal tomados experimentalmente mediante aforos.

Analizando los datos obtenidos en la **tabla 6**, podemos evidenciar que la masa de entrada es mayor que la masa que es capaz de aguantar el preclarificador (**Capacidad requerida > Capacidad real**), es decir, el equipo está sobrecargado, le están ingresando **3,66 Ton/h** por encima de su capacidad, en consecuencia, hay una reducción en el tiempo de residencia, y por tal razón hay arrastre de aceite en lodos, lo que explica directamente la ineficiencia observada en la recuperación del aceite durante el proceso.

Para garantizar la correcta evaluación del funcionamiento del equipo, es necesario evaluar no solo la capacidad operativa, así que se planteó una malla evaluadora (Ver **Apéndice E**).

En esta malla se evidencian discrepancias entre los valores teóricos y reales del proceso, que en consecuencia generan un déficit en la eficiencia del proceso de clarificación de aceite.

Analizando detalladamente cada uno de los parámetros involucrados, se tiene que el volumen del preclarificador constituye el parámetro crítico, pues determina la capacidad de almacenamiento temporal de la mezcla y, en consecuencia, el tiempo de retención.

En este sentido, el déficit de volumen identificado no solo afecta el tiempo de retención, sino que se traduce en una reducción sistemática de la eficiencia del proceso. Es decir, el enfoque principal del problema radica en el volumen del preclarificador.

#### **5.4 Soluciones viables que aumenten la recuperación de aceite**

El proceso de clarificación de aceite de palma es sencillo, pero requiere un adecuado control y dimensionamiento de los equipos para maximizar la recuperación de aceite. En este caso, se evidencia que, en la etapa inicial del proceso, específicamente en el ingreso del LPD al preclarificador, no se está logrando una recuperación eficiente del aceite, según el balance de masa y la eficiencia calculada.

En vista de este problema, se proponen tres alternativas de solución:

- Reajustar **el preclarificador**, es decir aumentar el volumen del equipo haciendo unos cambios en su diseño.
- Capacitación del personal con el fin de afianzar conocimientos, controlar adecuadamente las variables del proceso y mejorar la habilidad de respuesta frente a posibles fallas operativas.
- Usar el separador como preclarificador, para no tener que parar el proceso y continuar con la extracción en llegado caso de presentarse alguna falla operacional.

### 5.3.1 Nuevo diseño del preclarificador

La planta cuenta con un preclarificador de geometría particular. El problema que presenta este preclarificador aparte de su **volumen reducido** es que solo está adaptado para un rango específico de caudales, lo que limita su adaptabilidad frente a variaciones en el proceso.

Para solucionar esta limitación, se consideraron las pruebas de sedimentación realizadas (Ver **Apéndices F y G**), las cuales son fundamentales para el diseño de un nuevo preclarificador, ya que permiten determinar la velocidad de sedimentación y calcular el área superficial requerida.

Haciendo uso del método de Talmadge y Fitch (que es un método gráfico) tenemos lo siguiente:

**Tabla 7**

*Datos obtenidos de la gráfica de curva de sedimentación*

$Q_0$	$27 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$
$Z_0$	$0,18 [m]$
$T_u$	$0,08[h]$

Remplazando en la **ecuación 2**, tenemos que:

$$A = 12,43 m^2.$$

Teniendo el área es más sencillo definir la relación geométrica del equipo, para ello se hace un análisis del estudio presentado por García, Nieto y Rincón (2009), en donde establecen que: “*a mayor relación largo-ancho en el área transversal, mayor es la recuperación del aceite*”.

En el estudio presentado por García, Nieto y Rincón (2009), se dictaminó que la eficiencia en la recuperación del aceite cuando se usó la relación (Largo: ancho) de 5:1 fue superior a la del diseño convencional de 2:1.

La verificación del estudio se sustentó en los datos obtenidos de la prueba de sedimentación (ver **Apéndice F**), a partir de los cuales se elaboró la correspondiente curva de sedimentación (ver

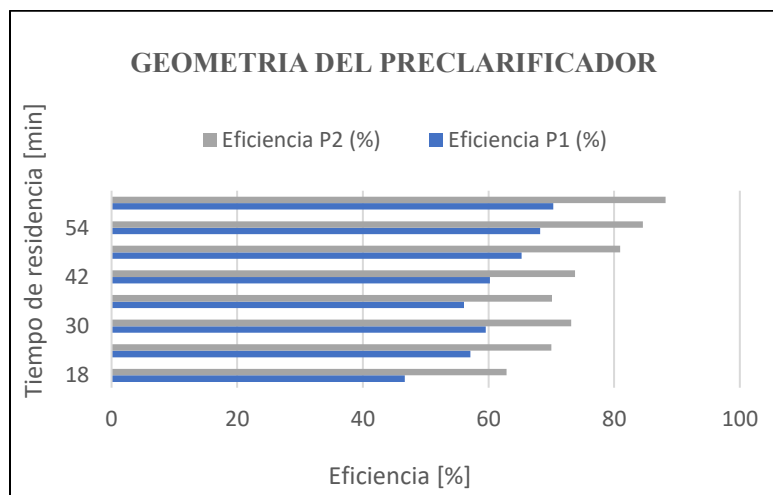
**Figura 9).** Esta curva de sedimentación no solo nos proporciona datos acerca de la dilución, sino también la velocidad mínima que necesitamos para clarificar el aceite.

Si el diseño es **2:1** (más “cuadrado”), el flujo tiende a ser más turbulento lo que implica que el tiempo efectivo de sedimentación es menor que el teórico. En cambio, con un diseño **5:1** (más alargado), el patrón de flujo es más uniforme y se acerca a un régimen pistón. Eso significa que el tiempo de retención se aprovecha mejor y la curva de sedimentación cumple con mayor precisión.

Con el fin de analizar el comportamiento del preclarificador con las diferentes relaciones geométricas P1 (Largo: ancho, 2:1) y P2 (Largo: ancho, 5:1), se realiza la siguiente gráfica:

**Figura 11**

*Eficiencia en función del tiempo de retención*



**Nota:** Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos, se termina de afirmar la información del estudio presentado por García, Nieto y Rincón (2009); la relación geométrica de 5:1 es mucho más eficiente que la convencional de 2:1. Este comportamiento puede ser consecuencia de algunos fenómenos de transportes, en donde hay un mayor flujo de transporte de sólidos por unidad de área (Metcalf & Eddy, Inc. (2015).

Reemplazando los datos (de la tabla 7) se tiene la siguiente tabla, que corresponde a los nuevos parámetros de diseño del equipo.

**Tabla 8**

*Parámetros de diseño del nuevo preclarificador*

Nuevos parámetros		
<b>Ancho</b>	1,72	m
<b>Largo</b>	8,63	m
<b>Altura total</b>	1,29	m
<b>Volumen nuevo</b>	20,29	m <sup>3</sup>
<b>Tiempo de retención</b>	45,08	min

**Nota:** Elaboración propia.

Ahora, haciendo uso del balance de masa planteado anteriormente calculamos la capacidad con este nuevo volumen.

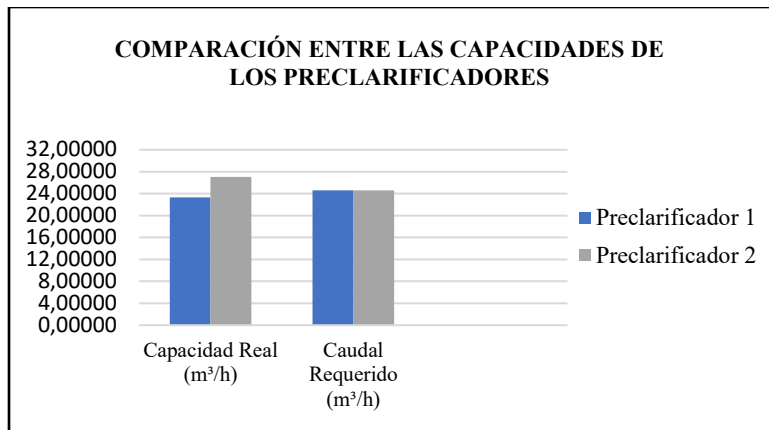
$$\text{Capacidad 1} = \frac{10,50 \text{ m}^3}{0,59273 \text{ h}} = 19,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Capacidad} < \text{Entra}$$

$$\text{Capacidad 2} = \frac{20,29 \text{ m}^3}{0,75 \text{ h}} = 27,053 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow \text{Capacidad} > \text{Entra}$$

Analizando la gráfica podemos evidenciar que la capacidad el preclarificador 2 supera al caudal requerido, lo que significa que este nuevo equipo se ajusta por completo al proceso de extracción. Por otro lado, el preclarificador 1, presenta una capacidad inferior al caudal necesario, lo que lo convierte en el principal cuello de botella durante el proceso de clarificación.

**Figura 12**

*Capacidades de los dos preclarificadores*



**Nota:** Elaboración propia.

La geometría del preclarificador influye de manera decisiva en la eficiencia de la separación sólido-líquido porque determina el patrón de flujo interno, el tiempo de retención hidráulico efectivo y la distribución del transporte de sólidos.

En tanques con una relación largo: ancho (2:1), reduce la capacidad de sedimentación y provoca que parte de los sólidos permanezcan en suspensión y salgan con el efluente. En contraste, los diseños más alargados (5:1) aseguran que las partículas tengan un tiempo suficiente para asentarse de acuerdo con su velocidad de sedimentación.

### 5.3.2 Capacitación del personal

La capacitación del personal se propone con el fin de fortalecer los conocimientos técnicos y operativos durante el proceso, tener un control sobre las variables involucradas, así como preparar al personal para asumir nuevas responsabilidades. Con el fin de sintetizar la información y evaluar conocimientos, se realiza un cronograma de actividades.

Además, se realizó una evaluación diagnóstica (Ver **anexo H**), en donde se registraron los resultados en la **tabla 9**. Durante este primer sondeo se abarcaron temas de seguridad en el trabajo, control de variables del proceso y acción rápida en caso de emergencia.

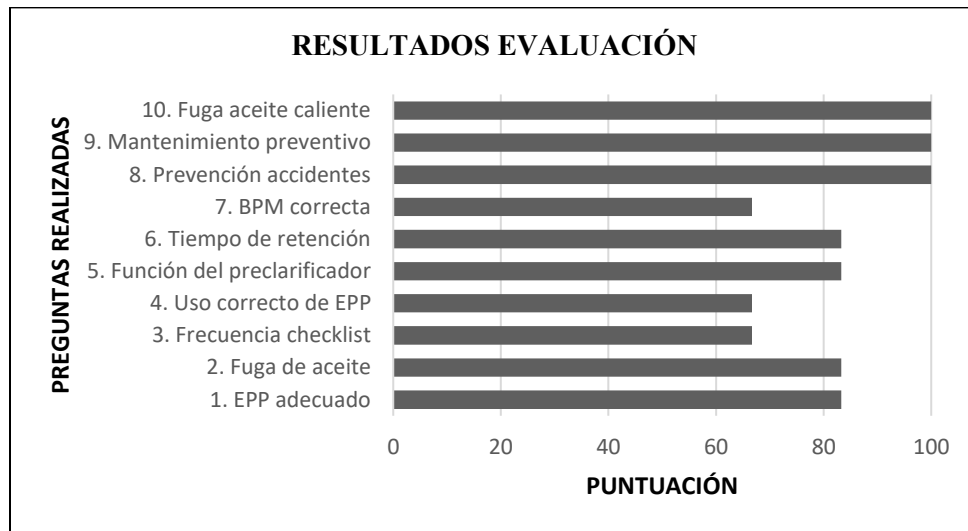
**Tabla 9***Resultados evaluación diagnóstica*

No.	PARTICIPACIÓN	CONOCIMIENTO PREVIO	COMPRESION	APLICACIÓN DE LA PRACTICA	TRABAJO EN EQUIPO	TOTAL
1	14	9	8	13	14	11,6
2	14	9	8	12	15	11,6
3	14	10	9	12	15	12
4	15	10	10	11	15	12,2
5	17	13	12	14	15	14,2
6	20	15	12	13	15	15
7	20	14	14	12	15	15
8	14	10	8	14	15	12,2
9	13	9	9	12	15	11,6
10	20	14	12	12	15	14,6
11	14	9	10	12	15	12
12	20	10	9	12	15	13,2

**GUIA NIVELES DE DESEMPEÑO****17–20 puntos:** Excelente**13–16 puntos:** Bueno**9–12 puntos:** Regular**Menos de 9:** Bajo**Nota:** Elaboración propia.

Analizando los resultados se evidencia que los operarios del área de clarificación presentan vacíos en conocimientos previos relacionados con el proceso.

Posteriormente, se realizaron las capacitaciones programadas en el cronograma (a los 6 operarios de clarificación), esto con el fin de buscar una evolución en el control del proceso. Para comprobar la mejoría, se realizó una prueba en donde se englobaron todos los temas de las capacitaciones, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Figura 13***Resultados evaluación de las capacitaciones*

**Nota:** Datos tomados para una media de 10 operarios, solo del área de clarificación.

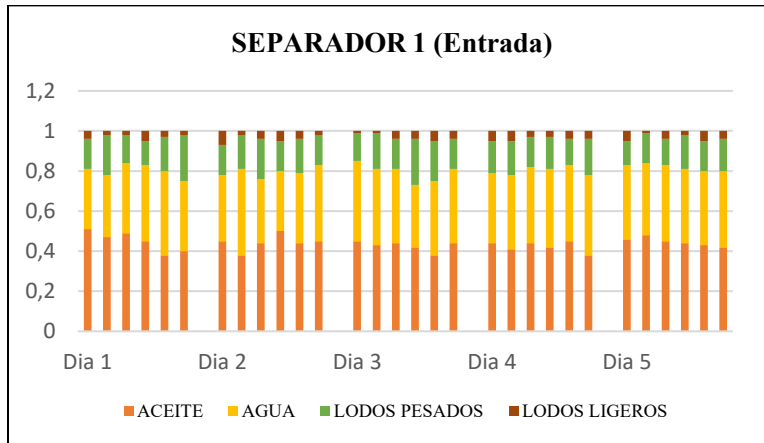
La evaluación posterior a las capacitaciones muestra una mejora significativa en el conocimiento de los operarios del área de clarificación, con altos porcentajes de respuestas correctas en temas claves como prevención de accidentes, mantenimiento preventivo y respuestas ante emergencias.

### 5.3.3 Usar otro equipo como preclarificador

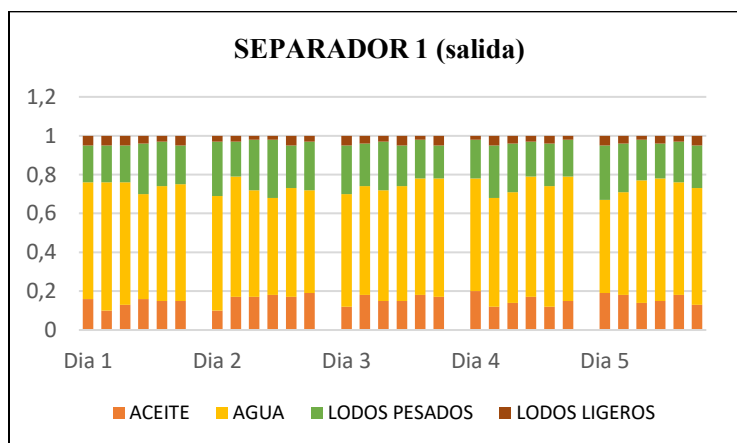
El separador 1, es un equipo con un diseño similar al preclarificador. A este equipo se le suministra vapor con el fin de ayudar su separación, (el rango de temperatura que maneja esta entre [75-80]°C) que junto con el tiempo de residencia hacen una separación más efectiva.

Como alternativa para evitar la detención del proceso de extracción, se propone reemplazar temporalmente el preclarificador por este separador cuando se presenten fallas.

Para ello se le hizo el debido seguimiento al separador 1 durante una semana tomando muestras por hora (Ver **Apéndice I**). Se obtuvo lo siguiente:

**Figura 14***Resultados entrada del LPD al separador***Nota:** Elaboración propia.

En la **figura 14** se puede evidenciar que el LPD (licor de prensa diluido) que está ingresando al separador, contiene los mismos porcentajes volumétricos que los que ingresan al preclarificador (**Ver Tabla 2**), es decir, la cantidad de aceite recuperado en el separador debe ser igual o superior a la del preclarificador teniendo en cuenta que el separador tiene un mayor volumen.

**Figura 15***Resultados salida del separador***Nota:** Elaboración propia.

Con los resultados de la **figura 15**, se corrobora la anterior información. Aquí podemos evidenciar que la cantidad de aceite de la corriente de salida es mucho menor comparado con la corriente de entrada.

**Tabla 10**

*Resultados separación de aceite por equipo*

SEPARADOR 1	PRECLARIFICADOR
% Recuperación Aceite	%Recuperación Aceite
35%	17%
37%	24%
36%	33%
29%	25%
23%	18%
25%	20%
35%	23%
21%	30%
27%	23%
32%	30%
27%	13%
26%	23%
<b>29%</b>	<b>23%</b>

**Nota:** Datos tomados y promediados por horas durante 12 días de prueba.

Si observamos la **tabla 10**, el porcentaje de recuperación del separador es mayor a la del preclarificador en un 6%, es decir, si en llegado caso el preclarificador deja de funcionar no afectaría la tasa de extracción de aceite durante el proceso.

## Conclusiones

La evaluación realizada en el área de clarificación, empleando un diagnóstico inicial y una aproximación de balance de masa, permitió identificar de manera cuantitativa las pérdidas de aceite presentes durante la etapa de extracción. Este análisis evidenció que dichas pérdidas están asociadas a ineficiencias operativas, falta de conocimiento por parte del personal y a las limitaciones del proceso, lo que impacta directamente el rendimiento global de recuperación de aceite. En consecuencia, se confirma la necesidad de implementar ajustes en el diseño del preclarificador, programas continuos de capacitación al personal del área y ajustes en las condiciones de operación del sistema.

Como se mencionó anteriormente, se determinó que el principal cuello de botella del proceso se encuentra en el preclarificador, cuya eficiencia de separación es limitada debido a un diseño con capacidad insuficiente. El reducido volumen del equipo genera una condición de sobrecarga que disminuye el tiempo de residencia, afectando negativamente la remoción de sólidos y líquidos y, en consecuencia, la calidad final del aceite. Esta situación se ve agravada por el deterioro del equipo, lo cual favorece el arrastre de impurezas hacia el aceite clarificado y limita el desempeño global del sistema de extracción.

Finalmente, se concluye que, aunque el área de clarificación presenta un déficit operativo asociado a las limitaciones del preclarificador, es posible implementar soluciones que permitan aumentar la recuperación de aceite sin incurrir en paradas del proceso ni en pérdidas adicionales. Estas soluciones se enfocan principalmente en la intervención del sistema de preclarificación, mediante la mejora de las condiciones operativas y la sustitución del preclarificador por el separador 1, el cual cumple la misma función de separación, cuenta con un mayor volumen y

capacidad operativa. La implementación de estas acciones contribuirá a una mayor eficiencia del proceso de extracción y permitirá obtener un aceite con mejores características de calidad.

Como conclusión personal, el desarrollo de este proyecto representó una experiencia profundamente enriquecedora tanto en el ámbito académico como profesional. Más allá de la aplicación de conocimientos teóricos, permitió comprender la complejidad real de los procesos industriales y la importancia del análisis crítico en la toma de decisiones técnicas.

Esta experiencia aportó crecimiento, seguridad profesional y una visión más integral de la ingeniería química aplicada al sector industrial, convirtiéndose en una etapa de gran aprendizaje y satisfacción.

### Referentes bibliográficos

- Arango, M., Martínez, G., y Pineda, B. (2013). *Guía para el diagnóstico y manejo de la marchitez sorpresiva (MS)*. Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma). <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107978>  
[repositorio.fedepalma.org+2repositorio.fedepalma.org+2repositorio.fedepalma.org+2](https://repositorio.fedepalma.org+2repositorio.fedepalma.org+2repositorio.fedepalma.org+2)
- Beltrán R, C 1994 Análisis de variación del DOBI In: Curso Algunos aspectos del procesamiento de aceite de palma. (Gómez C, PL Ed.) Cenipalma, Bogotá DC. P 28 y 29
- Carreño M., X. C. (2007). *Marchitez sorpresiva en el cultivo de palma de aceite*. Villavicencio: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/74272>
- Cenipalma & Fedepalma. (2017). *Guía de bolsillo para clarificar aceite de palma*. Convenio Especial de Cooperación No. 118 de 2017 entre SENA y Fedepalma. <https://publicaciones.fedepalma.org/handle/123456789/136362>
- Cenipalma. (2020). Informe de gestión 2019–2020. Centro de Investigación en Palma de Aceite. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/13597/13333/16192>
- Cenipalma. (2021). *Investigación para la sostenibilidad del sector palmero colombiano: avances y perspectivas*. Centro de Investigación en Palma de Aceite. <https://publicaciones.fedepalma.org/handle/123456789/144956>
- Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma). (2023, octubre 27). *Marchitez sorpresiva: Enfermedad endémica de la región del Catatumbo que pone en riesgo el cultivo de palma de aceite*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/142858>
- Clarificación estática versus clarificación dinámica. Asociación Guatemalteca de Productores de Palma de Aceite (GREPALMA) (2019).
- Corley, R. H. V., y Tinker, P. B. (2016). *The Oil Palm* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Cultivopalma. (s. f.). Esterilización. Tripod. <https://cultivopalma.tripod.com/esterilizacion.htm>

- Díaz Rangel, C. A., García Núñez, J. A., y Ramírez Contreras, N. E. (2017). *Guía de bolsillo para clarificar aceite de palma*. Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma). <https://fedepalma.org/wp-content/uploads/2017/11/Clarificacion-de-aceite-final-en-baja-ilovepdf-compressed.pdf>
- Édgar E. Yáñez A, Óscar M. Díaz R, Jesús A. García N, José F. Granados y Edgar F. Castillo M; 28 enero (2009) *Vista de Determinación del nivel de dilución apropiado en el proceso de clarificación y diseño de un sistema de control automático de la dilución del licor de prensa*. (s/f).
- Fedepalma. (2023). *Situación actual y perspectivas de la industria de la palma en Colombia*.
- Fedepalma.org. *El cultivo de la palma africana*. (s/f). Infoagro.com. de <https://www.infoagro.com>
- Fernández Padilla, C. A. (2016). *Clarificación dinámica: un nuevo panorama tecnológico para el proceso de extracción de aceite de palma en Colombia*. El Palmicultor, (529), 22–24. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/download/11666/11657>
- Fernández, C. A., García, H., Ramírez, N., y García-Núñez, J. A. (2016). *Impacto de la clarificación dinámica sobre el proceso de extracción y recuperación de aceite de palma crudo (estudio de caso)*. Palmas, 37(3), 47–64. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11806/11802>
- Fernández, C., García, H., Ramírez Contreras, N., y García Núñez, J. A. (2016). Impacto de la clarificación dinámica sobre el proceso de extracción y recuperación de aceite de palma crudo (estudio de caso). *Revista Palmas*, 37(3), 47-64
- García, J. A., Nieto, M. D. I., y Rincón, S. M. (2009). Eficiencia de recuperación del aceite en función de la configuración geométrica y del tiempo de residencia en equipos preclarificador. *Palmas*, 30(1), 39–48. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1428/1428>
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles* (4th ed.). Prentice Hall.
- Gobierno de México. (2015). *Oleaginosa de primera: Palma de aceite*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Grepalma. (2018). *Buenas prácticas operativas e innovaciones en plantas extractoras*. Gremial de Palmicultores de Guatemala. Recuperado de <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/7.-Buenas-Practicas-en-plantas-extractoras.pdf>
- Grepalma. (s. f.-b). *Uso de tecnologías de clarificación dinámica*. Grepalma.org. De <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2019/10/M2-ITNO-7-Uso-de-tecnologias-de-clarificacion-dinamica.pdf>
- Guerrero S., Á. E., Peña M., C. C., y Cala A., S. L. (2017). *Guía de bolsillo para clarificar aceite de palma*. Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma). Recuperado de <https://fedepalma.org/wp-content/uploads/2017/11/Clarificacion-de-aceite-final-en-baja-ilovepdf-compressed.pdf>
- López, C. Á. C. (s/f). “Clarificación estática versus clarificación dinámica”. Grepalma.org. Recuperado el 13 de marzo de 2025, de <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2019/10/M1-HPAR-2-Clarificacion-estetica-versus-clarificacion-dinamica.pdf>
- Metcalf y Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Metcalf y Eddy, Inc. (2015). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th ed. McGraw-Hill
- Nieto, D. I., y Rincón, S. M. (2009). Eficiencia de recuperación del aceite en función de la configuración geométrica y del tiempo de residencia en equipos preclarificadores. *Palmas*, 30(1), 39–48.

## Apéndices

## Apéndice A del Aforo tanque licor de prensa diluido

	<b>h [m]</b>	<b>t [s]</b>	<b>t [h]</b>	<b>Dilución [AC/AG]</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Caudal [m<sup>3</sup>/h] LPD</b>	<b>F. Másico [Kg/h]</b>	<b>Prensa [t LPD/ tRFF]</b>
1	0,37	88	0,024444444	0,82	0,343434	14,04957273	12644,61545	<b>0,468319091</b>
2	0,46	73	0,020277778	0,82	0,426972	21,05615342	18950,53808	<b>0,701871781</b>
3	0,46	97	0,026944444	0,82	0,426972	15,84638351	14261,74515	<b>0,528212784</b>
4	0,41	97	0,026944444	0,82	0,380562	14,12395052	12711,55546	<b>0,470798351</b>
5	0,41	70	0,019444444	0,97	0,380562	19,57176	17614,584	<b>0,434928</b>
6	0,44	71	0,019722222		0,408408	20,70801127	18637,21014	<b>0,460178028</b>
7	0,43	80	0,022222222	0,97	0,399126	17,96067	16164,603	<b>0,399126</b>
8	0,10	21,56	0,005988889	1,2	0,09282	15,4987013	13948,83117	<b>0,5166234</b>
9	0,10	21,56	0,005988889	1,2	0,09282	15,4987013	13948,83117	<b>0,5166234</b>
10	0,10	23,04	0,0064	1,2	0,09282	14,503125	13052,8125	<b>0,4834375</b>
11	0,10	18,68	0,005188889	1,2	0,09282	17,8882227	16099,40043	<b>0,5962741</b>
12	0,10	19,37	0,005380556	1,2	0,09282	17,25100671	15525,90604	<b>0,5750336</b>
13	0,10	18,42	0,005116667	1,2	0,09282	18,14071661	16326,64495	<b>0,6046906</b>
14	0,10	18,42	0,005116667	1,2	0,09282	18,14071661	16326,64495	<b>0,6046906</b>
15	0,10	18,13	0,005036111	1,2	0,09282	18,43088803	16587,79923	<b>0,6143629</b>
16	0,10	18,5	0,005138889	1,2	0,09282	18,06227027	16256,04324	<b>0,6020757</b>
17	0,10	18,35	0,005097222	1,2	0,09282	18,20991826	16388,92643	<b>0,6069973</b>
18	0,10	19,37	0,005380556	1,2	0,09282	17,25100671	15525,90604	<b>0,5750336</b>
19	0,10	18,4	0,005111111	1,2	0,09282	18,16043478	16344,3913	<b>0,6053478</b>
20	0,10	18,11	0,005030556	1,2	0,09282	18,45124241	16606,11817	<b>0,6150414</b>
21	0,10	18,57	0,005158333	1,2	0,09282	17,99418417	16194,76575	<b>0,5998061</b>
22	0,10	18,33	0,005091667	1,2	0,09282	18,22978723	16406,80851	<b>0,6076596</b>
23	0,10	17,48	0,004855556	1,2	0,09282	19,11624714	17204,62243	<b>0,6372082</b>
24	0,10	16,44	0,004566667	1,2	0,09282	20,32554745	18292,9927	<b>0,6775182</b>
25	0,10	18,66	0,005183333	1,2	0,09282	17,9073955	16116,65595	<b>0,5969132</b>
26	0,10	18,55	0,005152778	1,2	0,09282	18,01358491	16212,22642	<b>0,6004528</b>
27	0,10	17,03	0,004730556	1,2	0,09282	19,62137405	17659,23664	<b>0,6540458</b>
28	0,10	16,99	0,004719444	1,2	0,09282	19,66756916	17700,81224	<b>0,6555856</b>
29	0,10	17,41	0,004836111	1,2	0,09282	19,19310741	17273,79667	<b>0,6397702</b>
30	0,10	16,44	0,004566667	1,2	0,09282	20,32554745	18292,9927	<b>0,6775182</b>
31	0,10	18,4	0,005111111	1,2	0,09282	18,16043478	16344,3913	<b>0,6053478</b>
32	0,10	19,17	0,005325	1,2	0,09282	17,43098592	15687,88732	<b>0,5810329</b>
33	0,10	18,26	0,005072222	1,2	0,09282	18,29967141	16469,70427	<b>0,6099890</b>
34	0,10	18,38	0,005105556	1,2	0,09282	18,18019587	16362,17628	<b>0,6060065</b>
35	0,10	18,32	0,005088889	1,2	0,09282	18,23973799	16415,76419	<b>0,6079913</b>
36	0,10	18,33	0,005091667	1,2	0,09282	18,22978723	16406,80851	<b>0,6076596</b>
37	0,10	18,28	0,005077778	1,2	0,09282	18,27964989	16451,6849	<b>0,6093217</b>

38	0,10	18,11	0,005030556	1,2	0,09282	18,45124241	16606,11817	<b>0,6150414</b>
39	0,10	18,38	0,005105556	1,2	0,09282	18,18019587	16362,17628	<b>0,6060065</b>
40	0,10	18,4	0,005111111	1,2	0,09282	18,16043478	16344,3913	<b>0,6053478</b>
41	0,10	16,68	0,004633333	1,11	0,09282	20,03309353	18029,78417	<b>0,6677698</b>
42	0,10	17,76	0,004933333	1,11	0,09282	18,81486486	16933,37838	<b>0,6271622</b>
43	0,10	16,56	0,0046	1,11	0,09282	20,17826087	18160,43478	<b>0,6726087</b>
44	0,10	16,48	0,004577778	1,11	0,09282	20,27621359	18248,59223	<b>0,6758738</b>
45	0,10	18,21	0,005058333	1,11	0,09282	20,27621359	16514,92586	<b>0,6116639</b>
46	0,10	17,76	0,004933333	1,11	0,09282	20,27621359	16933,37838	<b>0,6271622</b>
47	0,10	18,53	0,005147222	1,11	0,09282	21,4588964	16229,72477	<b>0,6011009</b>
48	0,10	19,08	0,0053	1,11	0,09282	21,4588964	15761,88679	<b>0,5837736</b>
49	0,10	19,35	0,005375	1,11	0,09282	21,4588964	15541,95349	<b>0,5756279</b>
50	0,10	19,28	0,005355556	1,11	0,09282	22,33153527	15598,38174	<b>0,5777178</b>
51	0,10	19,68	0,005466667	1,11	0,09282	22,97926829	15281,34146	<b>0,5659756</b>
52	0,10	17,92	0,004977778	1,11	0,09282	21,646875	16782,1875	<b>0,6215625</b>
53	0,10	19,9	0,005527778	1,11	0,09282	20,79155779	15112,40201	<b>0,5597186</b>
54	0,10	19,05	0,005291667	1,11	0,09282	20,5407874	15786,70866	<b>0,5846929</b>
55	0,10	18,86	0,005238889	1,11	0,09282	20,71749735	15945,74761	<b>0,5905832</b>
56	0,10	17,84	0,004955556	1,11	0,09282	20,73049327	16857,44395	<b>0,6243498</b>
								<b>0,6057918</b>

**Apéndice A del Aforo prensa tusa (licor de raquis)**

	h [m]	t [s]	t [h]	Dilución [O/W]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	F. Máscico [Kg/h]	LPR		
								W	O	L
1	0,06	21,37	0,005936111	0,0875	0,07392	12,453	11207,33739	0,8	0,07	0,13
2	0,06	22,11	0,006141667	0,0875	0,07392	12,036	10832,24	0,8	0,07	0,13
3	0,06	22,23	0,006175	0,0875	0,07392	11,971	10773,77	0,8	0,07	0,13
4	0,06	20,42	0,005672222	0,0875	0,07392	13,032	11728,74	0,8	0,07	0,13
5	0,06	21,39	0,005941667	0,0875	0,07392	12,441	11196,86	0,8	0,07	0,13
6	0,06	20,75	0,005763889	0,0875	0,07392	12,825	11542,21	0,8	0,07	0,13
7	0,06	21,47	0,005963889	0,0875	0,07392	12,395	11155,14	0,8	0,07	0,13
8	0,06	20,75	0,005763889	0,0875	0,07392	12,825	11542,21	0,8	0,07	0,13
9	0,06	19,98	0,00555	0,0875	0,07392	13,319	11987,03	0,8	0,07	0,13
10	0,06	21,27	0,005908333	0,0875	0,07392	12,511	11260,03	0,8	0,07	0,13
11	0,06	19,53	0,005425	0,0875	0,07392	13,626	12263,23	0,8	0,07	0,13
12	0,06	21,15	0,005875	0,0875	0,07392	12,582	11323,91	0,8	0,07	0,13
13	0,06	21,65	0,006013889	0,0875	0,07392	12,292	11062,39	0,8	0,07	0,13
14	0,06	21,9	0,006083333	0,0875	0,07392	12,151	10936,11	0,8	0,07	0,13
15	0,06	18,25	0,005069444	0,0875	0,07392	14,581	13123,33	0,8	0,07	0,13
16	0,06	19,31	0,005363889	0,0875	0,07392	13,781	12402,94	0,8	0,07	0,13
17	0,06	20,17	0,005602778	0,0875	0,07392	13,193	11874,11	0,8	0,07	0,13

18	0,06	21,02	0,005838889	0,0875	0,07392	12,660	11393,95	0,8	0,07	0,13
19	0,06	19,66	0,005461111	0,0875	0,07392	13,536	12182,14	0,8	0,07	0,13
20	0,06	20,33	0,005647222	0,0875	0,07392	13,090	11780,66	0,8	0,07	0,13
21	0,06	20,96	0,005822222	0,0875	0,07392	12,696	11426,56	0,8	0,07	0,13
22	0,06	20	0,005822222	0,0875	0,07392	12,696	11426,56	0,8	0,07	0,13
23	0,06	21,02	0,005555556	0,0875	0,07392	13,306	11975,04	0,8	0,07	0,13
24	0,06	19,5	0,005416667	0,0875	0,07392	13,647	12282,09	0,8	0,07	0,13
25	0,06	19,25	0,005347222	0,0875	0,07392	13,824	12441,60	0,8	0,07	0,13
26	0,06	20,45	0,005680556	0,0875	0,07392	13,013	11711,53	0,8	0,07	0,13
27	0,06	20,15	0,005597222	0,0875	0,07392	13,207	11885,90	0,8	0,07	0,13
28	0,06	19,1	0,005305556	0,0875	0,07392	13,933	12539,31	0,8	0,07	0,13
29	0,06	20,37	0,005658333	0,0875	0,07392	13,064	11757,53	0,8	0,07	0,13
30	0,06	21,28	0,005911111	0,0875	0,07392	12,505	11254,74	0,8	0,07	0,13
31	0,06	21,9	0,006083333	0,0875	0,07392	12,151	10936,11	0,8	0,07	0,13
32	0,06	19,26	0,00535	0,0875	0,07392	13,817	12435,14	0,8	0,07	0,13
33	0,06	19,31	0,005363889	0,0875	0,07392	13,781	12402,94	0,8	0,07	0,13
34	0,06	21,8	0,006055556	0,0875	0,07392	12,207	10986,28	0,8	0,07	0,13
35	0,06	19,28	0,005355556	0,0875	0,07392	13,802	12422,24	0,8	0,07	0,13
36	0,06	20,93	0,005813889	0,0875	0,07392	12,714	11442,94	0,8	0,07	0,13
37	0,06	19,43	0,005397222	0,0875	0,07392	13,696	12326,34	0,8	0,07	0,13
38	0,06	21,44	0,005955556	0,0875	0,07392	12,412	11170,75	0,8	0,07	0,13
39	0,06	19,21	0,005336111	0,0875	0,07392	13,853	12467,51	0,8	0,07	0,13
40	0,06	20,07	0,005575	0,0875	0,07392	13,259	11933,27	0,8	0,07	0,13
41	0,06	19,95	0,005541667	0,0875	0,07392	13,339	12005,05	0,8	0,07	0,13
42	0,06	21,14	0,005872222	0,0875	0,07392	12,588	11329,27	0,8	0,07	0,13
43	0,06	21,23	0,005897222	0,0875	0,07392	12,535	11281,24	0,8	0,07	0,13
44	0,06	19,33	0,005369444	0,0875	0,07392	13,767	12390,11	0,8	0,07	0,13
45	0,06	21,42	0,00595	0,0875	0,07392	12,424	11181,18	0,8	0,07	0,13
46	0,06	22,55	0,006263889	0,0875	0,07392	11,801	10620,88	0,8	0,07	0,13
47	0,06	19,3	0,005361111	0,0875	0,07392	13,788	12409,37	0,8	0,07	0,13
48	0,06	21,35	0,005930556	0,0875	0,07392	12,464	11217,84	0,8	0,07	0,13
49	0,06	21,18	0,005883333	0,0875	0,07392	12,564	11307,88	0,8	0,07	0,13
50	0,06	22,13	0,006147222	0,0875	0,07392	12,025	10822,45	0,8	0,07	0,13
P						<b>12,96</b>	<b>11667,2</b>	<b>9333,73</b>	816,7	1516,7

### Apéndice B de *Velocidad de asentamiento*

T (min)	T (seg)	T (min)	Volumen aceite (ml)	Volumen aceite sep. (%v/v)	T Baño (°C)	Velocidad	H lodos
0	0	0	5	0,33	89,8		17,0546
0	10	0,2	5	0,33	89,8	1,650	17,0546

0	20	0,3	5	0,33	89,8	1,100	17,0546
0	30	0,5	5	0,33	89,8	0,660	17,0546
0	40	0,7	5	0,33	89,8	0,471	17,0546
0	50	0,8	5	0,33	90	0,413	17,0546
1	0	1	5	0,33	90,5	0,330	17,0546
1	10	1,2	5	0,33	90,5	0,275	17,0546
1	20	1,3	5	0,33	90,5	0,254	17,0546
1	30	1,5	5	0,33	90,5	0,220	17,0546
1	40	1,7	5	0,33	91,8	0,194	17,0546
1	50	1,8	5	0,33	91,8	0,183	17,0546
2	0	2	5	0,33	91,8	0,165	17,0546
2	10	2,2	5	0,35	91,8	0,159	16,9973
2	20	2,3	5	0,35	91,8	0,152	16,9973
2	30	2,5	5	0,35	91,8	0,140	16,9973
2	40	2,7	5	0,35	91,8	0,130	16,9973
2	50	2,8	10	0,35	91,8	0,125	16,9973
3	60	4	10	0,35	91,8	0,088	16,9973
3	0	3	10	0,35	93,7	0,117	16,9973
3	10	3,2	10	0,35	93,7	0,109	16,9973
3	20	3,3	10	0,35	93,7	0,106	16,9973
3	30	3,5	10	0,35	93,7	0,100	16,9973
3	40	3,7	10	0,35	93,7	0,095	16,9973
4	50	3,8	10	0,35	93,7	0,092	16,9973
4	0	4	10	0,38	93,7	0,095	16,9114
4	0	4,2	18	0,38	93,7	0,090	16,9114
4	0	4,3	18	0,38	93,7	0,088	16,9114
4	0	4,5	18	0,38	93,7	0,084	16,9114
4	0	4,7	18	0,38	93,7	0,081	16,9114
5	0	4,8	18	0,38	93,7	0,079	16,9114
6	0	5	21	0,38	95	0,076	16,9114
7	0	7	25	0,45	95,2	0,064	16,7108
8	0	8	30	0,45	95,1	0,056	16,7108
9	0	9	35	0,45	95,3	0,050	16,7108
10	0	10	35	0,45	95,3	0,045	16,7108
15	0	15	47	0,45	95,3	0,030	16,7108
20	0	20	47	0,48	95,3	0,024	16,6249
25	0	25	47	0,48	95,3	0,019	16,6249
30	0	30	47	0,48	95,3	0,016	16,6249
35	0	35	47	0,48	95,3	0,014	16,6249
40	0	40	47	0,48	94	0,012	16,6249

## Apéndice C del balance de masa en clarificación

PLANTA EXTRACTORA	PALMAS BUCARELIA	
<b>Prensas P-15 (3)</b>		
Capacidad de prensado de fruto	45	Ton/h
Tasa de extracción de aceite promedio	21	%
Flujo de Aceite Licor de prensas	9,45	Ton aceite/h
Flujo de licor de prensas sin diluir	23,63	Ton/h
Dilución a manejar	1,2	Ac/Ag
Agua agregar para dilución	6,75	Ton/h
Relación agua	25,00	%
Relación lpsd	87,50	%
Flujo de licor de prensas diluido	27,00	Ton/h

<b>BALANCE PRECLARIFICADOR</b>		
Licor de prensas diluido entrando	27,00	Ton/h
Composición aceite entrada	35%	%
Flujo de aceite entrando	9,45	Ton/h
Flujo Agua entrando	8,64	Ton/h
Flujo lodo entrando	8,91	Ton/h
Eficiencia teórica preclarificador	80%	%
Flujo aceite salida a sedimentador	7,56	Ton/h
Flujo de lodo aceitoso sep	19,44	Ton/h

$$\sum \rho X_i = \rho_{aceite} * X_{O1} + \rho_{agua} * X_{W1} + \rho_{lodos} * X_{L1}$$

<b>CAPACIDAD PRECLARIFICADOR</b>		
Volumen	10,50	m3
Caudal	22,015	m3/h
Tiempo res	0,4769	h
Tiempo res	28,62	min
Densidad	1060	kg/m3
<b>M_Capacidad</b>	23,33590	Ton /h
<b>M_entrada</b>	27	Ton /h
<b>Exceso</b>	<b>3,66410</b>	<b>Ton /h</b>

---

**BALANCE CONDENSADOS**


---



$$M1 * xw1 = M2 * xw2 + M3 * xw3$$

$$M1 * xl1 = M2 * xl2 + M3 * xl3$$

$$M1 * xo1$$

$$M1 * xw1$$

$$M1 * xl1$$

*Flujo entrada aceite \* Eficiencia teórica preclarificador*

$$((O1 - (O3)) + ((W1 + L1)))$$

#### Apéndice E Malla evaluadora del preclarificador

PARÁMETRO	VALOR TEÓRICO	VALOR ACTUAL	SE AJUSTA	NO SE AJUSTA	OBSERVACIONES
Volumen del preclarificador	Depende de la extractora	10, 50 m <sup>3</sup>		✗	Según el balance de masa, el volumen del equipo no se ajusta a la capacidad necesaria
Caudal de alimentación	Depende de la capacidad del equipo	22,02 m <sup>3</sup> /h		✗	El caudal es superior al recomendado para el volumen actual, provocando turbulencia y arrastre de aceite hacia los lodos.
Tiempo de retención	[40min-60min]	34,76 min		✗	El tiempo de retención es insuficiente, impidiendo la adecuada coalescencia y separación de fases. Se observan emulsiones persistentes y baja recuperación de aceite.
Densidad del fluido	950	1060	✗		Es una densidad promedio conforme a la mezcla.
Eficiencia de separación	[95% - 97%]	80%		✗	Al tener tan bajo tiempo de retención se ve afectada la eficiencia.
Velocidad de sedimentación	[0,00041 - 0,002m/s]	0,00057		✗	Se presenta arrastre.

**Nota:** Rangos operacionales tomas de: Fedepalma. (2018). *Manual de operación de plantas de beneficio de palma de aceite* (2.<sup>a</sup> ed.). Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite – Fedepalma

### Apéndice F de las pruebas de sedimentación

T (min)	T (seg)	T (min)	Volumen aceite (ml)	Volumen aceite sep. (%v/v)	T Baño (°C)	Velocidad	H lodos
0	0	0	5	0,33	89,8		17,0546
0	10	0,2	5	0,33	89,8	1,650	17,0546
0	20	0,3	5	0,33	89,8	1,100	17,0546
0	30	0,5	5	0,33	89,8	0,660	17,0546
0	40	0,7	5	0,33	89,8	0,471	17,0546
0	50	0,8	5	0,33	90	0,413	17,0546
1	0	1	5	0,33	90,5	0,330	17,0546
1	10	1,2	5	0,33	90,5	0,275	17,0546
1	20	1,3	5	0,33	90,5	0,254	17,0546
1	30	1,5	5	0,33	90,5	0,220	17,0546
1	40	1,7	5	0,33	91,8	0,194	17,0546
1	50	1,8	5	0,33	91,8	0,183	17,0546
2	0	2	5	0,33	91,8	0,165	17,0546
2	10	2,2	5	0,35	91,8	0,159	16,9973
2	20	2,3	5	0,35	91,8	0,152	16,9973
2	30	2,5	5	0,35	91,8	0,140	16,9973
2	40	2,7	5	0,35	91,8	0,130	16,9973
2	50	2,8	10	0,35	91,8	0,125	16,9973
3	60	4	10	0,35	91,8	0,088	16,9973
3	0	3	10	0,35	93,7	0,117	16,9973
3	10	3,2	10	0,35	93,7	0,109	16,9973
3	20	3,3	10	0,35	93,7	0,106	16,9973
3	30	3,5	10	0,35	93,7	0,100	16,9973
3	40	3,7	10	0,35	93,7	0,095	16,9973
4	50	3,8	10	0,35	93,7	0,092	16,9973
4	0	4	10	0,38	93,7	0,095	16,9114
4	0	4,2	18	0,38	93,7	0,090	16,9114
4	0	4,3	18	0,38	93,7	0,088	16,9114
4	0	4,5	18	0,38	93,7	0,084	16,9114
4	0	4,7	18	0,38	93,7	0,081	16,9114
5	0	4,8	18	0,38	93,7	0,079	16,9114
6	0	5	21	0,38	95	0,076	16,9114
7	0	7	25	0,45	95,2	0,064	16,7108

8	0	8	30	0,45	95,1	0,056	16,7108
9	0	9	35	0,45	95,3	0,050	16,7108
10	0	10	35	0,45	95,3	0,045	16,7108
15	0	15	47	0,45	95,3	0,030	16,7108
20	0	20	47	0,48	95,3	0,024	16,6249
25	0	25	47	0,48	95,3	0,019	16,6249
30	0	30	47	0,48	95,3	0,016	16,6249
35	0	35	47	0,48	95,3	0,014	16,6249
40	0	40	47	0,48	94	0,012	16,6249

Tiempo (min)	1 ac/ag	1.2 ac/ag	1.3 ac/ag	1.4 ac/ag
0	0	0	0	0
5	5	20	50	60
10	10	35	65	70
15	15	45	72	75
20	20	50	74	78
25	30	55	75	79
30	35	58	76	79,5
35	40	60	77	80
40	45	62	77,5	80
45	50	63	78	80
50	55	64	78,5	80
55	60	65	79	80
60	62	66	79,5	80
65	63	67	80	80

### Apéndice G de las pruebas de sedimentación

T (min)	T (seg)	T (min)	Volumen aceite (ml)	Volumen aceite sep. (%v/v)	T Baño (°C)	Velocidad	H lodos
0	0	0	5	0,33	89,8		17,0546
0	10	0,2	5	0,33	89,8	1,650	17,0546
0	20	0,3	5	0,33	89,8	1,100	17,0546
0	30	0,5	5	0,33	89,8	0,660	17,0546
0	40	0,7	5	0,33	89,8	0,471	17,0546
0	50	0,8	5	0,33	90	0,413	17,0546
1	0	1	5	0,33	90,5	0,330	17,0546
1	10	1,2	5	0,33	90,5	0,275	17,0546
1	20	1,3	5	0,33	90,5	0,254	17,0546
1	30	1,5	5	0,33	90,5	0,220	17,0546
1	40	1,7	5	0,33	91,8	0,194	17,0546

1	50	1,8	5	0,33	91,8	0,183	17,0546
2	0	2	5	0,33	91,8	0,165	17,0546
2	10	2,2	5	0,35	91,8	0,159	16,9973
2	20	2,3	5	0,35	91,8	0,152	16,9973
2	30	2,5	5	0,35	91,8	0,140	16,9973
2	40	2,7	5	0,35	91,8	0,130	16,9973
2	50	2,8	10	0,35	91,8	0,125	16,9973
3	60	4	10	0,35	91,8	0,088	16,9973
3	0	3	10	0,35	93,7	0,117	16,9973
3	10	3,2	10	0,35	93,7	0,109	16,9973
3	20	3,3	10	0,35	93,7	0,106	16,9973
3	30	3,5	10	0,35	93,7	0,100	16,9973
3	40	3,7	10	0,35	93,7	0,095	16,9973
4	50	3,8	10	0,35	93,7	0,092	16,9973
4	0	4	10	0,38	93,7	0,095	16,9114
4	0	4,2	18	0,38	93,7	0,090	16,9114
4	0	4,3	18	0,38	93,7	0,088	16,9114
4	0	4,5	18	0,38	93,7	0,084	16,9114
4	0	4,7	18	0,38	93,7	0,081	16,9114
5	0	4,8	18	0,38	93,7	0,079	16,9114
6	0	5	21	0,38	95	0,076	16,9114
7	0	7	25	0,45	95,2	0,064	16,7108
8	0	8	30	0,45	95,1	0,056	16,7108
9	0	9	35	0,45	95,3	0,050	16,7108
10	0	10	35	0,45	95,3	0,045	16,7108
15	0	15	47	0,45	95,3	0,030	16,7108
20	0	20	47	0,48	95,3	0,024	16,6249
25	0	25	47	0,48	95,3	0,019	16,6249
30	0	30	47	0,48	95,3	0,016	16,6249
35	0	35	47	0,48	95,3	0,014	16,6249
40	0	40	47	0,48	94	0,012	16,6249

Tiempo (min)	1 ac/ag	1.2 ac/ag	1.3 ac/ag	1.4 ac/ag
0	0	0	0	0
5	5	20	50	60
10	10	35	65	70
15	15	45	72	75
20	20	50	74	78
25	30	55	75	79
30	35	58	76	79,5
35	40	60	77	80
40	45	62	77,5	80

45	50	63	78	80
50	55	64	78,5	80
55	60	65	79	80
60	62	66	79,5	80
65	63	67	80	80

### Apéndice H de la evaluación diagnóstica aplicada

Diagnostico teórico		
Duración:	Valor total:	Puntos:
30 min	20 puntos	

1. ¿Cuál de los siguientes elementos es un equipo de protección personal (EPP)?

- a) Bolígrafo
- b) Casco de seguridad
- c) Manual de operaciones
- d) Tablero de control

2. ¿Qué debe hacer un operario al detectar una fuga de aceite en su estación?

- a) Ignorarla si es pequeña
- b) Reportarla inmediatamente al supervisor
- c) Lavar el área sin avisar
- d) Llamar a un compañero para que lo haga

3. ¿Cuántas veces al día se debe realizar el checklist de mantenimiento preventivo?

- a) Una vez a la semana
- b) Solo cuando hay fallas
- c) Según el protocolo de operación diario
- d) No es obligatorio

4. El uso correcto del EPP es obligatorio únicamente cuando hay inspecciones externas.

- a) Falso
- b) Verdadero

5. ¿Cuál es la función principal del preclarificador en la planta?

- a) Almacenar materia prima
- b) Separar fases del fluido (aceite, agua y sólidos)
- c) Medir caudal
- d) Regular la temperatura del sistema

6. Un mayor tiempo de retención en el preclarificador puede favorecer la recuperación de aceite.

- a) Falso
- b) Verdadero

7. ¿Qué práctica corresponde a las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM)?

- a) Comer dentro del área de producción
- b) Lavar los tanques con agua de uso doméstico
- c) Usar uniformes limpios y cabello recogido
- d) Llevar mascotas a la planta

8. ¿Qué medida ayuda a prevenir accidentes en planta?

- a) Omitir pasos para terminar más rápido
- b) Trabajar sin gafas si hay buena luz
- c) Seguir los protocolos de seguridad establecidos
- d) Desactivar alarmas sonoras

9. ¿Por qué es importante realizar mantenimiento preventivo a los equipos?

- a) Para evitar el uso innecesario
- b) Para que no se vea sucios
- c) Para prevenir fallas y garantizar la eficiencia del proceso
- d) Solo por requerimiento del jefe

10. ¿Cuál es la primera acción a tomar ante una emergencia por fuga de aceite caliente?

- a) Intentar limpiar la fuga sin protección
- b) Activar la alarma, notificar y evacuar según el protocolo
- c) Apagar las luces del área
- d) Grabar la situación con el celular

**Apéndice I de las muestras del separador 1**

<b>SEPARADOR 1 (entrada)</b>				
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 1	0,51	0,3	0,15	0,04
	0,47	0,31	0,2	0,02
	0,49	0,35	0,14	0,02
	0,45	0,38	0,12	0,05
	0,38	0,42	0,17	0,03
	0,4	0,35	0,23	0,02
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 2	0,45	0,33	0,15	0,07
	0,38	0,43	0,17	0,02
	0,44	0,32	0,2	0,04
	0,5	0,3	0,15	0,05
	0,44	0,35	0,17	0,04
	0,45	0,38	0,15	0,02
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 3	0,45	0,4	0,14	0,01
	0,43	0,38	0,18	0,01
	0,44	0,37	0,15	0,04
	0,42	0,31	0,23	0,04
	0,38	0,37	0,2	0,05
	0,44	0,37	0,15	0,04
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 4	0,44	0,35	0,16	0,05
	0,41	0,37	0,17	0,05
	0,44	0,38	0,15	0,03
	0,42	0,39	0,16	0,03
	0,45	0,38	0,13	0,04
	0,38	0,4	0,18	0,04
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 5	0,46	0,37	0,12	0,05
	0,48	0,36	0,15	0,01
	0,45	0,38	0,13	0,04
	0,44	0,37	0,17	0,02
	0,43	0,37	0,15	0,05
	0,42	0,38	0,16	0,04
<b>SEPARADOR 1 (salida)</b>				

	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 1	0,16	0,6	0,19	0,05
	0,1	0,66	0,19	0,05
	0,13	0,63	0,19	0,05
	0,16	0,54	0,26	0,04
	0,15	0,59	0,23	0,03
	0,15	0,6	0,2	0,05
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 2	0,1	0,59	0,28	0,03
	0,17	0,62	0,18	0,03
	0,17	0,55	0,26	0,02
	0,18	0,5	0,3	0,02
	0,17	0,56	0,22	0,05
	0,19	0,53	0,25	0,03
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 3	0,12	0,58	0,25	0,05
	0,18	0,56	0,22	0,04
	0,15	0,57	0,25	0,03
	0,15	0,59	0,21	0,05
	0,18	0,6	0,2	0,02
	0,17	0,61	0,17	0,05
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 4	0,2	0,58	0,2	0,02
	0,12	0,56	0,27	0,05
	0,14	0,57	0,25	0,04
	0,17	0,62	0,18	0,03
	0,12	0,62	0,22	0,04
	0,15	0,64	0,19	0,02
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 5	0,19	0,48	0,28	0,05
	0,18	0,53	0,25	0,04
	0,14	0,63	0,21	0,02
	0,15	0,63	0,18	0,04
	0,18	0,58	0,21	0,03
	0,13	0,6	0,22	0,05

## SEPARADOR 2

	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 1	0,18	0,57	0,2	0,05
	0,14	0,6	0,2	0,06
	0,16	0,585	0,2	0,055
	0,09	0,58	0,27	0,06
	0,1	0,58	0,25	0,07
	0,17	0,61	0,18	0,04

	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
Dia 2	0,3	0,54	0,15	0,01
	0,25	0,5	0,15	0,1
	0,16	0,61	0,19	0,04
	0,2	0,53	0,25	0,02
	0,17	0,64	0,17	0,02
	0,2	0,52	0,25	0,03
Dia 3	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
	0,17	0,61	0,17	0,05
	0,21	0,59	0,16	0,04
	0,2	0,62	0,17	0,01
	0,3	0,54	0,12	0,04
	0,17	0,65	0,16	0,02
Dia 4	0,21	0,57	0,17	0,05
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
	0,22	0,65	0,12	0,01
	0,18	0,6	0,16	0,06
	0,2	0,62	0,17	0,01
	0,18	0,59	0,17	0,06
Dia 5	0,2	0,63	0,12	0,05
	0,16	0,65	0,16	0,03
	<b>ACEITE</b>	<b>AGUA</b>	<b>LODOS PESADOS</b>	<b>LODOS LIGEROS</b>
	0,18	0,6	0,19	0,03
	0,15	0,58	0,25	0,02
	0,15	0,6	0,22	0,03
Dia 5	0,16	0,62	0,16	0,06
	0,17	0,61	0,2	0,02
	0,2	0,58	0,18	0,04