

**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS EN LAS ETAPAS DE  
ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE  
ACEITE DE PALMA EN INDUPALMA LTDA.**

**LAURA LUCÍA MORENO JALKH**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS EN LAS ETAPAS DE  
ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE  
ACEITE DE PALMA EN INDUPALMA LTDA.**

**LAURA LUCÍA MORENO JALKH**

**Trabajo de grado en modalidad de Práctica Industrial para optar al título de  
Ingeniera Química.**

**Director:**

**Phd. FREDY AVELLANEDA VARGAS**

**Ph.D en Ingeniería Química Ambiental y Procesos**

**Co-director:**

**Esp. Luisa Fernanda España**

**Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

Este logro está dedicado primero a Dios, por guiarme, darme sabiduría, inteligencia y constancia en todo lo que he realizado hasta el momento.

A mi padre Saúl Moreno Espinosa y a mi madre Latife Jalkh Grimaldo por apoyarme y estar conmigo en todo momento, porque nunca se cansaron de luchar por mí a pesar de los obstáculos; ellos son el motor de mi vida.

A mis hermanos Luis Enrique y Luis Carlos por siempre aportar un granito de arena en cada uno de los proyectos de mi vida.

A todos mis familiares por haber confiado en mí y por ser un gran apoyo durante toda mi carrera profesional en especial a mis tías Lavive, María y Nayibe y a mis tíos Francisco y Óscar.

A mi prima Luisa Fernanda por enseñarme lo bonito que es ejercer la Ingeniera Química, eres mi ejemplo a seguir y lo sabes, muchas gracias.

A Amira Moncada que está en el cielo, por ser mi amiga y ser mi apoyo espiritual, siempre te llevaré en mi corazón.

A Jhon Alexander Bello por acompañarme en ésta trayectoria y por ser una parte especial de mi vida.

A todos mis amigos y colegas por aportar parte de su buena energía durante éste recorrido por la universidad.

Mil gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis sinceros agradecimientos a Dios por darme la oportunidad de realizar este trabajo de grado y haber cumplido con el objetivo.

A la Universidad Industrial de Santander por ser el centro de enseñanza que me aportó conocimiento, responsabilidad, trabajo, cultura y dedicación.

Mis más sinceros agradecimientos al Doctor Fredy Avellaneda por brindarme la oportunidad de aprender de su experiencia, por su colaboración a este proyecto y por brindarme su amistad, mil gracias Doctor.

Un reconocimiento muy especial a todo el equipo del Departamento Industrial de la empresa INDUPALMA LTDA. Por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de mi proyecto.

A la Ingeniera Luisa España por darme la oportunidad de realizar mi pasantía industrial en la empresa INDUPALMA LTDA.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	16
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 INDUPALMA LTDA.	20
2.2 PÉRDIDA DE ACEITE	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1 DESCRIPCIÓN Y FAMILIARIZACIÓN CON EL PROCESO	22
3.2 RECEPCIÓN DE FRUTO Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF)	22
3.2.1 Tratamiento estadístico de los datos obtenidos	24
3.3 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE ACEITE EN LAS ETAPAS DE ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO	24
3.3.1 Tratamiento estadístico de los datos obtenidos	29
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
4.1. DESCRIPCIÓN Y FAMILIARIZACIÓN CON EL PROCESO	30
4.1.1. Recepción de fruto	31
4.1.2. La esterilización	32
4.1.3. Desfrutado	33

4.2. RECEPCIÓN DE FRUTO Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF)	33
4.2.1. Estado de los racimos	34
4.2.2. Características de los racimos de fruta fresca según su clasificación	35
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA ETAPA DE ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO	37
4.3.1 Pérdida de aceite en raquis	37
4.3.1.1 Efecto de la presión	37
4.3.1.2 Efecto del tiempo de residencia	38
4.3.2 Pérdida de aceite en fruto adherido	39
4.3.2.1 Efecto de la presión	39
4.3.2.2 Efecto del tiempo de residencia	40
4.3.3 Pérdida de aceite en condensados	42
4.3.4 Efecto de la dosificación y las revoluciones por minuto (RPM) del tambor rotatorio en el desfrutado	43
4.3.5 Alternativa de solución	45
5. CONCLUSIONES	46
6. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estructura del fruto y racimos de palma de aceite, a) Fruto, b) Racimo de fruta fresca	20
Figura 2. Puntos de toma de muestra en las etapas de esterilización y desfrutado.	25
Figura 3. Clasificación de los racimos	35
Figura 4. Potencial de aceite promedio en racimo de fruta fresca según su madurez.	36
Figura 5. Comportamiento del porcentaje de aceite en raquis frente al tiempo de residencia en el esterilizador.	38
Figura 6. Comportamiento del porcentaje de aceite en raquis en reprocesados frente al tiempo de residencia en el esterilizador.	39
Figura 7. Efecto de la presión en el porcentaje de aceite en fruto adherido	40
Figura 8. Comportamiento del porcentaje de aceite en fruto adherido frente al tiempo de residencia en esterilizador para raquis procesados una sola vez.	41
Figura 9. Comportamiento del porcentaje de aceite en fruto adherido en raquis reprocesados frente al tiempo de residencia en el esterilizador.	41
Figura 10. Comportamiento del porcentaje de aceite perdido en condensados frente al tiempo de residencia en el esterilizador.	42
Figura 11. Seguimiento de la calidad de desfrutado de los racimos esterilizados que provienen del autoclave 1.	43
Figura 12. Seguimiento de la calidad de desfrutado de los racimos esterilizados que provienen del autoclave 2.	44
Figura 13. Tiempo de residencia según la capacidad de dosificación de racimos esterilizados en toneladas en las líneas 1 y 2 del desfrutador.	44

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Comparativo de pérdida de aceite en el proceso de extracción entre Colombia y Malasia. FUENTE: Flórez, L, [4]	21
Tabla 2. Valores de presión en la esterilización [8]	32
Tabla 3. Resultados de peso, humedad y aceite en RFF.	35
Tabla 4. Comparación de las pérdidas promedio de aceite en raquis para las diferentes presiones manejadas por los esterilizadores objeto de estudio (incluyendo los reprocesados).	37
Tabla 5. Comparación de las pérdidas promedio de aceite en fruto adherido a raquis en los diferentes esterilizadores (incluye reprocesados).	40

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Técnica específica de muestreo e instructivos de laboratorio en la recepción de fruto y en las etapas de esterilización y desfrutado.	54
Anexo B. Diagramas del proceso de extracción de aceite de palma.	64
Anexo C. Resultados de la prueba Tukey.	67
Anexo D. Diagrama de implementación del equipo de prensado de raquis.	68

## GLOSARIO

**ESPIGAS:** Conjunto de soportes fibrosos que van unidos al raquis en los cuales van sujetos los frutos.

**FRUTOS ABORTIVOS:** Frutos no desarrollados, no poseen semilla y son de color blanco o amarillo pálido.

**FRUTOS EXTERNOS:** Son aquellos pertenecientes a las dos o tres últimas capas de la espiguilla, se caracterizan por tener mayor tamaño, mayor relación pulpa/fruto, mayor contenido de aceite en pulpa y por presentar una coloración rojiza intensa.

**FRUTOS INTERNOS:** Son de menor tamaño, presentan una menor relación pulpa/fruto menor contenido de aceite en frutos, están ubicados en las capas inferiores de las espigas y presentan una coloración naranja clara que en algunos casos se torna amarilla o blanca.

**FRUTOS PARTENOCÁRPICOS:** Frutos que no tienen semilla, pero están bien formados y presentan coloración naranja.

**LÍNEA DE OPERACIÓN DEL DESFRUTADOR:** Consta de una tolva de dosificación de racimos esterilizados y un tambor rotatorio, en la planta industrial de indupalma existen dos líneas de operación.

**MICELA:** Mezcla de aceite y disolvente.

**PEDÚNCULO:** Tallo central del racimo.

**RAQUIS ENFERMO:** Son aquellos que poseen frutos adheridos de difícil remoción en una sola parte del raquis.

**RAQUIS MAL DESFRUTADO:** Raquis que contiene frutos adheridos de fácil remoción.

**RAQUIS VERDE:** Son aquellos que no contienen un alto porcentaje de aceite y poseen todos sus frutos adheridos de difícil remoción.

**RAQUIS:** Racimo sin frutos, conformado por pedúnculo (núcleo central) y espiguillas.

**SÓLIDOS SECOS NO ACEITOSOS (SSNA):** Sólidos sin agua y sin aceite presentes en la muestra.

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS EN LAS ETAPAS DE ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA EN INDUPALMA LTDA.

**AUTOR:** LAURA LUCÍA MORENO JALKH\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Aceite de palma, extracción, esterilización, desfrutado, pérdidas.

### DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto fue realizado en la empresa Indupalma Ltda. con el fin de analizar las dos primeras etapas del proceso de extracción para obtener alternativas que puedan disminuir la pérdida de aceite rojo en la planta extractora del municipio de San Alberto, Cesar.

Se analizaron cada una de las clases de racimos de fruto de palma, según su maduración, que llegan a la recepción (maduro, sobre-maduro, podrido, verde, enfermo, mal formado) para su respectiva caracterización teniendo en cuenta el potencial de aceite y peso. En la primera etapa del proceso, como lo es la esterilización, se cuantificaron las pérdidas teniendo en cuenta la presión y el tiempo de residencia según el esterilizador objeto de estudio. De igual manera, se realizó un análisis en la etapa de desfrutado teniendo en cuenta variables como las revoluciones por minuto y el tiempo de residencia de los racimos esterilizados en el tambor rotatorio, y finalmente se varió la dosificación de racimos en la tolva del desfrutado. Las pérdidas de aceite en fruto adherido y por impregnación a raquis y la pérdida de aceite en condensados reportaron diferencias significativas entre los promedios de aceite en los esterilizadores (1 y 2) objeto de estudio, en donde se pudo establecer que el uso de un esterilizador en específico genera influencia en estas pérdidas de aceite debido al manejo de las variables empleadas en cada uno, como lo es la presión que es menor en el esterilizador 1. Por otra parte, para lograr una mejor calidad de desfrutado se sugiere trabajar con un peso de 2.5 toneladas de racimo de fruta fresca a 22 revoluciones por minuto en el tambor rotatorio respectivamente.

---

\* Proyecto de grado. Práctica industrial

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Fredy Avellaneda V, Phd.; Co-director: Luisa Fernanda España M. Esp; INDUPALMA.LTDA

## ABSTRACT

**TITLE:** ANALYSIS OF PERCENTAGE LOSS IN STAGES IN STERILIZATION AND DESFRUTADO IN A EXTRACTION PROCESS PALM OIL INDUPALMA LTDA.\*

**AUTHOR:** LAURA LUCIA MORENO JALKH\*\*

**KEYWORDS:** Palm oil, extraction, sterilization, desfrutado, losses.

### DESCRIPTION:

This project was undertaken in the company Indupalma Ltda. In order to analyze the first two stages of red oil extraction plant in the municipality of San Alberto, Cesar. each of the classes of clusters of palm fruit were analyzed according to their maturity, arriving at the reception (ripe, over-ripe, rotten, green, sick, malformed) for their respective characterization considering the weight and percentage of oil. In the first stage, losses were quantified taking into account the residence time and the pressure in the sterilizer under study. Similarly, an analysis was performed on the stage of desfrutado taking into account variables such as rpm and the residence time of the clusters sterilized in a rotary drum, and finally the dosage of clusters was varied in the hopper desfrutado. Oil loss in fruit adhered and the impregnation in the rachis and loss of oil of condensates, reported significant differences between the averages of oil in the sterilizers (1 and 2) under study, where it was established that the use of a sterilizer specific generates influence in the oil losses due to handling of the variables used in each, as is the pressure which is lower in the sterilizer 1. Moreover, to achieve a better quality of desfrutado is suggested to work weighing 2.5 tonnes of fresh fruit at 22 rpm in the rotary drum respectively.

---

\* Project of grade

\*\* Physicochemical Faculty of Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Fredy Avellaneda V, Phd.; Co-director: Luisa Fernanda España M. Esp; INDUPALMA.LTDA

## INTRODUCCIÓN

Con la producción de más de un millón de toneladas de aceites de palma y de palmiste, Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primer productor en América. La palma de aceite está presente en cuatro zonas de Colombia: Norte, Oriental, Central y Suroccidente, que abarcan 122 municipios en 19 departamentos alrededor del país, siendo su área sembrada de 500.000 hectáreas aproximadamente. La palmicultura es una de las actividades agrícolas más prometedoras como eje para alcanzar el desarrollo nacional. [1][2][3]

Para una planta de beneficio primario, uno de los parámetros más significativos corresponde a la pérdida de aceite crudo de palma en el proceso de extracción. Por tal razón, se debe mantener un control de pérdidas proponiendo alternativas que logren un costo y un beneficio en las plantas extractoras. La palma de aceite produce racimos en donde se encuentra el fruto que contiene el aceite crudo de palma y palmiste, estos racimos son removidos y llevados a la extractora para iniciar el proceso de extracción. [4]

El control de pérdidas de aceite durante el proceso de extracción representa múltiples desafíos y dificultades ya que son causadas por diferentes factores entre los que se encuentran los agronómicos (calidad del fruto, pedúnculo largo, impureza y pepa suelta) y las pérdidas de aceite en planta (pérdida de aceite en raquis, raquis mal desfrutado, en fibra y en efluentes). [5][6]

El proceso de extracción de aceite se conforma de una serie de etapas que incluyen: esterilización, desfrutado, digestión, prensado y clarificación, en las cuales se presentan pérdidas de aceite que afectan la capacidad de producción y aumentan los costos de la misma; siendo la etapa de desfrutado la que presenta el

mayor porcentaje de pérdidas durante el proceso debido principalmente a la diversidad morfológica de los racimos de fruta fresca (RFF), la dosificación de racimos en el desfrutador, capacidad de procesamiento y la altura de llenado de vagonetas. [5][7][8]

El sector palmero colombiano considera el 1,77% aceite/RFF [9] como una cifra estándar de pérdida total para el proceso de extracción del aceite de palma. Sin embargo, la empresa objeto de estudio, INDUPALMA, presenta un mayor porcentaje de pérdidas durante el proceso debido principalmente al aceite impregnado en tusas y al fruto adherido al raquis en las etapas de esterilización y desfrutado; por tal motivo se deseaba cuantificar las pérdidas de aceite de palma con ayuda de métodos de ensayos empleados en el laboratorio industrial y con los equipos que actualmente posee la planta. Para dar cumplimiento a esto, se desarrolló éste proyecto en la modalidad de práctica industrial con el fin de realizar un análisis más detallado en estas etapas para tomar acciones correctivas, contribuyendo así al aumento en la producción de aceite y favoreciendo los ingresos de la empresa.

La empresa INDUPALMA LTDA. Se interesó en desarrollar éste proyecto en donde se efectuaron diferentes metodologías para obtener los datos experimentales que se analizaron de forma estadística y que describen las diferentes tendencias con respecto a cada una de las pruebas realizadas para las etapas de estudio (esterilización y desfrutado).

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar y cuantificar las pérdidas en las etapas de esterilización y desfrutado del proceso de extracción de aceite de palma.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las pérdidas cualitativas en el proceso general de extracción de aceite de palma.
- Establecer una clasificación visual de los racimos de fruta fresca (RFF) y cuantificar el potencial de aceite de cada uno según su estado de madurez.
- Analizar las pérdidas de aceite (*aceite producido/RFF*) en las etapas de esterilización y desfrutado.

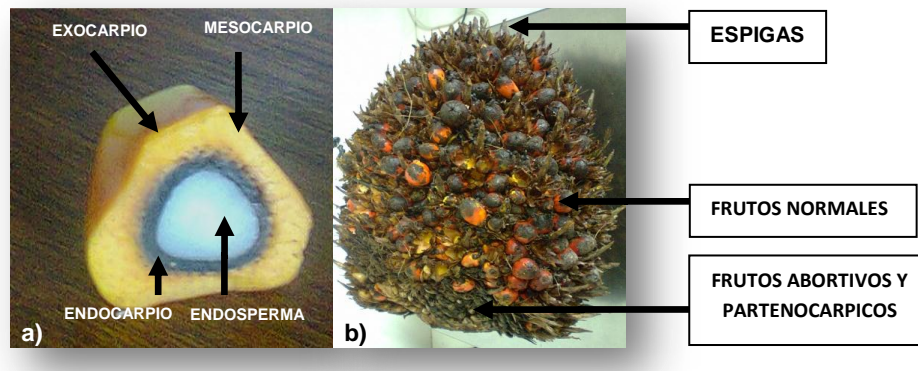
## 2. MARCO TEÓRICO

La palma africana es proveniente del Golfo de Guinea en el África occidental en donde nace su nombre *Elaeis guineensis jacq, Elaeis*, del griego “elaia” que significa olivo, por su aceite; y *guineensis* por su procedencia de la República de Guinea en África occidental. Ésta planta crece en una zona de latitud 10° al norte y paralelo del ecuador. [8] [10]

La palma de aceite es una planta perenne y oleaginosa de origen vegetal, posee racimos de fruta fresca que contienen el fruto de la palma de aceite el cual tiene forma ovoide y es allí donde se obtiene los dos tipos de aceite. El primer tipo es el aceite de palma que se extrae del mesocarpio y es usado para la producción de margarinas, manteca, aceite de mesa, helados entre otros; el segundo es el aceite de palmiste que lo contiene la almendra del fruto y es usado para la producción de jabones, margarinas y cosméticos; por éstas razones la extracción de aceite de palma es tan importante debido a los productos de consumo que genera. [10]

El fruto de la palma de aceite está compuesto por un *exocarpio* que se refiere a la parte externa, es una tela generalmente de color rojizo que envuelve el fruto; el *mesocarpio* es la pulpa que contiene el aceite de palma, un tejido fibroso y aceitoso de color naranja; el *endocarpio* es la cáscara que contiene la almendra, es un hueso con aspecto leñoso; y finalmente, se tiene el *endospermo* o almendra, su color es blanco y es la que contiene el aceite de palmiste. En la figura 1(a) se observa las distintas partes que conforman el fruto de la palma de aceite. [11]. El racimo de palma se encuentra ubicado en la corona de la palma de aceite y en él se encuentra unas espigas que sostienen los frutos que contienen el aceite. En la figura 1 (b) se puede observar un racimo de fruta fresca (RFF) de palma de aceite con sus respectivas partes. [11]

**Figura 1. Estructura del fruto y racimos de palma de aceite, a) Fruto, b) Racimo de fruta fresca**



FUENTE: autor

## 2.1 INDUPALMA LTDA.

INDUPALMA es una empresa agroindustrial del sector palmicultor de Colombia, se encuentra ubicada en la zona centro de nuestro país, se dedica al cultivo y extracción de la palma de aceite, a la producción de semillas híbridas, polen y plántulas y administra los negocios de algunos inversionistas de palma que le han delegado. INDUPALMA fue fundada en el municipio de San Alberto, ubicado al sur del Cesar, en el año 1961 por el señor Moris Gutt con el fin de proveer aceite a la fábrica de grasas y productos químicos GRASCO. [12]

Hoy en día la planta extractora INDUPALMA procesa 60 toneladas de racimos de fruto fresco por hora, contando con equipos eficientes que logran obtener un producto de alta calidad teniendo en cuenta la protección del medio ambiente en cuanto a emisión de gases de efecto invernadero.[12]

## 2.2 PÉRDIDA DE ACEITE

**Tabla 1. Comparativo de pérdida de aceite en el proceso de extracción entre Colombia y Malasia. FUENTE: Flórez, L, [4]**

Pérdida (%Ac/RFF)	Zona Central	Zona Norte	Zona Oriental	Zona Occidental	Promedio Colombia	Malasia	Mínimos Colombia
Por impregnación en tusas	0,63	0,64	0,38	0,84	0,62	0,35	0,38
Por aceite en fruto adherido	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02	0,35	0,01
Por impregnación en fibras	0,5	0,49	0,51	0,49	0,5	0,42	0,49
Por aceite en efluentes	0,51	0,64	0,54	0,63	0,58	0,58	0,51
Por impregnación en nueces	0,08	0,08	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05
Total pérdidas	1,76	1,86	1,51	2,03	1,79	1,75	1,44

Las evidencias mostradas en la Tabla 1, muestran claramente que las mayores pérdidas de aceite están dadas por la impregnación de aceite en raquis y por aceite en efluentes, cabe resaltar que la zona central es en donde se encuentra la planta objeto de estudio.

La pérdida de aceite en raquis se origina debido al aceite que queda impregnado al raquis después de pasar por las primeras etapas del proceso de extracción, estas pérdidas dependen del método esterilizado y de la operación que ejerce el desfrutador. Por otra parte, la esterilización inadecuada es posiblemente uno de los factores que influyen en éste comportamiento ya que estudios realizados han destacado que mientras más alta sea la presión de sostenimiento habrá una mejor tasa de extracción de aceite y menor pérdida de la misma. Sin embargo, si se trabaja con una presión de sostenimiento relativamente baja la pérdida de aceite aumentaría. [4]

Las pocas descargas que se realizan durante la etapa de esterilización influyen en las pérdidas de efluentes, por tal razón la pérdida de aceite en los condensados de ésta operación se refleja en un porcentaje de 0,08% aceite/RFF [4]

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN Y FAMILIARIZACIÓN CON EL PROCESO**

Inicialmente se hizo un reconocimiento general del proceso para identificar cualitativamente cuáles eran las operaciones que presentaban mayores pérdidas de aceite.

#### **3.2 RECEPCIÓN DE FRUTO Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF)**

En la planta extractora se realizó una caracterización visual de cada uno de los racimos con el fin de evaluar su estado antes de ingresar al proceso, teniendo en cuenta su nivel de madurez, peso, humedad y el potencial de aceite de cada tipo de racimo. Se pesaron cinco racimos de cada clasificación escogidos al azar de la tolva de recepción de fruto durante cinco días (uno cada día). [13]

Es importante aclarar que los racimos analizados son una mezcla de frutos cultivados en terrenos propios de la empresa y otros que son comprados a proveedores cercanos a la planta extractora.

Luego de tomar los registros del estado en los que se encuentra cada uno de los racimos, éstos fueron trasladados al laboratorio industrial de la empresa objeto de estudio para tomar su debido peso en gramos, la humedad, el porcentaje de aceite en los frutos externo e internos y posteriormente llevar a cabo el instructivo de laboratorio para hallar el potencial de aceite de cada uno de los racimos.

Los frutos que componen el racimo se clasifican en internos y externos. Los internos se caracterizan por presentar menor cantidad de aceite y encontrarse al interior del racimo, por ende, están menos expuestos al contacto directo con el sol, poseen un color más claro y menor tamaño. Por el contrario, los externos están en contacto con el sol, tienen un mayor tamaño, color oscuro y mayor contenido de aceite.

La determinación de la humedad se realizó mediante un método gravimétrico que consiste en tomar 10 g de muestra (pulpa del fruto interno o externo), secarla a 105°C en un horno convencional durante 12 horas y posteriormente pesar la muestra cada 20 minutos hasta obtener un peso constante (tres mediciones consecutivas con una diferencia de máximo 0,02 g). Una vez obtenido el peso constante se calculó el porcentaje de humedad aplicando la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{\text{Peso de muestra de pulpa húmeda} - \text{Peso de muestra de pulpa seca}}{\text{Peso de muestra de pulpa húmeda}} * 100$$

La determinación del porcentaje de aceite en cada uno de los tipos de frutos se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\%aceite\ en\ fruto = \left( \frac{84,669 - (0,938 * A)}{100} * \left( \frac{B}{100} \right) \right) * C$$

En donde A corresponde al porcentaje de humedad, B al porcentaje en peso del mesocarpio y C al porcentaje de frutos contenidos en el racimo, los otros valores de la ecuación son constantes; éste cálculo se aplica para frutos internos y externos de cada uno de los tipos de racimo (RFF). Finalmente, para hallar el potencial de aceite se realizó la sumatoria del porcentaje de aceite en frutos internos y externos de cada uno de los racimos clasificados. Estos procedimientos se aprecian en el anexo A.

Las ecuaciones son utilizadas de acuerdo al manual de instructivos de laboratorio de la empresa INDUPALMA, el cual es la guía para los procedimientos realizados en el laboratorio industrial.

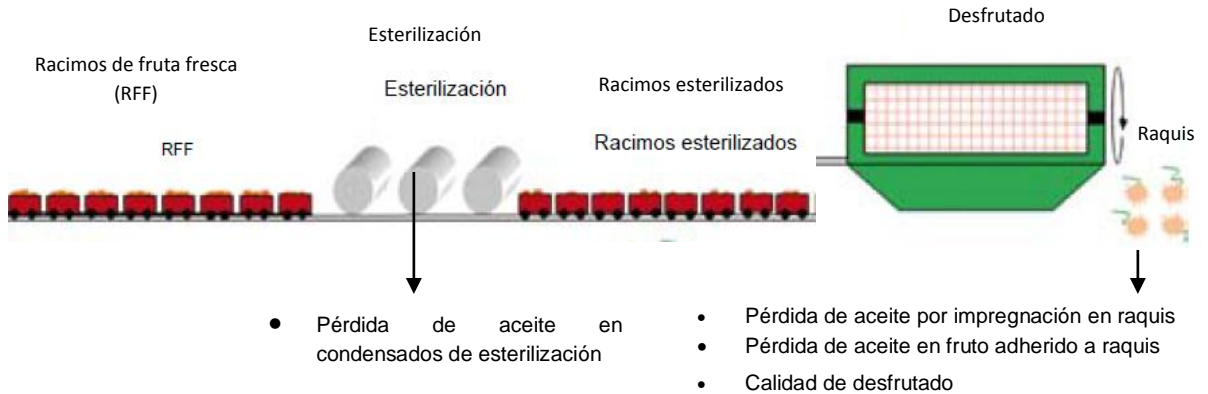
**3.2.1 Tratamiento estadístico de los datos obtenidos** se realizaron pruebas de Tukey para determinar si existían diferencias significativas entre las medias de las clasificaciones de los racimos de fruta fresca, calculando el valor de un parámetro comparativo entre ellas (P). Si el valor P es menor de 0,05 (que es un nivel de significancia científicamente aceptado) esto significa que satisface el nivel de confianza del 95% y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ : No existen diferencias significativas entre las medias de los factores comparados), por otra parte si el valor P es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se puede decir que los factores se comportan estadísticamente de una forma similar y poseen medias similares.

### **3.3 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS DE ACEITE EN LAS ETAPAS DE ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO**

La etapa de esterilización se lleva a cabo en dos baterías que trabajan a un rango de 40-42 y 36-38 psi. Cada una se compone por tres esterilizadores y se escoge el último de cada batería para ser analizado debido a que son los más estables durante el proceso de esterilización. La etapa siguiente corresponde al desfrutado y se lleva a cabo mediante dos líneas de operación que consta de un tambor rotatorio a diferentes revoluciones por minuto cada una; la línea 1 opera a 22 RPM y la línea 2 a 23 RPM.

Las variables de respuesta medidas durante las etapas de esterilización y desfrutado se muestran en la figura 2.

**Figura 2. Puntos de toma de muestra en las etapas de esterilización y desfrutado.**



Con base en la experiencia de los ingenieros en planta se determinó que los factores que influían en las **pérdidas de aceite en condensados** correspondían al tiempo de residencia y la presión de sostenimiento de los racimos de fruta fresca en la etapa de esterilización, por otra parte la **pérdida de aceite por impregnación y fruto adherido al raquis** se debía a la presión de sostenimiento durante la esterilización y al tiempo de residencia tanto en la etapa de esterilización como en la etapa de desfrutado. Finalmente determinó que la **calidad de desfrutado** se ve afectada por la presión de sostenimiento en la esterilización, y por la dosificación de racimos esterilizados y las revoluciones por minuto en el tambor rotatorio en la etapa de desfrutado. Por otra parte se escogió el último esterilizador por cada batería para ser estudiado debido a que éstos representan una mayor estabilidad durante la etapa de esterilización. Estas afirmaciones corresponden al personal de ingeniería bajo su experiencia en la planta extractora objeto de estudio y a los datos confidenciales que se tienen en la empresa.

Se denomina raquis al racimo libre de frutos que sale del desfrutador, éstos poseen una clasificación diferente a la de los racimos de fruta fresca (RFF). Su clasificación abarca cuatro tipos de raquis en los que se encuentran los bien desfrutados los cuales no contienen ningún fruto, seguido de los mal desfrutados

que se caracterizan por poseer frutos adheridos de fácil remoción, por otra parte encontramos los verdes o duros que se identifican por poseer todos sus frutos que son de difícil remoción y finalmente están los enfermos que se caracterizan por desprender el 50% de sus frutos y el otro 50% se encuentran adheridos y de difícil remoción.

Las pérdidas de aceite por impregnación y fruto adherido al raquis se le midieron a racimos que fueron procesados una sola vez es decir los racimos de fruta fresca y a aquellos que son devueltos al proceso por poseer frutos adheridos (reprocesados). Éstos últimos fueron seleccionados en el punto de reproceso en la banda transportadora de raquis. El procedimiento para marcar los racimos y los raquis con fruto adherido se explica detalladamente en el anexo A.

Para la **pérdida de aceite por impregnación en raquis** la cual corresponde al porcentaje de aceite que absorbió el racimo vacío después de pasar por las dos primeras etapas del proceso (esterilización y desfrutado) se llevó a cabo escogiendo aleatoriamente un racimo vacío o raquis bien desfrutado por día a la salida del desfrutador y fueron llevados al laboratorio industrial para extraer el aceite contenido, ésta toma de muestra se realizó durante diez días.

Para la determinación del porcentaje de aceite por impregnación en el raquis se realizó un procedimiento en el laboratorio industrial, el cual se encuentra detalladamente en el anexo A, en donde se obtiene el valor del aceite contenido en el raquis bien desfrutado sin embargo para calcular el porcentaje de aceite perdido por día en la planta extractora se procedió el uso de la siguiente ecuación.

$$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} = \% \frac{\text{Aceite (g)}}{\text{SSNA (g)}} * \frac{\text{SSNA (g)}}{\text{Raquis (g)}} * \frac{\text{Raquis(Ton)}}{\text{RFF (Ton)}}$$

En donde:

$$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{SSNA}} = \frac{\text{Peso de aceite(g)}}{\text{Peso de SSNA (g)}} * 100$$

$$\% \frac{\text{SSNA}}{\text{Raquis}} = \frac{\text{peso SSNA (g)}}{\text{muestra húmeda (g)}} * 100$$

$$\% \frac{\text{Raquis}}{\text{RFF}} = \frac{\text{Peso de Raquis (Ton)}}{\text{peso de RFF (Ton)}} * 100$$

El peso de aceite corresponde al aceite que contiene el raquis y que fue calculado en el laboratorio, y el peso de SSNA (sólido seco no aceitoso) hace referencia a la diferencia de la muestra seca de raquis bien desfrutado menos el peso del aceite, por otra parte el peso de la muestra húmeda (g) es referido a la muestra de raquis bien desfrutado que fue escogida en la planta; el peso de raquis (ton) y el peso de RFF (ton) corresponden al peso en toneladas de racimos vacíos que salen del proceso de extracción y a los racimos de fruta fresca que entran a la extractora, éstos datos están dados por día. Estas ecuaciones son dadas de acuerdo al manual de instructivos de laboratorio de la empresa INDUPALMA.

La **pérdida de aceite en fruto adherido al raquis** hace referencia al porcentaje aceite contenido en los frutos que no se alcanzaron a desprender. Para la determinación de este porcentaje se escoge aleatoriamente un raquis mal desfrutado por día (raquis con frutos adheridos de fácil remoción) el cual es llevado al laboratorio para extraer el aceite contenido en sus frutos, ésta toma de muestra se realizó durante diez días.

Para la determinación del porcentaje de aceite en fruto adherido al raquis, se realizó un procedimiento en el laboratorio industrial, el cual se explica detalladamente en el anexo A, en donde se obtiene el valor del aceite contenido en el raquis mal desfrutado sin embargo para calcular el porcentaje de aceite perdido por día en la planta extractora se procedió el uso de la siguiente ecuación.

$$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{frutos}} = \% \frac{\text{Peso frutos adheridos (g)}}{\text{raquis (g)}} * \% \frac{\text{Aceite (g)}}{\text{peso frutos adheridos (g)}} * \% \frac{\text{Raquis(Ton)}}{\text{RFF (Ton)}}$$

↓

Corresponde al peso de los frutos adheridos al raquis mal desfrutado.

↓

Hace referencia al aceite contenido en los frutos adheridos de la muestra.

↓

Peso (ton) de racimos vacíos que salen del proceso y RFF que entran a la extractora, por día.

Estas ecuaciones son dadas de acuerdo al manual de instructivos de laboratorio de la empresa INDUPALMA.

La **perdida de aceite en condensados** hace referencia al aceite que queda contenido en el condensado del vapor de agua durante la etapa de esterilización. Se tomaron 100 ml de muestra en la tubería de descarga de los condensados hacia la canaleta de desagüe en la etapa de esterilización, ésta muestra es trasladada al laboratorio para realizar su respectivo procedimiento de extracción de aceite el cual se explica detalladamente en el anexo A. en donde se obtiene el valor del aceite contenido en la muestra sin embargo para calcular el porcentaje de aceite perdido por día en la planta extractora se procedió el uso de la siguiente ecuación.

$$\% \frac{\text{Aceite}}{\text{Condensados}} = \% \frac{\text{Aceite (g)}}{\text{SSNA(g)}} * \% \frac{\text{SSNA (g)}}{\text{Condensados (ml)}} * \% \frac{\text{Condensados (ml)}}{\text{RFF (Kg)}}$$

↓

Aceite en sólidos secos sin aceite

↓

Sólidos secos sin aceite en la muestra de condensados

↓

Caudal de condensados relacionado sobre los RFF procesados

El caudal de condensados se obtuvo mediante el método de aforo volumétrico en donde se midió el tiempo que gastó el recipiente cilíndrico para la toma de muestra en condensados (volumen conocido) en llenarse, los datos que se obtuvieron de tiempo se reemplazaron en la ecuación: **Q= V/t**

**3.3.1 Tratamiento estadístico de los datos obtenidos.** Se realizará un modelo de regresión lineal para cada una de las pruebas obtenidas en las pérdidas de aceite por impregnación y fruto adherido al raquis tanto para los racimos que fueron procesados una sola vez como para aquellos que fueron reprocesados, por otra parte se realizará este mismo modelo a las pérdidas de aceite obtenidas en los condensados de esterilización.

El modelo permite observar la relación de los factores (presión de sostenimiento y tiempo de residencia) con respecto a cada una de las pérdidas, en los casos donde se analiza la pérdida de aceite por impregnación y fruto adherido al raquis es importante aclarar que la presión a analizar es la de sostenimiento en la etapa de esterilización (P1 (40-42 psi), P2 (36-38 psi)) y el tiempo de residencia es la sumatoria del tiempo que duran los racimos en las dos primeras etapas del proceso, por otra parte para las pérdidas en condensados los factores a analizar corresponden a la presión de sostenimiento y el tiempo de residencia en la etapa de esterilización.

Para la **calidad de desfrutado** se realizaron dosificaciones de racimos esterilizados de 2,5 ton, 2,6 ton y 2,7 ton a la tolva del desfrutador teniendo en cuenta el tiempo de residencia de los racimos de acuerdo a la línea de operación a la que fue dosificado, por otra parte se realizó una clasificación de los raquis en la banda transportadora de acuerdo al esterilizador que provenían (Esterilizador 1: P1, esterilizador 2: P2), se tomaron 60 muestras las cuales representan el 100% de acuerdo a la dosificación y con la ayuda de un SOFTWARE (EXCEL) los datos fueron representados gráficamente para su respectiva lectura.

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. DESCRIPCIÓN Y FAMILIARIZACIÓN CON EL PROCESO**

En INDUPALMA LTDA. La extracción de aceite crudo consta de varias etapas fundamentales las cuales se basan en métodos químicos y mecánicos. La primera etapa es la esterilización del racimo de fruta fresca, ésta constituye un procedimiento mediante la hidrólisis completa de las hemicelulosas que unen las células circundantes y la fruta al tallo, la cual se lleva a cabo en un autoclave; a continuación, el racimo esterilizado es sometido a fuerzas mecánicas para separar los frutos del raquis utilizando un tambor rotatorio lo anterior corresponde al desfrutado; la tercera etapa llamada digestión y prensado tiene como objetivo obtener el licor de prensa y la torta; por ende el fruto es sometido en agua a altas temperaturas 95-100 °C y a fuerzas mecánicas mediante aspas dentro de un digestor del cual es transferido a la prensa donde finalmente es separado el licor de prensado y la torta compuesta de fibra y nuez. La siguiente etapa del proceso es la clarificación en la cual se separa el aceite de los lodos por medio de sedimentación, posteriormente los lodos son sometidos a centrifugación para recuperar el aceite residual. La última etapa del proceso corresponde a la purificación del aceite la cual usa el secado al vacío para eliminar la mayor parte de la humedad del aceite. Finalizada ésta etapa, el aceite se pasa a los tanques de almacenamiento, este proceso se representa en el anexo B en donde se describe más extensamente. [14]

En la planta extractora se observó detalladamente cada una de las etapas, en ellas se encontraron diferentes falencias, las más destacadas corresponden a la impregnación de aceite en fibra y nuez en la etapa de prensado. Por otra parte, durante el tamizado del licor de prensa se ve afectado debido a la cantidad de

ariche (fibra fina contenida en la pulpa del fruto) que se acumula a la salida del tamiz lo que hace que disminuya la eficiencia de esta operación; existe un proceso de pre-clarificación en donde se separa una cierta cantidad de lodo del aceite pero al final vuelve a ser mezclado, por tal razón éste proceso no cumple con su debida función. Debido a esto, en la etapa de clarificación es importante mantener el control de los parámetros que son sugeridos en la planta para que se realice una buena separación de lodo contenido en el aceite. En las lagunas de oxidación, que son aquellas en donde llegan los efluentes del proceso de extracción, se requiere un mejor tratamiento debido al mal olor y al estado en el que actualmente se encuentra.

Con base en el análisis del proceso y la experiencia de los ingenieros y operarios en planta, se observó que gran parte de las pérdidas de aceite se debían a las etapas de esterilización y desfrutado debido a que éstas son consecutivas y, en conjunto, arrojan una pérdida mayor en fruto adherido y por impregnación en raquis que en comparación a la pérdida de aceite en lodos y por impregnación de la fibra en la torta obtenida en el prensado, éstos datos no pueden ser mostrados debido a que son de confidencialidad de la planta extractora.

De acuerdo a lo anterior y debido a que las siguientes etapas del proceso dependen efectivamente de la buena operación de estas dos primeras, sumado a las necesidades e indicaciones específicas de la empresa, se definió para éste proyecto un análisis cuantitativo de pérdidas de aceite en éstas dos primeras etapas, incluyendo la recepción del fruto debido a la importancia de analizar el racimo de fruta fresca antes de ingresar al proceso.

A continuación se describen las etapas objeto de este estudio.

**4.1.1. Recepción de fruto.** En ésta zona llegan los racimos de fruta fresca que son cosechados en el campo, el mayor número de racimos en la tolva de

recepción corresponde a los racimos maduros seguido de los sobre-maduros, existen presencia de racimos podridos, malformados y verdes los cuales generan un obstáculo en el momento de iniciar el proceso debido a que en esta zona por la cantidad de racimos que llegan es muy difícil clasificarlos. Por tal razón, se sugiere realizar una clasificación durante su cosecha marcando cada una de las mallas en donde son depositados, clasificándolos en maduros y sobre-maduros, enfermos, malformados, podridos y verdes asegurando un proceso de extracción más eficiente.

**4.1.2. La esterilización.** En ésta operación el equipo utilizado es un esterilizador o autoclave de tipo cilíndrico que puede ser vertical u horizontal, con una o dos puertas según el diseño elegido por la planta industrial. Ver anexo B.

La esterilización tiene como objetivo principal inactivar la enzima llamada lipasa ya que ésta es la causante de la acidificación del aceite, se inactiva a temperaturas relativamente bajas (55-60°C). Este proceso consta de 11 pasos básicos cuyos valores de presión y tiempo están estandarizados en la Tabla 2.

**Tabla 2. Valores de presión en la esterilización [8]**

PASO No	DESCRIPCIÓN	TIEMPO (Min)	PRESIÓN (Psi)
1	Desaireación	5	0
2	Primer pico	5	20
3	Expansión	3	5
4	Segundo pico	6	25
5	Expansión	4	5
6	Tercer pico	8	40
7	Sostenimiento	30/50	40
8	Expansión	5	0
9	Apertura	5	0
10;11	Descargue y cargue	5	0
	TOTAL (máximo)	75-95	

En el anexo B se puede apreciar el comportamiento del proceso de esterilización con las variables mencionadas anteriormente.

El proceso de esterilización de la empresa INDUPALMA consta de dos baterías las cuales están conformadas por tres autoclaves cada una, es decir seis en total, la batería uno trabaja en un rango de presión de sostenimiento de 40-42 psi y la batería dos entre 36-38 psi. Por otra parte, la evacuación de condensados es fundamental para una buena operación; por tal razón se suele realizar ocho descargues durante éste proceso lo cual impide la impregnación de aceite en los raquis y el aceite en condensados. Sin embargo, se observó que diariamente no en todos los procesos de esterilización se realiza una descarga permanente de estos condensados según los operarios de turno.

**4.1.3. Desfrutado.** Es la segunda etapa del proceso de extracción que consiste en separar los racimos esterilizados en frutos y raquis mediante el giro de un tambor rotatorio procurando minimizar la impregnación de aceite en los raquis que salen del desfrutador. Los frutos separados pasan a la siguiente etapa del proceso llamada digestión y prensado mientras que los raquis (tusas o racimos vacíos) pasan a través de una banda transportadora en donde posteriormente serán trasladadas al campo. El equipo en el que se efectúa ésta operación se denomina desfrutador de tambor rotatorio.

## **4.2. RECEPCIÓN DE FRUTO Y CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS RACIMOS DE FRUTA FRESCA (RFF)**

Para el desarrollo de éste proceso se clasificaron seis tipos de racimos en la tolva de recepción durante un periodo de toma de cinco muestras para cada racimo durante una semana de análisis para cada tipo (*maduro, sobre-maduro, podrido, enfermo, verde y malformado*).

**4.2.1. Estado de los racimos** Se realizó una caracterización visual de cada uno de los racimos clasificándolo según su estado de madurez.

Las características de los racimos **verdes** se basaron en observar y palpar el mesocarpio de sus frutos, éstos son de color morado. El mesocarpio del racimo verde es menos viscoso con una coloración amarilla.

Las características de los racimos **maduros** radican en la coloración rojiza de sus frutos externos e internos y en palpar el mesocarpio del fruto ya que ésta última es viscosa y de color naranja.

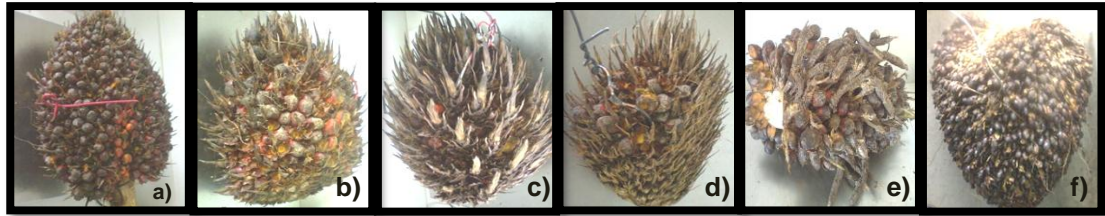
En los racimos **sobre-maduros** se observó que éste tipo de racimo sólo obtiene frutos externos debido a que existía el 50% de alveolos vacíos. Sin embargo, sus frutos son similares y de igual característica a los de los racimos maduros.

Los racimos **podridos** analizados tuvieron mal olor, gusanos y algunas espigas estaban cubiertos de una capa de color amarilla. Se observó que la totalidad del racimo siempre estaba húmeda y solo contenía frutos externos en poca cantidad.

Los racimos **malformados** contenían un 60% de frutos abortivos (fruto infértil). Los frutos sujetos a ésta clasificación son de tipo interno y externo, su peso es relativamente bajo debido a que los racimos analizados eran de un pequeño tamaño.

Finalmente, se analizaron los racimos **enfermos**. Estos racimos poseen inflorescencia masculina, hongos que se adhieren a sus frutos con una coloración blanca, algunos suelen desprender gran parte de sus frutos Sin embargo, al palpar y observar el mesocarpio se encontró que cumplía con unas características similares a los frutos de los racimos **maduros** sin importar su enfermedad. Ver la Figura 3.

**Figura 3. Clasificación de los racimos**



a) Racimo maduro, b) Racimo sobre-maduro, c) Racimo podrido, d) Racimo mal formado, e) Racimo enfermo, f) Racimo verde.

FUENTE: autor.

Se observó, en la recepción de fruto, que existe un tambor limpiador, junto a la tolva, que se encarga de remover las impurezas que se encuentran en el fruto cuando se desprende en el descargue de racimos los cuales son recogidos en una vagoneta y luego son transportados al proceso.

#### 4.2.2. Características de los racimos de fruta fresca según su clasificación.

Se pesaron cinco racimos de cada clasificación escogidos al azar de la tolva de recepción de fruto durante cinco días (uno cada día) y se pesaron en una balanza de laboratorio industrial, los resultados se muestran en la Tabla 3.

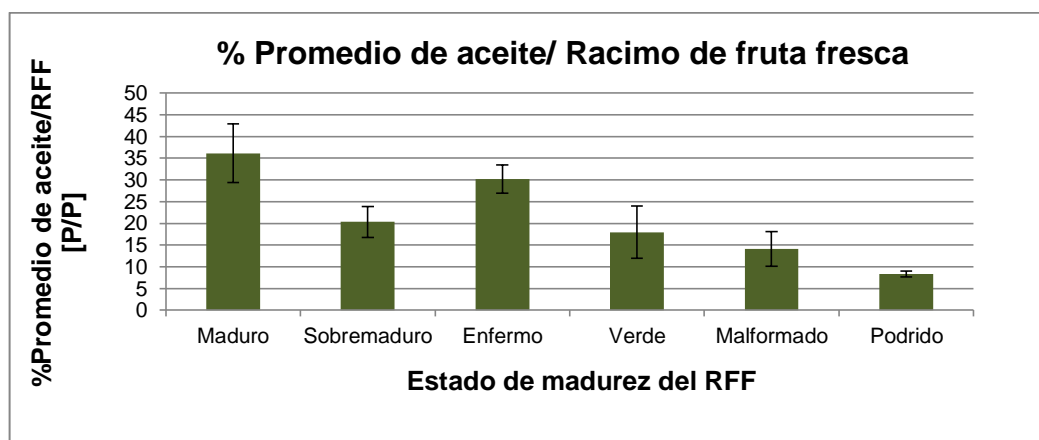
**Tabla 3. Resultados de peso, humedad y aceite en RFF.**

Clasificación	Promedio Peso Racimos (g)	% Humedad en el mesocarpio/ Frutos		% aceite /total Frutos		% Promedio de aceite/RFF [P/P]
		Externo	Interno	Externo	Interno	
Verde	9874	45,34	46,6	15,21	3,09	17,97 (± 6,05) (b)
Maduro	9485	33,32	37,86	24,95	9,42	<b>36,13 (±6,79) (a)</b>
Sobre-maduro	4669	27,27	12,59	17,42	2,85	20,32 (±3,51) (b)
Podrido	1969	36,18	N.A	10,50	N.A	8,36 (± 0,71) (c)
Malformado	5554	20,77	9,61	13,08	2,71	14,15 (± 3,99) (b)
Enfermo	6322	28,42	28,64	26,27	4,95	<b>30,21 (± 3,22) (a)</b>

La Tabla 3 muestra la clasificación de los racimos junto a su porcentaje promedio en peso, en humedad y en porcentaje de aceite. Para este último las letras diferentes representan diferencias significativas entre las medias, en donde los

racimos verdes no presentan diferencias significativas con respecto a los racimos sobre-maduro y malformado; de manera similar los racimos maduros no presentan diferencias significativas en el porcentaje de aceite con respecto a los enfermos. De acuerdo a lo anterior se puede concluir que los racimos maduros y enfermos presentan mayores potenciales de aceite que los racimos sobre-maduros, verdes y malformados y éstos a su vez presentan mayor potencial de aceite que los racimos podridos. Lo anterior se puede observar en el anexo C.

**Figura 4. Potencial de aceite promedio en racimo de fruta fresca según su madurez.**



En la figura 4 se muestra que dependiendo del estado de madurez del racimo la desviación estándar para el porcentaje de aceite puede oscilar entre 0,71 como es el caso de los racimos podridos o hasta 6,79 en los maduros. Por otra parte se puede observar que la clasificación es independiente de la desviación debido a que los racimos podridos contienen menor cantidad de fruto por lo tanto arrojan menos porcentaje de aceite, en el caso del racimo enfermo, las inflorescencias masculinas u alguna otra enfermedad no se ve afectado en la cantidad de aceite que contenga el racimo por otra parte el racimo verde contiene mayor humedad pero poco aceite esto se debe a que sus frutos no alcanzaron un estado de madurez apropiado, los racimos malformados a pesar de ser el más seco el porcentaje de aceite no se encuentra muy lejos al de un racimo verde.

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA ETAPA DE ESTERILIZACIÓN Y DESFRUTADO

#### 4.3.1 Pérdida de aceite en raquis

**4.3.1.1 Efecto de la presión** Los esterilizadores objeto de estudio poseen rangos de presión entre 40-42 psi (P1, para el esterilizador 1) y 36-38 psi (P2, para el esterilizador 2). Cabe resaltar que los esterilizadores tienen las mismas características (igual estructura, tamaño y capacidad en toneladas).

Según Noel Wambeck (1997), la pérdida por impregnación de aceite en raquis puede variar entre 0,5 - 0,7% sin el uso de alguna tecnología de prensado de raquis. Basándose en éste rango se puede apreciar en la Tabla 5 los datos de las presiones 1 y 2 que procesan racimos de fruta fresca (con presiones P1 y P2 respectivamente) y raquis mal desfrutados, verdes y enfermos es decir los reprocesados (P1R y P2R);

**Tabla 4. Comparación de las pérdidas promedio de aceite en raquis para las diferentes presiones manejadas por los esterilizadores objeto de estudio (incluyendo los reprocesados).**

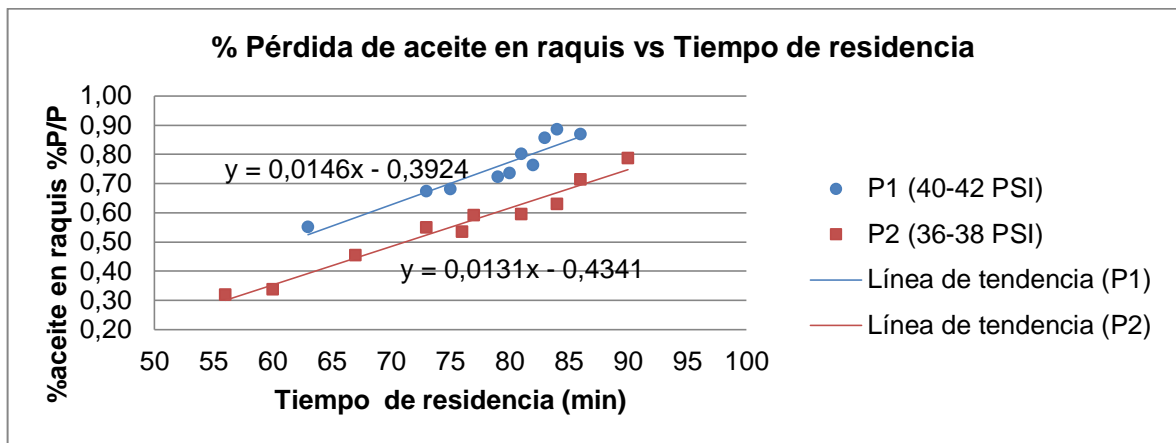
Presión de sostenimiento (Psi)	%aceite impregnado/Raquis promedio [%P/P]
P1	0,75 ± 0,10
P2	0,55 ± 0,15
P1 (Reprocesados)	1,04 ± 0,15
P2 (Reprocesados)	0,89 ± 0,09

Podemos observar al comparar los resultados para P1 y P2 que las presiones mayores favorecen la impregnación del aceite en el raquis de igual manera si comparamos P1R con P2R, lo cual se debe a que las celdas que contienen el aceite se ablandan rápidamente favoreciendo la impregnación de los RFF. Por

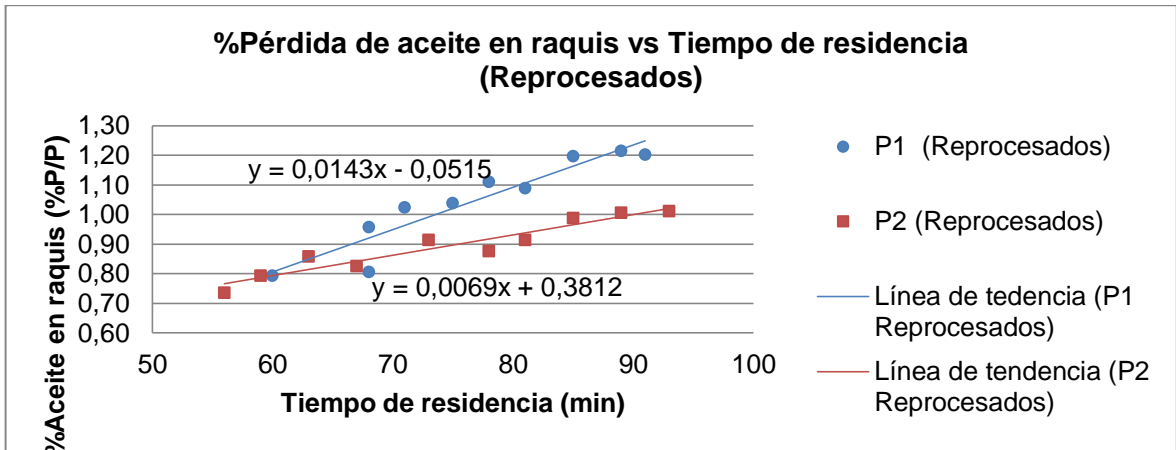
otro lado el reprocesado es otra variable que aumenta el % de aceite en el raquis, funcionando este como una esponja que absorbe más aceite con cada proceso de esterilizado.

**4.3.1.2 Efecto del tiempo de residencia** A través de un análisis de regresión lineal se pudo determinar que dicho factor guarda una relación de tipo lineal con los promedios de aceite impregnado en raquis, tal como se puede observar en las figuras 5 y 6; las cuales muestran que al aumentar el tiempo de residencia se genera un aumento en la pérdida de aceite por impregnación en raquis. Por otra parte, los racimos que están siendo reprocesados muestran porcentajes de pérdida mayores en comparación a aquellos raquis que solo fueron procesados una sola vez. Con base en los datos de la regresión lineal se observa que la pendiente de la línea de tendencia para la presión 1 (40-42 Psi) es mayor que la obtenida para la presión 2 (36-38 Psi), lo cual confirma que con el aumento de la presión se incrementan las tasas de pérdida de aceite en raquis.

**Figura 5. Comportamiento del porcentaje de aceite en raquis frente al tiempo de residencia en el esterilizador.**



**Figura 6. Comportamiento del porcentaje de aceite en raquis en reprocesados frente al tiempo de residencia en el esterilizador.**



Es importante aclarar que se realizaron 10 ensayos para los racimos de fruta fresca y 10 ensayos para los raquis que fueron reprocesados teniendo en cuenta una capacidad de 2,5 toneladas de RFF por cada vagoneta debido a que esta representa la capacidad de procesamiento de la planta.

#### 4.3.2 Pérdida de aceite en fruto adherido

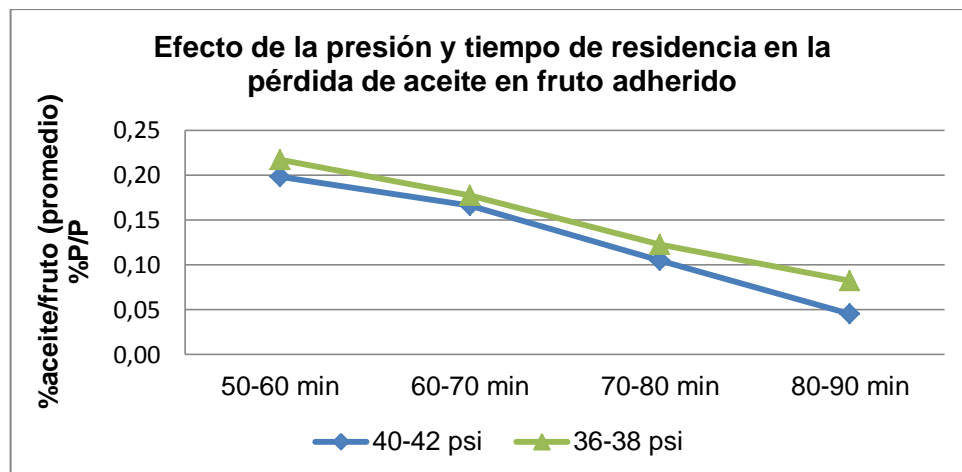
**4.3.2.1 Efecto de la presión** En la Tabla 6 se puede apreciar que la presión 1 (P1 y P1 Reprocesados) poseen mayor presión y refleja menores pérdidas en fruto adherido al raquis en comparación con la presión 2 (P2 y P2 Reprocesados). Estas pérdidas son disminuidas debido a la presión y a la evaporación del agua presente en la unión del fruto y el raquis, por tal razón los frutos suelen ablandarse. Cabe resaltar que Abdul Azis afirma en un estudio realizado por la Universidad de Putra en Malasia que al trabajar con altas presiones se reduce la pérdida de aceite en fruto adherido lo cual es reflejado en la presión 1 (40-42 psi).

En la Figura 7, se puede ver detalladamente el efecto de la presión en el porcentaje de aceite en fruto adherido al raquis junto al tiempo de residencia. [14]

**Tabla 5. Comparación de las pérdidas promedio de aceite en fruto adherido a raquis en los diferentes esterilizadores (incluye reprocesados).**

Presión de sostenimiento (Psi)	%Promedio de aceite/fruto adherido [%P/P]
P1	0,12 ± 0,05
P2	<b>0,14 ± 0,06</b>
P1 (Reprocesados)	0,02 ± 0,01
P2 (Reprocesados)	<b>0,03 ± 0,01</b>

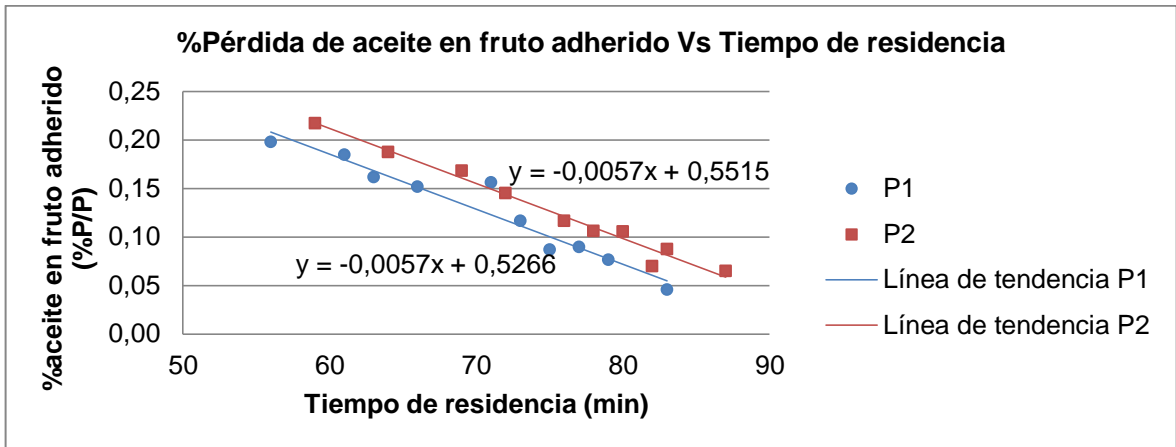
**Figura 7. Efecto de la presión en el porcentaje de aceite en fruto adherido**



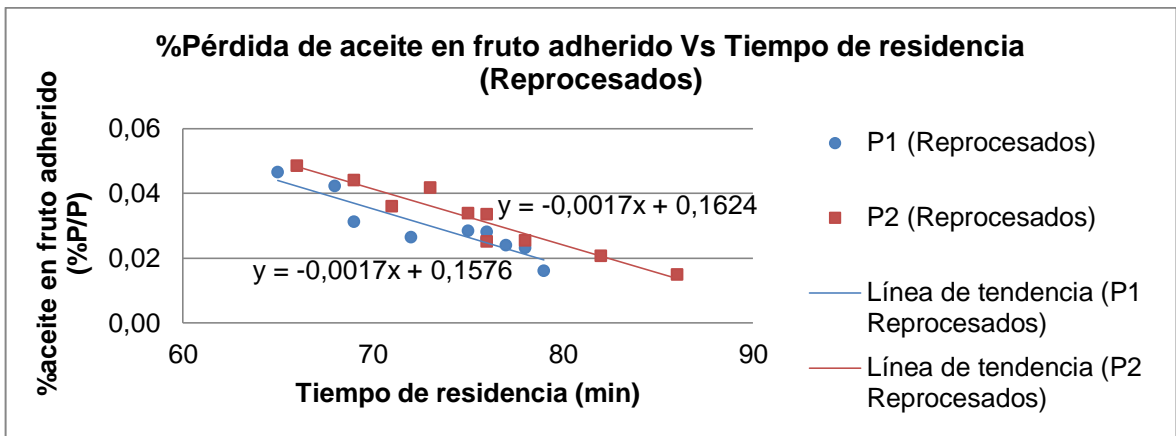
**4.3.2.2 Efecto del tiempo de residencia** mediante un análisis de regresión lineal se determinó que este factor (tiempo de residencia) guarda una relación de tipo lineal con los promedios de aceite en fruto adherido al raquis, tal como se puede observar en las figuras 8 y 9; esto se traduce en que al aumentar el tiempo de residencia se obtiene una disminución en el porcentaje de aceite en fruto adherido ya sea para los racimos procesados por una sola vez o aquellos raquis que fueron reprocesados. Con base en los datos de la regresión lineal se observa que la pendiente de la línea de tendencia para la presión 1 (40-42 Psi) es menor que la obtenida para la presión 2 (36-38 Psi), lo cual confirma que con el aumento de la

presión se disminuyen el porcentaje de pérdida de aceite en fruto adherido al raquis.

**Figura 8. Comportamiento del porcentaje de aceite en fruto adherido frente al tiempo de residencia en esterilizador para raquis procesados una sola vez.**



**Figura 9. Comportamiento del porcentaje de aceite en fruto adherido en raquis reprocesados frente al tiempo de residencia en el esterilizador.**

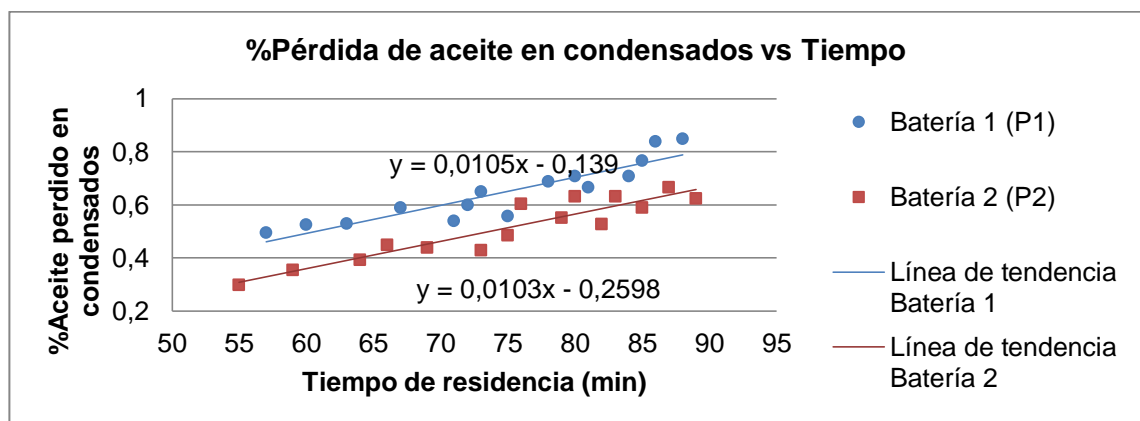


El aumento del tiempo de residencia aumenta la pérdida de aceite por impregnación de aceite en raquis pero favorece la pérdida de aceite en fruto adherido, lo anterior puede ser debido a que si se expone el racimo esterilizado al vapor de agua a un largo tiempo, éste va a impregnarse del aceite de los racimos

que se encuentran alrededor debido a que el vapor se condensa y este va arrastrando aceite de cada uno de los frutos e impregnando el raquis. La disminución del porcentaje de aceite en fruto adherido se debe a que a mayor presión los frutos se desprenderán fácilmente y junto al contacto prolongado del vapor con los racimos de fruta fresca ayudará a que este proceso se pueda efectuar fácilmente.

**4.3.3 Pérdida de aceite en condensados** el análisis para éstos datos se llevó a cabo mediante un modelo de regresión lineal en donde se estableció una relación lineal positiva entre el tiempo de residencia y la presión en cada uno de los esterilizadores objeto de estudio con respecto a la pérdida de aceite en el condensado de esterilización, es decir el aumento del tiempo de residencia generará mayores pérdidas de aceite en condensados para ambas baterías sin embargo en la batería 1 la cual corresponde a la presión 1 (P1) posee una pendiente mayor que la pendiente de la batería 2 en donde opera la presión 2 (P2) la cual va a generar mayor pérdida de aceite en condensados. Lo anterior se puede observar detalladamente en la figura 10.

**Figura 10. Comportamiento del porcentaje de aceite perdido en condensados frente al tiempo de residencia en el esterilizador.**

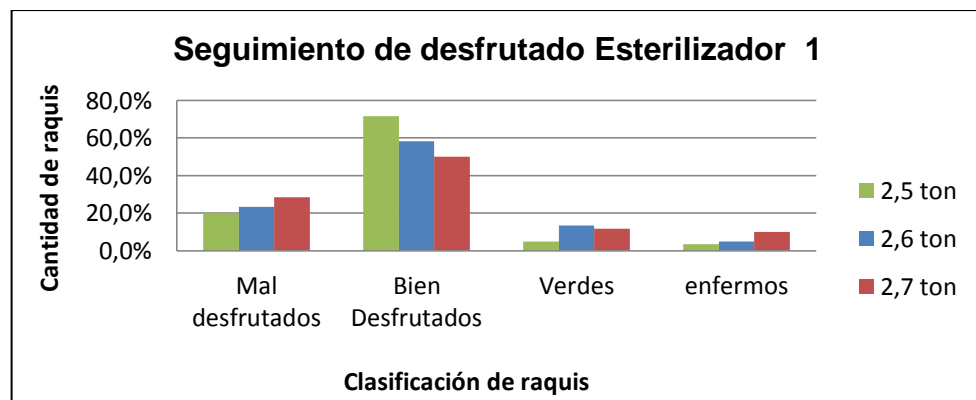


Las ecuaciones de los modelos de regresión lineal son aplicados exclusivamente para los datos de la planta extractora objeto de estudio, las cuales son de gran ayuda para los ingenieros que deseen averiguar la cantidad mínima de pérdidas que obtendrían de acuerdo al tiempo de residencia que deseen emplear.

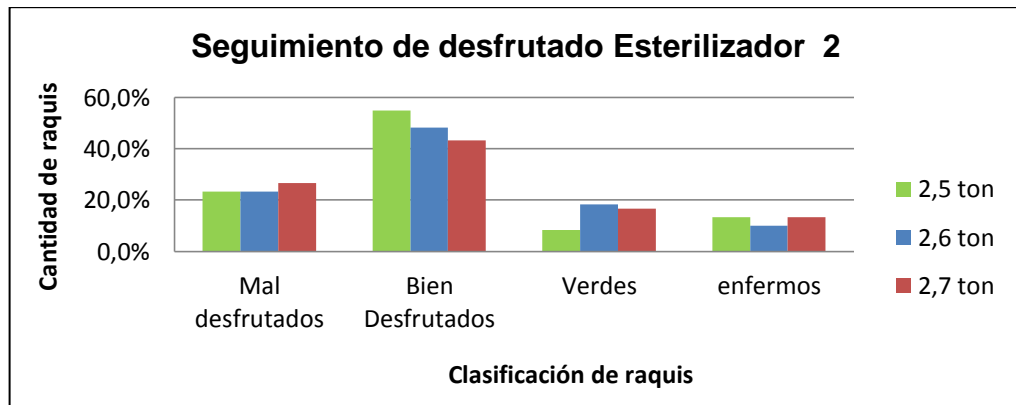
#### 4.3.4 Efecto de la dosificación y las revoluciones por minuto (RPM) del tambor rotatorio en el desfrutado

Se encontró que al disminuir la dosificación de racimos esterilizados en la tolva del desfrutador aumenta la calidad de desfrutado ayudando a generar menores pérdidas de aceite en fruto adherido y por impregnación de igual manera se determinó que a medida que se aumenta la dosificación ocurría lo contrario. Por otra parte, se encontró que un aumento en las revoluciones por minuto del tambor rotatorio ( línea 2) produce un incremento en el tiempo de residencia de los raquis, sin embargo no existe ninguna diferencia entre las dosificaciones y las líneas de operación (ésta última corresponden a los tambores rotatorios en el desfrutador según sus RPM) debido a que para los racimos esterilizados que se dosificaron en la línea 1 (22 RPM) la diferencia del tiempo es mínima mientras que aquellos que se dosificaron en la línea dos no presentaron diferencias. Lo anteriormente mencionado se puede observar en las Figuras 11, 12 y 13.

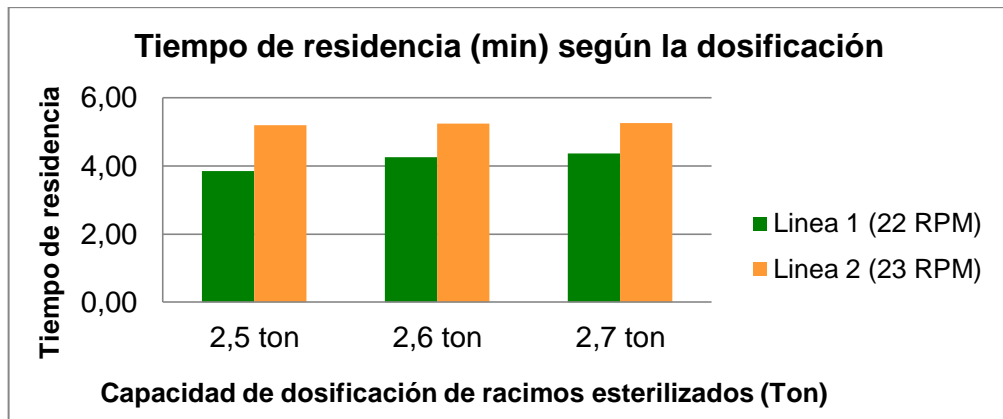
**Figura 11. Seguimiento de la calidad de desfrutado de los racimos esterilizados que provienen del autoclave 1.**



**Figura 12. Seguimiento de la calidad de desfrutado de los racimos esterilizados que provienen del autoclave 2.**



**Figura 13. Tiempo de residencia según la capacidad de dosificación de racimos esterilizados en toneladas en las líneas 1 y 2 del desfrutador.**



Según Noel wambeck en una planta industrial los factores que puedan ocasionar pérdidas por impregnación de aceite corresponden a la dosificación irregular de los racimos esterilizados en el desfrutador debido a que provocan una saturación temporal y al funcionamiento con poca carga de racimos esterilizados en el tambor rotatorio del equipo, por otra parte menciona que el contacto extenso entre raquis con fruto y raquis (racimo bien desfrutado) durante la etapa de desfrutado permite que éste ultimo absorba aceite del primero, esto puede apreciarse en la figura 13 en donde la línea 2 posee mayor tiempo de residencia y según la literatura se

concluye que posiblemente éstos raquis van a obtener mayor impregnación de aceite.

De acuerdo a lo anterior se requiere optar por las recomendaciones en cuanto a la selección de la materia prima y al control de los factores que afectan las dos primeras etapas del proceso de extracción, sin embargo existe un equipo que ayuda a recuperar el aceite impregnado en el raquis mediante un prensado logrando así una disminución del porcentaje de pérdida y aumentando la tasa de extracción de aceite.

**4.3.5 Alternativa de solución** Se desea recuperar el aceite impregnado en raquis con el fin de aumentar la tasa de extracción de la planta extractora, esto puede llevarse a cabo mediante la implementación de una prensa de raquis después de la banda transportadora a la salida del desfrutador, la cual se encarga de aplicar una fuerza mecánica para extraer el aceite que se encuentra impregnado en el raquis. Para la implementación de éste equipo, se requiere crear mejores prácticas en cuanto al manejo de la presión y tiempo de residencia en los esterilizadores de cada una de las baterías para eliminar el reproceso y disminuir la cantidad de fruto adherido debido a que éste equipo no prensa raquis verdes y enfermos.

Con la implementación de la prensa de raquis se lograría obtener una alta recuperación de aceite y disminuir las pérdidas de aceite en las etapas de esterilización y desfrutado, el diagrama de la implementación de la prensa de raquis se pueden apreciar en el anexo D.

## 5. CONCLUSIONES

- El promedio de aceite que presenta cada uno de los tipos de racimo no está relacionado indirectamente con el porcentaje de humedad ni directamente con el peso del mismo sino que depende única y exclusivamente del estado de maduración, puesto que en el racimo maduro el mesocarpio presenta mayor número de celdas para el almacenamiento del aceite.
- El aumento de la presión disminuye la pérdida de aceite en fruto adherido. Sin embargo, el extenso tiempo de residencia de los racimos en la autoclave provoca mayor impregnación de aceite en el raquis y aceite en condensados de esterilización lo cual genera un aumento en la pérdida de aceite y por ende una disminución de la tasa de extracción (TEA).
- La calidad de desfrutado es afectada por el aumento de la dosificación de racimos esterilizados en la tolva del desfrutador y por el tiempo de residencia en la línea dos, aumentando así el contacto entre raquis con fruto adherido y raquis vacíos lo que favorece la impregnación de aceite.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la clasificación de los racimos de fruta fresca desde el cultivo para evitar pérdidas en planta por impregnación de aceite en racimos podridos y malformados y en fruto adherido en racimos verdes y enfermos.
- Se sugiere manejar presiones mayores que la que opera en el esterilizador 1 y tiempos cortos debido a que a pesar que en el esterilizador 1 genera menos pérdidas por fruto adherido éste arroja mayores pérdidas de aceite por impregnación en el raquis; de igual manera se requiere aplicar ésta sugerencia en el esterilizador 2,
- Se recomienda realizar una optimización en éstas dos etapas del proceso para determinar el punto en donde se obtiene menos porcentaje de pérdida de aceite por impregnación y fruto adherido a raquis, lo cual favorezca a ambas.
- La planta extractora procesa actualmente 2,5 toneladas de racimo de fruta fresca por vagoneta. Sin embargo, se sugiere realizar el control de los factores que generan las pérdidas de aceite en las dos primeras etapas del proceso debido a que los ingenieros en planta desean mantener este nivel de producción.
- Se sugiere hacer un estudio de viabilidad económica para implementar el prensado de raquis para lograr disminuir las pérdidas por impregnación al raquis, lo cual garantizaría un aumento de la extracción de aceite.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FEDEPALMA. “¿Qué es el Fondo de Estabilización de Precios para el Palmiste, el Aceite de Palma y sus Fracciones?”. Recuperado 15 de julio de 2015. Tomado de: <http://web.fedepalma.org//que-es-el-fondo-de-estabilizacion-de-precios>.

[2] FEDEPALMA. XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite y Expopalma 2015, Recuperado 23 de Junio de 2015. Tomado de: <http://web.fedepalma.org/conferencia/intl>.

[3] MINISTERIO DE AGRICULTURA. Compromiso del sector palmicultor con una agroindustria sostenible. Recuperado 4 de abril de 2015. Tomado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Compromiso-palmicultor.aspx>.

[4] FLOREZ, Lizeth Ximena, Evaluación de los factores en la pérdida de aceite de palma africana durante las operaciones de esterilización y clarificación en la planta extractora de INDUPALMA.LTDA. Trabajo de grado, Ingeniero Químico, Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físicoquímica. Departamento de Ingeniería Química, 2014. 19-23p.

[5] URIBE, León. Eficiencia en la recuperación de aceite. Efecto de las prácticas agronómicas y el proceso industrial en la tasa de recuperación de aceite (tea). En: Palmas, 1999, Vol 20 No 2.

[6] GARCÍA, Jesús. YÁÑEZ, Edgar. SIERRA, Guido. Factores que afectan la pérdida de aceite impregnado en tusas en plantas de beneficio de palma de aceite. En: Palmas, 2003. Vol 24 No 1.

[7] BRUGÉS, Carlos. Estimación y reducción de pérdidas en el proceso de extracción de aceite de palma en la planta de beneficio de fruto palmar Santa Elena S.A (Tumaco). Trabajo de grado, Producción agroindustrial, Bogotá D.C.: Universidad de la sabana. Facultad de Ingeniería, 2004. 26-40p.

[8] WAMBECK, Noel. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Primera edición. Colombia: Traducida al español por Guillermo Bernal, 2005. V.1, 3-20p.

[9] GARCÍA, Jesús. YÁÑEZ, Edgar. Reducción de pérdida de aceite y almendra en plantas de beneficio en Colombia. En: Palmas, 2004. Vol 25 No especial, Tomo II.

[10] AMIGOS DE LA TIERRA. Aceite de palma: Usos, orígenes e impactos. Recuperado 10 de febrero de 2015, tomado de: [http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/Aceite de Palma.pdf](http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/Aceite_de_Palma.pdf).

[11] FRANCO, Pedro. Partes del fruto. En: Cosecha del fruto de la palma de aceite. 1 ed. Bogotá D.C. 2010.p 18.

[12] SANABRIA, Julián. Elaboración de documentación del sistema de información para la gestión del mantenimiento de la empresa INDUPALMA LTDA. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga. : Universidad Industrial De Santander. Facultad de físico-mecánicas. 2011. 19-21p.

[13] DURÁN, Querubín. Y SIERRA, Guido. Y GARCÍA, Jesús. En: Palmas. 2004. Vol. 25, especial, Tomo II, p 501-508.

[14] AZIS, Abdul. Esterilización a alta presión de racimos de fruta fresca de palma de aceite, cero frutos adheridos en tusas y máximo 5% de aceite en fibra de prensa. En: Palmas. 2013, Vol 34 especial, Tomo II, p 36-46.

[15] YÁÑEZ, Edgar. GARCÍA, Jesús. Y FUENTES, Luís. Impregnación de aceite en los racimos vacíos durante la esterilización y el desfrutado. En: Palmas. 2000, Vol 21 No especial, Tomo I, p 312-319.

[16] LAITON, Philibert. Trabajo con prensa de tusas. En: Palmas. 2010, Vol 31 No 4, p 45-52.

## BIBLIOGRAFÍA

AMIGOS DE LA TIERRA. Aceite de palma: Usos, orígenes e impactos. Recuperado 10 de febrero de 2015, tomado de: [http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/Aceite de Palma.pdf](http://www.tierra.org/spip/IMG/pdf/Aceite_de_Palma.pdf).

AZIS, Abdul. Esterilización a alta presión de racimos de fruta fresca de palma de aceite, cero frutos adheridos en tusas y máximo 5% de aceite en fibra de prensa. En: Palmas. 2013, Vol 34 especial, Tomo II, p 36-46.

BRUGÉS, Carlos. Estimación y reducción de pérdidas en el proceso de extracción de aceite de palma en la planta de beneficio de fruto palmar Santa Elena S.A (Tumaco). Trabajo de grado, Producción agroindustrial, Bogotá D.C.: Universidad de la sabana. Facultad de Ingeniería, 2004. 26-40p.

DURÁN, Querubín. Y SIERRA, Guido. Y GARCÍA, Jesús. En: Palmas. 2004. Vol. 25, especial, Tomo II, p 501-508.

FEDEPALMA. “¿Qué es el Fondo de Estabilización de Precios para el Palmiste, el Aceite de Palma y sus Fracciones?”. Recuperado 15 de julio de 2015. Tomado de: <http://web.fedepalma.org//que-es-el-fondo-de-estabilizacion-de-precios>.

FEDEPALMA. XVIII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite y Expopalma 2015, Recuperado 23 de Junio de 2015. Tomado de: <http://web.fedepalma.org/conferencia/intl>.

FLOREZ, Lizeth Ximena, Evaluación de los factores en la pérdida de aceite de palma africana durante las operaciones de esterilización y clarificación en la planta

extractora de INDUPALMA.LTDA. Trabajo de grado, Ingeniero Químico, Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Fisicoquímica. Departamento de Ingeniería Química, 2014. 19-23p.

FRANCO, Pedro. Partes del fruto. En: Cosecha del fruto de la palma de aceite. 1 ed. Bogotá D.C. 2010.p 18.

GARCÍA, Jesús. YÁÑEZ, Edgar. Reducción de pérdida de aceite y almendra en plantas de beneficio en Colombia. En: Palmas, 2004. Vol 25 No especial, Tomo II.

GARCÍA, Jesús. YÁÑEZ, Edgar. SIERRA, Guido. Factores que afectan la pérdida de aceite impregnado en tusas en plantas de beneficio de palma de aceite. En: Palmas, 2003. Vol 24 No 1.

LAITON, Philibert. Trabajo con prensa de tusas. En: Palmas. 2010, Vol 31 No 4, p 45-52.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Compromiso del sector palmicultor con una agroindustria sostenible. Recuperado 4 de abril de 2015. Tomado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Compromiso-palmicultor.aspx>.

SANABRIA, Julián. Elaboración de documentación del sistema de información para la gestión del mantenimiento de la empresa INDUPALMA LTDA. Trabajo de grado ingeniero mecánico. Bucaramanga. : Universidad Industrial De Santander. Facultad de físico-mecánicas. 2011. 19-21p.

URIBE, León. Eficiencia en la recuperación de aceite. Efecto de las prácticas agronómicas y el proceso industrial en la tasa de recuperación de aceite (tea). En: Palmas, 1999, Vol 20 No 2.

WAMBECK, Noel. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Primera edición. Colombia: Traducida al español por Guillermo Bernal, 2005. V.1, 3-20p.

YÁÑEZ, Edgar. GARCÍA, Jesús. Y FUENTES, Luís. Impregnación de aceite en los racimos vacíos durante la esterilización y el desfrutado. En: Palmas. 2000, Vol 21 No especial, Tomo I, p 312-319.

## ANEXOS

### Anexo A. Técnica específica de muestreo e instructivos de laboratorio en la recepción de fruto y en las etapas de esterilización y desfrutado.

Tabla 1. Configuración de experimentos para la determinación del potencial de aceite.

		Tipo de fruto	
		Interno	Externo
Clasificación de los racimos	Verde	x5 repeticiones	x5 repeticiones
	Maduro	x5 repeticiones	x5 repeticiones
	Sobre-maduro	x5 repeticiones	x5 repeticiones
	Enfermo	x5 repeticiones	x5 repeticiones
	Malformado	x5 repeticiones	x5 repeticiones
	Podrido	x5 repeticiones	x5 repeticiones

#### Diseño experimental para la toma de muestra de los racimos de fruta fresca en la recepción de fruto

Para el desarrollo de la toma correcta de las muestras se siguió un diseño experimental de tipo factorial  $n*m*r$ , donde  $n$  pertenece al número de niveles del primer factor,  $m$  al número de niveles del segundo factor y  $r$  al total de repeticiones de cada condición de experimento  $n*m$ . De acuerdo a lo anterior, para este caso se tiene un total de 6 factores (que corresponden a las 6 clasificaciones diferentes de RFF), cada una de las cuales cuenta con dos niveles (frutos internos y frutos externos) analizados bajo una toma de 5 datos por experimento ( $r=5$ ).

**Configuración de experimentos para la determinación del porcentaje de pérdidas de aceite.**

		<b>Esterilizador 1 (Presión 1)</b>			<b>Esterilizador 2 (Presión 2)</b>
<b>Tiempo de Residencia</b>	Tiempo 1	x1 reproducción	<b>Tiempo de residencia</b>	Tiempo 1'	x1 reproducción
	Tiempo 2	x1 reproducción		Tiempo 2'	x1 reproducción
	Tiempo 3	x1 reproducción		Tiempo 3'	x1 reproducción
	Tiempo 4	x1 reproducción		Tiempo 4'	x1 reproducción
	Tiempo 5	x1 reproducción		Tiempo 5'	x1 reproducción
	Tiempo 6	x1 reproducción		Tiempo 6'	x1 reproducción
	Tiempo 7	x1 reproducción		Tiempo 7'	x1 reproducción
	Tiempo 8	x1 reproducción		Tiempo 8'	x1 reproducción
	Tiempo 9	x1 reproducción		Tiempo 9'	x1 reproducción
	Tiempo 10	x1 reproducción		Tiempo 10'	x1 reproducción

**Diseño experimental en las etapas de esterilización y desfrutado.**

Para el desarrollo de la toma correcta de las muestras a la salida del desfrutador se tiene en cuenta el esterilizador de donde procedían los racimos esterilizados que pasaban por éste equipo, por tal razón se llevó a cabo un diseño experimental tipo factorial  $m \cdot r$ .

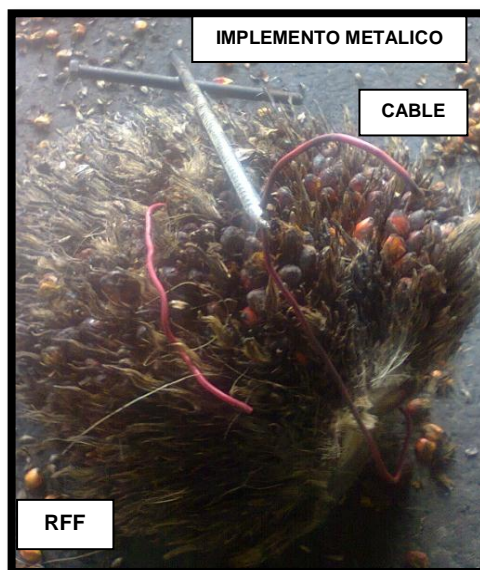
Para éste caso se hicieron un total de 10 réplicas para el cálculo de la variable de interés (%aceite perdido) tomadas con diferentes valores de tiempo de residencia y teniendo en cuenta que cada uno de los esterilizadores maneja una presión diferente.

## **Procedimiento para marcar los racimos de fruta fresca y raquis reprocesados.**

Se escogieron aleatoriamente en la tolva de recepción de fruto un racimo maduro el cual fue llevado al laboratorio industrial y para ser marcado de la siguiente manera.

Primero se escoge el racimo maduro que se desea procesar, posteriormente es marcado mediante un cable el cual es atravesado con la ayuda de un implemento metálico diseñado por el operario de mantenimiento, así como se muestra en la figura. El implemento metálico es similar a una aguja es decir posee en la punta un orificio en donde es pasado el cable y con ayuda de un martillo se forja y se atraviesa en el racimo de fruta fresca posteriormente se retira el implemento metálico y se amarra el cable. De igual manera se procedió marcar los raquis que contenían frutos adheridos que fueron escogidos aleatoriamente en la banda transportadora.

### **Marcación de los racimos.**



## Instructivos del manual de laboratorio de INDUPALMA Ltda.

### Instructivo de laboratorio para analizar el potencial de aceite en el racimo de fruta fresca.

No.	Responsable	Actividad	Observación/Registro manual de INDUPALMA
1	Ayudante de calidad de tolva	Selecciona 25 racimos en la tolva de recepción, realiza el cuarteo hasta obtener seis racimos de los cuales seleccionan uno	1810-IN-914-IND Cuarteo de muestras para análisis
2	Laboratorista	Pesa el racimo y lo registra en el formato	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
3	Laboratorista	Cuenta los alvéolos vacíos y registra los valores en el formato	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
4	Laboratorista	Separa las espiguillas con ayuda de un hacha (evitando que los frutos se separen de las espigas) y registra el peso del tallo en el formato	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
5	Laboratorista	Realiza el cuarteo de las espiguillas hasta obtener aproximadamente 2500 g, se deben incluir los frutos sueltos	1810-IN-914-IND Cuarteo de muestras para análisis
6	Laboratorista	Con un cuchillo separa los frutos de las espiguillas procurando no efectuar cortes en los frutos. Retira el cáliz de cada fruto y los clasifica en externos, internos, partenocárpicos y abortados	
7	Laboratorista	Cuenta y pesa cada grupo	1803-FO-341-IND Datos

No.	Responsable	Actividad	Observación/Registro manual de INDUPALMA
		por separado, registrando los valores en el formato	para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
8	Laboratorista	Realiza el cuarteo de los frutos externos hasta obtener una muestra de 200g aproximadamente y registra el valor en el formato	1810-IN-914-IND Cuarteo de muestras para análisis
9	Laboratorista	Separa la pulpa de la muestra de frutos con un cuchillo, en rebanadas muy delgadas y longitudinales, sin dejar en la nuez ninguna traza de pulpa pero en la pulpa ninguna traza de nuez Pesa las nueces y registra el valor en el formato	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
10	Laboratorista	Inmediatamente después del despulpado deposita la muestra de pulpa en la bandeja de aluminio y realiza el procedimiento de cuarteo hasta obtener 10g de muestra	1810-IN-914-IND Cuarteo de muestras para análisis
11	Laboratorista	Pesa la cápsula de porcelana en la balanza analítica y registra el peso en el formato	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
12	Laboratorista	Adiciona a la cápsula la muestra de 10g g cuidando de que esta forme una capa homogénea y registra el peso de la cápsula + muestra húmeda en el formato	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
13	Laboratorista	Seca la muestra en el horno convencional a 105°C por aproximadamente 12 horas	

No.	Responsable	Actividad	Observación/Registro manual de INDUPALMA
14	Laboratorista	Pesa la cápsula + muestra seca en la balanza analítica y registra el valor en el formato. Verificar que el peso sea constante	1803-FO-341-IND Datos para el contenido de aceite en racimos de la tolva de recepción de fruto
15	Laboratorista	Realiza para los <b>frutos internos</b> los pasos del 8 al 14	
16	Laboratorista	Digita los resultados en el informe de potencial de aceite en racimos de tolva de recepción	

**Instructivo de laboratorio para analizar la pérdida de aceite impregnado en raquis.**

Actividad	Observación/Registro Del manual de INDUPALMA
Corta el raquis con el machete en forma longitudinal, en cuatro partes iguales	
Toma un cuarto del raquis al azar y realizar cortes finos	
Realiza el procedimiento de cuarteo hasta obtener una muestra entre 30 y 50 g	1810-IN-914-IND Cuarteo de muestras para el análisis
Pica finamente la muestra, con el fin de lograr una extracción completa de aceite	
Pesa la caja de petri o cápsula, en la balanza analítica y registra el peso	
Adiciona a la caja de petri o cápsula 20g de muestra, cuidando de que esta forme una capa homogénea	
Registra el peso de la caja de petri + peso de la muestra húmeda	
Se utiliza el horno convencional para secar la muestra por un tiempo de dos horas	
Saca la caja de petri del horno y la deja enfriar	

Actividad	Observación/Registro Del manual de INDUPALMA
por un tiempo de 15 min en el desecador de sílice gel. Repetir lo anterior hasta verificar que el peso sea homogéneo	
Pesa la caja de petri + peso de la muestra seca en la balanza analítica y registrar en el formato	
Deposita la muestra en un bolsillo de papel filtro teniendo cuidado de no tener pérdidas	
Pesa el bolsillo con la muestra y registra el peso	
Realiza la extracción de aceite	1810-IN-906-IND Extracción de aceites por solventes
Saca el bolsillo con la muestra del extractor soxhlet y lo lleva al horno de convencional a 105 °C por treinta minutos hasta eliminar totalmente las trazas de disolvente	
Enfría el bolsillo con la muestra por 30 minutos en el desecador de sílice gel	
Pesa el bolsillo con la muestra libre de aceite y de disolvente en la balanza analítica	
Registra el peso del bolsillo	
Registrar los datos finales de laboratorio	

**Instructivo de laboratorio para analizar la pérdida de aceite en fruto adherido.**

Actividad	Observación/Registro Del manual de INDUPALMA.
Se escoge un raquis mal desfrutado y se separan todos los frutos adheridos	
Pesar los frutos, si son muchos homogenizar y cuartear hasta obtener 20 frutos para luego pesar	1810-IN-914-IND cuarteo de muestras para el análisis
Separar el mesocarpio de la nuez	
Lavar la nuez con hexano	
Pesar la nuez y registrar el valor	
El hexano con aceite se usará para	

<b>Actividad</b>	<b>Observación/Registro Del manual de INDUPALMA.</b>
complementar el disolvente (Hexano) para la extracción	
Pesar el mesocarpio obtenido y Registrar	
Pesar la cápsula o platillo en la balanza analítica y registrar en el formato	
Adiciona a la cápsula 10g de mesocarpio separado cuidando de que esta forme una capa homogénea	
Registra el peso de la caja de Petri + peso de la muestra húmeda	
Deposita la muestra en un bolsillo de papel filtro teniendo cuidado de no tener pérdidas	
Pesar un balón de fondo plano, limpio y seco	
Introducir el bolsillo en el extractor sohxlet	
Agregar el solvente (hexano)	
Dar inicio a la extracción	1810-IN-906-IND.extracción de aceite por solventes
Proceder a la recuperación de solvente hasta retirar la mayor cantidad posible de solvente en el balón	
Verter el solvente recuperado en el recipiente destinado para éste fin	
Retirar el balón con el aceite extraído, introducirlo al horno a 105°C hasta eliminar el solvente remanente	
Enfriar el balón con aceite en el desecador por 30 min	
Pesar el balón con aceite extraído	
Realizar cálculos	
Registrar	

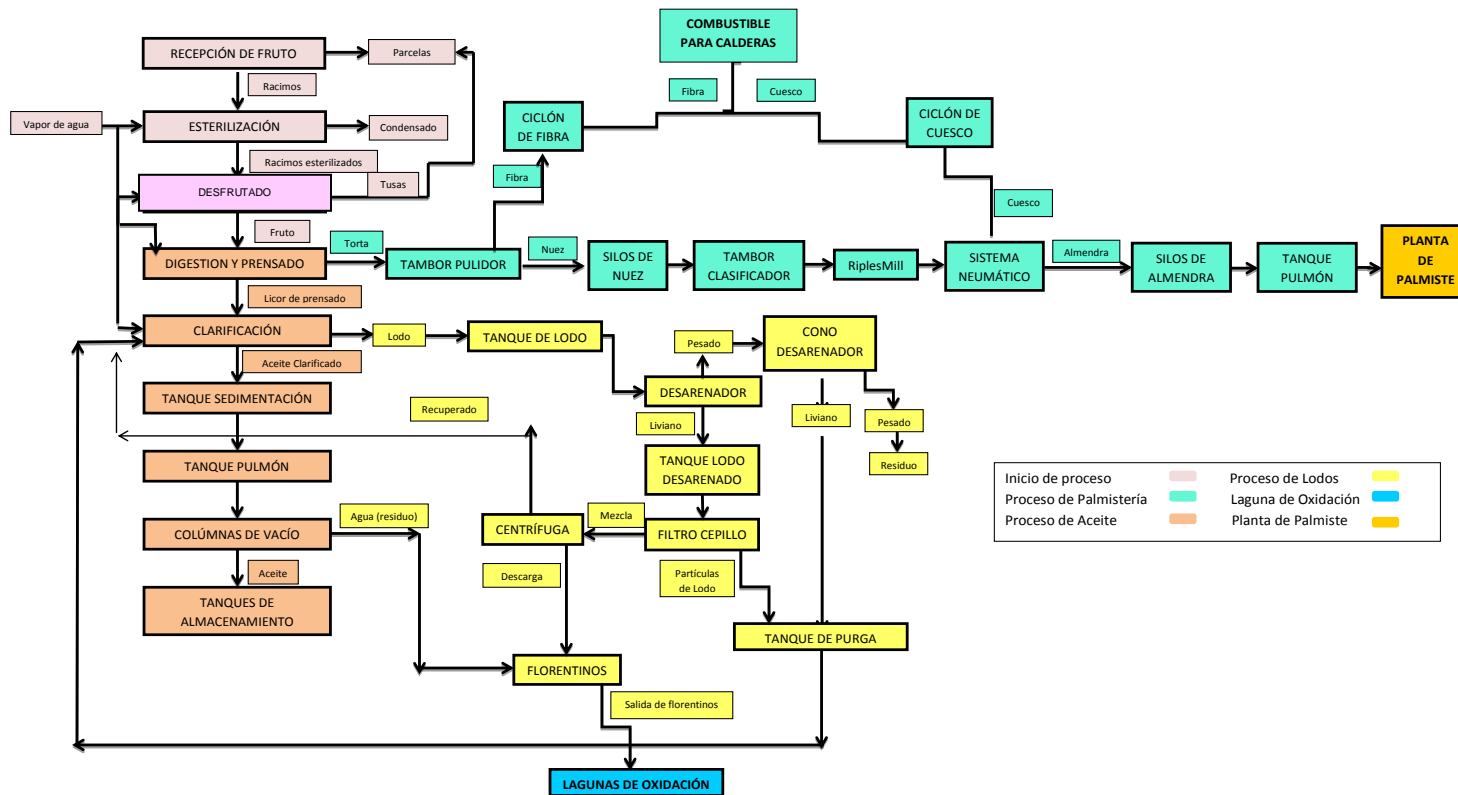
**Instructivo de laboratorio para analizar la pérdida de aceite condensados de esterilización.**

<b>No.</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>	<b>Observación/Registro Manual de INDUPALMA</b>
1	Laboratorista	Toma la muestra según instructivo.	1810-IN-902-IND Toma muestra en efluentes líquidos.
2	Laboratorista	Pesa en la balanza analítica una cápsula de porcelana.	
3	Laboratorista	Registra el peso de la cápsula de porcelana vacía en el formato.	1810-FO-922-IND Datos para pérdidas de aceite de palma en el proceso.
4	Laboratorista	Agita vigorosamente el recipiente con la muestra y mide en la probeta 50 ± 1 ml de ésta.	
5	Laboratorista	Vierte el contenido de la probeta en la cápsula de porcelana.	
6	Laboratorista	Pesa la cápsula + muestra húmeda en la balanza analítica y registra el peso en el formato.	1810-FO-922-IND Datos para pérdidas de aceite de palma en el proceso.
7	Laboratorista	Seca las muestras en un horno convencional a 105°C, por un tiempo de 10 horas.	
8	Laboratorista	Saca la cápsula del horno y la deja enfriar en el desecador de silica gel por un tiempo de 10 min.	
9	Laboratorista	Pesa la cápsula + muestra seca en la balanza analítica cada 20 minutos hasta obtener un peso constante (tres mediciones consecutivas con una	1810-FO-922-IND Datos para pérdidas de aceite de palma en el proceso.

No.	Responsable	Actividad	Observación/Registro Manual de INDUPALMA
		diferencia de máximo 0,02 g). y registra el peso en el formato	
10	Laboratorista	Separa cuidadosamente la muestra de la cápsula y la introduce en un bolsillo de papel filtro.	
11	Laboratorista	Pesa el bolsillo de papel filtro con la muestra en la balanza analítica y registra el peso en el formato.	1810-FO-922-IND Datos para pérdidas de aceite de palma en el proceso.
12	Laboratorista	Realiza la extracción de aceite mediante el instructivo	1810-IN-906-IND Extracción de aceites por solventes.
13	Laboratorista	Saca el bolsillo con la muestra del equipo soxhlet y lo lleva al horno de calentamiento a 105 °C por treinta minutos hasta eliminar totalmente las trazas de disolvente.	
14	Laboratorista	Enfría el bolsillo con la muestra por 30 minutos en el desecador	
15	Laboratorista	Pesa el bolsillo con la muestra libre de aceite y de disolvente en la balanza analítica y registra el peso en el formato.	1810-FO-922-IND Datos para pérdidas de aceite de palma en el proceso.
16	Laboratorista	Al final de cada turno digita los datos en la hoja EFLUENTES en el informe de laboratorio.	1810-FO-914-IND Informe de Laboratorio.
17	Laboratorista	Registrar los datos finales de laboratorio en el módulo correspondiente a la pérdida de aceite en efluentes en el sistema.	

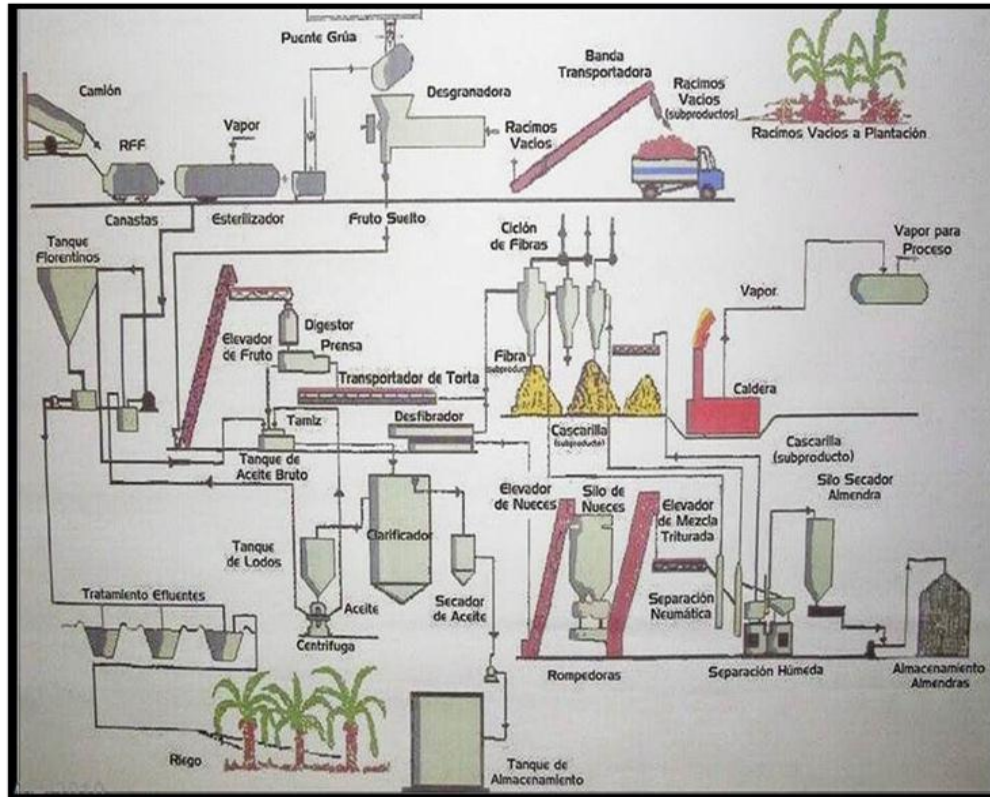
## Anexo B. Diagramas del proceso de extracción de aceite de palma.

Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma en INDUPALMA LTDA.



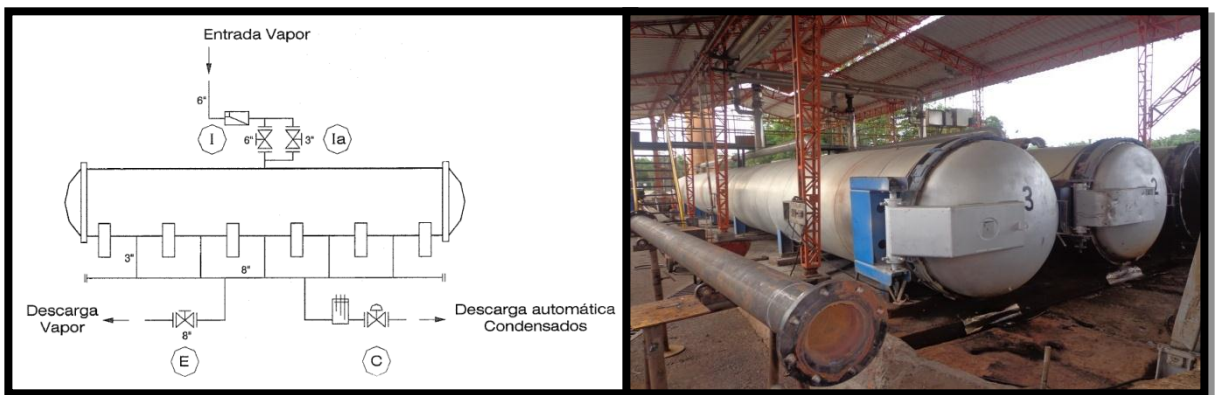
Fuente: Autor

## Diagrama del proceso de extracción de aceite de palma.



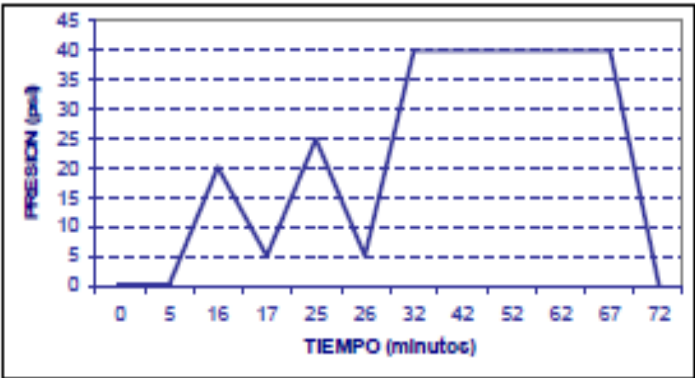
Fuente: INDUPALMA.LTDA.

## Autoclave horizontal



Fuente: WAMBECK, Noel. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Primera edición Colombia: Traducida al español por Guillermo Bernal, 2005. Vol 1 apéndice 2. [8]

**Rampas de presión en el proceso de esterilización en INDUPALMA LTDA.**



### Anexo C. Resultados de la prueba Tukey.

**Resultados de una prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre las medias de las clasificaciones de racimo. (Respecto al factor "Maduro").**

Clasificación del racimo	Valor P (t)	P $\geq$ 0,05	Interpretación
Sobre-maduro	0,0035	No	Existen diferencias significativas
Enfermo	0,4001	Si	No existen diferencias significativas
Malformado	0,0024	No	Existen diferencias significativas
Podrido	0,0004	No	Existen diferencias significativas
Verde	0,0073	No	Existen diferencias significativas

**Resultados de una prueba de Tukey para determinar diferencias significativas entre las medias de las clasificaciones de racimo. (Respecto al factor "Sobre-maduro").**

Clasificación del racimo	Valor P (t)	P $\geq$ 0,05	Interpretación
Malformado	0,1956	Si	No existen diferencias significativas
Podrido	0,0111	No	Existen diferencias significativas
Verde	0,2268	Si	No existen diferencias significativas

## Anexo D. Diagrama de implementación del equipo de prensado de raquis.

### Diagrama del proceso de prensado de raquis. [16]

En la siguiente figura podrá observar detalladamente cómo funciona un proceso de prensado de raquis en una planta extractora.

