

**CARACTERIZACIÓN DE PÉRDIDAS DE ACEITE DURANTE EL PROCESO DE  
EXTRACCIÓN EN PLANTA DE BENEFICIO PARA EL MATERIAL HÍBRIDO  
ALTO OLEICO (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*)**

**INGRID LILIANA CORTES BARRERO**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
SAN JUAN DE PASTO  
2014**

**CARACTERIZACIÓN DE PÉRDIDAS DE ACEITE DURANTE EL PROCESO DE  
EXTRACCIÓN EN PLANTA DE BENEFICIO PARA EL MATERIAL HÍBRIDO  
ALTO OLEICO (*Elaeis oleífera x Elaeis guineensis*)**

**INGRID LILIANA CORTES BARRERO**

Informe de trabajo de grado en la modalidad Pasantía como requisito parcial para  
optar al título de Ingeniera Agroindustrial

Asesor Universidad de Nariño:  
**RENATO PANTOJA GUERRERO, I.Q.**

Asesor Centro de Investigación en Aceite de palma Cenipalma:  
**JAVIER GUAYAZAN JAIMES, I.Q.**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
SAN JUAN DE PASTO  
2014**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado, son de responsabilidad exclusiva del autor”.**

**ARTÍCULO 1º Del acuerdo no. 324 de octubre de 1966 (octubre 11), emanado del honorable consejo directivo de la universidad de Nariño”**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**JURADO**

---

**JURADO**

---

**ASESOR**

**San Juan de Pasto, Octubre de 2014**

## RESUMEN

La Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite es una enfermedad que ha venido afectando plantaciones de América tropical. En Colombia ha manifestado diversos síntomas en función de la zona agroecológica donde se encuentran las plantaciones. En la zona palmera Suroccidental colombiana, específicamente en los alrededores del municipio de San Andrés de Tumaco, entre el año 2007 y el 2008, el número de palmas afectadas por la enfermedad aumentó desde 441 mil a 3 millones, hecho que se tradujo en una disminución del 37% en la producción de Aceite de Palma Crudo<sup>1</sup>. Para enfrentar la crisis sanitaria se estableció un plan de choque que contempló actividades, entre las cuales se propuso la erradicación de las áreas afectadas con palmas de material *Elaeis guineensis* por materiales híbridos. El establecimiento de estos nuevos materiales se convierte en el nuevo horizonte al que ha tenido que enfrentarse la palmicultura colombiana, ya que estas nuevas variedades presentan características que los diferencian de las palmas convencionales.

El híbrido se caracteriza por presentar mayor tolerancia a la incidencia de la enfermedad.<sup>2</sup> No obstante, se desconoce las diferencias existentes tanto en el manejo agronómico como en el procesamiento de los frutos en las Plantas de Beneficio, motivo por el cual se ha creado la necesidad de enfocar esfuerzos para construir la curva de conocimiento de este nuevo material bajo las condiciones locales. Para cumplir con el presente estudio se cuantificó y caracterizó las pérdidas en los flujos de interés a lo largo del proceso. Con base en Procedimientos diseñados y estandarizados específicamente en Plantas extractoras del fruto de la Palma de Aceite.

---

<sup>1</sup> CORREDOR RÍOS, G. MARTÍNEZ LÓPEZ y Á. SILVA CARREÑO, «Problemática de la Pudrición del Cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo,» *Palmas*, vol. 29, nº Ed Especial, 2008.

<sup>2</sup> CORLEY, R.V.H. Material de siembra para el siglo XXI. *Palmas*, v.14, número especial, p.61-67. 1993.

## **ABSTRACT**

The Bud Rot (PC ) Palm oil is a disease that has affected plantations of tropical America. In Colombia has expressed various symptoms depending on the agro-ecological zone where the plantations. In the Colombian South West Palm area , specifically around the town of San Andrés de Tumaco , between 2007 and 2008, the number of palms affected by the disease increased from 441,000 to 3,000,000 , a fact which resulted in a decrease 37% in the production of Crude Palm Oil " . To address the health crisis an emergency plan which included activities , including the elimination of the affected areas with palm *Elaeis guineensis* materials proposed for hybrid materials was established. The establishment of these new materials becomes the new horizon that has faced the Colombian oil palm cultivation , as these new varieties have characteristics that differ from conventional palms.

The hybrid is characterized by greater tolerance to disease incidence . However , the differences are unknown both agronomic management and processing of fruits in plants Benefit , why has created the need to focus efforts to build knowledge curve of this new material under the local conditions. To meet the present study was quantified and characterized the losses in interest flows along the process. Based on procedures specifically designed and standardized extraction plants of the fruit of the oil palm .

## **CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN .....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. ANTECEDENTES.....	17
5. MARCO TEÓRICO .....	20
6. MARCO REFERENCIAL.....	23
6.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA.....	24
6.2. Prensado industrial plantas extractoras de aceite de palma .....	26
6.3 EXTRACCIÓN SOXHLET EN LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ACEITE .....	27
7. OBJETIVOS.....	29
7.1 OBJETIVO GENERAL .....	29
7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
8. METODOLOGÍA .....	30
8.1 FLUJO DE FIBRAS CICLÓNICAS.....	31
8.2 FLUJO DE RACIMOS VACÍOS O TUSAS.....	32
8.3 FLUJO DE EFLUENTES: LODOS PROVENIENTE DE EFLUENTE TOTAL.	33
8.4 FLUJO DE NUEZ.....	34
8.5 HISTOGRAMA DE NUECES.....	36
8.6 CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES EN ACEITES DE PALMA. ....	36
8.7 CONTENIDO DE HUMEDAD. ....	37
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	38
9.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO.....	38
9.1.1 Análisis de pérdidas en racimos vacíos o tusas.....	41
9.1.2 Análisis de pérdidas en fibras. ....	42

9.1.3 Análisis de pérdidas en efluentes. ....	42
9.1.4 Análisis de pérdidas en nueces .....	43
9.2. EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA HÍBRIDO ALTO OLEICO. ....	46
9.2.1 Análisis Eficiencia de extracción de aceite Hibrido alto oleico. ....	47
9.3 RESULTADOS HISTOGRAMA DE NUECES HÍBRIDO ALTO OLEICO .....	48
9.4 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ACEITE HÍBRIDO ALTO OLEICO .....	50
CONCLUSIONES .....	53
RECOMENDACIONES .....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS .....	59

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores de referencia de flujos para el control de procesos en Plantas de Beneficio.....	18
Tabla 2. Parámetros de referencia de pérdidas, extracción y calidad de aceite crudo de palma.....	19
Tabla 3. Principales características de los aceites de palma.....	22
Tabla 4. Factores de producción fruto Híbrido alto oleico.....	40
Tabla 5. Resultados caracterización de pérdidas de aceite.....	41
Tabla 6. Resultados Eficiencia de extracción de aceite Híbrido alto oleico.....	47
Tabla 7. Distribución de diámetros de nueces.....	49

## LISTA DE FIGURAS

**Pág.**

Figura 1. Diagrama de flujo proceso de extracción de aceite crudo de palma.....	23
Figura 2. Esquema del proceso de extracción de aceite crudo de palma.....	28
Figura 3. Punto de medición de flujo de fibra.....	31
Figura 4. Punto de medición de flujo de tusa.....	32
Figura 5. Punto de medición de flujo de efluentes .....	33
Figura 6. Punto de medición de flujo de nueces .....	34
Figura 7. Clasificación de nueces por tamaños .....	36
Figura 8. Esquema de proceso con puntos de pérdidas de aceite .....	39
Figura 9. Gráfica Aforos de flujos másicos .....	43
Figura 10. Gráfica Aforo de flujo másico Efluentes finales.....	44
Figura 11. Gráfica Pérdidas de aceite material Híbrido Alto Oleico .....	45
Figura 12. Grafica Extracción de aceite crudo Alto oleico.....	48
Figura 13. Grafica Histograma de nueces .....	49
Figura 14. Grafica parámetros de calidad aceite Híbrido alto oleico .....	51

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Modelo de Productividad Procesamiento .....	60
Anexo B. Factores de producción .....	90
Anexo C. Caracterización de corrientes de pérdidas .....	90
Anexo D. Eficiencia de extracción aceite de palma crudo alto oleico .....	95
Anexo E. Parámetros de calidad.....	91

## TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los propósitos de la metodología, se aplican las siguientes definiciones:

**Tusa:** parte del cuerpo estructural del racimo que soporta los frutos. Está compuesto por un eje central denominado pedúnculo, del cual se desprenden unas ramificaciones denominadas espigas. Sobre estas últimas están adheridos los frutos y, por ende, es la parte de la tusa que mayor impregnación de aceite presenta.

**RFF:** hace referencia a los racimos de fruta fresca que ingresan al proceso. Se reporta en unidades de peso (toneladas).

**Frutos adheridos:** hace referencia a los frutos internos y externos que quedan adheridos a la tusa luego de realizarse el proceso de desfrutado.

**Racimos mal desfrutados:** Son aquellas tusas en las que se identifiquen frutos adheridos de fácil remoción, luego de haber pasado por la etapa de desfrutación.

**Fibra:** hace referencia al material residual del proceso de extracción del aceite proveniente del mesocarpio de los frutos.

**Polvillo:** hace referencia al material fibroso fino que queda como residuo del proceso de extracción. Este residuo contiene aproximadamente 40% de aceite; de ahí la importancia de incluirlo en el muestreo de la fibra.

**Condensados:** hace referencia al líquido producido por la condensación del vapor durante el proceso de esterilización.

**Lodos:** se refiere al residuo líquido permanente, luego del tratamiento por centrifugación, de los lodos provenientes del clarificador.

**Efluentes:** hace referencia al flujo de descarga final de líquido proveniente de la mezcla de los condensados y los lodos de centrifuga, posterior al proceso de recuperación de aceite en los tanques florentinos.

**Nuez:** hace referencia a las semillas del fruto de palma.

## INTRODUCCIÓN

La Pudrición del Cogollo (PC) de la palma de aceite es una enfermedad que ha venido afectando plantaciones de América tropical. En Colombia ha manifestado diversos síntomas en función de la zona agroecológica donde se encuentran las plantaciones. En la zona palmera Suroccidental colombiana, específicamente en los alrededores del municipio de San Andrés de Tumaco, entre el año 2007 y el 2008, el número de palmas afectadas por la enfermedad aumentó desde 441 mil a 3 millones, hecho que se tradujo en una disminución del 37% en la producción de Aceite de Palma Crudo<sup>3</sup>. Para enfrentar la crisis sanitaria se estableció un plan de choque que contempló actividades, entre las cuales se propuso la erradicación de las áreas afectadas con palmas de material *Elaeis guineensis* por materiales híbridos. El establecimiento de estos nuevos materiales se convierte en el nuevo horizonte al que ha tenido que enfrentarse la palmicultura colombiana, ya que estas nuevas variedades presentan características que los diferencian de las palmas convencionales.

El híbrido se caracteriza por presentar mayor tolerancia a la incidencia de la enfermedad.<sup>4</sup> No obstante, se desconoce las diferencias existentes tanto en el manejo agronómico como en el procesamiento de los frutos en las Plantas de Beneficio, motivo por el cual se ha creado la necesidad de enfocar esfuerzos para construir la curva de conocimiento de este nuevo material bajo las condiciones locales. Para cumplir con el presente estudio se cuantificó y caracterizó las pérdidas en los flujos de interés a lo largo del proceso. Con base en procedimientos diseñados y estandarizados específicamente en Plantas extractoras del fruto de la Palma de Aceite.

Los datos obtenidos permitieron establecer los indicadores de las pérdidas y Evaluación de la eficiencia de extracción de aceite crudo de palma alto oleico ligado a las características de la materia prima que ingresa a la planta de beneficio.

---

<sup>3</sup> CORREDOR RÍOS, G. MARTÍNEZ LÓPEZ y Á. SILVA CARREÑO, «Problemática de la Pudrición del Cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo,» *Palmas*, vol. 29, nº Ed Especial, 2008.

<sup>4</sup> CORLEY, R.V.H. Material de siembra para el siglo XXI. *Palmas*, v.14, número especial, p.61-67. 1993.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para enfrentar la problemática sanitaria del sector palmicultor relacionada con la Pudrición de Cogollo (PC) y Marchitez Letal (ML) en la palma de aceite variedad *Elaeis guineensis*, la siembra intensiva de palmas provenientes de material híbrido se convierte en una alternativa ya que este material genético presenta mayor tolerancia a estas enfermedades.

“La siembra intensiva de este nuevo material genético obliga a iniciar la ruta de aprendizaje con el fin de adaptar el conocimiento ya existente al comportamiento de esta especie”<sup>5</sup>. Situación que involucra la planta de beneficio, en donde ya se han identificado diferencias marcadas tanto en los racimos como en el aceite en comparación con el material *Elaeis guineensis*.

Por lo tanto, el problema principal aquí tratado es el desconocimiento de las condiciones de extracción, pérdidas de aceite y su caracterización durante el procesamiento de fruto de material híbrido.

Lo anterior, señala que es necesario encaminar esfuerzos, ya sea en el ajuste de las condiciones de operación de las etapas que componen el proceso de extracción de aceite palma y/o en el rediseño de la tecnología actual, de forma que se alcancen y mantengan valores aceptables en los principales indicadores de producción de la planta de beneficio cuando se procesen de forma independiente Racimos de Fruta Fresca (RFF) de material híbrido, escenario que se presenta con mayor frecuencia y que tenderá a establecerse en el mediano plazo.

---

<sup>5</sup> R. SAMBANTHAMURTHI, K. SUMDRAM and Y.-A. TAN, “Chemistry and biochemistry of palm oil,” *Progress in Lipid Research*, p. 507-558, 2000.

### 3. JUSTIFICACIÓN

El balance de pérdidas de Aceite es una herramienta con la que actualmente cuentan las plantas de beneficio, la cual permite evaluar y comparar la eficiencia del proceso del beneficio del fruto de la palma de aceite.

Actividades como diagnóstico tecnológico, estandarización de la ruta de cálculo, unificación de criterios, transferencia y adopción de la tecnología fueron necesarias para su instauración. Tanto así que actualmente está implementado en más del 70% de las plantas de beneficio del país de forma que facilita el modelo de productividad de los procesos de benchmarking entre e inter zonas palmeras<sup>6</sup>. Ver Anexo A

De igual forma, es de interés general para el gremio palmicultor que se instaure la misma herramienta esta vez estandarizada en función de la extracción del aceite crudo de palma Alto Oleico, ya que las diferencias que presentan tanto los RFF como el propio aceite crudo en comparación con el que se extrae de los racimos de variedad *E. guineensis*, ameritan un estudio enfocado en caracterizar propiamente el comportamiento de las condiciones de operación del proceso en pro de alcanzar estándares de producción competitivos frente a los que han venido obteniéndose desde los inicios de esta actividad económica.

---

<sup>6</sup> FEDEPALMA, "Anuario estadístico 2012," Bogotá, 2012.

#### 4. ANTECEDENTES

Cenipalma, en trabajo conjunto con sus comités asesores de plantas de beneficio, desarrolló el manual de laboratorio para plantas de beneficio de fruto de palma. En esa ocasión, el documento se orientó a recopilar las metodologías estándar establecidas en Colombia, para lo cual se apoyó en la experiencia y el liderazgo técnico de Cenipalma, luego atendiendo los requerimientos internacionales en sistemas de gestión de calidad, las plantas de beneficio del país iniciaron la implementación de sistemas orientados a buscar la certificación de sus procesos industriales, en procura de garantizar altos grados de eficiencia de gestión y operación en sus actividades. Entre los requerimientos se incluyó la necesidad de documentar, referenciar y soportar los procedimientos rutinarios de muestreo y análisis realizados en laboratorio para el control de pérdidas de aceite y almendra, teniendo en cuenta la ausencia de normas internacionales estandarizadas que pudieran ser referenciadas y adoptadas por la agroindustria palmera. Con estas bases, Cenipalma desarrolló varios proyectos de investigación tendientes a evaluar la representatividad estadística de los muestreos realizados en plantas de beneficio, estableciendo frecuencias, cantidades, puntos de muestreo, para los análisis de pérdidas de aceite y almendra en el proceso.

El objetivo del documento fue presentar a los interesados en las plantas de beneficio las metodologías elaboradas para realizar análisis de laboratorio en los siguientes aspectos: Evaluación de parámetros de calidad de los aceites de palma y de palmiste, determinación de las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción y seguimiento a los parámetros de control de los procesos experimentados en la variedad *E. guineensis*.

El manual de laboratorio de plantas de beneficio, se describe en cuatro capítulos principales:

El primero contiene las generalidades, la descripción de los materiales y los equipos mínimos con los que debe contar un laboratorio, así como los fundamentos de su mantenimiento; además, señala los elementos de protección que garantizan niveles adecuados de seguridad.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> S. L. Cala A., É. E. Yáñez A. y J. A. García N., Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio, p.23, Bogotá: Cenipalma, 2011

En el capítulo 2, se concentra en la necesidad de garantizar la calidad de la materia prima y los principales productos del proceso de extracción, como son los aceites de palma y de palmiste y la torta de palmiste; se describen los análisis y las metodologías que se han de emplear para cada uno de ellos.

En el capítulo 3, se presentan las metodologías de muestreo y análisis de pérdidas de aceite y almendra, mediante cuya aplicación es posible estimar la eficiencia del proceso de extracción de aceite y recuperación de almendra consecuentemente, para calcular el llamado balance de pérdidas de aceite y almendra en plantas de beneficio, A sí mismo, se describen algunos análisis rápidos que resultan necesarios para el control de los procesos.

Por último, el capítulo 4, enseña las metodologías empleadas para la caracterización de aguas residuales y para las calderas, así como la preparación de los reactivos requeridos en este tipo de análisis, Como anexo principal al tema tratado en el capítulo 3, documento soporte para los sistemas de gestión de calidad de las plantas de beneficio, se muestran los ensayos y argumentos estadísticos y experimentales que soportan las frecuencias, tamaños y métodos de muestreo requeridos para la estimación de pérdidas en el proceso.

De esta manera, se ha podido consolidar un documento de referencia y soporte técnico que es de gran relevancia para el sector palmero colombiano, como quiera que guíe el buen desarrollo de las actividades de control de procesos y de gestión de mejoramiento en todas las plantas de beneficio, las cuales se fundamentan en la información.

El control de calidad del proceso es de gran importancia en las plantas de beneficio, puesto que mediante la información que del mismo se genera, es posible calificar su eficiencia operativa. Por tanto, se debe propender por un adecuado desarrollo de sus actividades, disponiendo de los recursos físicos y humanos necesarios<sup>8</sup>.

**Tabla 1. Valores de referencia de flujos para el control de procesos en Plantas de Beneficio.**

---

<sup>8</sup> Ibíd., p.24

<b>Aforo de Corrientes</b>	<b>Rango Comercial</b>
<b>Fibra (% Fibra/RFF)</b>	15
<b>Nuez (%Nuez/RFF)</b>	11,5
<b>Efluentes Finales (m<sup>3</sup>/t RFF)</b>	0,5
<b>Tusa ( % Tusa/RFF)</b>	19

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio, Bogotá: Cenipalma, 2011.

En la Tabla 1 se reportan valores de referencia *E. guineensis*, relacionados con la cantidad de flujo de las corrientes implícitas en el balance de pérdidas de aceite de palma a través del proceso de extracción de fruto.

**Tabla 2. Parámetros de referencia de pérdidas, extracción y calidad de aceite crudo de palma.**

<b>PÉRDIDAS TOTALES DE ACEITE</b>	<b>% AC/RFF</b>	<b>1,4-1,8%</b>
<b>TASA EXTRACCIÓN DE ACEITE</b>	<b>%</b>	<b>20-22%</b>
<b>CONTENIDO DE AGL</b>	<b>% PESO</b>	<b>2,5-3,5%</b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	<b>0,10%</b>

Fuente: Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio, Bogotá: Cenipalma, 2011.

APC: aceite de palma crudo; RFF: Racimos de fruta fresca.

En la Tabla 2 se reportan valores de referencia *E. guineensis*, parámetros relacionados con indicadores de producción del proceso de extracción y calidad del aceite terminado.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> J. A. García N., E. E. Yáñez A. y N. Rodríguez C., «Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas Norte y Central,» *Palmas*, vol. 21, nº Especial Tomo I, 2000.

## 5. MARCO TEÓRICO

El Híbrido de Palma nació a principios de la década del setenta, cuando el IRHO (programa general de mejoramiento del híbrido *E. Oleífera x E. guineensis*) realizó algunos cruzamientos por curiosidad científica, usando como progenitores femeninos unas palmas *Elaeis oleifera* de la zona del Sinú. Estos trabajos fueron liderados por el señor Jacques Meunier, director del departamento de selección del IRHO. Estos primeros cruzamientos se sembraron en varias plantaciones de Colombia, Ecuador e Indonesia, sin conocerse ni su potencial ni sus limitaciones. Esto fue un grave error ya que más adelante se descubriría la baja productividad y extracción, situación que alejó el interés de investigadores e inversionistas de este material.

No obstante, a pesar de los malos resultados, se comprobó la tolerancia de estas palmas a la PC y a otras enfermedades y plagas, y se conoció la especial calidad de su aceite comparado con el de la Palma Africana. El investigador Philips Genty, quien trabajaba para el IRHO en la plantación de INDUPALMA en el Magdalena Medio Colombiano, realizó una serie de investigaciones con este material para determinar su resistencia a diferentes insectos y plagas. A través de sus trabajos, comprobó que el material híbrido tenía un alto contenido de poli fenoles o taninos que son insecticidas, bactericidas y fungicidas naturales que protegen la planta contra las plagas y enfermedades. En el año 1986 se desató la epidemia de PC, en los Llanos Orientales, la comunidad palmera fue alertada y se hizo pública y evidente una gran amenaza para esta actividad en la principal zona palmera del país. En este momento no se conocía nada de cómo manejar esta enfermedad ni de cómo evitar su propagación, a pesar de que se recurrió al personal más capacitado del país y a algunos extranjeros. INDUPALMA ofreció compartir el conocimiento para analizar el problema<sup>10</sup>. La gran conclusión fue que la única solución a este problema en los Llanos Orientales colombianos se encontraría buscando resistencia por la vía genética. Dado que la única experiencia de resistencia era la del Urabá, se tomó la decisión de probar el material híbrido en La Cabaña con unas palmas de cruzamientos basados en material Sinú y otras semillas de Origen Coari, Brasil. Así mismo, se empezaron a reunir semillas de palmas puras *Elaeis Oleífera* de diferentes orígenes tales como Brasil, Valle del río Sinú, Costa Rica, Panamá, entre otros, con el fin de iniciar un jardín colección y poder iniciar pruebas con materiales genéticos variados.

---

<sup>8</sup> Wambeck, N., 2005. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. 1 ed, P.12, Bogotá D.C. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma).

En 1991 se sembraron lotes de híbridos en la cabaña y se empezaron a registrar sus producciones. Hoy se tiene información de este material y se han afinado los criterios de cosecha y polinización asistida que han ido mejorando las tasas de extracción de aceite hasta alcanzar los niveles actuales significativamente superiores a los obtenidos en los primeros híbridos Sinú. Para el año 2012, el área sembrada en palma de aceite en Colombia fue de 427.368 hectáreas que representaron cerca de 940.838 toneladas de Aceite Crudo de Palma cuyo precio promedio en el mercado interno fue de 2'120.000 pesos por tonelada. Actualmente el área sembrada en Colombia con palmas de material híbrido, cuyos parentales son de origen americano (*Elaeis oleífera*) y africano (*Elaeis guineensis*), corresponde a 25.000 ha, distribuidas así: Zona Occidental con cerca de 18.360 ha hasta el 2011 (Fedepalma, 2011), zona Oriental cuenta con 9.000 ha y Zona central con 4.000 ha, aproximadamente, mientras que en la zona Norte hasta el momento no se ha reportado la siembra comercial de este material genético<sup>9</sup>. El área restante se encuentra sembrada con palmas de material *E. guineensis*, caracterizado principalmente por su elevada producción de racimos, tasa de extracción de aceite (20 – 22%) y baja tolerancia a las plagas y enfermedades. Actualmente se están llevando a cabo investigaciones que buscan mejorar la polinización, y en conjunto con Cenipalma, investigaciones que permitan determinar un régimen de fertilización adecuado para estos materiales.

## **CARACTERÍSTICAS DEL HÍBRIDO DE PALMA**

El Híbrido de Palma posee una tolerancia natural a las enfermedades y las plagas propias de América Tropical. Esto reduce el gasto en productos químicos y en costos de sanidad general. Con relación a la PC y a la PF, la palma híbrida ha mostrado tolerancia a estas enfermedades. El híbrido de Palma es fácil de cosechar dado que los ciclos de cosecha son cada 3 semanas, posee mejor estabilidad del fruto después de cosechado. Así mismo, tiene la característica de ser altamente productivo, puesto que produce entre 28 y 35 toneladas de fruto por hectárea al año. Esto junto con una extracción entre 19 y 20%, le asegura una gran rentabilidad al palmicultor<sup>11</sup>.

El Aceite de Híbrido de Palma posee una excelente calidad nutricional, ya que posee unos altos niveles de ácidos grasos insaturados, más del 60%, que ayudan a disminuir los niveles de lipoproteínas de baja densidad o colesterol malo y equilibran los niveles de lipoproteínas de alta densidad o colesterol bueno<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> *Ibíd.*, p.13

<sup>12</sup> Alvarado A., Escobar R., Peralta, F. 2009. Avances en el mejoramiento genético de la palma de aceite en Centro América. In. XVI Conf. Inter. Sobre palma de aceite, P.17, Cartagena, Colombia.

Además posee un alto índice de yodo Wijs (68-70) similar al de una oleína de palma de buena estabilidad. El Aceite de Híbrido de Palma es rico en antioxidantes naturales como la Vitamina E. Previene la arterioesclerosis y es el aceite vegetal más rico en carotenos (1.100-1.400 ppm). El Aceite de Híbrido de Palma tiene un gran potencial de utilización para consumo humano y usos industriales, farmacéuticos y cuidado de la salud. Ha sido catalogado por algunos expertos como el “equivalente tropical del aceite de oliva”.

En Hacienda La Cabaña S.A. Se han realizado diferentes pruebas desde septiembre de 1995, para estudiar el proceso de extracción de aceite en el Híbrido de Palma. De acuerdo a los resultados, el proceso de extracción de aceite en el híbrido de palma ha ido mejorado a través del tiempo gracias a la investigación, y muestra una tendencia a igualar la tasa de extracción de aceite en *E. guineensis*. El programa de Procesamiento Cenipalma ha realizado una serie de actividades encaminadas a identificar las principales diferencias entre el procesamiento de racimos provenientes del material híbrido y *E. guineensis* a escala industrial. Donde se tomaron de referencia los factores de producción.

**Tabla 3. Principales características de los aceites de palma**

Parámetro		Aceite	
		<i>Elaeis guineensis</i>	Alto Oleico
% Ácidos Grasos	Saturados	50	34,1
	Mono insaturados	39,2	53,3
	Poliinsaturados	10,8	12,6
Índice de Iodo (cg I <sub>2</sub> /g, determinada por Whigs)		50-53	60-72
AGL (%Ac. Oleico) Max.		5	0,1
Carotenos (ppm)		500-700	1100-1400
Punto de Fusión (°C)		34-40	27
Índice de Peróxidos (meq O <sub>2</sub> /kg)		1,5-2	0,8-1,2

Fuente:Hacienda la cabaña S.A., 2009.

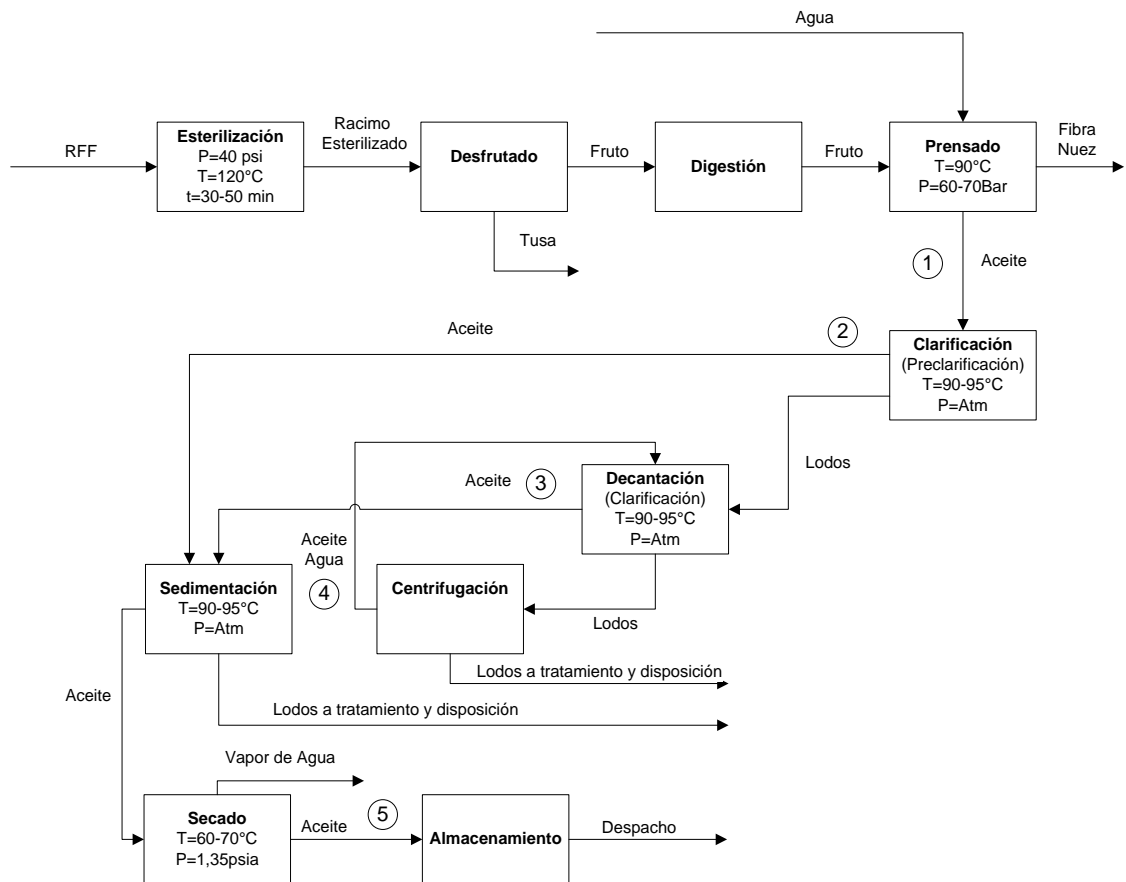
Particularmente el aceite de palma Alto Oleico tiene un contenido mayor de antioxidantes naturales, como carotenos, tocoferoles y tocotrienoles, cuya función es retardar la oxidación del aceite, aparte del valor nutricional que representa, ya que en el organismo humano actúan benéficamente evitando enfermedades como el cáncer y otras de tipo vascular, siendo recomendable preservar el contenido de estas sustancias en el aceite<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Ibíd., p.18

## 6. MARCO REFERENCIAL

En el año 1996, el programa de Procesamiento de Cenipalma inició la tarea de implementar a nivel nacional el balance másico asociado a las pérdidas de aceite, herramienta que permitió unificar criterios técnicos con el fin de comparar el desempeño de las plantas de beneficio en pro de identificar etapas del proceso susceptibles a mejoramiento continuo de forma que se facilitara el intercambio de información relacionada con las mejores prácticas operativas que permitieran reducir las pérdidas de sus productos de interés<sup>14</sup>.

**Figura 1. Diagrama de flujo proceso de extracción de aceite crudo de palma**



<sup>14</sup> D. I. Nieto M., «Informe Anual de Actividades,» Programa de Procesamiento Cenipalma, Bogotá, 2011.

## **6.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA**

### **Recepción de fruto**

Los racimos que llegan a las instalaciones de la planta de beneficio son pesados y se descargan en una plataforma de recibo, mediante un sistema de tolvas se alimentan las vagonetas. Una vez cargadas, éstas se trasladan por medio de rieles a la zona de esterilización.

### **Esterilización**

La esterilización se realiza en autoclaves por medio de vapor de agua saturada a presiones relativamente bajas, durante 90 minutos aproximadamente, aumentando y disminuyendo la presión. Este proceso acelera el ablandamiento de la unión de los frutos, lo cual facilita la separación, la extracción del aceite y el desplazamiento de la almendra, mediante este proceso se inactiva la enzima lipasa para controlar los ácidos grasos libres y coagulación de las proteínas presentes en el fruto y así evitar que su presencia en el aceite durante la extracción promueva la emulsificación del aceite en el agua.

### **Desfrutamiento**

Este proceso se realiza en el tambor desfrutador para separar, mediante un proceso mecánico, el fruto de la tusa o raquis. El fruto es transportado mediante elevadores a los digestores. Las tusas son conducidas por medio de bandas transportadoras y se recolectan para disponerlas en los cultivos, donde se inicia su descomposición y la incorporación de sus elementos al suelo, para luego ser absorbidos como nutrientes por las palmas.

### **Digestión y prensado**

La digestión es llevada a cabo en unos cilindros provistos de un eje central con brazos que se extienden hasta las paredes internas, permitiendo un proceso homogéneo del fruto y flujo continuo hacia las prensas. Los frutos son macerados hasta formar una masa homogénea blanda para extraer el aceite mediante prensas de tornillos sin fin a contra presión<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Ministerio de Ambiente y desarrollo rural, Guía Ambiental de la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia, p.27, Bogotá D.C., Febrero de 2011.

En el proceso de prensado se adiciona agua caliente al fruto, entre 90°C y 95°C, la cual debe ser controlada para asegurar una dilución correcta que facilite el proceso de clarificación posterior. La torta o parte sólida pasa a desfibrilación para separar las nueces que van a un proceso de secado en un silo y se lleva a palmistería. La fibra se usa como combustible de las calderas que generan el vapor de agua que necesita la planta.

## **Clarificación**

La clarificación se realiza por sistemas estáticos en tanques circulares verticales, donde se separan los lodos y agua del aceite, el producto líquido que sale de la prensa permite hasta un 90% de recuperación de aceite, debido a la inmiscibilidad de los componentes y su diferencia de densidad la cual permite recuperar el aceite clarificado en la fase superior, mientras los lodos que contienen agua, gomas, pectinas, tierra y otros sólidos suspendidos permanecen en la fase inferior la cual es tratada posteriormente para recuperar el aceite remanente en ella. El aceite clarificado pasa a los tanques sedimentadores, donde las partículas pesadas se van decantando en reposo, así se separa de la mezcla lodosa restante que pasa a las centrifugas deslodadoras.

Una vez el aceite es clarificado pasa a un tanque de sedimentación donde se terminan de remover algunos sólidos y lodos que aun puedan permanecer en el aceite, posteriormente es bombeado a un tanque de secador.

## **Secado**

El aceite pasa a secado para disminuir la humedad, por calentamiento de un tanque de sistema de secamiento atmosférico, el secador opera a una temperatura de 70°C para garantizar que el agua se evapore sin someter al aceite a altas temperaturas y evitar el contacto con el aire y así su oxidación.

## **Almacenamiento**

Una vez realizados los controles de calidad en el laboratorio, el aceite es llevado a los tanques de almacenamiento para ser despachado a las industrias procesadoras<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> *Ibíd.*, p.28

## **6.2. PRENSADO INDUSTRIAL PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA**

El objetivo principal de la etapa de prensado es extraer la mayor cantidad posible de aceite crudo de los frutos digeridos. Esta se logra aplicando una presión de prensado del fruto dentro de una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica, en donde, por la acción mecánica de dos tornillos sinfín de Paso regresivo y girando paralelamente en sentido contrario a través de los huecos de la canasta, sale un licor o mezcla con alto contenido de aceite o mejor conocido como licor de prensa y por la parte superior de los tornillos sale la masa sólida también conocida como torta de prensado, compuesta básicamente por fibras, nueces y agua, sin embargo se debe tener cuidado para asegurar que la rotura de nueces en la torta de la prensa se mantenga en un mínimo.

Una alta rotura de nueces resultará en una alta pérdida de palmiste y contaminación del aceite de palma con aceite de palmiste. Obviamente, es un proceso comprometido entre el rendimiento de aceite y el rendimiento de palmiste y no puede optimizarse. Se debe tener prioridades y sus límites para controlar las pérdidas de aceite en la fibra y la rotura de nueces<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> L. Y. RUEDA C., «Determinación de los parámetros básicos de diseño a escala piloto para los sistemas de recuperación de aceite tipo pre clarificadores en el proceso de extracción de aceite de palma,» Tesis de Grado, Bogotá D.C., 2007.

### **6.3 EXTRACCIÓN SOXHLET EN LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ACEITE**

La extracción con solventes soxhlet es una técnica de tratamiento que consiste en usar un solvente (un líquido capaz de disolver otra sustancia) para separar o retirar compuestos de una fase homogénea. Se podrán obtener aceites a partir de muestras vegetales utilizando técnicas de extracción sólido –líquido.

La extracción Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas:

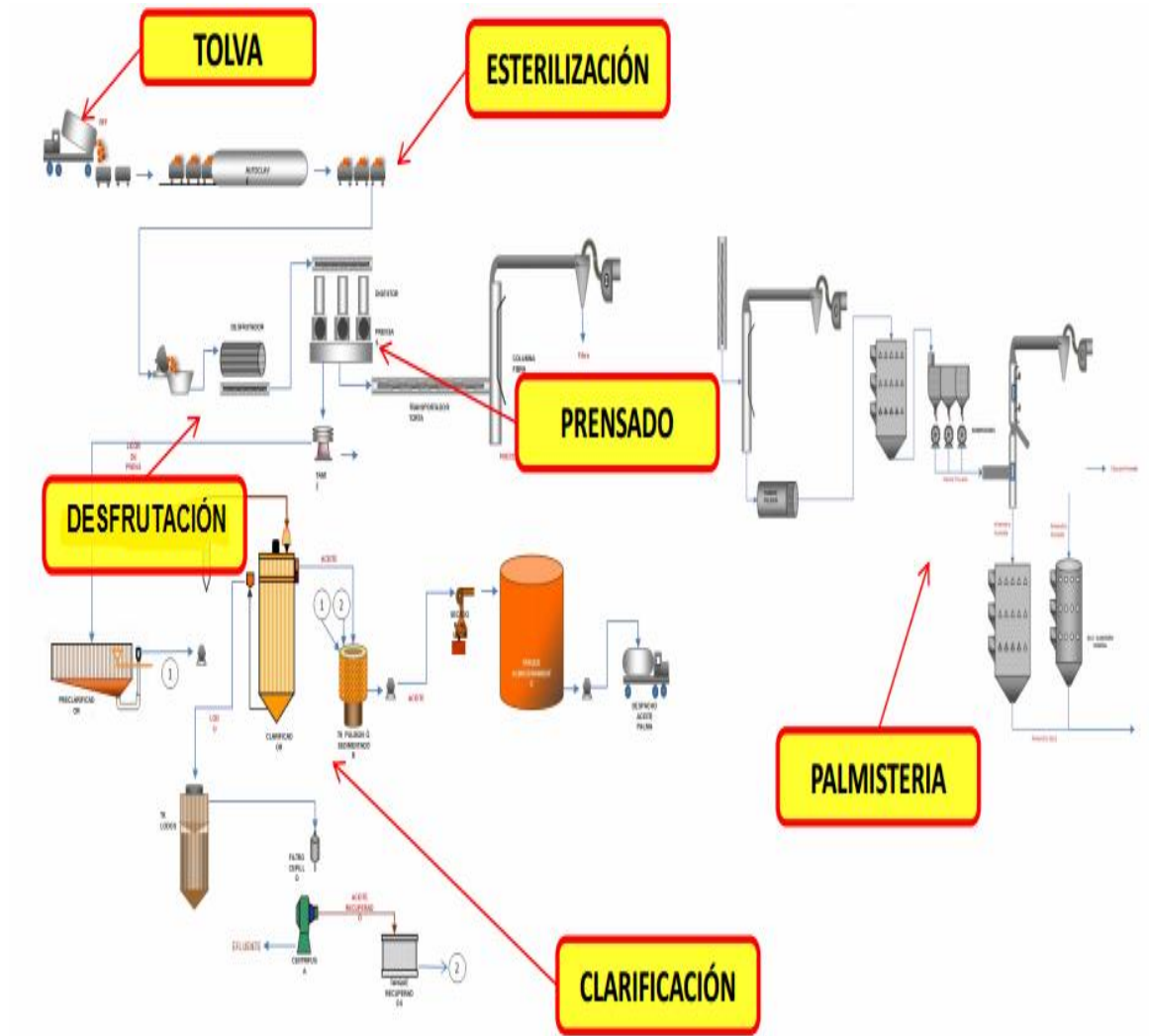
- 1.** Colocación del solvente en un balón.
- 2.** Ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo.
- 3.** El condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior.
- 4.** Ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto que se produce el reflujo que retorna el solvente con el material extraído al balón.
- 5.** Se vuelve a producir este proceso la cantidad de veces necesaria para que la muestra quede agotada. Lo extraído se va concentrando en el balón del solvente.

El extractor Soxhlet realiza un sinnúmero de extracciones de manera automática, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando siempre de manera pura al material. En los laboratorios de las plantas de beneficio, el sistema de extracción tipo soxhlet consta de elementos los cuales cumplen funciones específicas para lograr la extracción del contenido de aceite de una muestra mediante un lavado continuo con solvente<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Núñez, C. E. Extracciones con equipo soxhlet, 2000.

Figura 2. Esquema del proceso de extracción de aceite crudo de palma<sup>19</sup>



<sup>19</sup> Wambeck, op.cit., p. 14

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción en plantas de beneficio para el material híbrido Alto Oleico en la Empresa SALAMANCA OLEAGINOSAS S.A

### **7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar los puntos de control de pérdidas en el proceso de extracción de aceite de palma alto oleico.

Caracterizar las corrientes del balance de materia en proceso de extracción de aceite de palma crudo alto oleico.

Identificar diámetros de nueces mediante dispositivo de histograma con potencial en la recuperación de almendra de fruto de palma alto oleico.

## 8. METODOLOGÍA

Inicialmente se identificó los procedimientos operativos ligados a la consecución de los datos, los cuales fueron necesarios para el planteamiento del balance másico asociado a las pérdidas de aceite durante el proceso de extracción de aceite de palma Alto Oleico. Para ello fue esencial elaborar un diagnóstico de la infraestructura de la Planta de Beneficio en pro de plantear las modificaciones necesarias que deberán realizarse con el fin de obtener, los datos básicos para identificar el comportamiento de los indicadores de producción relacionados con la eficiencia del proceso de extracción. Luego de identificados los procedimientos, se transmitieron al personal encargado de la Planta de Beneficio. La Empresa SALAMANCA OLEAGINOSA S.A. cuenta con maquinaria tipo Consultécnica y tiene una capacidad instalada de 9 ton RFF/h, con proyecciones a una ampliación a 18 ton RFF/h. Se trabaja constantemente con un turno de producción, procesando en promedio 56 toneladas de fruto diariamente. Los procedimientos ejecutados en la pasantía están estandarizados para *E. guineensis*.

Con base en el Manual de Laboratorio CENIPALMA y en los informes de auditoría para Plantas de Beneficio se identificaron y documentaron los procedimientos realizados en planta de beneficio para generar los valores estándar asociados a las pérdidas de aceite durante la extracción del aceite crudo de palma Alto Oleico.

La información se recolectó durante el período de la pasantía, los resultados ilustrados son producto de una base de datos compuesta por 10 observaciones completas tanto para la cuantificación de los flujos másicos como para caracterización de las corrientes de análisis en laboratorio de los puntos de control de pérdidas (fibra, tusa, nuez, efluentes finales) e identificación de diámetros de nueces por medio de dispositivo de histograma.

Los ensayos necesarios realizados en el presente trabajo de investigación se llevan a cabo interviniendo los procesos de extracción del aceite de palma Alto Oleico. Estos procesos se llevaron a cabo bajo las condiciones normales de operación, parámetros y controles usados por la planta de beneficio de la empresa SALAMANCA OLEAGINOSAS S.A. con quienes se tiene el convenio de trabajo para la investigación. El conocimiento del proceso en plantas de beneficios es de vital importancia para controlar y diseñar el experimento.

El procedimiento se basó en la medición de flujos másicos en las fuentes de pérdidas de aceite más importantes del proceso en planta (tusas, fibras, efluentes finales y nueces) y en la determinación de las pérdidas (%Ac/RFF) en estos mismos puntos. Al relacionar matemáticamente estos datos se obtuvo las pérdidas en las mismas unidades de la tasa de extracción (porcentaje de aceite sobre racimo) cuantificando así la cantidad de aceite eliminada en cada flujo másico.

### **8.1 FLUJO DE FIBRAS CICLÓNICAS.**

Para la medición del flujo de fibras, se tuvo en cuenta la disponibilidad de alimentación de fibras a la caldera y el tiempo que la puedan mantener su presión normal, sin ser alimentadas con fibras.

Se contempló la evaluación de las pérdidas de aceite por impregnación en fibras a la salida de las prensas. El procedimiento general para la medición se realizó de la siguiente manera: Se dispuso de un recipiente de tamaño adecuado (vagón, volqueta) para la recolección y almacenamiento de la fibra antes de su entrada a la caldera. Se recolectó la fibra producida en el proceso durante un tiempo de 15 minutos, sin que durante este periodo se dejen de alimentar las prensas. Se pesó nuevamente el recipiente con la fibra, a partir de la diferencia en peso con el recipiente vacío, se estimó el peso de la fibra recolectada Ver Anexo B.

**Figura 3. Punto de medición de flujo de fibra**



**Transportador de flujo de fibra**

## 8.2 FLUJO DE RACIMOS VACÍOS O TUSAS.

La medición del flujo de tusas se facilitó debido a que la totalidad de este material sale de la planta de beneficio durante el proceso. Para su medición Se dispuso de un recipiente de tamaño adecuado (vagón, volqueta) para la recolección y almacenamiento de la tusa a la salida de los tambores desfrutadores (banda de tusa). Se recolectó la tusa producida en el proceso durante el día. Se pesó de nuevo el recipiente con las tusas. A partir de la diferencia en peso con el recipiente vacío, se estimó el peso de las tusas recolectadas.

De acuerdo con lo anterior, el flujo de tusa en la planta de beneficio se determinó relacionando las toneladas de tusa que salen de proceso durante el día, con las toneladas totales de RFF procesadas. Ver Anexo C.

**Figura 4. Punto de medición de flujo de tusa**



**Salida banda transportadora de tusas**

### 8.3 FLUJO DE EFLUENTES: LODOS PROVENIENTE DE EFLUENTE TOTAL.

La medición del caudal de los efluentes fue de especial atención en el proceso, dada su variabilidad. Para el balance global de pérdidas, se requirió del flujo total de efluentes en la salida de florentinos hacia piscinas de oxidación. Los efluentes corresponden a la mezcla de los condensados de esterilización, lodos provenientes de centrífugas y aguas de desecho de proceso (limpieza). Aunque en el balance global se utiliza únicamente el flujo total de efluentes, se realizó la medición y seguimiento a las descargas para cada punto y/o equipo, con el objeto de tener una herramienta para el control de proceso.

Para determinar el flujo de efluente de manera confiable, se usó el registro del tiempo de operación de la bomba que impulsa el flujo de efluentes finales hacia el respectivo sistema de tratamiento. Con el empleo de este sistema se realizó el aforo previo de la capacidad de la bomba. En condiciones de proceso estable y a plena capacidad, se cuantificaron las toneladas totales de RFF procesadas y el tiempo de operación de la bomba de efluentes totales durante el día de proceso.

El flujo de efluentes se calculó como la relación del volumen ocupado por dicho efluente en un tanque receptor y su respectivo tiempo vaciado. Para estimar este volumen se registró la diferencia entre la altura inicial y final de vaciado y luego multiplicarla por el área transversal del tanque receptor, la cual se obtuvo midiendo sus dimensiones (largo y ancho). Ver Anexo D.

**Figura 5. Punto de medición de flujo de efluentes**



**Tanque receptor salida de flujo de efluentes**

#### 8.4 FLUJO DE NUEZ.

El flujo de nuez se calculó con la medición directa a la salida de la columna neumática a partir de la suma de los flujos de almendra y cáscaras. En condiciones normales y a plena capacidad, se estimó el flujo de nueces y registro la masa de nuez en kg producidos durante 5 minutos de aforo.

Por último, el flujo de nuez se relaciona con las toneladas de racimos de fruta fresca procesados durante el periodo de medición. Ver Anexo E.

**Figura 6. Punto de medición de flujo de nueces**



**Salida de nueces columna neumática**

**Contenido de aceite en fibras.** En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite impregnado en la fibra que sale de la prensa luego del proceso de extracción. El muestreo de fibras se realizó de forma acumulativa durante un día de proceso. Con frecuencia de una hora, a la salida de la prensa, haciendo uso de los guantes, se tomaron las muestras de entre 100 y 300 gramos de torta de prensa. Esta porción corresponde a la suma de muestras tomadas en los dos extremos laterales de la salida de la prensa y la parte central de la misma.

En la prueba, una muestra de fibra prensada fue sometida a extracción con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo mínimo de cuatro horas. El aceite extraído es separado del solvente y posteriormente pesado. Ver Anexo F.

**Contenido de aceite en tusa.** En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite impregnado en las espigas y pedúnculos de los racimos vacíos, por efecto de su esterilización y desfrutado.

El muestreo de tusas para determinación de pérdida de aceite por impregnación se realizó de forma acumulativa durante un día de proceso, con frecuencia de una hora. En la prueba, una muestra de tusa finamente picada se sometió a extracción con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo de cuatro horas. El aceite extraído fue separado del solvente. Ver Anexo G.

**Contenido de aceite en lodos provenientes de efluentes totales.** En esta prueba se especificó la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite en los flujos de condensados de esterilización, lodos provenientes de centrífuga como efluentes totales en el proceso de extracción.

Debido a la naturaleza líquida de las muestras y los rangos de concentración de aceite en ellas el muestreo de efluentes totales se realizó de forma acumulativa durante un día de proceso, con frecuencia de una hora.

La muestra de efluente total se colectó del flujo final de efluente enviado hacia las piscinas de oxidación. En la prueba, una muestra de efluente se secó y se sometió a extracción con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo mínimo de 6 horas. El aceite extraído se separó del solvente y posteriormente se pesó. Ver Anexo H.

**Contenido de aceite en nueces.** En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite impregnado en las cáscaras o superficie de las nueces, luego de la separación neumática de la fibra. El muestreo de nueces se realizó de forma acumulativa, cada hora, durante el día de proceso. Se realizó de manera simultánea con el muestreo para la evaluación de pérdida de aceite en fibra. En la prueba, las nueces se secaron y rompieron, las cáscaras fueron separadas y sometidas a extracción con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo de cuatro horas. El aceite extraído fue separado del solvente y posteriormente pesado. Ver Anexo I.

## 8.5 HISTOGRAMA DE NUECES

Dentro del proceso de recuperación de almendra se encuentra la tritución de las nueces, para lo cual la Empresa SALAMANCA OLEAGINOSAS S.A. cuenta con rompedores de tritución directa mediante molinos, por estos equipos pasa la nuez la cual es presionada entre las barras y la placa de desgaste, ocasionando de esta forma el rompimiento. Dado que la distancia en la cual se ubica la nuez para ser rota es un factor que debe ser muy controlado, bajo esta necesidad se realiza el histograma de tamao de nueces con el fin de calibrar y optimizar la tritución.

Se elaboró el dispositivo de histograma de nueces para la clasificaci3n de las nueces por tamaos. Por observaci3n y medici3n de las nueces del proceso se determin3 un rango de perforaciones de 10mm hasta 27mm de diámetro.

El muestreo se realiz3 a la salida del tambor pulidor de forma acumulativa cada hora durante el día de proceso. Finalmente se tom3 una submuestra de 500 g de nueces y se pasaron por el histograma. Las porciones se distribuyeron acorde al diámetro de cada nuez. Ver Anexo J.

**Figura 7. Clasificaci3n de nueces por tamaos**



Dispositivo de histograma de nueces



Nueces del proceso

## 8.6 CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES EN ACEITES DE PALMA.

Esta prueba utiliza la metodología para la determinación del porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) contenidos en el aceite crudo de palma.

El muestreo de aceite para análisis de calidad debe realizarse con frecuencia de una hora en la salida del proceso hacia almacenamiento, tomando muestras de aproximadamente 250 ml. La muestra fue almacenada en un recipiente limpio, seco y con tapa con el fin de evitar contaminaciones y variaciones de humedad.

Finalmente se disuelve la muestra en etanol neutralizado, se calienta y se tituló con solución acuosa de hidróxido de sodio. Ver Anexo K.

### **8.7 CONTENIDO DE HUMEDAD.**

El muestreo de aceite para análisis de calidad debe realizarse con frecuencia de una hora en la salida del proceso hacia almacenamiento, tomando muestras de aproximadamente 250 ml.

Se calentó una porción de ensayo a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta que la humedad y la materia volátil se eliminaron completamente (estabilidad de su peso). Se enfrió y se determinó su pérdida de peso. Ver Anexo L.

## 9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos para el desarrollo del proyecto y logro de objetivos se dan a partir de la identificación de los puntos de control de pérdidas, cuantificación de los flujos másicos, determinación de porcentajes de aceite perdido sobre racimos de fruta fresca en los flujos de caracterización. (Tusa, fibra, efluentes finales y nueces), Ver Anexo M.

Calidad de aceite terminado, (Contenido de AGL y Humedad) Ver Anexo N. e identificación de tamaño de nueces evaluadas por dispositivo de histograma. Ver Tabla 11.

Se correlacionó la información y se valoró estadísticamente los resultados con el programa SAS: (*Statistical Analysis System*) versión 9.1.

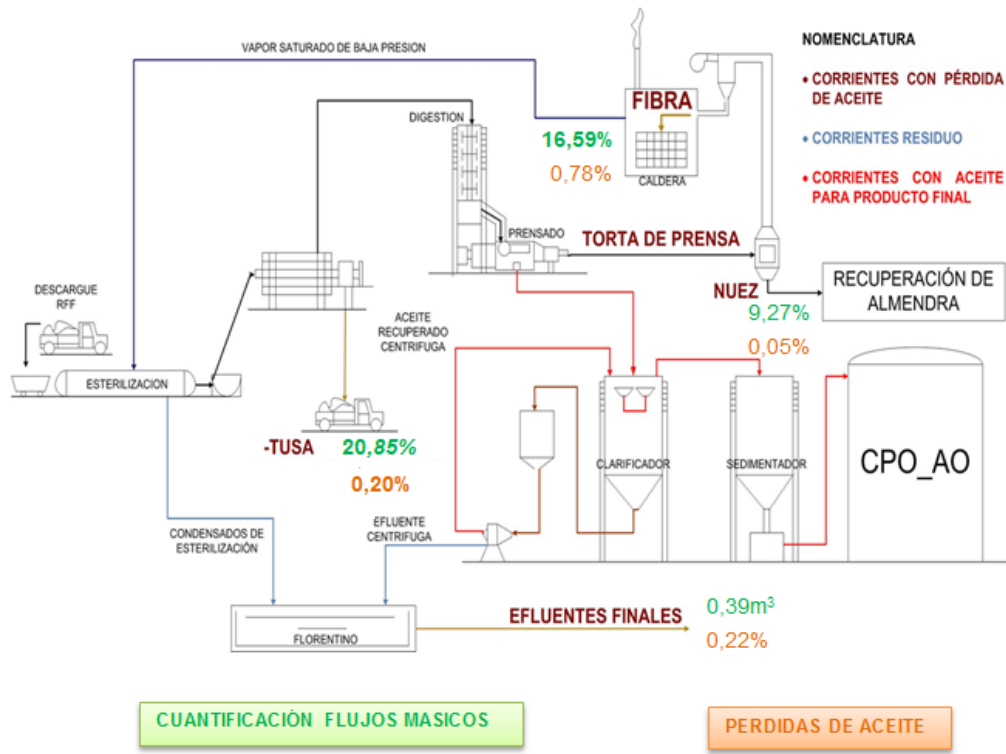
Resultados expresados como porcentaje en peso sobre racimos de fruta fresca Ver anexo O.

### 9.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTROL DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO

En primera instancia se evidencia las etapas generadoras de pérdidas del producto interés, se identifica que las mayores pérdidas de aceite en una planta de beneficio se presentan en los siguientes puntos de salidas. Ver Figura 8.

- Tusas o racimos vacíos.
- Fibras provenientes de prensado.
- Efluentes finales (condensados, lodos provenientes de centrifugas).
- Nueces (aceite adherido al cuesco)

**Figura 8. Esquema de proceso con puntos de pérdidas de aceite**



En el esquema de la figura 8. Se identifican los puntos de control de pérdidas del proceso marcados de color rojo oscuro (corrientes con pérdidas de aceite).

El balance de pérdidas de aceite constituye una herramienta para cuantificar el aceite perdido en los diferentes puntos del proceso de extracción. Para la estimación de las toneladas de aceite que se pierden en cada punto del proceso, es necesario conocer tanto la concentración puntual de aceite en la muestra, como el flujo másico para cada punto de pérdida.

Una de las principales aplicaciones de estos balances en el proceso de extracción de aceite es que posibilita la referenciación en las plantas de beneficio, mediante el seguimiento a los niveles de pérdidas de aceite y su correlación con otras variables como la tasa de extracción.

**Tabla 4. Factores de producción fruto Híbrido alto oleico**

Factores de producción		Material híbrido Alto Oleico	
		Promedio	D.S.
TIEMPO EFECTIVO DE PROCESAMIENTO	<b>HORAS</b>	<b>7,840</b>	0,673
CANTIDAD DE FRUTA PROCESADA	<b>TONELADAS</b>	<b>56,063</b>	5,710
CAPACIDAD DE VAGONETAS	<b>t RFF/VAG</b>	<b>2,861</b>	0,064
CANTIDAD DE ACEITE PRODUCIDO	<b>TONELADAS</b>	<b>11,265</b>	2,130
TIEMPO TOTAL DE ESTERILIZACIÓN	<b>HORAS</b>	<b>1,394</b>	0,096

En la Tabla 4. Se muestran los factores de producción, resultados promedios de las condiciones del proceso durante las observaciones, donde tiempo efectivo del funcionamiento de la planta es de 7,84 horas al día, de igual forma la cantidad de fruta procesada al día es de 56,063 toneladas y cantidad de aceite producido de 11,265 toneladas con una capacidad de vagonetas con fruta fresca de 2,861 toneladas y un tiempo de esterilización por bache de 1,394 horas. Ver Anexo P.

La desviación estándar es superior a 0,5% en la cantidad de fruta procesada, aceite producido y levemente en el tiempo efectivo de procesamiento. Situación debida a que todos los días no coinciden en procesar la misma cantidad de fruto, debido a los ciclos de cosecha en campo, indicando así la existencia de variaciones en los anteriores factores con respecto al valor promedio.

**Tabla 5. Resultados caracterización de pérdidas de aceite**

CARACTERIZACIÓN DE CORRIENTES			MATERIAL HIBRIDO ALTO OLEICO		REFERENCIA <i>E. GUINEENSIS</i>
			Promedio.	D.S.	
TUSA	TUSA / t RFF	% P	20,85%	1,28%	18-20%
	Ac / RFF TUSA	% P	0,20%	0,05%	0,4-0,6%
FIBRA	FIBRA / t RFF	% P	16,59%	1,22%	14-16%
	Ac / RFF FIBRA	% P	0,78%	0,21%	0,5-0,6%
EFLUENTES. F.	EF. F. / t RFF	m <sup>3</sup> / t RFF	0,39	1,12%	0,4-0,58
	Ac/ RFF EF. F.	% P	0,22%	0,07%	0,4-0,7%
NUECES	NUECES / t RFF	% P	9,27%	1,37%	10-13%
	Ac / RFF NUECES	% P	0,05%	0,02%	0,05-0,1%

En la Tabla 5. Se consignan los valores promedios y desviación estándar (D.S), obtenidos a partir de los datos de balances de biomasa y contenido de aceite, en los flujos de tusa, fibra, efluentes finales y nueces del material híbrido alto oleico.

Los valores de referencia para *E. guineensis*, son producto de una base de datos compuesta por reportes de plantas de beneficio del país, rangos que servirán como patrón de comparación de los resultados obtenidos en este estudio.

**9.1.1 Análisis de pérdidas en racimos vacíos o tusas.** En la tabla 5 se observa que el promedio de tusas del material híbrido alto oleico es de 20.85%, el resultado

indica que se encuentra por encima del rango de referencia *E. guineensis* (18-20%). Las tusas ocupan un mayor volumen debido a la disposición genética de espatas del material híbrido.

La desviación estándar es superior a 0,5%, indicando la existencia de variaciones en el contenido de flujo de tusas con respecto al valor promedio.

El valor promedio de la pérdida de aceite en tusas para el material híbrido alto oleico es de 0.20%, lo que indica que la impregnación de aceite en tusa está por debajo del rango de referencia teórica de *E. guineensis* (0,4-0,6%). En este punto se genera la menor pérdida de aceite en el proceso lo cual marca una diferencia positiva en el valor de las pérdidas totales.

La desviación estándar es baja, inferior a 0,5%, lo cual indica la cercanía de los datos al valor promedio. Su naturaleza híbrida genera poca concentración de aceite en tusas y el resultado obtenido representa la concentración de aceite contenido en la totalidad de las muestras.

**9.1.2 Análisis de pérdidas en fibras.** En la Tabla 5. Se observa que el promedio en peso para la fibra del material híbrido alto oleico es de 16.59% sobre tonelada de racimos de fruta fresca, el resultado indica que se encuentra por encima del rango de referencia *E. Guineensis* (14-16%).

La desviación estándar es superior a 0,5%, indicando la existencia de variaciones en el contenido de flujo de fibra con respecto al valor promedio.

El valor promedio de la pérdida de aceite en fibra para el material híbrido alto oleico es de 0.78%, lo que indica que la impregnación de aceite en fibra está por encima del rango de referencia *E. guineensis* (0,5-0,6%). En este punto se genera la mayor pérdida del proceso, relacionadas con las condiciones del proceso prensado.

La desviación estándar es inferior a 0,5%, lo cual indica la cercanía al valor promedio. Debido a su naturaleza se facilita la distribución homogénea y el resultado obtenido representa la concentración de aceite contenido en la totalidad de las muestras de fibra.

**9.1.3 Análisis de pérdidas en efluentes.** En la Tabla 5 se observa que el promedio en m<sup>3</sup> para efluentes finales del material híbrido alto oleico es de 0,39 m<sup>3</sup> sobre

tonelada de racimos de fruta fresca, el resultado indica que se encuentra por debajo del rango de la referencia *E. guineensis* (0,4-0,58) m<sup>3</sup> / t RFF.

La desviación estándar es superior a 0,5%, indicando la existencia de variaciones en el contenido de flujo de efluentes con respecto al valor promedio.

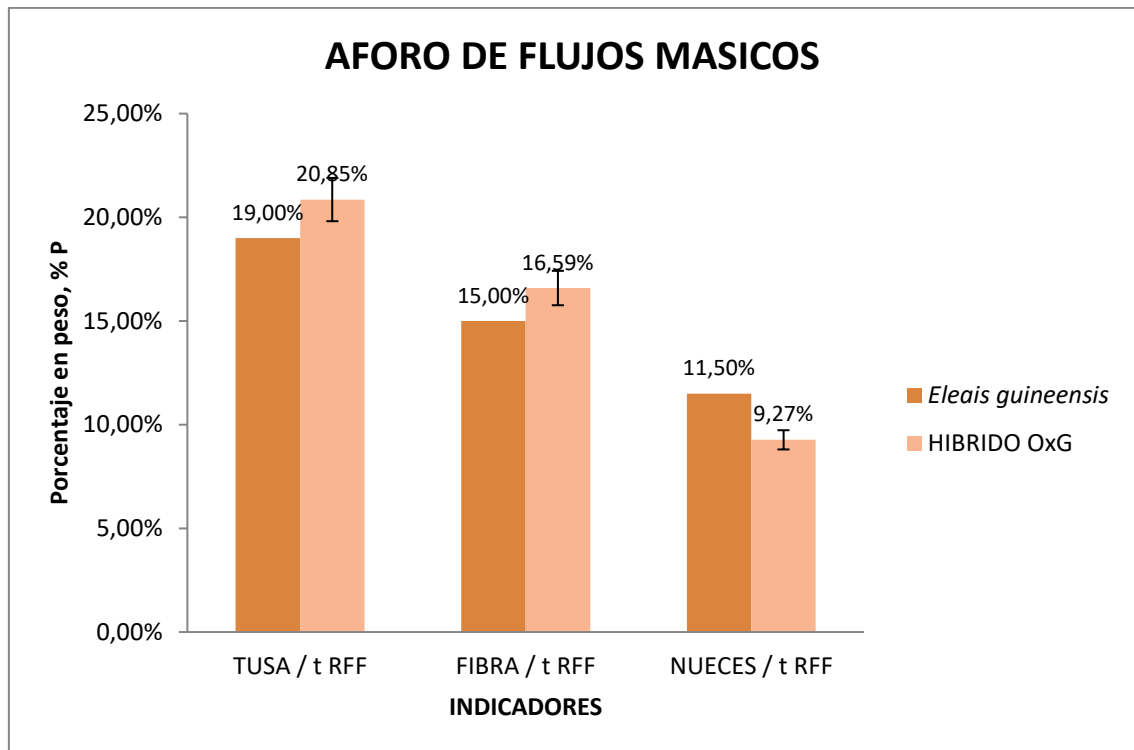
El valor promedio de la pérdida de aceite en efluentes finales para el material híbrido alto oleico es de 0.22%, sobre racimos de fruta fresca, lo que indica que la impregnación de aceite en efluentes finales está por debajo del rango de referencia *E. guineensis* (0,4-0,7%). La pérdida de aceite en este punto marca una diferencia positiva en el valor de las pérdidas totales; situación dada por la recuperación de aceite en la centrifuga.

La desviación estándar es inferior a 0,5%, lo cual indica la cercanía de los datos al valor promedio. Se observó que en las muestras líquidas se distribuye mejor el aceite, debido a que se manejan a altas temperaturas asegurando su homogeneidad, el resultado obtenido representa la concentración de aceite contenido en la totalidad de la muestras de efluentes.

**9.1.4 Análisis de pérdidas en nueces.** En la Tabla 5 se observa que el promedio en peso para las nueces del material híbrido alto oleico es de 9,27% sobre tonelada de racimos de fruta fresca, el resultado indica que se encuentra por debajo del rango de referencia *E. guineensis* (10-13%), condición genética por polinización asistida.

La desviación estándar es superior a 0,5%, indicando la existencia de variaciones en el contenido de flujo de nueces con respecto al valor promedio. El valor promedio de la pérdida de aceite en nueces para el material híbrido alto oleico es de 0,05%, lo que indica que la impregnación de aceite en nueces está dentro del rango de referencia *E. guineensis* (0,05-0,10%). La desviación estándar es inferior a 0,5%, lo cual demuestra la cercanía de los datos al valor promedio. Debido a su naturaleza se facilita la distribución homogénea y el resultado obtenido representa la concentración de aceite contenido en la totalidad de las muestras de nueces.

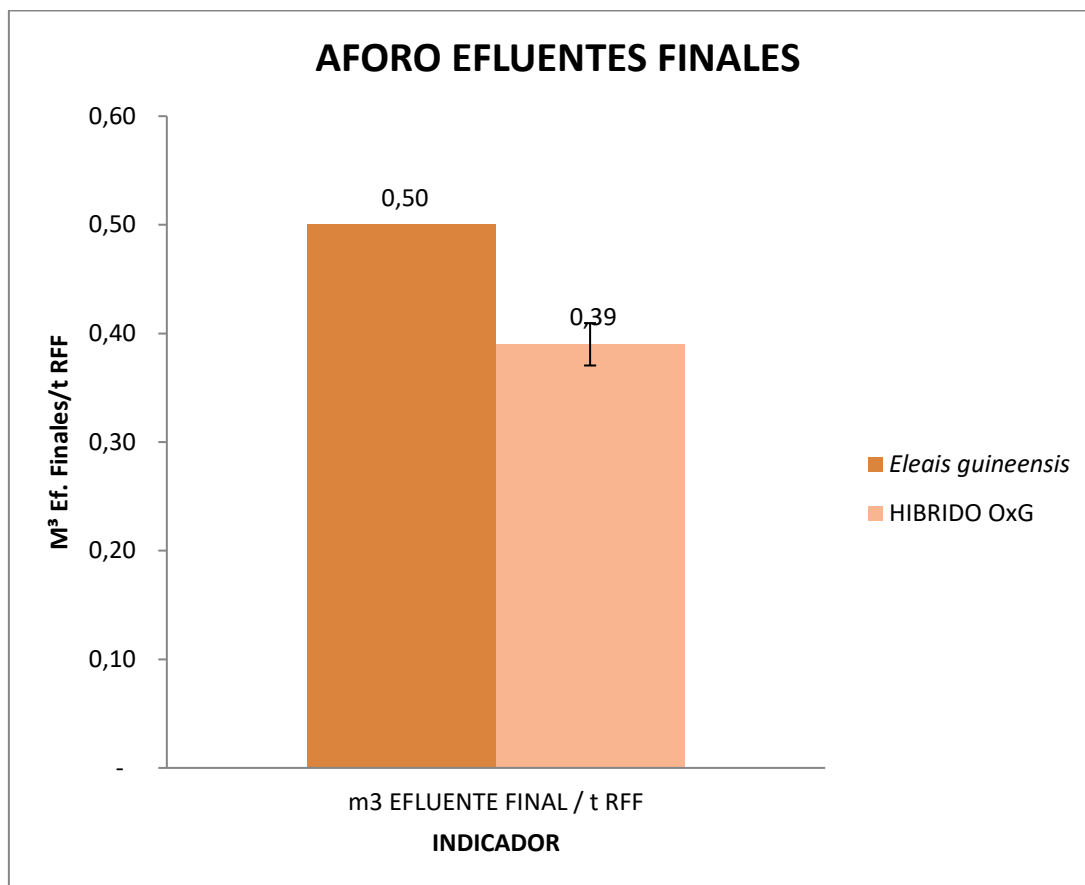
### **Figura 9. Gráfica Aforos de flujos másicos**



En la Figura 9 se observa que el material híbrido presenta diferencias en cuanto al contenido de biomasa, vista como fibra, tusa y nueces, con base en los racimos de fruta fresca procesados (RFF).

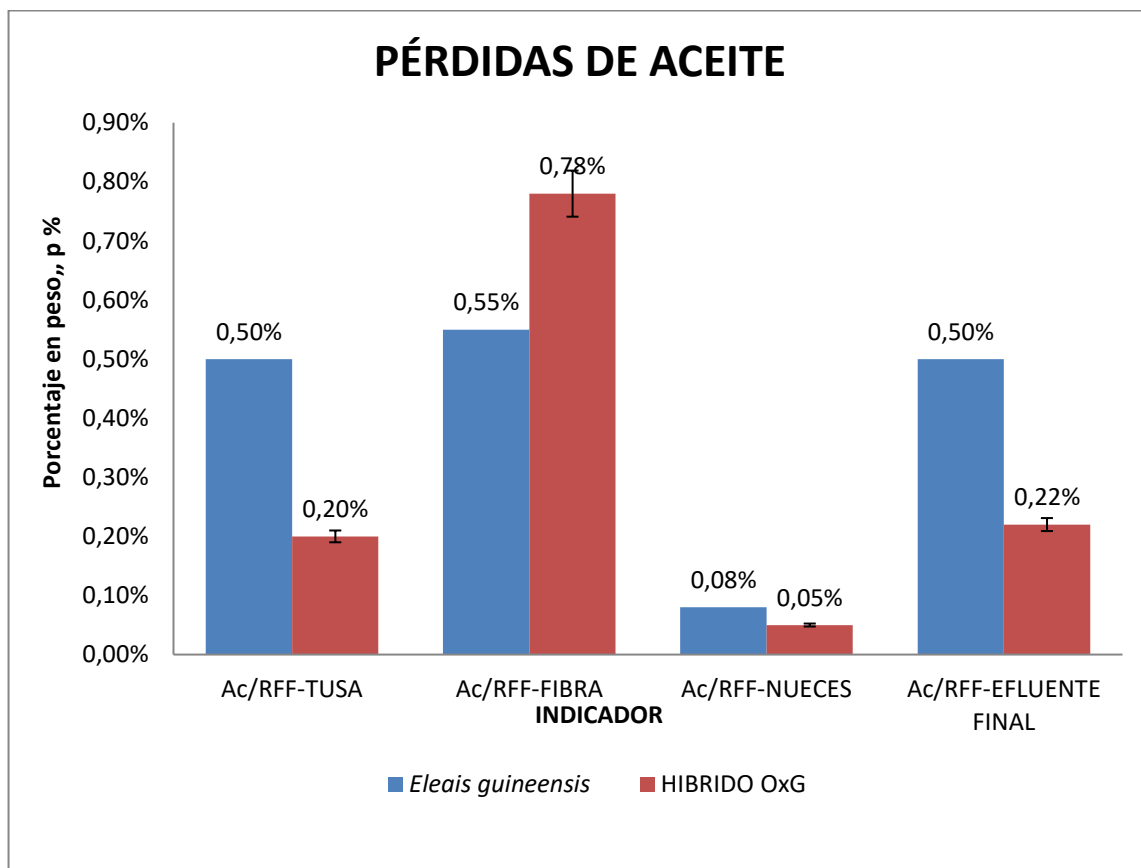
Se registran incrementos en las corrientes de fibra y tusa y una disminución apreciable en el porcentaje de nueces. Para la porción de tusa, el material híbrido presenta un aumento en promedio de 1,9%. En la corriente de fibra, el incremento es cercano al 1,6%. Respecto a la porción de nueces el material híbrido muestra una reducción promedio de 2,2% con respecto a las referencias *E. guineensis*.

**Figura 10. Gráfica Aforo de flujo másico Efluentes finales**



En la Figura 10 se observa que durante el procesamiento del material híbrido se produce menor cantidad de efluentes finales por cada tonelada de materia prima procesada. El valor de reducción es de  $0,11 \text{ m}^3/\text{t RFF}$ , respecto a *E. guineensis*.

**Figura 11. Gráfica Pérdidas de aceite material Híbrido Alto Oleico**



En la Figura 11 se reporta la cantidad de aceite perdido en las principales corrientes por cada unidad de materia prima procesada en la planta de beneficio, En la corriente de tusa se identificó una disminución cercana al 0,3 %Ac/RFF para material híbrido, sin embargo en la corriente de fibra el comportamiento es opuesto, se observa un incremento aproximado de 0,3 %Ac/RFF. La corriente de nueces presentó una disminución de 0,03% Ac/RFF y para el caso de los Efluentes Finales, la reducción fue del orden de 0,30 %Ac/RFF, aproximadamente el cual contrasta con el 0,5% Ac/RFF reportado para el material *E. guineensis*.

## 9.2. EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA HÍBRIDO ALTO OLEICO.

La eficiencia en la extracción de aceite hace referencia a la relación de las toneladas de productos obtenidos con respecto a las toneladas totales potenciales para extracción. Estas toneladas potenciales resultan de la suma de la extracción real y las pérdidas totales. Ver Anexo Q.

**Tabla 6. Resultados Eficiencia de extracción de aceite Híbrido alto oleico**

EXTRACCIÓN ACEITE DE PALMA CRUDO ALTO OLEICO		MATERIAL HIBRIDO ALTO OLEICO		REFERENCIA <i>E. GUINEENSIS</i>
		Promedio	D.S.	
TASA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	% APC/RFF	20,09%	2,08%	20-22%
PÉRDIDAS TOTALES DE ACEITE	% APC/RFF	1,25%	0,24%	1,4-1,8%
EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	%	94,14%	1,34%	93-95%

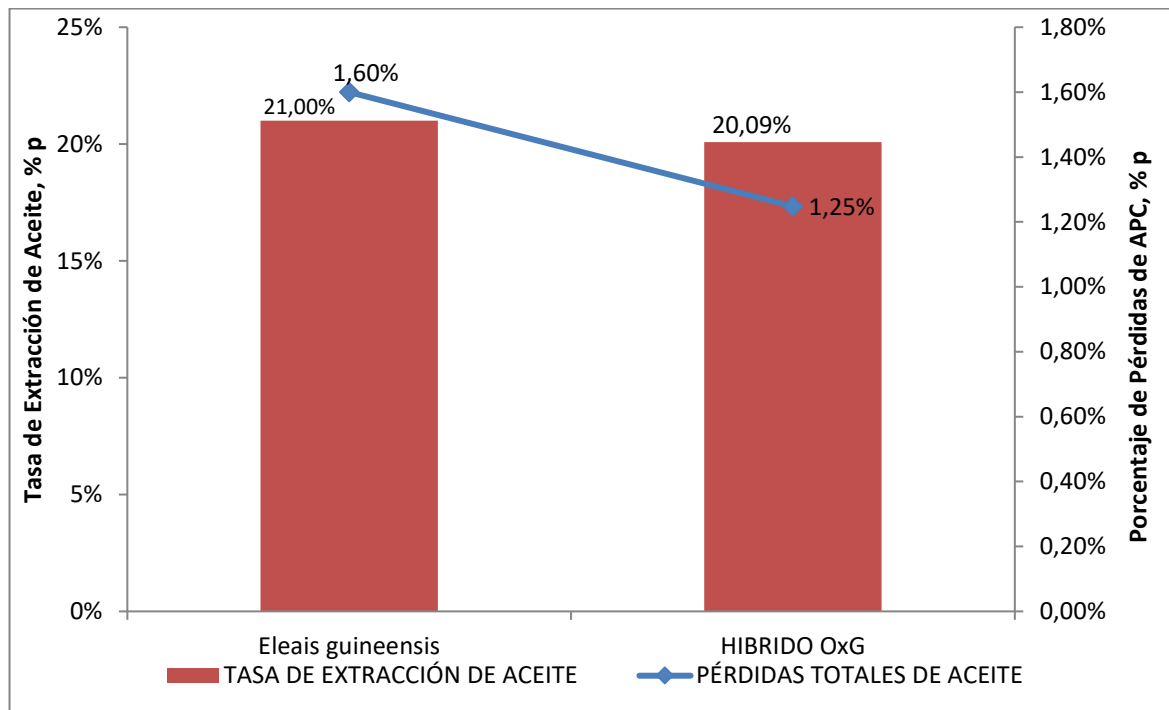
**9.2.1 Análisis Eficiencia de extracción de aceite Híbrido alto oleico.** En la Tabla 6 se observa que el promedio de la tasa de extracción del aceite del material híbrido alto oleico es de 20,09% sobre tonelada de racimos de fruto fresco procesado, el resultado indica que el porcentaje de tasa de extracción se encuentra dentro del rango de referencia comercial *E. guineensis* (20-22%).

La desviación estándar es superior a 0,5% en la Tasa de extracción de aceite, indicando la existencia de variación con respecto al valor promedio, debido a la cantidad de aceite contenida en los frutos procesados en las diferentes observaciones. El valor promedio de pérdidas totales de aceite para el material híbrido alto oleico es de 1,25%, el cual indica que la suma de los puntos de pérdidas caracterizados (tusa, fibra, efluentes y nuez) están por debajo del rango de referencia comercial *E. guineensis* (1,4-1,8%). Valor favorable de interés comercial. La desviación estándar es inferior a 0,5%, en las pérdidas totales lo cual indica la cercanía al valor promedio. El resultado obtenido representa la concentración de aceite en los flujos caracterizados.

Finalmente el promedio de la eficiencia de extracción de aceite del material híbrido alto oleico es de 94,14%, el resultado indica que se encuentra dentro del rango de referencia *E. guineensis* (93-95%). Valor aceptable de interés comercial.

La desviación estándar es superior a 0,5% en la eficiencia de extracción de aceite, indicando la existencia de variación con respecto al valor promedio, situación normal debido a los diferentes días de observaciones.

**Figura 12. Grafica Extracción de aceite crudo Alto oleico**



En la Figura 12 se observa que se han alcanzado valores del 20% en el parámetro Tasa de Extracción de Aceite (TEA), bajo las condiciones propias de la plantación, resultado que se acerca bastante al contexto operativo que ofrece el material *E. guineensis*. En general, se ha registrado que las pérdidas totales de aceite crudo de palma Alto Oleico en promedio son menores en un 0,4% aproximadamente respecto a las reportadas durante el procesamiento del material *E. guineensis*.

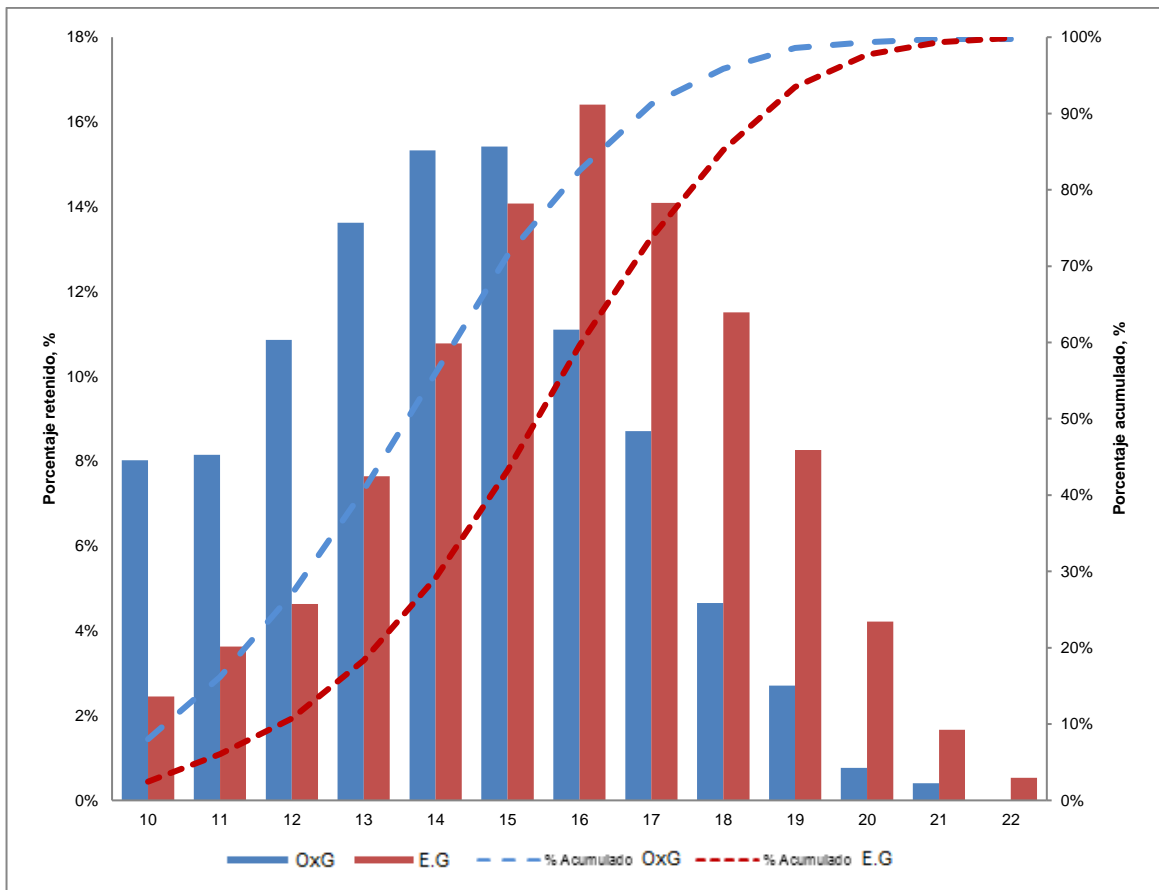
### 9.3 RESULTADOS HISTOGRAMA DE NUECES HÍBRIDO ALTO OLEICO

La tabla 7 representa la distribución del conjunto de medidas de diámetro para facilitar la identificación de patrones en las características de las nueces procesadas en la planta de beneficio.

**Tabla 7. Distribución de diámetros de nueces**

DIÁMETRO DE NUEZ	MASA RETENIDA (g)	PORCENTAJE RETENIDO (% peso)	PORCENTAJE ACUMULADO (% peso)
D= 10 mm	40,12	8,04%	8,04%
D= 11 mm	40,76	8,17%	16,21%
D= 12 mm	54,32	10,89%	27,09%
D= 13 mm	68,18	13,66%	40,76%
D= 14 mm	76,67	15,36%	56,12%
D= 15 mm	77,13	15,46%	71,57%
D= 16 mm	55,51	11,12%	82,70%
D= 17 mm	43,57	8,73%	91,43%
D= 18 mm	23,32	4,67%	96,10%
D= 19 mm	13,55	2,72%	98,82%
D= 20 mm	3,86	0,77%	99,59%
D= 21 mm	2,02	0,40%	100,00%
D= 22 mm	0	0,00%	100,00%

**Figura 13. Grafica Histograma de nueces**



**9.3.1 Análisis Histograma de nueces.** En la figura 13 se observa la representación gráfica de las variables en forma de barras donde el tamaño de cada barra es proporcional al valor de flujo de nuez al que está representando. En los ejes horizontales del histograma se tienen las variables en porcentajes (retenido y acumulado) y el eje vertical los diámetros de las perforaciones.

Los diámetros con mayor contenido de nueces retenidas para el material Híbrido alto oleico son: 12 a 16 mm con un total de nuez de 66,46% resultado que se encuentra por debajo de los diámetros de referencia *E. guineensis* (14 a 18) mm con total de nuez del 66,87%. Lo anterior indica que el material híbrido posee nueces más pequeñas que el de referencia. Situación que requiere realizar ajustes en parámetros de operación de las mordazas en la etapa de palmisteria para la recuperación eficiente de la almendra.

#### 9.4 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ACEITE HÍBRIDO ALTO OLEICO

En la Tabla 8. Se observa que el valor promedio de los ácidos grasos libres (AGL), de aceite del material híbrido alto oleico es de 1,36% el resultado indica que la

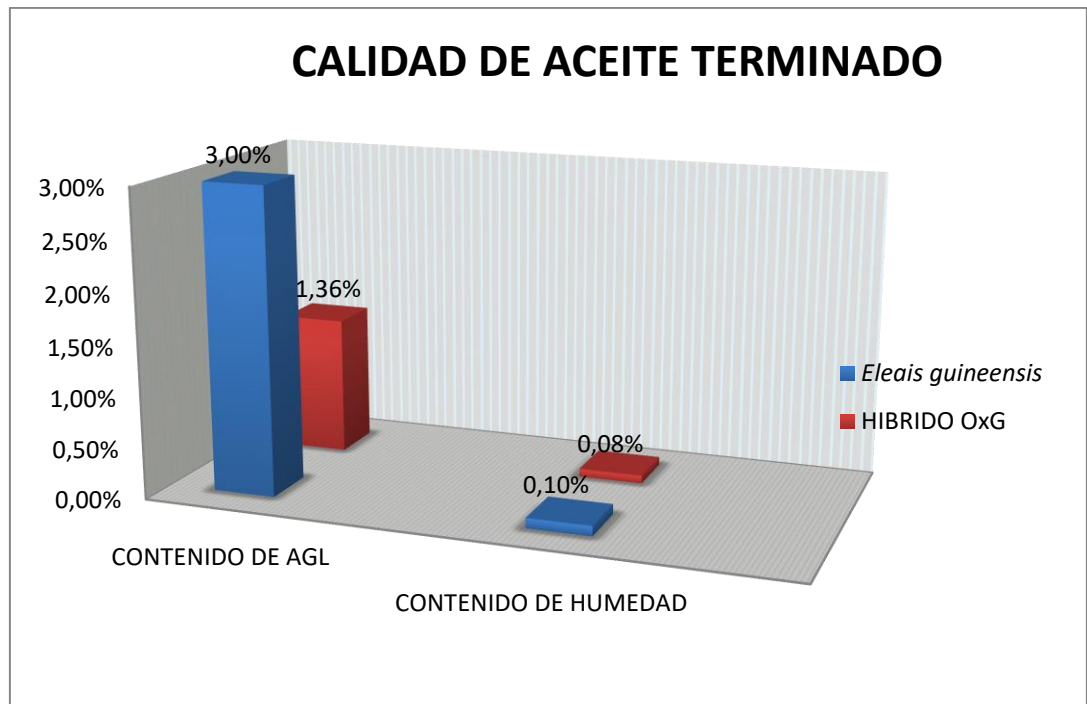
acidez del aceite en el híbrido es menor al rango de referencia comercial *E. guineensis* (2,5-3,5%). Condición que impacta positivamente la calidad del aceite terminado.

El valor promedio de la humedad del aceite para el material híbrido alto oleico es de 0,08%. El resultado indica que se encuentra dentro del rango de referencia comercial *E. guineensis* (0,08-0,12%). La desviación estándar es inferior a 0,5%, lo cual indica la cercanía de los datos al valor promedio. Tanto para Humedad y AGL del aceite terminado.

**Tabla 8. Resultados parámetros de calidad de aceite Híbrido alto oleico**

PARAMETROS DE CALIDAD DE ACEITE TERMINADO		MATERIAL HIBRIDO ALTO OLEICO		REFERENCIA <i>E. GUINEENSIS</i>
		Promedio	D.S.	
CONTENIDO DE AGL COMO ÁCIDO OLEICO	% P/P	1,36%	0,08%	2,5-3,5%
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0,08%	0,04%	0,08-0,12%

**Figura 14. Grafica parámetros de calidad aceite Híbrido alto oleico**



En la Figura 14. Se observa la calidad del aceite terminado del material híbrido alto oleico obtenido en planta de beneficio. Se identificó una disminución considerable de acidez (AGL) en un 1,6% aproximadamente, referente a lo reportado por *E. guineensis*, condición que se vuelve atractiva en términos comerciales. Por su partes la humedad se acerca al 0,10% que reporta *E. guineensis*.

## CONCLUSIONES

Se implementó la metodología para la realización de los balances másicos de aceite en la empresa salamanca oleaginosa S.A, adaptando condiciones físicas con el fin de establecer procedimientos de muestreo prácticos y ágiles, en los puntos de control de proceso. Evidenciando diferencias en condiciones de operación en la planta de beneficio en las etapas de prensado y palmistería en fruto del material híbrido alto oleico.

Los puntos de control se evidenciaron en las etapas generadoras de pérdidas de aceite en los flujos de: Tusas, Fibras provenientes de prensado, Efluentes finales (condensados, lodos de centrífugas) y Nueces (aceite adherido al cuesco).

La cuantificación de flujos másicos en el material híbrido alto oleico posee una distribución de: tusa 20,85%, fibra 16,59%, nueces 9,27% y efluentes finales 0,39 m<sup>3</sup> con mayor contenido de biomasa representada en las corrientes de Tusa, Fibra, con respecto al material *E. guineensis*.

El balance de pérdidas de aceite para el material híbrido alto oleico obtenido en puntos del proceso poseen valores de: tusa 0,20%, fibra 0,78%, nueces 0,05% y efluentes finales 0,22%. Con mayor contenido de pérdida de aceite en la corriente de fibra, con respecto a *E. guineensis*.

El valor promedio de pérdidas totales de aceite para el material híbrido alto oleico es de 1,25%, lo que indica que el material híbrido genera menos pérdidas en el proceso comparado con referencia comercial *E. guineensis*.

La acidez en la agroindustria de la palma de aceite está entre las variables de mayor relevancia, está se encuentra ligada directamente con la calidad del aceite. Los ácidos grasos libres (AGL) para el material híbrido alto oleico no superan el 2% condición que impacta positivamente la calidad del aceite obteniendo un mayor valor comercial. Los diámetros de nueces del material Híbrido alto oleico se encuentra por debajo de los diámetros de referencia *E. guineensis*. Lo cual indica que el material híbrido posee nueces más pequeñas. Situación que indica realizar ajustes en las mordazas de la sección de palmisteria para la recuperación eficiente de almendra.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar con frecuencia los balances de pérdidas de aceite en la planta de beneficio para relacionar el comportamiento de la extracción de aceite y a su vez la información sirva como insumo de análisis para los departamentos agronómicos de la plantación.

Verificar y garantizar que las condiciones del proceso para el muestreo y la recolección de datos se mantengan estables, en flujo continuo y bajo capacidad plena del proceso en la planta de beneficio.

Controlar condiciones de almacenamiento de aceite ya que existen factores como: alta temperatura, presencia de agua, contacto con metales, exposición al oxígeno presente en el aire, que pueden afectar las propiedades nutritivas, la calidad del aceite terminado y por ende su valor comercial.

Documentar información asociada a la extracción del fruto de material híbrido, para orientar a la planta de beneficio en las nuevas prácticas que deberían implementar para que las operaciones unitarias se adapten al procesamiento del nuevo material híbrido alto oleico.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarado A., Escobar R., Peralta, F. 2009. Avances en el mejoramiento genético de la palma de aceite en Centro América. In. XVI Conf. Inter. sobre palma de aceite. Cartagena, Colombia.

A. Corredor Ríos, G. Martínez López y Á. Silva Carreño, «Problemática de la Pudrición del Cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo,» *Palmas*, vol. 29, nº Ed Especial, 2008.

ALDANA, J.; AYALA, I. 2002. Reducción del potencial de aceite en racimos por daño de imatidium. Estudios Cenipalma sin publicar.

CÁRDENAS, L.; PADILLA, P.; YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J. 2002. Descripción e identificación de puntos críticos en el proceso de poscosecha de fruto, con énfasis en las pérdidas de aceite. Universidad de la Paz. Barrancabermeja (tesis de grado).

CASTELLANOS, S.; GARCÍA, J.; YÁÑEZ, E. 2001. Funcionamiento de los separadores estáticos horizontales de aceite crudo de palma. *Ceniavances* no. 82.

DURÁN, Q.; YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J. 2000. Evaluación del proceso de recuperación de almendra. *Palmas*, v.21 no. Especial Tomo 1.

CENIPALMA, «Pérdidas de aceite y balance de masas,» *Ceniavances N°41*, Noviembre 1997.

D. I. Nieto M., «Informe Anual de Actividades,» Programa de Procesamiento-Cenipalma, Bogotá, 2011.

DURÁN, Q.; GARCÍA, J. 2002. Potencial de aceite en racimos de diferente calidad por maduración. Estudios Cenipalma sin publicar.

E. Yáñez, O. Díaz, J. García y E. Castillo, «Determinación del nivel de dilución apropiado en el proceso de clarificación y diseño de un sistema de control automático de la dicción del licor de prensa,» *Palmas*, vol. 29, nº 4, pp. 21-30, 2008.

É. E. Yáñez A., J. A. García N. y L. P. Martínez V., Esterilización de racimos de fruta de palma, Bogotá: SENA-SAC-Cenipalma, 2012.

É. E. Yáñez A., D. C. Hernández M., J. A. García N. y J. F. Granados, «Valoración del muestreo empleado en el balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de aceite de palma,» *Palmas*, vol. 28, nº 3, 2007.

É. E. Yáñez A. y J. A. García N., «Reducción de pérdidas de aceite y almendra en plantas de beneficio en Colombia,» *Palmas*, vol. 25, nº Especial Tomo II, 2004.

Fedepalma, "Anuario estadístico 2012," Bogotá, 2012.

FERNÁNDEZ, C.; GARCÍA, J. 1999. Estudio de ciclos de esterilización de racimos de palma africana de aceite, durante el proceso de extracción en la planta de Agroince. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (tesis de grado).

GARCÍA, J.; YÁÑEZ, E.; RODRÍGUEZ, N. 2000. Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas norte y central. *Palmas*, v.21 no. Especial Tomo 1.

GARCÍA, J.; YÁÑEZ, E.; SIERRA, G. 2003. Factores que afectan la pérdida de aceite impregnado en tusas en plantas de beneficio de palma de aceite. *Palmas*, v.24 no. 1.

GARCÍA, J.; CADENA, O.; RODRÍGUEZ, N. 2000. Influencia de las diferentes fases (aceite-agua-lodos) en el comportamiento de la clarificación. *Palmas*, v.21 no. Especial Tomo 1.

HERNÁNDEZ, C.; RAMÍREZ, N.; YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J. 2001. Seguimiento y control de calidad al proceso de clarificación en dos plantas extractoras de aceite de palma en la zona norte colombiana para el incremento en la eficiencia del proceso. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja (tesis de grado).

HERNÁNDEZ, C.; YÁÑEZ, E. 2003. Optimización del prensado por control de pérdidas de aceite y almendra. Estudios Cenipalma sin publicar.

ICONTEC, "NTC 431 Aceite Crudo de Palma *Elaeis guineensis* Jacq.," Bogotá, 2009.

ICONTEC, "NTC 5713 Aceite de Palma Alto Oleico OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) Requisitos," Bogotá, 2009.

JEREZ, J.; MOLINA, D.; GARCÍA, J. 2000. Clarificación con agitación lenta: Experiencias y resultados. *Palmas*, v.21 no. Especial Tomo 1.

J. Acero, «Mitos y realidades de pérdidas de aceite de palma en Colombia,» *Palmas*, vol. 25, nº Especial Tomo II, 2004.

J. A. García N., E. E. Yáñez A. y N. Rodríguez C., «Balance de pérdidas de aceite en plantas de beneficio de las zonas palmeras colombianas Norte y Central,» *Palmas*, vol. 21, nº Especial Tomo I, 2000.

J. C. Urueta Urueta, Herramientas para control de procesos en palma de aceite, Santo Domingo de los Colorados, Ecuador: Fedepalma-SENA-SAC, 2008.

L. Y. Rueda C., «Determinación de los parámetros básicos de diseño a escala piloto para los sistemas de recuperación de aceite tipo preclarificadores en el proceso de extracción de aceite de palma,» Tesis de Grado, Bogotá D.C., 2007.

R. SAMBANTHAMURTHI, K. SUMDRAM and Y.-A. TAN, "Chemistry and biochemistry of palm oil," *Progress in Lipid Research*, p. 507-558, 2000.

R. Sambanthamurthi, K. Sumdram and Y.-A. Tan, "Chemistry and biochemistry of palm oil," *Progress in Lipid Research*, pp. 507-558, 2000.

Wambeck, N., 2005. Sinopsis del proceso de la palma de aceite. 1 ed. Bogotá D.C.: Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma).

S. L. Cala A., É. E. Yáñez A. y J. A. García N., Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio, Bogotá: Cenipalma, 2011.

S. M. Rincón M., L. Y. Rueda C., E. E. Yáñez A. y J. A. García N., «Metodología de las pruebas de sedimentación para el estudio del proceso de clarificación del aceite crudo de palma,» *Ceniavaces*, 2007.

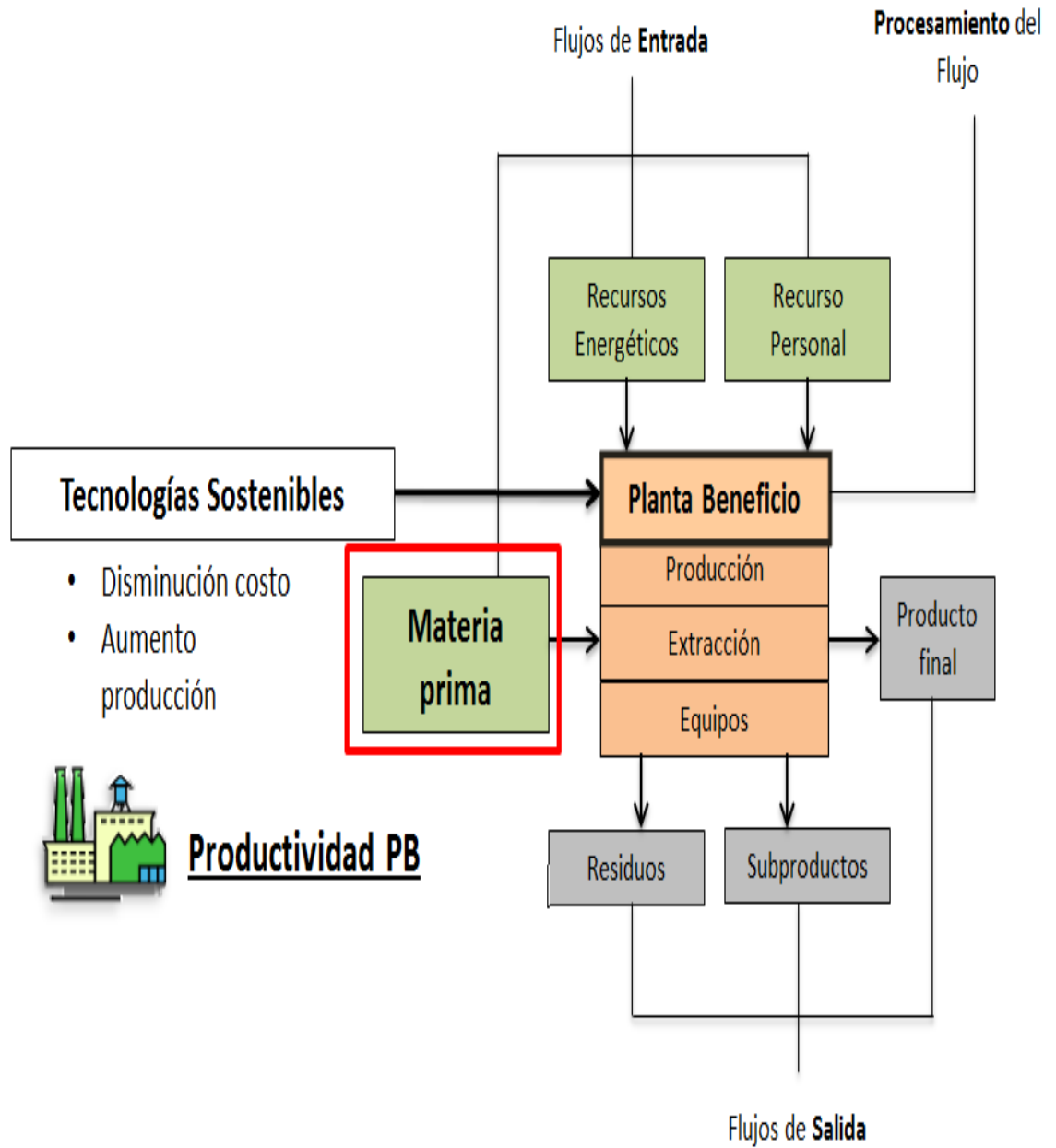
YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J.; AMAYA, S. 2000. Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. *Palmas*, v.21 no. Especial Tomo 1.

YÁÑEZ, E.; GARCÍA, J.; FUENTES, L. 2000. Impregnación de aceite en los racimos vacíos durante la esterilización y el desfrutado. *Palmas*, v.21 no. Especial Tomo 1

# ANEXOS

## Anexo A. Modelo de Productividad Procesamiento

Figura 2 Modelo de Productividad Procesamiento



## Anexo B. Determinación de flujos másicos en puntos de pérdida

### 1. Flujo de fibras ciclónicas.

El flujo de fibra con respecto a los racimos de fruta fresca procesados (RFF) es expresado como una relación porcentual y se calcula como:

$$Ec\ No. 1 \quad \frac{\%fibra}{RFF} = \frac{Fibra\ colectada\ (kg)}{Numero\ de\ vagonetas * capacidad\ de\ vagonetas} * 100$$

Dónde:

RFF: Racimos de fruto fresco.

- La *fibra colectada* corresponde a los kilogramos de fibra que se obtienen en los 15 minutos de muestreo.
- El *número de vagonetas* corresponde a aquellas que se voltean o procesan solo durante los 15 minutos de muestreo.
- La *capacidad de vagonetas* corresponde al peso promedio por vagoneta en kilogramos, calculado a partir del número total de vagonetas procesadas en el día con respecto a las toneladas totales de RFF registrados en báscula.

## Anexo C. Determinación de flujos máxicos en puntos de pérdida

### 2. Flujo de racimos vacíos o tusas.

El flujo de tusa con respecto a los racimos de fruta fresca procesados (RFF) es expresado como una relación porcentual, y se calcula como:

$$Ec\ No.2 \quad \frac{\%Tusa}{RFF} = \frac{Tusa\ colectada\ (kg)}{Numero\ de\ vagonetas\ * \ capacidad\ de\ vagonetas} * 100$$

Dónde:

- La tusa colectada corresponde a los kilogramos de tusa que se obtiene del día de proceso.
- La capacidad de vagonetas corresponde al peso promedio por vagoneta en kilogramos, calculado a partir del número total de vagonetas procesadas en el día con respecto a las toneladas totales de RFF registrados en báscula.

## Anexo D. Determinación de flujos máxicos en puntos de pérdida

### 3. Flujo de efluentes: lodos provenientes de efluente total.

Se relacionaron estas variables para estimar la relación porcentual de flujo de efluentes con respecto a las toneladas de RFF procesadas.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$Ec\ No. 3 \quad \frac{m^3 Efluentes}{RFF} = \frac{Caudal\ bomba * Horas\ operación}{RFF\ procesado}$$

Dónde: El caudal de la bomba se obtuvo a partir del aforo de la bomba y se expresa como m<sup>3</sup> efluente/hora.

Las horas de operación se obtienen de la lectura del horómetro de la bomba de evacuación de efluentes.

El RFF procesado corresponde al total de toneladas procesadas durante el periodo de registro del horómetro de la bomba.

El flujo de efluentes se calculó como la relación entre el volumen ocupado por dicho efluente en un tanque receptor y su respectivo tiempo vaciado. Para estimar este volumen se registró la diferencia entre la altura inicial y final de vaciado y luego multiplicarla por el área transversal del tanque receptor, la cual se obtuvo midiendo sus dimensiones (largo y ancho).

## Anexo E. Determinación de flujos másicos en puntos de pérdida

### 4. Flujo de nuez.

El flujo de nuez se relaciona con las toneladas de racimos de fruta fresca procesados durante el periodo de medición, y se expresa como:

$$Ec\ No. 4 \quad \frac{\%Nuez}{RFF} = \frac{Nueces\ colectada\ (kg)}{Numero\ de\ vagonetas\ * \ capacidad\ de\ vagonetas} * 100$$

Dónde:

La nuez colectada corresponde a los kilogramos que se obtienen en el tiempo de muestreo.

La capacidad de vagonetas corresponde al peso promedio por vagoneta en kilogramos, calculado a partir del número total de vagonetas procesadas en el día con respecto a las toneladas totales de RFF registrados en báscula.

## **Anexo F. Determinación de Pérdidas de Aceite**

En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite Impregnado en (tusa, fibra, nueces y efluentes finales).

Estos procedimientos a escala laboratorio están basados en el descrito en la primera edición del *Manual de laboratorio en plantas de beneficio de Cenipalma* (1999). Ha sido ajustado de acuerdo con las condiciones actuales de operación de las plantas de beneficio y representan los resultados obtenidos en pérdidas totales del proceso.

### **1. Contenido de aceite en fibras.**

En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite impregnado en la fibra que sale de la prensa luego del proceso de extracción.

Principio. En la prueba, una muestra de fibra de prensas es sometida a extracción Con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo mínimo de cuatro horas.

El aceite extraído es separado del solvente. Posteriormente, se pesa.

#### **Muestreo**

Al igual que otros análisis de pérdidas, el muestreo de la fibra es determinante en la calidad de los datos obtenidos. Es recomendable realizar análisis para cada prensa, con el fin de tener un control sobre la operación de cada una de ellas.

El muestreo de fibras se realiza de forma acumulativa durante un día de proceso. Con frecuencia de una hora, y se desarrolla como se describe a continuación:

a. A la salida de cada una de las prensas, haciendo uso de los guantes, tomar una muestra de entre 100 Y 300 gramos de torta de prensas. Esta porción debe corresponder a la suma de muestras tomadas en los dos extremos laterales de la salida de la prensa y la parte central de la misma.

- b. Depositar la muestra de torta en un recipiente con tapa.
- c. Repetir este procedimiento para cada prensa y cada hora durante el día de observación de proceso.
- d. al finalizar el turno de proceso, homogenizar cuidadosamente la torta de prensa contenida en el recipiente. Cuartear hasta obtener una muestra de 500 gramos.
- e. llevar las muestras al laboratorio para realizar la determinación del contenido de aceite.

### **Procedimiento**

- f. Pesar una cápsula de porcelana vacía, limpia, seca y fría, en la balanza analítica con aproximación al miligramo, tomar el dato del peso cuando éste se encuentre estable. Registrar en el formato respectivo.
- g. Pesar nuevamente la cápsula junto con el papel filtro. Registrar en el formato respectivo.
- h. Verter la muestra de torta en una bandeja o superficie limpia, evitando perder el polvillo contenido en la fibra, homogenizar cuidadosamente y cuartear hasta obtener una pequeña porción de unos 50 gramos de fibra.
- i. Con la ayuda de una malla o tamiz, separar la totalidad del polvillo contenido en la muestra. Reservar el polvillo.
- j. De la porción gruesa de muestra (fibra) separar cuidadosamente nueces enteras, nueces rotas, Cáscaras libres y almendras.
- k. Pesar en la cápsula  $10 \pm 0,2$  gramos de muestra, mezclando de forma proporcional el polvillo y la fibra limpia. Registrar el dato en el formato respectivo.

l. Llevar la cápsula al horno de resistencia a 105 °C; hasta alcanzar un peso constante (durante tres horas aproximadamente). El uso del horno microondas es una alternativa práctica para el secado de las muestras.

m. Sacar la muestra del horno y llevarla a las prensas en operación y cada hora durante desecador por 30 minutos hasta que se enfríe completamente.

n. Pesar la cápsula fría con la muestra seca en la balanza analítica. Registrar el peso en el formato respectivo.

o. Separar cuidadosamente la muestra de la cápsula. Verificar que no quede parte de la muestra adherida a la cápsula. En el caso de presentarse, utilizar una porción adicional de papel, limpiar completamente la cápsula y depositar este papel con la muestra.

p. Elaborar un dedal o cartucho, envolviendo la muestra cuidadosamente con el papel celulosa recomienda, Cerrar bien los extremos del dedal.

q. Pesar un balón (matraz) de fondo plano, limpio, seco y frío en la balanza analítica. El balón debe estar marcado con el código de la muestra para evitar errores. Registrar el valor del peso en el formato respectivo.

r. Agregar aproximadamente 150 ml de solvente al balón. Introducir el dedal o cartucho en la parte central del extractor. Conectar el cuerpo del extractor con el condensador de bolas y el balón. Ajustar el montaje sobre la estufa con la ayuda de un soporte. Abrir el paso de agua por el condensador de bolas y encender la estufa para dar inicio a la extracción.

s. Mantener el proceso de extracción hasta una hora después de que el solvente contenido en la parte central del extractor esté completamente incoloro. Esto sucede en un tiempo aproximado de 4 horas.

t. Luego de este periodo, iniciar el desmontaje de la muestra. Retirar cuidadosamente el balón del extractor. Separar el condensador de bolas del extractor. Retirar el cartucho. Realizar de nuevo el montaje del extractor, el balón y el condensador, para iniciar la recuperación del solvente y la obtención final del aceite.

u. Continuar con el procedimiento hasta que se haya separado la mayor parte del solvente del balón. Separar el extractor del balón y verter el solvente recuperado en el recipiente destinado para este fin. Retirar el balón con el aceite extraído e introducirlo en el horno de resistencia a 105 °C hasta eliminar el solvente remanente (20-30 minutos).

v. Retirado el solvente, enfriar el balón en el desecador durante 30 minutos aproximadamente. Pesar el balón en la balanza analítica. Registrar el peso en el formato respectivo.

**Nota:** el polvillo contenido en la fibra presenta un porcentaje importante del total de aceite impregnado en la torta de prensas. Para la evaluación del contenido de aceite en fibras se recomienda que este tipo de material fino sea agregado en la muestra que se ha de evaluar, de manera proporcional junto con la fibra.

w. Luego de llevar la muestra de torta de prensas al laboratorio para su análisis, verter la muestra de torta en una bandeja o superficie limpia evitando, perder el polvillo contenido en la fibra; homogenizar cuidadosamente y cuartear. Pesar una porción de 50 gramos de fibra.

x. Con la ayuda de una malla o tamiz, separar la totalidad del polvillo contenido en la muestra. Pesar el polvillo separado y reservarlo.

y. De la porción gruesa de muestra (fibra), separar cuidadosamente nueces enteras, nueces rotas, cáscaras libres y almendras. Pesar la fibra limpia.

**Tabla de abreviaturas.** Con el fin de facilitar el cálculo del porcentaje de aceite en fibras, la siguiente tabla muestra el resume de los valores que deben ser registrados durante la aplicación de esta metodología.

VARIABLE REGISTRADA	UNIDAD	ABREVIATURA
Peso cápsula vacía	Gramos	Cap
Peso cápsula + papel	Gramos	gramos Cap+p
Peso muestra húmeda	Gramos	MHúmeda
Peso cápsula + muestra seca	Gramos	Cap+M Seca
Peso balón vacío	Gramos	Balón
Peso balón + aceite	Gramos	Balón +Ac

**Expresión de los resultados:** El contenido de humedad en la fibra es expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, y es igual a:

$$Ec\ No. 10 \quad \%Humedad = \frac{Agua}{MHumeda} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 11 \quad Agua (g) = MHumeda - [(Cap + MSeca) - (Cap + p)]$$

El contenido de aceite en la fibra, expresado como un porcentaje másico con respecto al contenido de sólidos secos no aceitosos presentes en la muestra es igual a:

$$Ec\ No. 12 \quad \% = \frac{Aceite}{SSNA} = \frac{AC}{MHumeda - AC - Agua} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 13 \quad AC = [(Balón + AC) - Balón]$$

**SSNA** = Masa de sólidos secos no aceitosos en gramos

El contenido de sólidos secos no aceitosos en Fibra, expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, es igual a:

$$Ec\ No. 14 \quad \% = \frac{SSNA}{MHumeda} = \frac{MHumeda - AC - Agua}{MHumeda} * 100$$

## **Anexo G. Determinación de Pérdidas de Aceite**

### **2. Contenido de aceite en tusa.**

En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite impregnado en las espigas y pedúnculos de los racimos vacíos, por efecto de su esterilización y desfrutación.

Principio. En la prueba, una muestra de tusa finamente picada se somete a extracción con solvente (hexano o éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo mínimo de cuatro horas.

El aceite extraído es separado del solvente.

Muestreo. La etapa de muestreo es determinante en la calidad y en la representatividad de los datos reportados, debido a las condiciones de variabilidad del proceso de extracción de aceite. El cuarteo es un procedimiento utilizado para tomar submuestras. En un cuarteo la muestra es homogenizada cuidadosamente, luego de lo cual se separa en cuatro porciones. De ellas se toman dos Al azar y las restantes se descartan.

El muestreo de tusas para determinación de pérdida de aceite por impregnación se realiza de forma acumulativa durante un día de proceso, con frecuencia de una hora y se desarrolla como se describe a continuación:

a. En la banda transportadora, a la salida del o de los equipos desfrutadores, contar el paso de 10 tusas consecutivas.

b. Tomar y reservar la tusa número 10, verificando que no contenga frutos adheridos; es decir, que esté bien desfrutada. Si no lo está, repetir el conteo para tomar una nueva tusa.

c. Con ayuda de un cuchillo o un machete, cortar la tusa en cuartos longitudinales de igual tamaño, que incluyan pedúnculo y espigas de forma proporcional.

d. Depositar uno de los cuartos en un recipiente con tapa. Descartar los tres cuartos de tusa restantes.

- e. Repetir el procedimiento cada hora.
- f. Al finalizar el día, tomar los cuartos de tusa y con un cuchillo separarles las espigas de los pedúnculos.
- g. Mezclar las espigas provenientes de todos los cuartos de tusa.
- h. Utilizando un cuchillo o hacha, picar las espigas en pedazos grandes. Homogenizar y cuartear, Descartar los pedazos restantes al cuarteo.
- i. Picar nuevamente la porción de espigas seleccionada. Homogenizar y realizar un nuevo cuarteo.
- j. Repetir el ítem anterior, realizando cuarteos sucesivos hasta obtener una muestra de espigas finamente picada de aproximadamente 100 gramos. Llevar la muestra al laboratorio para realizar el análisis de contenido de aceite.
- k. Mezclar los pedúnculos provenientes de todos los cuartos de tusa. Utilizando un cuchillo o hacha, picar los pedúnculos en pedazos grandes. Homogenizar y cuartear. Descartar los pedazos restantes al cuarteo.
- m. Picar nuevamente la porción seleccionada de pedúnculos. Homogenizar y realizar un nuevo cuarteo.
- n. Repetir el ítem anterior, realizando cuarteos sucesivos hasta obtener una muestra de pedúnculo finamente picada de aproximadamente 100 gramos. Llevar la muestra al laboratorio para realizar el análisis de contenido de aceite.
- Procedimiento.** Pesar una cápsula de porcelana limpia, seca y fría en una balanza analítica con aproximación al miligramo, y tomar el dato del peso cuando éste se encuentre estable. Registrar en el formato respectivo.
- p. Pesar nuevamente la cápsula junto con el papel celulosa. Registrar en el formato respectivo.

q. Según el porcentaje de espiga/pedúnculo preestablecido para cada planta de beneficio. Añadir proporcionalmente a la cápsula  $10 \pm 0,2$  gramos de muestra (espiga y pedúnculo). Pesar en la balanza analítica y registrar el peso en el formato respectivo.

r. Llevar la cápsula al horno de resistencia a  $105^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar un peso constante (aproximadamente seis horas). El uso del horno microondas es una alternativa práctica para el secado de las muestras; sin embargo, el ciclo de calentamiento aplicado debe ser evaluado periódicamente con el fin de retirar adecuadamente la humedad.

s. Sacar la muestra del horno y llevarla al desecador por 30 minutos hasta que se enfríe completamente.

t. Pesar la cápsula fría con la muestra seca en la balanza analítica. Registrar el peso en el formato respectivo.

u. Separar cuidadosamente la muestra de la cápsula. Verificar que no quede parte de la muestra adherida a la cápsula. En el caso de presentarse, utilizar una porción adicional de papel, limpiar completamente la cápsula y depositar este papel con la muestra.

v. Elaborar un dedal o cartucho, envolviendo la muestra cuidadosamente con el papel celulosa. Cerrar bien los extremos del dedal.

w. Pesar en la balanza analítica un balón (matraz) de fondo plano, limpio, seco y frío, marcado con el código de la muestra para evitar errores. Registrar el valor del peso en el formato respectivo.

x. Agregar aproximadamente 150 ml de solvente al balón. Introducir el dedal o cartucho en la parte central del extractor. Conectar el cuerpo del extractor con el condensador de bolas y el balón. Ajustar el montaje sobre la estufa con la ayuda de un soporte. Abrir el paso de agua por el condensador de bolas y encender la estufa para dar inicio a la extracción.

y. Mantener el proceso de extracción hasta una hora después de que el solvente contenido en la parte central del extractor esté completamente incoloro.

Esto sucede en un tiempo aproximado de cuatro horas.

z. Una vez transcurrido ese lapso, iniciar el desmontaje de la muestra. Retirar cuidadosamente el balón del extractor. Separar el condensador de bolas del extractor. Retirar el cartucho. Realizar nuevamente el montaje del extractor, balón y condensador para iniciar la recuperación del solvente y la obtención final del aceite.

aa. Continuar con el procedimiento hasta que se haya separado la mayor parte del solvente del balón. Separar el extractor del balón y verter el solvente recuperado en el recipiente destinado para este fin. Retirar el balón con el aceite extraído e introducirlo en el horno de resistencia a 105 °C hasta eliminar el solvente remanente (20-30 minutos).

bb. Retirado el solvente, enfriar el balón en el desecador durante 30 minutos aproximadamente. Pesar el balón en la balanza analítica. Registrar el peso en el formato respectivo.

**Nota:** El pesaje de la muestra de tusa se realiza de forma proporcional a la distribución de pedúnculo y espiga típica para el fruto procesado en cada planta de beneficio. Típicamente esta distribución se aproxima al 70% de espigas y el 30% de pedúnculo con respecto al peso total de la tusa; sin embargo, la misma puede cambiar con la variedad y la edad de la palma.

Para establecer una proporción espiga/ pedúnculo se recomienda incluir en el ítem "f" (de este procedimiento) el pesaje de la totalidad de los cuartos de tusa acumulados durante el turno de procesamiento y el de las espigas y pedúnculos, luego de ser separados. A partir de ellos, estimar el porcentaje de pedúnculo y espiga por día de proceso. Este procedimiento debe realizarse durante mínimo un mes, para estimar el porcentaje de proporción espiga/pedúnculo promedio que podrá aplicar el laboratorio de la planta de beneficio durante el año en la realización del análisis de contenido de aceite en tusa.

**Tabla de abreviaturas.** Con el fin de facilitar el cálculo del porcentaje de aceite en tusa, la siguiente tabla muestra el resumen De los valores que deben ser registrados durante la aplicación de esta metodología.

VARIABLE REGISTRADA	UNIDAD	ABREVIATURA
Peso cápsula vacía	gramos	Cap
Peso cápsula + papel	gramos	gramos Cap+p
Peso muestra húmeda	gramos	MHúmeda
Peso cápsula + muestra seca	gramos	Cap+M Seca
Peso balón vacío	gramos	Balón
Peso balón + aceite	gramos	Balón +Ac

**Expresión de los resultados.** El contenido de humedad de la tusa es expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, y es igual a:

$$Ec\ No. 5 \quad \%Humedad = \frac{Agua}{MHumeda} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 6 \quad Agua (g) = MHumeda - [(Cap + MSeca) - (Cap + p)]$$

El contenido de aceite en la tusa, expresado como un porcentaje másico con respecto al contenido de sólidos secos no aceitosos presentes en la muestra, es igual a:

$$Ec\ No. 7 \quad \% = \frac{Aceite}{SSNA} = \frac{AC}{MHumeda - AC - Agua} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 8 \quad AC = [(Balón + AC) - Balón]$$

**SSNA** = Masa de sólidos secos no aceitosos en gramos

El contenido de sólidos secos no aceitosos en la tusa, expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, es Igual a:

$$Ec\ No. 9 \quad \% = \frac{SSNA}{MHumeda} = \frac{MHumeda - AC - Agua}{MHumeda} * 100$$

## **Anexo H. Determinación de Pérdidas de Aceite**

### **3. Contenido de aceite en lodos provenientes de efluentes totales.**

En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite en los flujos de condensados de esterilización, lodos provenientes de centrifugas y efluentes totales en el proceso de extracción.

**Principio.** En la prueba, una muestra de efluente se seca y se somete a extracción con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo mínimo de cuatro horas. El aceite extraído se separa del solvente. Posteriormente se pesa.

**Muestreo.** Si bien en la determinación del balance general de pérdidas de aceite se calculan las pérdidas totales en efluentes, la evaluación de pérdidas en condensados y lodos constituye una herramienta valiosa para identificar focos de pérdida en el proceso. De esta manera el porcentaje total de pérdidas de aceite en efluentes totales (descarga final) es igual a la sumatoria del aceite en condensados.

En lodos provenientes de centrífugas y en aguas de lavado, menos el aceite recuperado en florentinos.

Debido a la naturaleza líquida de las muestras y los rangos de concentración de aceite en ellas, su manipulación inadecuada durante el muestreo y posterior análisis puede adicionar un error considerable en los datos reportados.

El muestreo de efluentes totales se realiza de forma acumulativa durante un día de proceso, con frecuencia de una hora

La muestra de efluente total debe ser tomada del flujo final de efluente enviado hacia las piscinas de oxidación, luego de los florentinos. Según la configuración de cada planta de beneficio. Se recomienda realizar el muestreo preferiblemente en el flujo directo de salida del efluente.

La metodología de muestreo se desarrolla como se describe a continuación:

a. Con la ayuda de un recipiente, tomar un volumen aproximado de 100 ml de efluente a la salida de cada equipo. Verter esta muestra en el recipiente metálico o de vidrio (con tapa) destinado para tal fin.

b. Repetir este procedimiento cada hora durante un día de proceso. Se recomienda contar con un recipiente de toma de muestra individual para cada punto de muestreo.

### **Procedimiento**

c. Pesar una cápsula de porcelana vacía, limpia, seca y fría en la balanza analítica con aproximación al miligramo. Tomar el dato del peso cuando éste se encuentre estable. Registrar en el formato respectivo.

d. Pesar nuevamente la cápsula junto con el papel filtro y el algodón. Este último debe ser suficiente para absorber la muestra y evitar que se adhiera a la superficie de la cápsula. Registrar en el formato respectivo.

e. Al finalizar el turno designado, llevar los recipientes con las muestras de efluentes al horno de resistencia a 105 0C hasta alcanzar una temperatura aproximada de 80 0C.

f. Homogenizar la muestra. Agitando cuidadosamente mediante el volteo consecutivo del recipiente.

g. En una probeta limpia y seca, medir cuidadosamente el volumen especificado según el tipo de muestra: para condensados y efluentes totales medir 50 ml y para muestras de lodos provenientes de centrifugas medir 30 ml. Registrar el volumen en el formato respectivo.

h. Verter cuidadosamente en la cápsula el volumen de muestra medido en la probeta. Asegurarse de que todo el volumen sea vertido sobre el algodón absorbente, limpiando el interior de la probeta con papel celulosa previamente tarado y pesado. y añadiendo dicha porción de papel a la cápsula. Registrar el peso en el formato respectivo.

- i. Llevar la cápsula al horno de resistencia a 105 0C. Hasta alcanzar un peso constante (seis horas aproximadamente). Uso de sistemas de extracción Soxhlet.
- j. Sacar la muestra del horno y llevarla al desecador por 30 minutos hasta que se enfríe completamente.
- k. Pesar la cápsula fría con la muestra seca en la balanza analítica. Registrar en el formato respectivo.
- l. Separar cuidadosamente la muestra de la cápsula. Verificar que no quede parte de la muestra adherida a la cápsula. En el caso de presentarse. Utilizar una porción adicional de papel. Limpiar completamente la cápsula y depositar este papel con la muestra. El papel adicional debe ser pesado previamente.
- m. Elaborar un dedal o cartucho, envolviendo la muestra cuidadosamente con el papel celulosa. Cerrar bien los extremos del dedal.
- n. Pesar un balón (matraz) de fondo plano limpio, seco y frío en la balanza analítica. El balón debe estar marcado con el código de la muestra para evitar errores. Registrar el valor del peso en el formato respectivo.
- o. Agregar aproximadamente 150 ml de solvente al balón. Introducir el dedal o cartucho en la parte central del extractor. Conectar el cuerpo del extractor con el condensador de bolas y el balón. Ajustar el montaje sobre la estufa con la ayuda de un soporte. Abrir el paso de agua por el condensador de bolas y encender la estufa para dar inicio a la extracción.
- p. Mantener el proceso de extracción hasta una hora después de que el solvente contenido en la parte central del extractor esté completamente incoloro. Esto sucede en un tiempo aproximado de cuatro horas.
- q. Luego de transcurrido ese lapso, iniciar el desmontaje de la muestra. Retirar cuidadosamente el balón del extractor. Separar el condensador de bolas del extractor. Retirar el cartucho. Realizar nuevamente el montaje del extractor, el balón y el condensador para iniciar la recuperación del solvente y obtención final del aceite.

r. Continuar con el procedimiento hasta que se haya separado la mayor parte del solvente del balón. Separar el extractor del balón y verter el solvente recuperado en el recipiente destinado para este fin. Retirar el balón con el aceite extraído e introducirlo en el horno de resistencia a 105 0C; hasta eliminar el solvente remanente (20-30 minutos).

s. Retirado el solvente, enfriar el balón en el desecador durante 30 minutos aproximadamente.

t. Pesarse el balón en la balanza analítica. Registrar el peso en el formato respectivo.

### Tabla de abreviaturas

Con el fin de facilitar el cálculo del porcentaje de aceite en condensados de esterilización y lodos provenientes de centrifugas, la siguiente tabla muestra el resumen de los valores que deben ser registrados durante la aplicación de esta metodología.

VARIABLE REGISTRADA	UNIDAD	ABREVIATURA
Peso cápsula vacía	gramos	Cap
Peso cápsula + papel	gramos	gramos Cap+p
Volumen muestra húmeda	Mililitros	VMHum
Peso muestra húmeda	gramos	MHúmeda
Peso cápsula + muestra seca	gramos	Cap+M Seca
Peso balón vacío	gramos	Balón
Peso balón + aceite	gramos	Balón +Ac

**Expresión de los resultados.** El contenido de humedad en la fibra es expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, y es igual a:

$$Ec\ No.\ 15 \quad \%Humedad = \frac{Agua}{MHumedad} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No.\ 16 \quad Agua\ (g) = MHumeda - [(Cap + MSeca) - (Cap + p)]$$

El contenido de aceite en los efluentes líquidos, expresado Como un porcentaje másico con respecto al contenido de sólidos secos no aceitosos presentes en la muestra, es igual a:

$$Ec\ No. 17 \quad \% = \frac{Aceite}{SSNA} = \frac{AC}{MHumeda - AC - Agua} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 18 \quad AC = [(Balón + AC) - Balón]$$

**SSNA** = Masa de sólidos secos no aceitosos en gramos

El contenido de sólidos secos no aceitosos en los efluentes líquidos, expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, es igual a:

$$Ec\ No. 19 \quad \% = \frac{SSNA}{MHumeda} = \frac{MHumeda - AC - Agua}{MHumeda} * 100$$

Para fines de la determinación de la pérdida de aceite con respecto a la cantidad de RFF procesada, se requiere el cálculo de la densidad del efluente como:

$$Ec\ No. 20 \quad Densidad\ efluente = \frac{g}{ML} = \frac{MHumeda}{VMHumeda}$$

El contenido de aceite en los efluentes también puede ser expresado como una relación del peso a volumen entre el aceite extraído y el volumen inicial de la muestra húmeda de ensayo.

Es igual a:

$$Ec\ No. 21 \quad \frac{g\ Aceite}{L\ Efluente} = \frac{AC}{VMHumeda}$$

## **Anexo I. Determinación de Pérdidas de Aceite**

### **4. Contenido de aceite en nueces.**

En esta prueba se especifica la metodología para la determinación del contenido porcentual de aceite Impregnado en las cáscaras o superficie de las nueces, luego de la separación neumática de la fibra.

Principio. En la prueba, las nueces se secan y rompen. Las cáscaras son separadas y sometidas a extracción con solvente (éter de petróleo) mediante sistema soxhlet, durante un tiempo mínimo de cuatro horas.

El aceite extraído es separado del solvente. Posteriormente se pesa.

Muestreo. El muestreo de nueces se realiza de forma acumulativa, cada hora, durante un día de proceso. Puede aprovecharse para ser realizado de manera simultánea con el muestreo para la evaluación de pérdida de aceite en fibra. Se desarrolla como se describe a continuación:

a. A la salida de cada una de las prensas, haciendo uso de los guantes, tomar una muestra de aproximadamente 300 gramos de torta de prensas. Esta porción deberá corresponder a la suma de muestras tomadas en los dos extremos laterales de la salida de la prensa y la parte central de la misma, con el fin de que la muestra obtenida contenga la variación existente por efecto de la gravedad y la diferencia de presión ejercida en diferentes puntos del cuerpo de la prensa.

b. Depositar la muestra de torta en un recipiente con tapa.

c. Repetir este procedimiento para cada una de las prensas en operación y cada hora durante el día de proceso. Cuidando de mantener debidamente tapados los recipientes con el fin de evitar pérdidas de humedad.

d. Al finalizar el turno designado. Homogenizar cuidadosamente la torta de prensas contenida en cada uno de los recipientes. Prestando especial cuidado en evitar separar el polvillo del resto de la muestra. Cuartear hasta obtener una muestra de aproximadamente 500 gramos.

e. Llevar las muestras al laboratorio para realizar la determinación del contenido de aceite. Se recomienda marcar los recipientes en los que se almacenan y transportan las muestras.

### **Procedimiento.**

f. Pesar una cápsula de porcelana vacía. Limpia, seca y fría en la balanza analítica con aproximación al miligramo, tomar el dato del peso cuando el mismo se encuentre estable. Registrar en el formato respectivo.

g. Verter la muestra de torta en una bandeja o superficie limpia. Separar y pesar en una balanza analítica 30 gramos de nueces enteras sin fisuras. Registrar el peso en el formato.

h. Llevar la cápsula con las nueces al horno de resistencia a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta obtener un peso estable (aproximadamente tres horas).

i. Al finalizar el secado, sacar la muestra del horno e introducirla en el desecador por alrededor de 30 minutos, hasta que se enfríe.

j. Pesar la cápsula con la muestra seca. Registrar el valor en el formato.

k. Romper cuidadosamente las nueces secas de forma tal que no se contaminen las cáscaras con aceite de palmiste. Separar las cáscaras, las cuales no deben tener fracciones de almendras adheridas. Pesar el total de cáscaras separadas y registrar en el formato respectivo.

m. Pesar en la cápsula con papel celulosa 0,2 gramos del cuesco seco proveniente de las nueces. Registrar el peso en el formato respectivo.

n. Elaborar un dedal o cartucho. Envolviendo la muestra cuidadosamente con el papel celulosa. Cerrar bien los extremos del dedal.

o. Pesar un balón (matraz) de fondo plano limpio, seco y frío en la balanza analítica. El balón debe estar marcado con el código de la muestra para evitar errores. Registrar el valor del peso en el formato respectivo.

p. Agregar aproximadamente 150 ml de solvente al balón. Introducir el dedal o cartucho en la parte central del extractor. Conectar el cuerpo del extractor con el

condensador de bolas y el balón. Ajustar el montaje sobre la estufa con la ayuda de un soporte. Abrir el paso de agua por el condensador de bolas encender la estufa para dar inicio a la extracción.

q. Mantener el proceso de extracción hasta una hora después de que el solvente contenido en la parte central del extractor esté completamente incoloro. Esto sucede en un tiempo aproximado de cuatro horas.

r. Luego de transcurrido ese lapso, iniciar el desmontaje de la muestra. Retirar con cuidado el balón del extractor. Separar el condensador de bolas del extractor. Retirar el cartucho. Realizar de nuevo el montaje del extractor, el balón y el condensador, para iniciar la recuperación del solvente y la obtención final del aceite.

s. Continuar con el procedimiento hasta que se haya separado la mayor parte del solvente del balón. Separar el extractor del balón y verter el solvente recuperado en el recipiente destinado para este fin. Retirar el balón con el aceite extraído e introducirlo en el horno de resistencia a 105 °C hasta eliminar el solvente remanente (20-30 minutos).

t. Retirado el solvente, enfriar el balón en el desecador durante unos 30 minutos. Pesar el balón en la balanza analítica. Registrar el peso en el formato respectivo.

**Tabla de abreviaturas.** Con el fin de facilitar el cálculo del porcentaje de aceite en nueces, la siguiente tabla muestra el resumen de los valores que deben ser registrados durante la aplicación de esta metodología, en el que aparecen y su respectiva abreviatura.

VARIABLE REGISTRADA	UNIDAD	ABREVIATURA
Peso cápsula vacía	gramos	Cap
Peso nueces húmedas	gramos	NHúmeda
Peso cápsula + nueces secas	gramos	Cap + NSec
Peso cápsula + Peso cáscaras totales	gramos	CáscT
Peso submuestra cáscaras para extracción	gramos	Cext
Peso balón vacío	gramos	Balón
Peso balón + aceite	gramos	Balón +Ac

**Expresión de los resultados.** El contenido de humedad de las nueces es expresado como porcentaje másico con respecto a la porción de muestra húmeda de ensayo, y es igual a:

$$Ec\ No. 22 \quad \%Humedad = \frac{Agua}{MHumedad} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 23 \quad Agua (g) = MHumeda - [(Cap + MSeca) - (Cap + NSec) - Cap]$$

El aceite impregnado en las nueces, expresado como un porcentaje másico con respecto a la muestra húmeda de nueces, es igual a:

$$Ec\ No. 24 \quad \% = \frac{Aceite}{Nueces\ Humedas} = \frac{AC\ Total}{NHumeda} * 100$$

Dónde:

$$Ec\ No. 25 \quad AC = [(Balón + AC) - Balón]$$

El aceite impregnado en las nueces, expresado como un porcentaje másico con respecto al contenido de sólidos secos no aceitosos presentes en la muestra, es igual a:

$$Ec\ No. 26 \quad AC\ Total = \frac{AC * CascT}{Cext}$$

El aceite impregnado en las nueces, expresado como un porcentaje másico con respecto al contenido de sólidos secos no aceitosos presentes en la muestra, es igual a:

$$Ec\ No. 27 \quad \% = \frac{Aceite}{SSNA} = \frac{AC\ Total}{NHumeda - AC\ Total - Agua} * 100$$

## Anexo J. Histograma de Nueces

Esta prueba especifica la metodología para la clasificación de las nueces por tamaños.

**Términos y definiciones:** Para los efectos de esta metodología. Se aplican la siguiente definición:

**Histograma:** distribución de un conjunto de medidas de diámetro, expresado de forma gráfica para facilitar la identificación de patrones en las características de las nueces procesadas en las plantas de beneficio, y de requerimiento de ajuste en los equipos de la sección de palmistería.

### Elementos, materiales y equipos

- Balanza de plato con capacidad para 2.500 gr
- Clasificador de tamaño con plantilla para nueces entre 5 y 30 mm.
- Recipientes.

### Muestreo

En lo posible, el período de muestreo para este análisis debe ser como mínimo durante el tiempo que dura el ciclo de la cosecha, para cubrir la totalidad del fruto que normalmente es procesado durante este periodo en la planta de beneficio. Se Debe proceder de la siguiente manera:

**a.** Cada hora tomar una muestra de 500 g de las nueces a la salida del tambor pulidor y acumularla en un recipiente con tapa.

**b.** Al finalizar el día de proceso, homogenizar la muestra y cuartear hasta obtener una muestra final de 500 gramos. durante este periodo en la planta de beneficio. Se debe proceder de la siguiente manera:

## Procedimiento

- c. En el laboratorio, pasar cada una de las nueces por la plantilla o clasificador. Almacenar las nueces ubicadas en cada tamaño de abertura.
- d. Pesar cada una de las fracciones correspondientes a cada tamaño y registrar estos valores en el formato respectivo.
- e. Este procedimiento se realiza diariamente durante la totalidad del tiempo de muestreo. Al finalizar este lapso, totalizar los pesos registrados diariamente de acuerdo con el tamaño de las nueces.

**Expresión de los resultados:** Se tabularon los resultados como relación

Porcentual entre el peso de las nueces de cada tamaño con respecto al peso total de nueces, como:

$$Ec\ No. 29 \quad \% \text{ Tamaño } A = \frac{\text{Peso Tamaño } A}{\text{Peso total de las nueces}} * 100$$

**Peso nueces tamaño A:** peso de porción cada tamaño.

**Peso total nueces:** Pesó total muestra.

Se presentara los resultados como distribución de barras, donde la abscisa corresponde a los diámetros medios de la plantilla o clasificador de nueces y la ordenada corresponde a porcentaje de participación.

## **Anexo K. Calidad del aceite terminado**

### **1. Contenido de ácidos grasos libres en aceites de palma.**

Esta prueba utiliza la metodología para la determinación del porcentaje de ácidos grasos libres (AGL). Contenidos en el aceite crudo de palma.

Principio. Se disuelve la muestra en etanol neutralizado, se calienta y se titula con solución acuosa de hidróxido de sodio.

#### **Reactivos**

- Hidróxido de sodio estandarizado, 0.1 N.
- Etanol neutralizado al 95%.
- Solución de indicador de fenolftaleína al 1 % en etanol al 95%.

#### **Elementos, materiales y equipos**

- Balanza analítica con precisión al miligramo.
- Erlenmeyer, de 250 ml.
- Bureta de 25 ml.
- Recipientes de vidrio para muestra.
- Agitadores magnéticos.
- Plancha de calentamiento con agitación o estufa eléctrica.
- Frascos cuentagotas.
- Probeta de 100 ml.

**Muestreo.** El muestreo de aceite para análisis de calidad debe realizarse con frecuencia de una hora en la salida del proceso hacia almacenamiento, tomando muestras de aproximadamente 250 ml. La evaluación en otros puntos y momentos (tanques de almacenamiento y vehículos de despacho), depende de las disposiciones internas de las plantas de beneficio. La muestra debe ser almacenada en un recipiente apropiado, limpio, seco y con tapa con el fin de evitar contaminaciones y variaciones de humedad.

#### **Procedimiento**

1. Fijarse que la muestra esté bien mezclada y totalmente líquida antes de ser pesada.

2. Tarar un Erlenmeyer de 250 ml limpio y seco en la balanza analítica.
3. Colocar en el Erlenmeyer de  $5 \pm 0,5$  g de aceite.
4. Medir en una probeta 50 ml de etanol al 95% (v/v) previamente neutralizado. Agregar al aceite pesado.
5. Calentar hasta 40-50 °C, usando una plancha de calentamiento o haciendo uso de la estufa eléctrica.
6. Agregar cinco gotas de fenolftaleína (1 %) e introducir un agitador magnético en el Erlenmeyer.
7. Titular gota a gota con hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado y agitación suave, hasta lograr un ligero y definido cambio de color en el indicador. Este color debe permanecer por 30 segundos.
8. Durante la titulación se puede mantener un calentamiento moderado (máximo 50 °C).

### Expresión de los resultados

El porcentaje de ácidos grasos libres (AGL) en el Aceite de palma se calcula como:

$$Ec \text{ No. } 30 \quad \% \text{ AGL} = \frac{C * V * N}{W} * 100$$

Dónde:

C = 25,6 peso molecular aceite de palma.

V = Volumen de solución de hidróxido de sodio, expresado en ml.

N = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

W = Peso de la muestra de aceite de palma expresada en gramos.

## Anexo L. Calidad del aceite terminado

### 2. Contenido de Humedad

**Principio.** Se calienta una porción de ensayo a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta que la humedad y la materia volátil se eliminen completamente (estabilidad de su peso). Se enfría y se determina su pérdida de peso.

#### Elementos, materiales y equipos

- Balanza analítica con precisión al miligramo.
- Horno eléctrico regulado a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con termómetro adaptado.
- Cápsula de porcelana.
- Desecador con silica gel.
- Pinzas metálicas para cápsula o crisol.

**Muestreo.** El muestreo de aceite para análisis de calidad debe realizarse con frecuencia de una hora en la salida del proceso hacia almacenamiento, tomando muestras de aproximadamente 250 ml. La evaluación en otros puntos y momentos (tanques de almacenamiento y vehículos de despacho) depende de las disposiciones internas de las plantas extractoras.

La muestra debe ser almacenada en un recipiente apropiado, limpio, seco y con tapa, con el fin de evitar contaminaciones y variaciones de humedad.

**Procedimiento.** La determinación de la humedad y material volátil debe ser el primer ensayo que se le realice a la muestra. El procedimiento se describe a continuación:

1. Para las muestras acumuladas que ya han sufrido algún tipo de solidificación, se recomienda ablandarlas mediante un calentamiento suave a  $55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , cuidando de no dejar derretir completamente y homogeneizando antes de tomar la porción para el ensayo.
2. Secar una cápsula de porcelana limpia en el horno a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante aproximadamente 15 minutos.

3. Transcurrido este tiempo, sacar la cápsula del horno con ayuda de las pinzas y dejarla enfriar en el desecador durante 30-45 minutos. Es importante que la cápsula se enfríe completamente hasta la temperatura de la balanza, ya que una pequeña desviación de esta temperatura puede afectar la precisión y la exactitud del peso.

4. Pesar la cápsula con aproximación al miligramo (0,1 mg); registrar este valor en el formato respectivo.

5. Agregar aproximadamente 10 g de aceite a la cápsula con la mayor *exactitud* posible; registrar este valor en el formato respectivo.

6. Introducir la cápsula con la muestra en el horno a  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  por dos horas aproximadamente, hasta obtener un peso estable de la muestra. La operación del horno de calentamiento debe ser revisada en forma periódica.

Esto se hace usando un termómetro colocado en una cápsula llena con la misma cantidad de aceite y ubicado al mismo nivel en el horno mientras la prueba está siendo ejecutada.

7. Sacar la cápsula y dejarla enfriar en el desecador, entre 30-45 minutos.

8. Transcurrido este tiempo, volver a pesar con aproximación al miligramo y registrar el valor en el formato respectivo.

**Expresión de los resultados.** La humedad y el material volátil se expresan como porcentaje en peso usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ec No. 31 } \% \text{ Humedad} = \frac{Wb - Wd}{Wb - W} * 100$$

Dónde:

W: Peso de la cápsula.

Wb: peso de la cápsula con aceite.

Wd: Peso de la cápsula con aceite después de secado.

### Anexo M. Caracterización de corrientes de pérdidas

			REPETICIÓN	REP 1	REP 2	REP 3	REP 4	REP 5	REP 6	REP 7	REP 8	REP 9	REP 10	PROMEDIO
			HIBRIDO OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG
<b>EDAD PROMEDIO DE LA PALMA</b>				4	4	5	4	4	4	4	4	3	4	4,00
<b>TUSA</b>	TUSA / t RFF	% PESO	19,92%	22,93%	22,01%	21,67%	20,73%	19,18%	18,49%	21,56%	21,99%	20,07%	20,85%	
	APC / SSNA	% PESO	1,48%	1,63%	3,48%	3,20%	4,84%	3,26%	3,36%	2,07%	3,17%	4,53%	3,10%	
	APC / RFF TUSA	% PESO	0,11%	0,13%	0,24%	0,19%	0,29%	0,17%	0,18%	0,14%	0,23%	0,26%	0,19%	
<b>FIBRA</b>	FIBRA / t RFF	% PESO	16,41%	18,40%	18,25%	18,30%	14,98%	16,56%	15,47%	14,97%	16,89%	15,65%	16,59%	
	APC / SSNA	% PESO	5,45%	6,40%	7,01%	6,23%	7,35%	6,25%	9,67%	13,18%	13,10%	6,37%	8,10%	
	APC / RFF FIBRA	% PESO	0,57%	0,72%	0,82%	0,65%	0,61%	0,63%	0,88%	1,23%	1,11%	0,56%	0,78%	
<b>EFLUENTE FINAL</b>	m3 EFLUENTE FINAL / t RFF	m <sup>3</sup> / t RFF	0,377	0,491	0,412	0,593	0,494	22,00	28,78%	30,04%	34,50%	41,83%	0,394	
	APC / RFF EFLUENTE FINAL	% PESO	0,29%	0,28%	0,18%	0,26%	0,15%	0,22%	0,14%	0,17%	0,35%	0,16%	0,22%	
<b>NUECES</b>	NUECES / t RFF	% PESO	10,80%	8,89%	8,82%	12,56%	8,98%	9,55%	7,48%	8,43%	9,62%	7,57%	9,27%	
	APC / RFF NUECES	% PESO	0,03%	0,06%	0,07%	0,07%	0,04%	0,03%	0,05%	0,03%	0,05%	0,04%	0,05%	

**Anexo N. Parámetros de calidad**

	REPETICIÓN	REP 1	REP 2	REP 3	REP 4	REP 5	REP 6	REP 7	REP 8	REP 9	REP 10	PROMEDIO
	HIBRIDO O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G	O <sub>x</sub> G
<b>CONTENIDO DE AGL</b>	<b>% P/P</b>	0,89%	1,59%	1,41%	1,33%	1,35%	0,93%	1,51%	1,45%	1,59%	1,52%	1,36%
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<b>%</b>	0,10%	0,10%	0,06%	0,09%	0,11%	0,09%	0,06%	0,04%	0,06%	0,13%	0,08%

## Anexo O. Cuadro Estadístico

‘CARACTERIZACIÓN DE PERDIDAS DE ACEITE PROCESAMIENTO HÍBRIDO OXG’

1

21:27 Sunday, June 21, 2014

Procedimiento MEANS

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar
AFORO TUSA	18.4900000	22.9300000	20.8550000	21.1450000	1.2839798
PERDIDAS TUSA	0.1100000	0.2900000	0.1960000	0.1850000	0.0594792
AFORO FIBRA	14.9700000	18.4000000	16.5880000	16.4850000	1.3512776
PERDIDAS FIBRA	0.5600000	1.2300000	0.7780000	0.6850000	0.2327039
AFORO NUEZ	7.4800000	12.5600000	9.2700000	8.9350000	1.5127826
PERDIDAS NUEZ	0.0300000	0.0700000	0.0470000	0.0450000	0.0156702
AFORO EFLUENTES	0.2200000	0.5900000	0.3930000	0.3950000	0.1109605
PERDIDAS EFLUENTE	0.1400000	0.3500000	0.2200000	0.2000000	0.0714920
TASA EXTRACCIÓN	15.8000000	23.0300000	20.0860000	20.7500000	2.0797874
PERDIDAS TOTAL	1.0100000	1.7400000	1.2400000	1.1800000	0.2433105
EFICIENCIA EXTRAC	90.9200000	95.4500000	94.1360000	94.3550000	1.3394377
AGL	0.8900000	1.5900000	1.3570000	1.4300000	0.2519281
HUMEDAD	0.0400000	0.1300000	0.0840000	0.0900000	0.0279682

### Anexo P. Factores de producción

	REPETICIÓN	REP 1	REP 2	REP 3	REP 4	REP 5	REP 6	REP 7	REP 8	REP 9	REP 10	PROMEDIO
	HIBRIDO OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG	OxG
<b>EDAD PROMEDIO DE LA PALMA</b>		4	4	5	4	4	4	4	4	3	4	4,00
TIEMPO EFECTIVO DE PROCESAMIENTO	<b>HORAS</b>	8,37	8,02	7,17	8,01	8,36	10,86	7,63	7,70	7,76	5,95	<b>7,98</b>
CANTIDAD DE FRUTA PROCESADA	<b>TONELADAS</b>	52,97	54,00	52,61	60,54	51,25	85,50	70,95	67,85	56,88	55,61	<b>60,82</b>
CAPACIDAD DE VAGONETAS	<b>t RFF/VAG</b>	2,94	3,00	2,92	2,75	2,85	2,85	2,96	2,83	2,84	2,93	<b>2,89</b>
TIEMPO TOTAL DE ESTERILIZACIÓN	<b>HORAS</b>	1,45	1,42	1,51	1,32	1,32	1,50	1,43	1,47	1,46	1,60	<b>1,45</b>
<b>FACTOR DE ESTERILIZACION</b>	<b>ADIMENSIONAL</b>	1,92	1,89	1,59	1,65	2,11	1,45	1,33	1,31	1,59	1,17	<b>1,60</b>

## Anexo Q. Cálculo de la eficiencia de extracción de aceite.

La eficiencia en la extracción tanto de aceite hace referencia a la relación de las toneladas de productos obtenidos con respecto a las toneladas totales potenciales para extracción.

Estas toneladas potenciales resultan de la suma de la extracción real y las pérdidas.

La eficiencia se reporta como porcentaje, y se calcula como:

### Eficiencia de extracción de aceite

$$Ec\ No.28 \quad \%EEA = \frac{\frac{\%ACP}{RFF}}{\frac{\%ACP}{RFF} + \frac{\%perdidas\ totales}{RFF}} * 100$$

Dónde:

- **% EEA:** Eficiencia de Extracción de Aceite.
- **%ACP:** Aceite crudo de palma.
- **%RFF:** Racimos de fruta fresca.
- **% *Perdidas totales*:** Pérdidas de aceite en:
  - Tusa
  - Fruto Adherido
  - Fibra de Prensa
  - Nueces
  - Efluentes Finales

El % aceite/RFF, se obtiene del registro diario de inventario de toneladas de aceite producido y las toneladas de racimos de fruto procesado (RFF). El % de pérdidas totales se estima a partir del balance de pérdidas de aceite y corresponde a la sumatoria de los porcentajes de pérdidas de aceite en tusas, fibras, nueces, fruto adherido y efluentes, con respecto a RFF. Los porcentajes de pérdidas son calculados a partir de los porcentajes de aceite en muestra con respecto a los sólidos secos no aceitosos.

### Anexo R. Eficiencia de extracción aceite de palma crudo alto oleico

	REPETICIÓN HIBRIDO OxG	REP 1 OxG	REP 2 OxG	REP 3 OxG	REP 4 OxG	REP 5 OxG	REP 6 OxG	REP 7 OxG	REP 8 OxG	REP 9 OxG	REP 10 OxG	PROMEDIO OxG
EDAD PROMEDIO DE LA PALMA		4	4	5	4	4	4	4	4	3	4	4,00
TASA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	% ACP/RF	15,80%	19,62%	21,39%	19,92%	23,03%	20,94%	21,17%	20,99%	17,44%	20,56%	20,09%
PÉRDIDAS TOTALES DE ACEITE	% ACP/RF	1,01%	1,19%	1,31%	1,17%	1,10%	1,05%	1,25%	1,57%	1,74%	1,01%	1,24%
EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	%	94,01%	94,27%	94,23%	94,45%	95,45%	95,24%	94,44%	93,03%	90,92%	95,32%	94,14%



