

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE ACEITE EN RACIMOS DE PALMA
AFRICANA CON BASE EN EL FLUJO Y COMPOSICIÓN DEL LICOR DE
PRENSAS DILUIDO EN LA PLANTA EXTRACTORA
ACEITES MANUELITA S.A.**

JORGE MARIO SIERRA DE LA OSSA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2007**

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE ACEITE EN RACIMOS DE PALMA
AFRICANA CON BASE EN EL FLUJO Y COMPOSICIÓN DEL LICOR DE
PRENSAS DILUIDO EN LA PLANTA EXTRACTORA
ACEITES MANUELITA S.A.**

JORGE MARIO SIERRA DE LA OSSA

**Trabajo presentado como requisito para
Optar al título de Ingeniero Químico**

**Director
LUIS MARIANO IDARRAGA BERNAL
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2007**

DEDICATORIA

A Dios por guiarme con su infinita sabiduría en todo momento.

A mi padre Jorge Luis, por ser ejemplo de fortaleza y ser mi inspiración para alcanzar mis metas.

A mi madre Cecilia, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al centro de investigación CENIPALMA, por haberme permitido desarrollar este trabajo de grado y especialmente al ingeniero Guido Sierra Ramírez, por la orientación y los conocimientos aportados para que este trabajo se pudiera llevar a cabo.

Al ingeniero Jairo Prada gerente de planta de Aceites Manuelita S.A, por el apoyo y la confianza dada para la realización de este trabajo.

Al personal del laboratorio de la planta extractora Aceites manuelita S.A., por su amistad y colaboración.

Al ingeniero Luís Mariano Idarraga, director de este proyecto por su apoyo y colaboración.

A todas las personas que de alguna forma estuvieron vinculadas con este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
1. FUNDAMENTO TEORICO	4
1.1 GENERALIDADES DEL ACEITE DE PALMA	4
1.2 GENERALIDADES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN	4
1.2.1 Recepción de la fruta	5
1.2.2 Esterilización	5
1.2.3 Desfrutado	5
1.2.4 Digestión del fruto	6
1.2.5 Extracción de aceite (prensado)	6
1.2.6 Tamiz vibratorio	6
1.2.7 Tanque de aceite crudo	6
1.2.8 Clarificación	7
1.2.9 Secado	7
1.2.10 Almacenamiento	7
1.3 GENERALIDADES DEL LICOR DE PRENSA DILUIDO	8
1.3.1 Composición	8
1.3.2 Mecánica y conducta	8
1.3.3 Viscosidad	9
1.4 GENERALIDADES DE VERTEDEROS	9

1.4.1	Vertedero rectangular de pared delgada	9
2.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	13
2.1	ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA	14
2.1.1	Recepción de la fruta	14
2.1.2	Esterilización	14
2.1.3	Desfrutado	14
2.1.4	Digestión	15
2.1.5	Extracción	15
2.2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO	15
2.2.1	Descripción del Tanque de Aceite crudo	15
2.2.2	Flujo máximo de licor de prensas	15
2.2.3	Diseño del vertedero	16
2.2.4	Calibración del Vertedero	17
2.3	CALCULO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	17
2.3.1	Metodología específica de muestreo del flujo de LPD	18
2.3.2	Calculo del volumen de Licor de prensa diluido	19
2.3.3	Procedimiento de cálculo de la TEA en la planta de beneficio	19
2.4	CALCULO DEL POTENCIAL DE ACEITE AL FRUTO DE DIFERENTES PROVEEDORES	20
2.4.1	Metodología específica de muestreo del flujo de LPD	20
2.4.2	Procedimiento de cálculo del potencial de aceite	22
2.4.3	Comparación de los resultados por medio de las diferentes metodologías de determinación de potenciales de aceite.	23

3 RESULTADOS	24
3.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA	24
3.1.1 Recepción de la fruta	24
3.1.2 Esterilización	24
3.1.3 Desfrutado	24
3.1.4 Digestión	25
3.1.5 Extracción	25
3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO	26
3.2.1 Descripción del Tanque de Aceite crudo	26
3.2.2 Flujo máximo de licor de prensas	27
3.2.3 Diseño del vertedero	27
3.2.4 Calibración del vertedero	29
3.3 CALCULO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	30
3.4 CALCULO DEL POTENCIAL DE ACEITE AL FRUTO DE DIFERENTES PROVEEDORES.	32
4. CONCLUSIONES	35
5. RECOMENDACIONES	36
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	39

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estudio de tiempos y movimientos en el proceso de extracción de aceite de palma.	23
Tabla 2. Resultados de un ensayo de determinación del potencial aceite del fruto de un proveedor en particular.	29
Tabla 3. Potencial de aceite promedio de RFF de las plantaciones analizadas.	30
Tabla 4. Comparación entre metodologías de determinación de potenciales de aceite.	30
Tabla E1. Variables determinadas en los ensayos de determinación de la TEA.	39
Tabla E2. Ensayos de determinación de la TEA	39
Tabla F1. Análisis de potenciales de aceite de la plantación A.	40
Tabla F2. Análisis de potenciales de aceite de la plantación B.	41
Tabla F3. Análisis de potenciales de aceite de la plantación C.	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vertedero rectangular de pared delgada	8
Figura 2. Vertedero rectangular con contracciones.	9
Figura 3. Napa de vertedero ideal.	9
Figura 4. Etapas de desarrollo del proyecto.	11
Figura 5. Esquema del Tanque de Aceite crudo.	14
Figura 6. Metodología específica de muestreo del flujo de LPD en ensayos de determinación de la TEA.	13
Figura 7 Metodología específica de muestreo del flujo de LPD en ensayos de determinación de potenciales de aceite.	15
Figura 8. Tanque de Aceite crudo.	23
Figura 9. Dimensiones del tanque de aceite crudo.	24
Figura 10. Dimensiones del vertedero.	25
Figura 11. Vertedero en el tanque de aceite crudo.	25
Figura 12. Mirrilla implementada en el tanque de aceite crudo.	26

Figura 13.	Curva de calibración del vertedero.	27
Figura 14.	Curvas de tendencias para la TEA real y TEA experimental.	28
Figura 15.	Prueba t de student	29
Figura A1.	Composición de los racimos y los frutos de palma Africana	4

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Generalidades del fruto de la palma africana de aceite
- Anexo B.** Diagrama del proceso de Extracción de Aceite en la planta de beneficio.
- Anexo C.** Metodología alterna de muestreo y análisis de racimos de palma de aceite (Ceniavances 76)
- Anexo D.** Dimensionamiento de la mirilla implementada en el tanque de aceite crudo.
- Anexo E.** Ensayos de determinación de la Tasa de extracción de aceite
- Anexo F.** Ensayos de determinación del potencial de Aceite
- Anexo G.** Propuesta de estudio: Desarrollo de una herramienta para la determinación de potenciales de aceite a escala comercial

GLOSARIO

%Ac: porcentaje de aceite crudo de palma

$\%Ac_{LPD}$: porcentaje de aceite promedio en el licor de prensas diluido.

C_d : coeficiente de descarga

d : diámetro de la gota de aceite en (m)

g : fuerza de la gravedad en

h : altura que alcanza el fluido sobre el vertedero (m)

L : ancho o cresta del vertedero (m)

LPD: licor de prensa diluido

L_c : ancho del canal por donde fluye el líquido antes de llegar del vertedero.

L_w : ancho del vertedero

NAPA: lámina de fluido que se mueve por encima del vertedero.

P : altura a la que se encuentra el vertedero.

PERDIDAS: Perdidas de aceite en la etapa de extracción en ($\%Ac$)

POTENCIAL: cantidad total de aceite por racimo de fruta fresca $\left(\frac{\%Ac}{RFF}\right)$

Q : Caudal de descarga a través del vertedero (m^3/s)

Q_{Real} : Caudal de descarga a través del vertedero (m^3/s)

RFF: racimo de fruta fresca

v : velocidad de ascenso de la gota de aceite

V_{aceite} = Volumen de aceite de palma en (m^3)

V_{LPD} = Volumen de licor de prensas diluido en (m^3)

Vol. Aceite: Volumen de aceite crudo de palma en (m^3)

Vol. LPD: Volumen de licor de prensas diluido en (m^3)

W_{RFF} = Fruto total procesado en (Ton)

W. Aceite: masa de aceite en (Ton)

ρ_l : densidad del lodo

ρ_a = densidad del aceite

μ = viscosidad del fluido

ρ_{aceite} = densidad del aceite de palma en $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$

RESUMEN

TITULO: DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE ACEITE EN RACIMOS DE PALMA AFRICANA CON BASE EN EL FLUJO Y COMPOSICIÓN DEL LICOR DE PRENSAS DILUIDO EN LA PLANTA EXTRACTORA ACEITES MANUELITA S.A.*

AUTOR: SIERRA DE LA OSSA, Jorge Mario**

PALABRAS CLAVES: Metodología, Estudio de tiempos, Potencial de aceite, Licor de prensas diluido, vertedero.

DESCRIPCIÓN

En este trabajo se desarrolló una metodología para la determinación del potencial de aceite de los racimos de palma africana por medio de la medición del flujo y composición del licor de prensas diluido. La medición del flujo se realiza por medio de un vertedero ubicado en el tanque de aceite crudo.

Se realizó un estudio de tiempos y movimientos en el proceso de extracción de aceite, en cada una de las etapas del proceso de extracción, desde el momento que es descargado el fruto en la tolva de recibo hasta la obtención de licor de prensas diluido correspondiente al fruto analizado en el tanque de aceite crudo. Para garantizar que el licor de prensas muestreado corresponde al fruto analizado.

El análisis estadístico mediante una prueba t de student por comparación de pares, evidenció que la metodología de medición del licor de prensas diluido en el tanque de aceite crudo es una herramienta válida para la evaluación de la tasa de extracción de aceite y la determinación de potenciales de aceite en la planta de beneficio.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director del proyecto: Ing. M. Sc. Luis Mariano Idarraga Bernal.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF THE OIL POTENTIAL IN THE CLUSTER OF AFRICAN PALM WITH BASE IN THE FLOW AND COMPOSITION OF THE DILUTED PRESS LIQUOR IN THE EXTRACTION PLANT ACEITES MANUELITA S.A.*

AUTHOR: SIERRA DE LA OSSA, Jorge Mario **

KEY WORDS: Methodology, A times study, Oil potential, Diluted press liquor, Drain.

DESCRIPTION

It was developed a methodology for the determination of the oil potential in the clusters of african palm, by means of the measurement of the volume flow and composition of the diluted press liquor. Flow measurement was done using a drain located in the raw oil tank.

A times and movements study was also done over the oil extraction process, in each stage, from the moment when the fruit was discharged into the receipt chute until the obtention of the diluted press liquor, corresponding to the analyzed fruit in the raw oil tank. In order to guarantee that the press liquor measured corresponded to the analyzed fruit.

A statistical analysis by means of student's tests for comparison, evidenced that the methodology it's a useful tool in order to evaluate the oil extraction rate and to determinate the oil potential of the incoming fruit to the mill.

* Degree Work

** Engineering Physical-Chemistry Faculty, Chemical Engineering School, Director Ing. M.Sc. Luis Mariano Idarraga Bernal.

INTRODUCCIÓN

En las plantas de beneficio es muy común que se presenten diferencias entre el potencial de aceite del fruto procesado y la tasa de extracción de aceite; de acuerdo a esto se han implementando metodologías que buscan establecer la relación existente entre el potencial de aceite y características de la materia prima procesada como son la calidad de los racimos, el material genético. También se han desarrollado estrategias para la determinación de pérdidas en la planta; pero a pesar de todos estos estudios no se ha establecido una alternativa de estudio que permita de manera sencilla y económica establecer el contenido de aceite de los racimos, la tasa de extracción de aceite y en general la eficiencia del proceso.

Este proyecto surgió inicialmente por el interés de la gerencia de Aceites Manuelita S.A en desarrollar una metodología que permita determinar de una manera sencilla el potencial de aceite del fruto de los diferentes proveedores de la planta de beneficio y de esta manera con el tiempo llegar a categorizar a cada uno de ellos.

La metodología de determinación de potenciales de aceite que se desarrolla en este estudio consiste en la implementación de un vertedero en el tanque de aceite crudo que permite medir el flujo de licor de prensas que se obtiene al procesar el fruto de un proveedor en particular, permitiendo determinar la tasa extracción de aceite y el potencial de aceite del fruto analizado.

Para garantizar que el licor de prensas muestreado corresponde al fruto analizado, es necesario realizar un estudio de tiempos y movimiento en el proceso de extracción de aceite, en cada una de las etapas, desde el momento que es descargado el fruto en la tolva de recibo hasta que se recibe en el tanque de aceite crudo, el licor de prensas que contiene el aceite del fruto procesado.

Un vertedero de pared delgada consiste básicamente de una lamina plana, rígida, colocada perpendicular a la dirección del flujo y al fondo del canal. Es un dispositivo

sencillo y de bajo costo de construcción y mantenimiento. Presentan un amplio rango de medición, cuyo valor máximo puede ser 20 veces superior al caudal mínimo, manteniendo en todo momento la precisión requerida.

Los resultados obtenidos por medio de la metodología propuesta son comparados estadísticamente con los obtenidos por medio de la metodología de análisis de racimos desarrollada por cenipalma para la determinación de potenciales de aceite.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar una metodología para la determinación del potencial de aceite en racimos de palma africana con base en la medición del flujo y la composición del licor de prensas en el tanque de aceite crudo.

Objetivos específicos

- Realizar un estudio de tiempos y movimientos en cada una de las etapas del proceso de extracción de aceite involucradas en el estudio, para determinar en que momento se obtiene aceite del fruto analizado.
- Diseñar, calibrar e implementar un vertedero dentro del tanque de aceite crudo que permita medir el flujo de licor de prensas que se obtiene al procesar determinada cantidad de fruto.
- Calcular la tasa de extracción de aceite por medio de la metodología de medición del licor de prensas.
- Calcular el potencial de aceite al fruto (RFF) de diferentes proveedores por medio de la metodología de medición del licor de prensas.
- Realizar una comparación estadística entre los resultados obtenidos por medio de la metodología de medición del licor de prensas y los obtenidos por medio de la metodología de análisis de racimos.

1. FUNDAMENTO TEORICO

En este capítulo se presentan conceptos teóricos tenidos en cuenta en el desarrollo del proyecto. Se presentan una descripción general de la agroindustria del aceite de palma africana y del proceso de beneficio del fruto de palma.

1.1 GENERALIDADES DEL ACEITE DE PALMA

El aceite de palma crudo es usualmente de color naranja profundo y se encuentra en forma semisólida a temperatura ambiente. En reposo se separa en una parte sólida: la estearina destinada casi exclusivamente a usos industriales, tales como cosméticos, jabones, detergentes, velas, grasas lubricantes, y en una líquida: la oleína utilizada como comestible (aceite para cocinar, margarinas, cremas, confitería).

Colombia ocupa el quinto lugar en producción mundial de aceite de palma (por debajo de países como Malasia, Indonesia, Nigeria y Tailandia) y el primero en Latinoamérica. En el año 2004, nuestro país produjo 630.000 toneladas de aceite crudo de palma y 145.000 toneladas de almendra o palmiste, lo que representó un total de 974.345 millones de pesos y un 53,1% de participación en la oferta nacional de aceites y grasas. Así también, durante el mismo año las exportaciones de aceite de palma y palmiste a los mercados de Europa y América fueron de 283.000 toneladas, lo que equivale aproximadamente a 157 millones de dólares.

1.2 GENERALIDADES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

La planta extractora de Aceites Manuelita S.A., tiene una capacidad de procesamiento de 38 toneladas de racimos de fruta fresca por hora (RFF /h). Cuenta con dos productos principales: los aceites crudos de palma y de palmiste y algunos subproductos como torta de palmiste, cáscaras, raquis, fibra entre otros. Posee

aproximadamente 5000 hectáreas sembradas de palma africana, donde se involucra los procesos agropecuarios (cultivo y recolección de fruto) y los procesos técnicos de extracción que mediante los efectos de presión, temperatura y procesos mecánicos, extraen el aceite contenido en la pulpa del fruto, logrando producir 33000 toneladas de aceite crudo de palma al año.

El proceso de extracción de estos productos principales obtenidos en las plantas de beneficio de aceite de palma, se describe a continuación:

1.2.1 Recepción de la fruta. La planta extractora cuenta con una tolva en la cual se deposita la fruta antes de ser procesada, con una capacidad de almacenamiento de 60 toneladas. Esta posee compuertas cuya función es regular el paso de fruta a los vagones que las transportan dentro de la planta hasta el proceso de esterilización. Los vagones o canastas son carros de hierro que se desplazan sobre rieles, cada vagón permite transportar 2.5 toneladas de fruta.

1.2.2 Esterilización. La sección está compuesta por un sistema de rieles para el desplazamiento de las canastas y 4 esterilizadores horizontales que permiten alojar 6 canastas cada uno. El fruto es cocinado con vapor saturado a presiones que oscilan entre 25 - 40 psi y una temperatura aproximada de 135 ° C, con el fin de inactivar la enzima lipasa responsable de la hidrólisis del aceite a ácidos grasos libres y glicerol y secar el punto de unión de la fruta y el raquis (racimo sin frutos) para facilitar la separación en el desfrutado. Con esta cocción, se produce el rompimiento de las celdas de aceite para facilitar su extracción

1.2.3 Desfrutado. El fruto ya esterilizado, contenido en las canastas, es elevado mediante una grúa monorraíl y depositado en una tolva que alimenta un tambor desfrutador, donde se produce la separación de los frutos del raquis.

Las tusas o raquis se conducen por medio de bandas transportadoras y se recolectan para su posterior disposición en los cultivos como abono.

1.2.4 Digestión del fruto. La digestión del fruto esterilizado consiste en el rompimiento de las celdas que contienen el aceite mediante el movimiento y la fricción de unos con otros, se dispone de tres digestores de 3000 litros El digestor es un cilindro vertical provisto de brazos que giran sobre un eje, situado sobre la prensa y calentado con vapor para mantener la temperatura entre 90 y 95 ° C.

1.2.5 Extracción de aceite (prensado). El proceso de extracción de aceite, en la mayoría de los casos, es un proceso mecánico. La presión aplicada debe ser tal que extraiga la mayor cantidad de aceite y minimice la rotura de nueces y almendras. Para lograr la presión necesaria, la masa es conducida por el tornillo dentro de la cámara de perforación (canastilla).

El aceite crudo exprimido pasa a través de la canastilla y cae en una bandeja de acero inoxidable de la cual sale por un ducto al tamiz vibratorio para separar las impurezas de mayor tamaño. Por otro lado, al final de la prensa, se recolectan la fibra y las nueces del fruto al cual se le extrajo el aceite, masa que se conoce con el nombre de torta.

1.2.6 Tamiz vibratorio. La mezcla proveniente del prensado, compuesta por fibras, aceite, agua y lodos, es transportada hacia el tamiz. Para lograr una separación eficiente se hace pasar esta mezcla por un tamiz vibratorio el cual posee mallas Mesh 30 y 40 respectivamente, en donde se separan los sólidos y las fibras de mayor tamaño.

1.2.7 Tanque de aceite crudo. El fluido resultante del tamizado el cual contiene aceite, agua, lodos livianos y lodos pesados, se le llama licor de prensas diluido (LPD). Este es recibido en un tanque que tiene una capacidad de 7.6 m³ aproximadamente, conocido como Tanque de aceite crudo y de aquí es bombeado hacia la etapa de clarificación.

1.2.8 Clarificación. Es el proceso mediante el cual se separa y purifica el aceite del licor de prensas diluido por ello en esta etapa se realiza la limpieza correspondiente con la utilización de los siguientes equipos:

- *Separadores primarios:* El licor de prensas diluido, es bombeado del tanque de aceite crudo hacia un intercambiador de calor que precalienta el flujo hasta 90 – 95 ° C, para posteriormente separar el aceite en dos separadores primarios de 40 m³ cada uno, de sección rectangular horizontal, los cuales poseen dos conos en el fondo, con el fin de disminuir los esfuerzos cortantes. Así la separación del aceite de los lodos se realiza por decantación estática en un tiempo determinado. Estos equipos tienen dos salidas, una (parte inferior) para aguas lodosas que debe contener como máximo un 10% de aceite en volumen y la otra salida (parte superior) para el aceite el cual se conduce hacia los tanques secadores de aceite.

- *Centrifugación:* Las aguas lodosas provenientes del separador primario son conducidas a un tanque pulmón de centrifugas, para posteriormente retirarles la mayor cantidad de aceite en las centrifugas desludadoras. El aceite que es recuperado retorna a los separadores y el flujo restante: lodos pesados y agua, que se conocen como efluentes de clarificación, se envían al sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.2.9 Secado. En este punto del proceso, el aceite contiene entre un 0,45% y 0,5% en peso de agua y alguna porción de lodos livianos que deterioran la calidad del aceite en el almacenamiento y el transporte, aumentando la liberación de ácidos grasos y la oxidación del aceite, por ello la planta cuenta con un sistema de secado al vacío, obteniendo un aceite con humedades hasta del 0.11%.

1.2.10 Almacenamiento. Se dispone de cinco tanques de almacenamiento en donde se mantiene el aceite a una temperatura de 50°C hasta que es despachado. Se debe mantener caliente el aceite para evitar la presencia de microorganismos que degraden la calidad del mismo debido a que estos aumentan la oxidación del

aceite, además sirve para mantener homogéneas las dos fases del aceite (oleína y estearina).

1.3 GENERALIDADES DEL LICOR DE PRENSA DILUIDO (LPD)

El licor de prensas diluido, es el fluido resultante del tamizado del aceite crudo que se obtiene del prensado de los frutos en la etapa de extracción.

1.3.1 Composición. El licor de prensas está constituido por aceite, agua y sólidos, los rangos de composición son los siguientes: Agua 40-75 %vol/vol, agua 10-40 %vol/vol, sólidos 6-25 %vol/vol.

1.3.2 Mecánica y conducta. Desde el punto de vista de la mecánica de fluidos, el licor de prensas diluido es un fluido aceitoso disperso en un medio fluido (lodos). La velocidad de ascenso de las gotas de aceite esta descrita por la ley de Stokes de la siguiente forma:

$$v = \frac{g * (\rho_l - \rho_a) * d^2}{18 * \mu}$$

Donde:

v = velocidad de ascenso de la gota de aceite

g = fuerza de la gravedad

ρ_l = densidad del lodo

ρ_a = densidad del aceite

d = diámetro de la gota de aceite

μ = viscosidad del fluido

1.3.3 Viscosidad. Es la medida de la resistencia a fluir y es ocasionada por la fricción entre las capas del fluido. Los parámetros que se pueden manejar para disminuir la viscosidad son:

- a. . *Temperatura.* Debe mantenerse en un rango entre 90-95°C.
- b. *dilución.* Como el licor de prensas es altamente viscoso, se hace necesario adicionar agua de dilución para lograr una buena separación. Tradicionalmente la dilución usada en clarificación es de 1 ml aceite/1 ml agua.
- c. *Esfuerzo cortante.* Permite disminuir la viscosidad debido a la naturaleza no newtoniana del licor de prensa diluido.

1.4 GENERALIDADES DE VERTEDEROS

Se puede definir un vertedero como una pared que intercepta un fluido que se desplaza por un canal, causando una elevación del nivel del fluido aguas arriba, y que se emplea para controlar el nivel y medir el caudal.

Los vertederos se clasifican de acuerdo ha:

- a. La forma de la abertura por la que fluye el fluido, en: rectangulares, triangulares, trapezoidales, circulares o de cualquier forma geométrica regular.
- b. De acuerdo con la forma de la superficie que intercepta al canal por donde fluye el fluido, se clasificaran en vertederos de pared delgada y vertederos de pared gruesa.

1.4.1 Vertedero rectangular de pared delgada. Consiste básicamente de una lámina plana, rígida, colocada perpendicular a la dirección del flujo y al fondo de un canal, presentan un amplio rango de medición y cuyo valor máximo puede ser 20 veces superior al caudal mínimo, manteniendo en todo momento la precisión requerida, ver la figura 1.

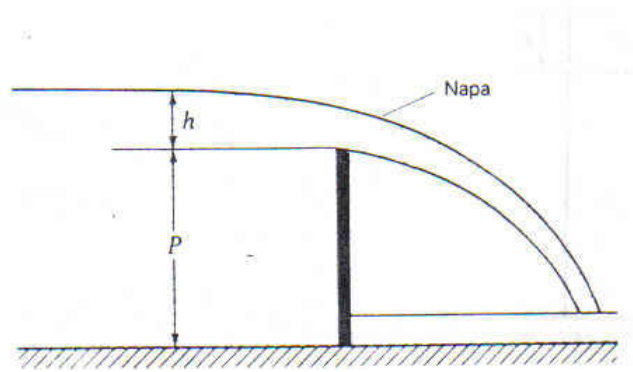


Figura 1. vertedero rectangular de pared delgada

La altura h del flujo aguas arriba del vertedero por encima del borde se conoce como altura, que es la medida fundamental para evaluar el caudal. La lámina de fluido que se mueve por encima del vertedero se denomina *napa*.

En la figura 2 se muestra un vertedero rectangular con contracciones laterales de la sección transversal de la napa; donde la longitud L_w corresponde a la superficie superior del vertedero sobre la cual el liquido fluye y que se conoce como *cresta* del vertedero, L_c es el ancho del canal por donde fluye el liquido, h es la altura que alcanza el fluido sobre el vertedero y la longitud P es la altura a la que se encuentra el vertedero tomando como referencia el fondo del canal.

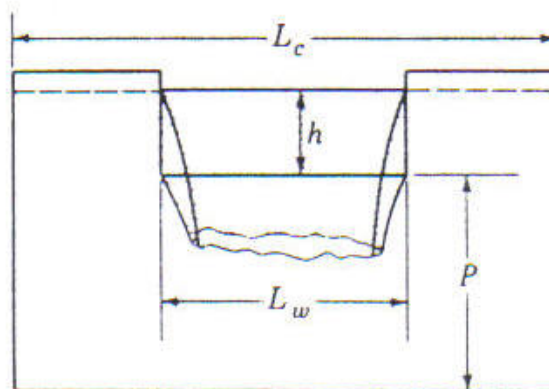


Figura 2. Vertedero rectangular con contracciones.

Para deducir la fórmula general que describe la descarga de un líquido sobre el vertedero, se considera que no hay contracción de la napa a medida que pasa sobre el vertedero y se supone, por simplicidad, que se tiene flujo paralelo en la napa, como se muestra en la figura 3.

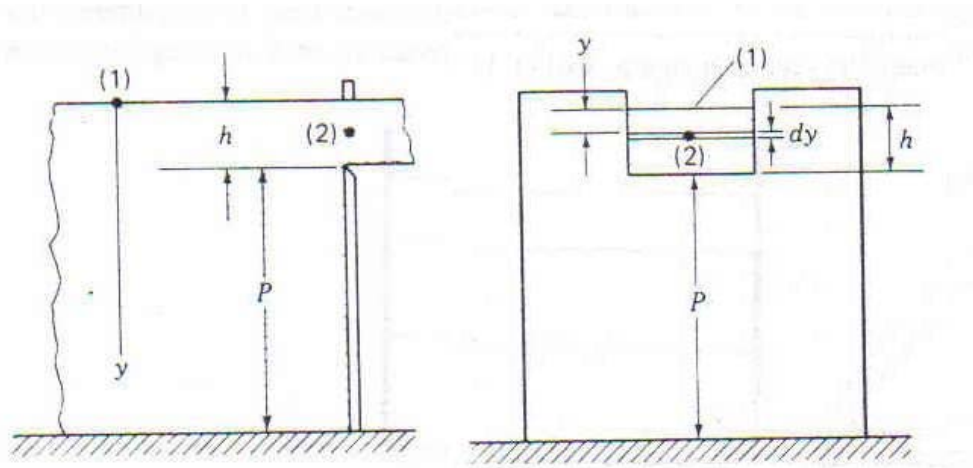


Figura 3. Napa de vertedero ideal.

Además, se omite la viscosidad y se aplica la ecuación de Bernoulli entre el punto 1 en la superficie libre aguas arriba del vertedero y cualquier punto en la napa sobre la cresta de éste. Luego, utilizando la cresta del vertedero como nivel de referencia para energía potencial, y midiendo y hacia abajo desde la superficie libre, se tiene (Ec.1):

$$\frac{V_1^2}{2} + gh = \frac{V_2^2}{2} + g(h - y) \quad (1)$$

Teniendo en cuenta la continuidad, se considera que V_1 , conocida como velocidad de aproximación, es mucho más pequeña que V_2 ; por consiguiente,

$V_1^2/2$ es muy pequeño comparado con $V_2^2/2$. Al despejar V_2 se obtiene (Ec.2):

$$V_2 = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

Para obtener el valor de Q (el caudal total) se integra sobre el área de la napa. Por consiguiente se tiene la ecuación general de descarga (Ec. 3):

$$Q = L \frac{2}{3} \sqrt{2gh^3} \quad (3)$$

Debido a la fricción, a la tensión superficial y a los efectos de contracción, el flujo real es menor que el teórico. Para tener esto en cuenta se introduce a través de experimentos el coeficiente de descarga C_d .

De acuerdo a los procedimientos establecidos por la publicación Fluids Meters, ASME, 1971, capítulo 8, que se basa en el trabajo desarrollado en el Georgia Institute of Technology, la ecuación que permite el caudal real es (Ec. 4):

$$Q_{\text{Real}} = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g(h')^3} \quad (4)$$

Donde:

$$C_d = f(L/L_c, h/P)$$

$$L' = L + b$$

$$h' = h + 0,900mm$$

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo se muestra la metodología utilizada para el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos en este trabajo. Los estudios y experimentos realizados se realizaron en la planta extractora 1 de Aceites manuelita S.A.

En la figura 4 se presentan de manera esquematizada las diferentes etapas en el desarrollo del proyecto.

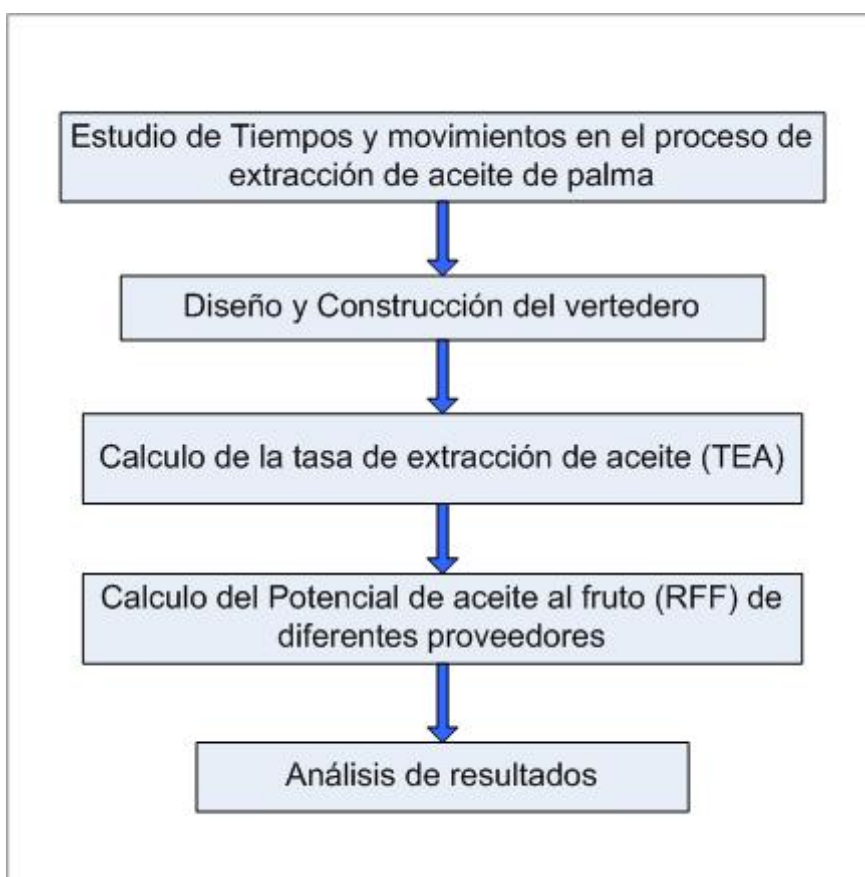


Figura 4. Etapas de desarrollo del proyecto.

2.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

El estudio de tiempos y movimientos busca determinar el tiempo de procesamiento de un viaje de fruto (aproximadamente 12 ton RFF), a partir del momento que el fruto es descargado en la tolva de la planta de beneficio hasta la recepción del licor de prensa en el tanque de aceite crudo; y de esta manera identificar en cuanto tiempo se obtiene aceite del fruto (RFF) procesado.

En el anexo B se presenta el diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de la planta de beneficio de Aceites Manuelita S.A y se resaltan las etapas del proceso de extracción de aceite de palma a las cuales se le realizará el estudio de tiempos y movimientos (recepción, esterilización, desfrutamiento, extracción).

2.1.1 Recepción. En esta etapa se mide el tiempo de descarga de 12 toneladas de fruto (peso promedio de un viaje de fruto de acuerdo a la capacidad de los camiones utilizados para el transporte de los RFF a la planta extractora), en vagonetas que tienen una capacidad de 2.5 toneladas aproximadamente, y además se mide el tiempo de transporte de las vagonetas cargadas hasta la etapa de esterilización.

2.1.2 Esterilización. Los tiempos medidos en esta etapa son:

- a. El tiempo de cargue de las vagonetas a los autoclaves.
- b. El tiempo que toma el ciclo de esterilización.

2.1.3 Desfrutado. En esta etapa los tiempos medidos son los siguientes:

- a. El tiempo de Transporte de las vagonetas esterilizadas hasta la zona de levantamiento de vagonetas.
- b. El tiempo transcurrido desde el momento que se levantan las vagonetas hasta que se descargan en el desfrutador.
- c. Tiempo transcurrido entre la descarga de los RFF en el desfrutador, hasta la entrada del fruto al elevador de cangilones.

2.1.4 Digestión. En esta etapa se miden los Tiempo de llenado y vaciado de los digestores.

2.1.5 Extracción. Se identifica la capacidad de prensado de las tres prensas de extracción de aceite de palma y además se mide el tiempo transcurrido a partir del prensado de los fruto hasta la entrada del licor de prensas al tanque de aceite crudo.

La estimación de todos estos tiempos se realiza en 10 repeticiones necesarias para cada etapa involucrada.

2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO

2.2.1 Descripción del Tanque de Aceite crudo. Para realizar el diseño y construcción del vertedero, es necesario conocer el dimensionamiento del tanque de aceite crudo donde se implementará este dispositivo de medición de flujo, en la figura 5 se presenta un esquema del tanque de aceite crudo. Este tanque recibe el licor de prensas diluido, luego de pasar por el tamizado.

2.2.2 Flujo máximo de licor de prensas. El parámetro de diseño del vertedero es el caudal máximo de licor de prensas diluido que se genera en el proceso de extracción de aceite de palma.

Para determinar el flujo de licor de prensa diluido, se calcula el volumen desplazado de aceite en la última sección del tanque antes de accionarse la bomba de aceite crudo No.1 y el tiempo transcurrido mientras ocurre esto. El volumen desplazado se calcula determinando el incremento en el nivel de aceite en la última sección y con las otras dos dimensiones fijas del tanque (ver figura 5).

El tiempo transcurrido calculado, es el promedio del tiempo obtenido después de 10 repeticiones. Se debe calcular el flujo de licor de prensa diluido que permite la bomba a la salida del tanque para garantizar que en condiciones de flujo máximo no

halla rebose. Para garantizar esto, el flujo a la salida del tanque de aceite crudo debe ser mayor o igual al flujo de entrada.

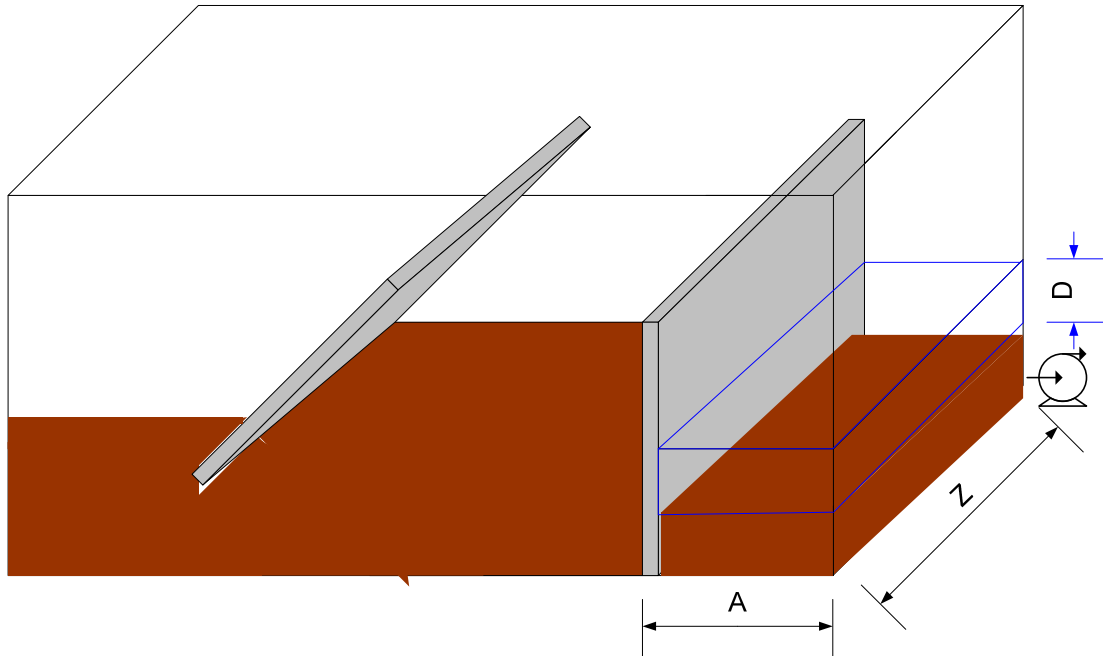


Figura 5. Esquema del tanque de aceite crudo.

2.2.3 Diseño del vertedero. Luego de identificar el dimensionamiento del tanque de aceite crudo y determinar el caudal máximo de licor de prensas que se genera en la planta extractora, se realiza el dimensionamiento del vertedero tomando como referencia la ecuación general de descarga para vertederos de pared delgada reportada en la literatura (Ec.3).

$$Q = L \frac{2}{3} \sqrt{2gh^3} \quad (3)$$

Donde:

Q : Caudal de descarga a través del vertedero (m^3/s)

L : Ancho o cresta del vertedero (m)

h : Altura que alcanza el fluido sobre el vertedero (m)

g : Gravedad (m/s^2)

A partir de esta ecuación se realiza un ensayo matemático en una hoja de cálculo; para determinar el ancho del vertedero (L), de tal manera que permita apreciar la

variación de la altura que alcanza el fluido sobre el vertedero a medida que haya una perturbación en el caudal del licor de prensas diluido.

La construcción del vertedero implica la construcción e implementación de una mirilla en el tanque de aceite crudo que permita medir la variación de la altura de la columna de licor de prensas diluido sobre el vertedero y de acuerdo a esto calcular el caudal de licor.

2.2.4 Calibración del Vertedero. Una vez instalado el vertedero en el tanque de aceite crudo, es necesario calibrarlo para realizar las respectivas correcciones a la ecuación de descarga del vertedero utilizada en el diseño, si es necesario. El fluido utilizado para la calibración es agua, debido a la facilidad de manejo y disposición en el proceso de extracción. Inicialmente se identifica las diferentes válvulas que proporcionan los flujos de agua necesarios para la calibración; además se determina el flujo máximo que suministra cada una de las válvulas. Al conocer estos flujos, se debe encontrar una relación entre ellos para obtener el flujo máximo o 1.2 veces el flujo de licor medido en planta. En el momento de la calibración se establecen una serie de 10 flujos entre 0 y el Flujo máximo, se permiten que se establezcan por un periodo de 5 minutos y se marca el nivel alcanzado en la mirilla del vertedero; luego se realiza el mismo procedimiento pero del flujo máximo a 0, para estas determinaciones se deben realizar mínimo 10 repeticiones en un día de mantenimiento en la planta extractora.

2.3 CALCULO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE (TEA)

Luego de la calibración del vertedero y haber determinado el tiempo que tarda en llegar el licor de prensas hasta el tanque de aceite crudo por medio del estudio de tiempos y movimientos, se realizan ensayos de cálculo de Tasa de extracción diaria en la planta de beneficio por medio de la medición del licor de prensas, se realizan 15 ensayos y se comparan los resultados con las tasas de extracción de aceites reportadas por el laboratorio de la planta extractora.

El ensayo consiste en la medición del flujo de licor de prensas diluido (LPD), y el muestreo del licor de prensas diluido medido durante un día de operación.

2.3.1 Metodología específica de muestreo del flujo de licor de prensas diluido (LPD). En el diagrama de bloques que se presenta en la figura 6, se describe la metodología utilizada para realizar el muestreo del licor de prensas diluido en el desarrollo de los ensayos de determinación de la tasa de extracción de aceite.

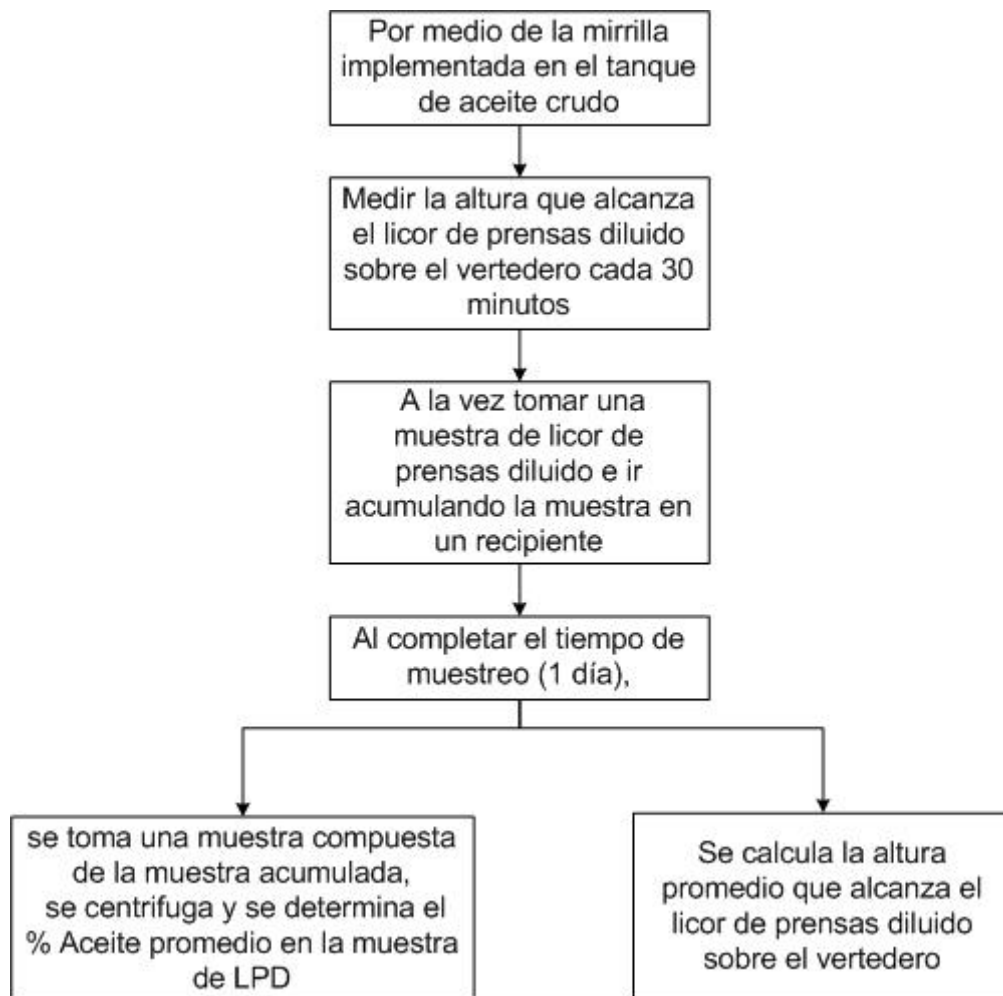


Figura 6. Metodología específica de muestreo del flujo de LPD en ensayos de determinación de la TEA.

2.3.2 Cálculo del volumen de Licor de prensa diluido (LPD). Inicialmente se calcula por medio de la ecuación real de descarga del vertedero obtenida en la calibración, el caudal de licor de prensas diluido (LPD) correspondiente a cada una de las alturas medidas en el muestreo. Luego se plantea la integral de la función Caudal con respecto al tiempo; es necesario utilizar un método de integración numérica para la solución de la integral debido a que los valores obtenidos en el muestreo del LPD son un conjunto de puntos discretos. El método seleccionado es la Regla de Simpson 1/3, ya que proporciona una aproximación más exacta en la estimación de la integral. Con la solución de la integral obtenemos el volumen de LPD, porque precisamente la integral de la función caudal es la función volumen. El análisis estadístico de los datos obtenidos se realiza utilizando el software STATISTICS 8.0.

2.3.3 Procedimiento de cálculo de la TEA en la planta de beneficio. El procedimiento utilizado para el cálculo de la TEA es el siguiente:

- a. Se calcula el volumen de LPD medido, por medio de integración numérica (Simpson 1/3) del caudal en función del tiempo.
- b. Se determina el volumen de aceite, multiplicando el porcentaje de aceite (%Ac) obtenido de la muestra de LPD, por el volumen de LPD.
- c. Se estima el peso de aceite obtenido, multiplicando el volumen de aceite, por la densidad del aceite.
- d. Al dividir el peso de aceite obtenido entre el fruto (RFF) total procesado en el tiempo total de muestreo, se obtiene la TEA lograda en la planta extractora.

De acuerdo al procedimiento anterior la TEA se determina por medio de la siguiente expresión:

$$TEA = \frac{V_{aceite} * \rho_{aceite}}{W_{RFF}} \quad (5)$$

Donde:

W_{RFF} = Fruto total procesado en (Ton)

ρ_{aceite} = densidad del aceite de palma en $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$

V_{aceite} = Volumen de aceite de palma en (m^3)

El volumen de aceite se determina por medio de la siguiente expresión:

$$V_{aceite} = V_{LPD} * \% AC_{LPD}$$

Donde:

V_{LPD} = Volumen de licor de prensas diluido en (m^3)

$\% AC_{LPD}$ = Porcentaje de aceite promedio en el licor de prensas diluido

2.4 CALCULO DEL POTENCIAL DE ACEITE AL FRUTO DE DIFERENTES PROVEEDORES.

Luego de comprobar estadísticamente que la TEA calculada por medio de la metodología de medición del licor de prensas refleja la TEA real en la planta extractora, se realizan los ensayos de determinación de potenciales de aceite al fruto de diferentes proveedores. Para estos ensayos se selecciono el fruto (RFF) de las 3 plantaciones proveedoras de fruto con más participación en el fruto total procesado en la planta extractora, que son los que tienen más incidencia sobre la TEA lograda. Se realizan 20 ensayos por cada proveedor.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realiza utilizando el software STATISTICS 8.0.

2.4.1 Metodología específica de muestreo del flujo de licor de prensas diluido (LPD). La metodología utilizada para realizar el muestreo del licor de prensas diluido en el desarrollo de los análisis de determinación de potenciales de aceite, se describe mediante el diagrama de bloques que se presenta en la figura 7.

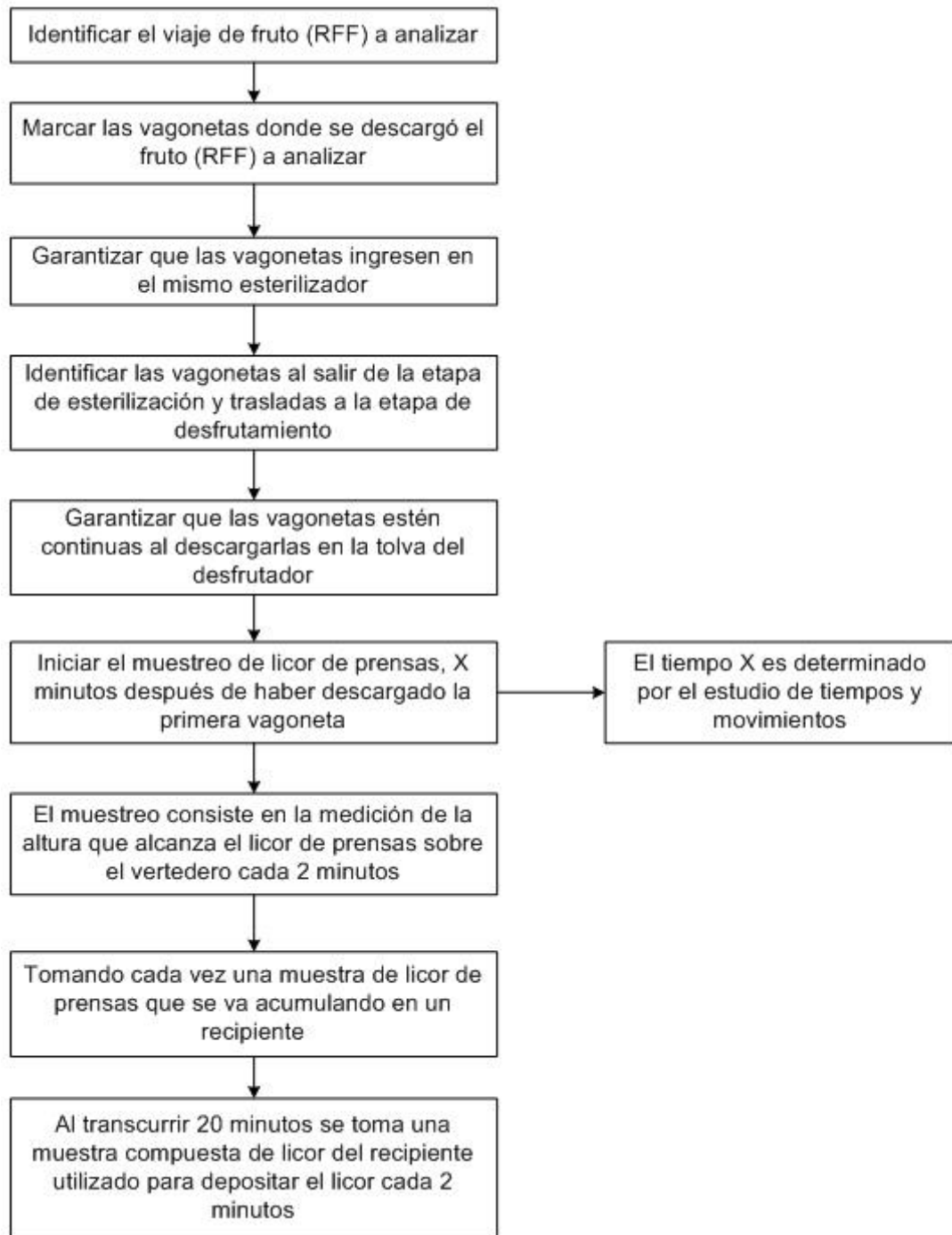


Figura 7. Metodología específica de muestreo del flujo de LPD en ensayos de determinación de potenciales de aceite.

2.4.2 Procedimiento de cálculo del potencial de aceite. El procedimiento utilizado para el cálculo del potencial de aceite del fruto (RFF) de un proveedor es el siguiente:

- a. Se calcula el volumen de LPD medido, por medio de la integración numérica de la función caudal en función del tiempo.
- b. Se determina el volumen de aceite contenido en el volumen de LPD, multiplicando el porcentaje de aceite (%Ac) obtenido de la muestra de LPD, por el volumen de LPD.
- c. Se estima el peso de aceite obtenido, multiplicando el volumen de aceite, por la densidad del aceite.
- d. Al dividir el peso de aceite obtenido entre el fruto (RFF) total procesado en el tiempo total de muestreo, se obtiene la TEA para el fruto del proveedor analizado.
- e. El potencial de aceite del fruto (RFF) del proveedor analizado se obtiene al sumarle a la TEA determinada, las pérdidas de aceite calculadas en la etapa de extracción.

De acuerdo al procedimiento anterior el potencial de aceite se determina por medio de la siguiente expresión:

$$Potencial = TEA + Perdidas \quad (7)$$

Donde:

TEA= se calcula por medio de la ecuación 5.

Perdidas = Pérdidas de aceite en la etapa de extracción en (% Ac)

2.4.3 Comparación de los resultados obtenidos por medio de las diferentes metodologías de determinación de potenciales de aceite.

Cada uno de los viajes de frutas (RFF) seleccionados, deben ser analizados por la metodología propuesta de medición del licor de prensas y por medio de la metodología de muestreo y análisis de racimos (ver anexo A), para de esta forma someter los resultados obtenidos a comparación.

La metodología de muestreo y análisis de racimos fue desarrollada por cenipalma, a partir de la cual es posible cuantificar el contenido de aceite en los racimos. En el anexo C se describe esta metodología.

3. RESULTADOS

3.1 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los tiempos promedios medidos en las diferentes etapas del proceso de extracción de aceite de palma en la planta extractora 1 de Aceites Manuelita S.A.

3.1.1 Recepción. Se determinó que el tiempo empleado en cargar 5 vagonetas de RFF y trasladarlas hasta la etapa de esterilización es de aproximadamente 25 minutos.

3.1.2 Esterilización. El tiempo empleado en cargar-descargar 5 vagonetas al esterilizador es de 20 minutos. Se determinó que el tiempo consumido en la esterilización de 5 vagonetas de RFF son 90 minutos; de acuerdo a esto en la etapa de esterilización se utilizan 110 minutos aproximadamente.

3.1.3 Desfrutado. El tiempo de transporte de 5 vagonetas hasta la zona de levantamiento de vagonetas es de 3 minutos. El tiempo empleado en levantar una vagoneta de RFF por medio de la grúa monorriel y descargarla en el desfrutador es de 3.95 minutos, de manera que descargar 5 vagonetas en el desfrutador toma 19.75 minutos.

El tiempo transcurrido una vez descargado los RFF en la tolva del desfrutador hasta la salida de los frutos sueltos del elevador de cangilones es de 50 segundos.

3.1.4 Digestión. Los tiempos medidos del llenado y vaciado de los digestores son:

- El llenado del digestor 1 toma 2.416 minutos. El vaciado de este digestor toma 18.31 minutos.
- El llenado del digestor 2 toma 9.03 minutos. El vaciado toma 24.66 minutos en promedio.
- El llenado del digestor 3 toma 13.09 minutos. El vaciado 19.32 minutos en promedio.

3.1.5 Extracción. El tiempo inicial que transcurre a partir del momento que los frutos empiezan a ser prensados hasta la entrada del licor de prensas al tanque de aceite crudo es de 2 minutos aproximadamente. Se identificó la capacidad de prensado de cada una de las 3 prensas de extracción. Las prensas 1 y 3 tienen una capacidad de prensado de 10 toneladas de fruto por hora y la prensa 3 de 18 toneladas de fruto por hora; de tal manera que en condiciones óptimas de operación la planta extractora tiene una capacidad de prensado de 38 toneladas de fruto por hora. De acuerdo a esto para procesar 5 vagonetas de fruto (12 toneladas de fruto aproximadamente) se emplean 18 minutos aproximadamente. En la tabla 1 se presentan consolidados los tiempos medidos en el estudio de tiempos y movimientos realizado.

De acuerdo al estudio de tiempos y movimientos realizado se determinó, que a partir del momento que es descargada en la tolva del desfrutador la primera vagoneta se obtiene aceite del fruto analizado en el tanque de aceite crudo en aproximadamente 32 minutos; Además, se determinó que el tiempo de procesamiento de un viaje promedio de 12 toneladas de RFF hasta llegar al tanque receptor de aceite crudo, es de aproximadamente 3.39 horas.

Tabla 1. Estudio de tiempos y movimientos en el proceso de extracción de aceite de palma.

Etapa del proceso	Tiempo Medio (min.)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
Recepción	25,03	0,44	1,75
Esterilización	109,85	1,04	0,94
Desfrutado	23,58	0,25	1,05
Digestión	24,66	0,20	0,81
Extracción	20,15	0,10	0,51

Fuente: Autor.

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO

3.2.1 Descripción del Tanque de Aceite crudo. En la figura 8 se muestra el tanque de aceite crudo; este se encuentra dividido en su interior en 2 secciones por medio de una lámina de acero inoxidable que se encuentra perpendicular al fondo del tanque (Ver figura 9), en la primera sección del tanque esta instalada otra lámina de acero inoxidable inclinada con respecto a las paredes del tanque. Además tiene en su interior un intercambiador de calor, que permiten mantener el licor de prensas diluido a una temperatura entre 90-95 °C.



Figura 8. Tanque de Aceite crudo.

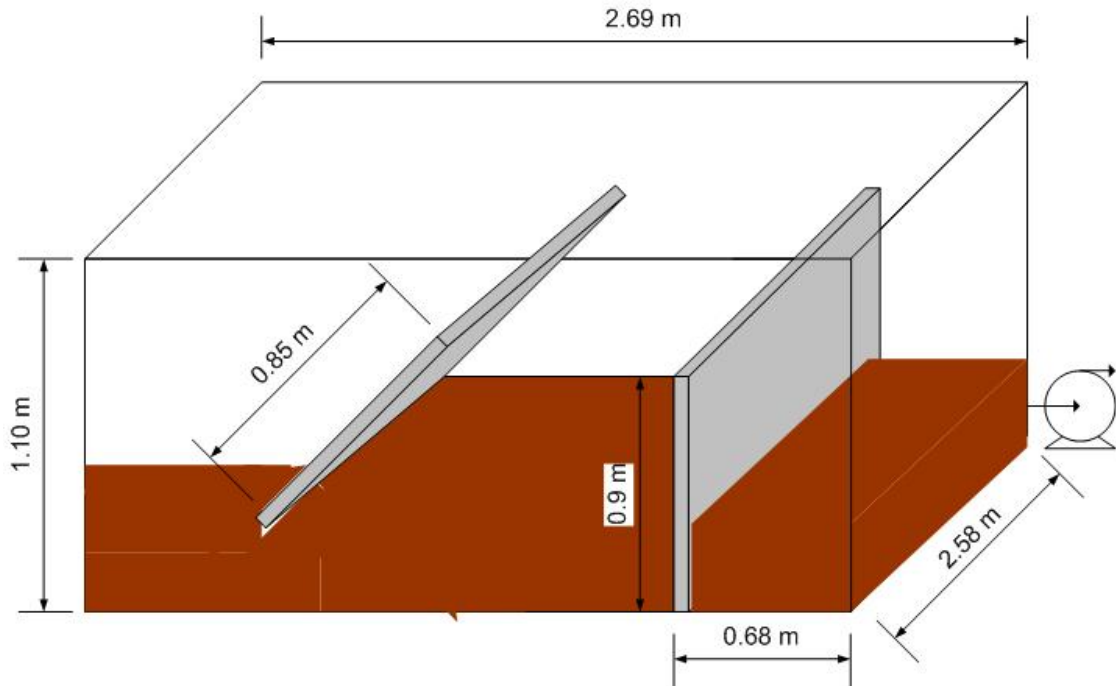


Figura 9. Dimensiones del tanque de aceite crudo.

3.2.2 Flujo máximo de licor de prensas. Los ensayos realizados para el cálculo del flujo máximo de licor de prensas diluido (3 prensas operando), arrojaron como resultado un flujo de $0.0058 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio.

3.2.3 Diseño del vertedero. En la figura 10, se muestran las dimensiones de diseño del vertedero. Se estipularon estas dimensiones de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos matemáticos realizados, donde se observó que un ancho de la ranura (cresta) del vertedero de 0.025 m, permite observar una variación en la altura del fluido sobre el vertedero de un centímetro (1cm) por cada metro cúbico por hora (m^3/h) de caudal que es descargado a través del vertedero.

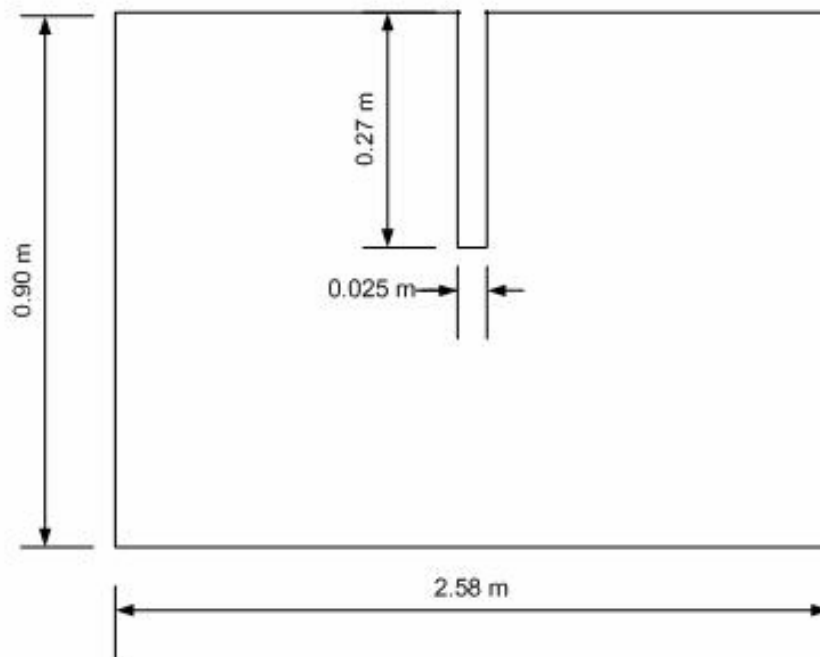


Figura 10. Dimensiones del vertedero.

Este dispositivo de medición de flujo se implementó en la lámina de acero inoxidable que divide el interior del tanque de aceite crudo en dos, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Vertedero en el tanque de aceite crudo.

Para realizar la medición de la altura que alcanza la columna de fluido sobre el vertedero, por medio de la observación, se diseñó e implementó una mirilla (ver figura 12) en el tanque de aceite crudo. El dimensionamiento de la mirilla se muestra en el anexo B.

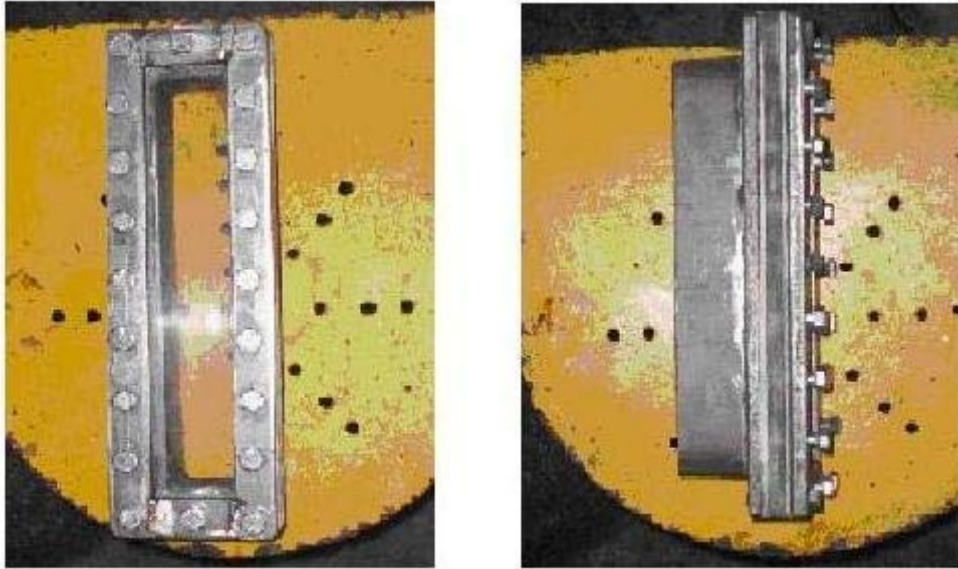


Figura 12. Mirilla implementada en el tanque de aceite crudo.

3.2.4 Calibración del vertedero. Por medio de los datos obtenidos en la calibración del vertedero, se generó la curva que se presenta en la figura 13, a partir de la cual se determinó la ecuación real de descarga del vertedero (Ec.5):

$$Q = 0,2785h^{1,3201} \quad (5).$$

Donde:

h = Es la altura que alcanza el fluido sobre el vertedero en cm.

Q = Representa el caudal de fluido que pasa por el vertedero en m^3/h .

Con un coeficiente de correlación $R^2=0,9931$, que confirma que existe una relación potencial entre la altura que alcanza el licor sobre el vertedero y el caudal que pasa a través de el.



Figura 13. Curva de calibración del vertedero.

3.3 CALCULO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

En la figura 14 se muestran la curva de tendencia de la TEA determinada a partir de la metodología de medición del licor de prensas y la TEA real reportada por el laboratorio de la planta de beneficio correspondiente a los días en que se realizaron los ensayos. En el anexo E, se muestran los resultados de los ensayos de determinación de la tasa de extracción de aceite.

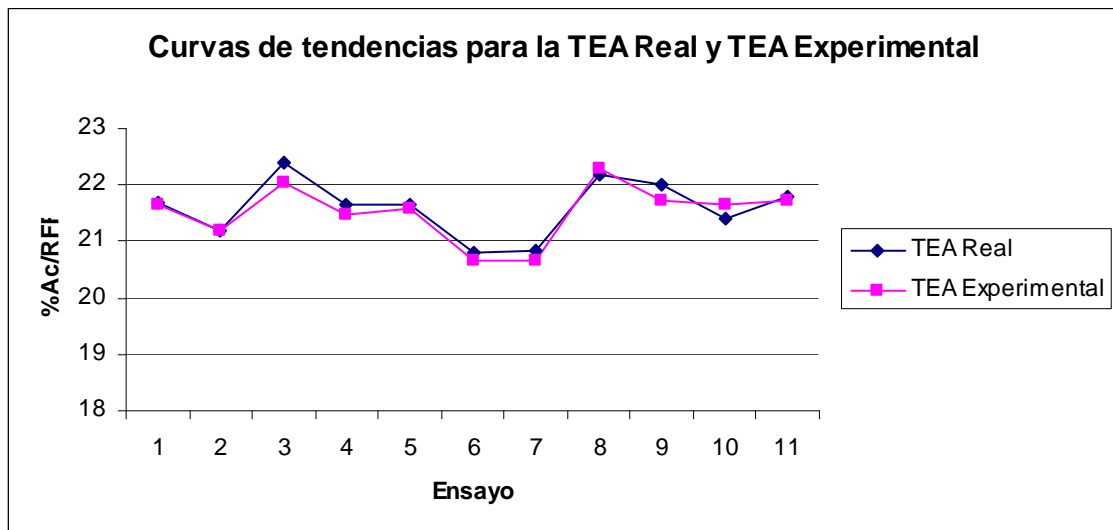


Figura 14. Curvas de tendencias para la TEA real y TEA experimental.

Se observa que el comportamiento en el tiempo de las dos variables es muy similar. Los valores obtenidos experimentalmente de la TEA y los valores reales de la TEA proporcionadas por el laboratorio de la planta extractora, se sometieron a una comparación estadística por medio de una prueba t de student para muestras pareadas, que determinó que no existen diferencias significativas entre los valores comparados; de acuerdo a esto, se considera que la metodología de medición de licor de prensas es una herramienta valida para la determinación de la tasa de extracción de aceite en la planta de beneficio. A continuación se muestra en la figura 15, los resultados del test de student realizado por medio del software STATISTIC 8.0.

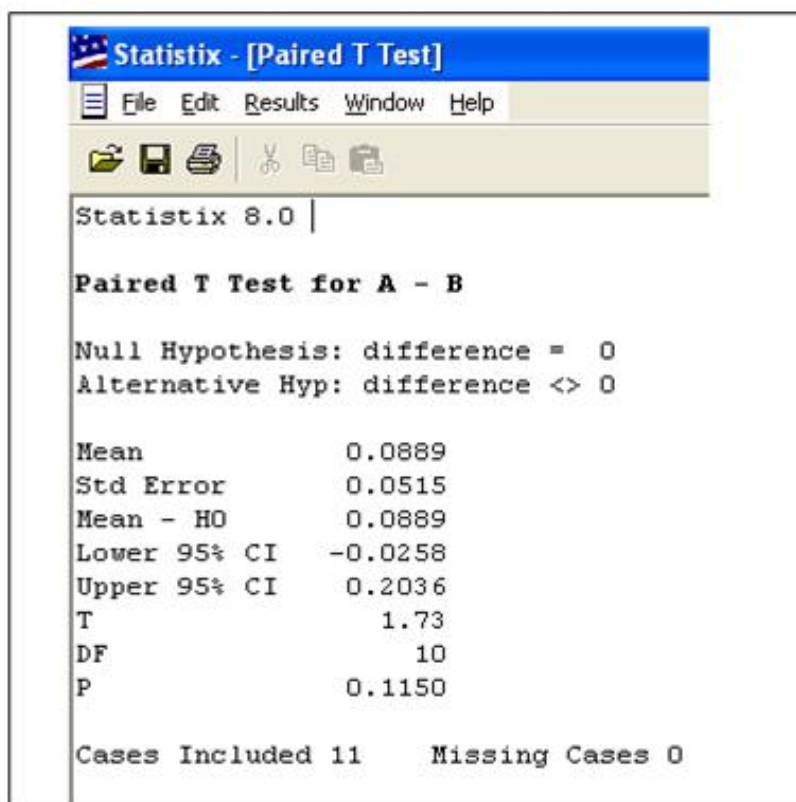


Figura 15. Prueba t de student

3.4 CALCULO DEL POTENCIAL DE ACEITE AL FRUTO DE DIFERENTES PROVEEDORES.

En el desarrollo de los ensayos de determinación de potenciales de aceite el muestreo del licor de prensas diluido (LPD), inicia 40 minutos después que es descargada en la tolva del desfrutador la primera vagoneta que contiene el fruto a analizar; teniendo en cuenta que a los 32 minutos de los 40 mencionados, es que se empieza a recibir LPD del fruto analizado en el tanque de aceite crudo y 8 minutos después este, pasa a través del vertedero instalado en la ultima sección del tanque.

Algunas de las características agronómicas correspondientes a las palmas de aceite de las plantaciones seleccionadas son:

- La plantación A tiene 2 variedades de palma de aceite, de material genético Unilever, perteneciente al tipo Ténera; sembradas entre 1986-1988, y palmas de material genético Irho, perteneciente al tipo Ténera, sembradas en el 2002.
- Las palmas de aceite de la plantación B son de material genético Irho, perteneciente al tipo Ténera, sembrada 1992.
- La plantación C tiene 2 variedades de palma de aceite, de material genético Smith, perteneciente al tipo Dura, sembrada en 1987, y palmas de material genético Irho, perteneciente al tipo Ténera, sembradas entre el 2001-2002.

En la tabla 2 se presentan las variables que se obtiene de un ensayo de determinación del potencial de aceite; el volumen de licor de prensas diluido que se obtiene del fruto (RFF) muestreado, el volumen de aceite, la cantidad de aceite que se obtiene; relacionando la cantidad de aceite calculada con la cantidad de fruto RFF procesado se obtiene la TEA lograda; y al final se obtiene el potencial de aceite del fruto (RFF) procesado, al sumarle a la TEA las perdidas de aceite medidas en la etapa de extracción de aceite y determinadas en el laboratorio de la planta de beneficio. La cantidad de fruto analizado en este ensayo fue de 10,16 toneladas de RFF de la plantación A; la cantidad de aceite de palma que se obtuvo al ser

procesado este fruto fue de 2,30 toneladas, lo cual indica una tasa extracción de aceite de 22,68 %Ac/RFF.

Tabla 2. Resultados de un ensayo de determinación del potencial de aceite del fruto de un proveedor en particular.

Proveedor	Vol. LPD (m ³)	Vol. Aceite (m ³)	W Aceite (Ton)	W RFF (Ton)	TEA (%Ac/RFF)	Perdidas (%Ac/RFF)	Potencial (%Ac/RFF)
A	5,44	2,66	2,30	10,16	22,68	1,00	23,68

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta que el potencial de aceite (%AC/RFF), corresponde a la cantidad total de aceite que se puede obtener del fruto (RFF), en el ensayo realizado, el potencial de aceite del fruto analizado se obtiene al sumarle a la tasa de extracción de aceite calculada, las pérdidas de aceite en fibras, nueces, raquis y en condensados de esterilización, calculadas en el laboratorio de la planta de beneficio. En el anexo F, se muestran los resultados de los ensayos de cálculo del potencial de aceite realizados.

Los resultados de cada uno de los ensayos de determinación de potenciales de aceite realizados por medio de la metodología de medición de licor de prensa se compararon con los obtenidos por medio de la metodología de análisis de racimos. Estos resultados se sometieron a un contraste paramétrico de hipótesis, específicamente a un test de student por comparación de pares; donde se determinó que no hay diferencias estadísticas significativas entre los resultados obtenidos por ambas metodologías, en ningún caso de las plantaciones analizadas.

En la tabla 3 se presenta el potencial de aceite (%AC/RFF) promedio del fruto de las diferentes plantaciones analizadas por medio de la metodología de medición del licor de prensa.

Tabla 3. Potencial de aceite promedio de RFF de las plantaciones analizadas.

Plantación	# Análisis	Potencial (%Ac/RFF)	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
A	20	22,24	1,64	7,36
B	20	20,87	1,02	4,88
C	20	21,21	1,20	5,67

Fuente: Autor.

Se observa que el fruto de la plantación A presenta en promedio el mayor potencial de aceite (%Ac/RFF), los RFF procesados de esta plantación son de tipo Ténera, de material genético Irho y Unilever.

En la tabla 4 se presenta una comparación en diferentes aspectos entre la metodología de determinación de potenciales de aceite por medio de la medición del licor de prensas (Vertedero) y la metodología de análisis de racimos, en un día de operación en la planta de beneficio.

Tabla 4. Comparación entre las dos metodologías de determinación de potenciales de aceite.

Descripción	Vertedero	Análisis de racimos
Tamaño de muestra/por ensayo	Viaje de fruta completo	30 RFF maduros/por viaje de fruta
Costo de realización/por ensayo	\$ 30000	\$45000
Rendimiento diario/por operario	3 ensayos	2 ensayo

Fuente: Autor.

Se observa que en la metodología del vertedero, en cada ensayo se analiza el 100% de la muestra procesada, el número de análisis realizados por un operario en una jornada de trabajo es mayor y además es más económico.

4. CONCLUSIONES

- El análisis estadístico mediante una prueba t de student por comparación de pares, evidenció que la metodología de medición del licor de prensas diluido en el tanque de aceite crudo es una herramienta válida para la evaluación de la tasa de extracción de aceite y la determinación de potenciales de aceite en la planta de beneficio.
- La determinación de potenciales de aceite por medio de la medición del licor de prensas diluido, permite cuantificar de una forma directa la cantidad de aceite extraído de una muestra de racimos de fruta fresca.
- La metodología de medición del licor de prensas diluido permite evaluar el 100% de la muestra analizada por lo tanto hay menos incertidumbre en los resultados de los potenciales de aceite determinados por medio de esta metodología con respecto a los obtenidos por medio de la metodología de análisis de racimos.
- La metodología de medición del licor de prensas diluido en un periodo de tiempo determinado permite analizar una mayor cantidad de muestras de racimos y a un menor costo.

5. RECOMENDACIONES

- Es necesario para el desarrollo de los ensayos de determinación de potenciales de aceite, organizar el recibo de la fruta en la tolva de recepción de RFF; de tal manera que se establezca una sección de la tolva exclusivamente para recibir el material a analizar.
- Realizar análisis de determinación de potenciales de aceite al fruto de todos los proveedores, de acuerdo a la participación de estos en el fruto total procesado durante un mes de operación en la planta extractora y utilizar la información obtenida para identificar por medio de un análisis estadístico las plantaciones que afectan la TEA positiva y negativamente en la planta de beneficio.
- Se puede automatizar la medición del licor de prensas por medio de un medidor de flujo de ultrasonido para hacer mas precisa la medición.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERNAL, F. El cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Fedepalma. Bogotá. 2001.
2. GARCÍA, J y YAÑEZ E. Aplicación de la metodología alterna para análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. PALMAS vol. 21 No. especial, tomo 1, 2000.
3. SANTOS, G. Resultados prácticos de la aplicación de la metodología alterna de análisis de racimos en la zona central. Ceniavances 86. Cenipalma. Agosto 2001.
4. ASME. Fluid Meters, Their theory and application. Sixth Edition. Chapter I-8. New York. 1971.
5. DÍAZ, O. Estudio del nivel de dilución apropiado del licor de prensas en el proceso de extracción de aceite de palma, apoyado en el diseño y evaluación de un sistema de control automático. Tesis de grado. Universidad industrial de Santander. 2005.
6. HAMBLIN, F. Extracción de aceite de palma y nuevos criterios de procesamiento. Revista PALMAS. Vol. 12. 1991.
7. SHAMES, I. Mecánica de fluidos. Mc Graw Hill, 3ª edición, 1995.
8. WAMBECK, Noel. Sinopsis del Proceso de la Palma de Aceite. Edición en español. Fedepalma., SAC., SENA. Agosto de 2005.

9. CENIPALMA. Manual de laboratorio para Plantas de beneficio primario de fruto de palma de aceite. 2002.
10. PERRY, R y CHILTON, C. Manual del ingeniero Químico. Mc Graw Hill. 5ª ed. Bogotá. 1982.
11. OSPINO, A. Estudio de métodos y tiempos desarrollados en las palmeras de puerto wilches S.A. Tesis de grado. Universidad pontificia bolivariana. 2000.
12. WONNACOTT, T y WONNACOTT, R. Introducción a la estadística. Limusa. México. 1997.

ANEXOS

Anexo A. Generalidades del fruto de la palma africana de aceite.

La palma de aceite es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie. Con un contenido del 50% en el fruto, puede rendir de 3.000 a 5.000 Kg. de aceite de pulpa por hectárea, más 600 a 1.000 kg de aceite de palmiste.

➤ ***Fruto de palma de aceite: variedades y composición.***

La palma africana es una planta *monocotiledónea* (un solo cotiledón por semilla), perteneciente al orden de las *palmales* y a la familia *palmaceae*. Es calificada como perenne por que su periodo de vida es largo; para cultivos comerciales se estima que el promedio de vida por palma es de 24 a 28 años según el material plantado. La producción de racimos en las palmas se da luego de 24 meses de ser sembrada en campo y permanece durante toda su etapa productiva.

El racimo está compuesto básicamente por el raquis (tusa), las espigas y los frutos. Las espigas son el soporte de los frutos y rodean el raquis en forma helicoidal. Los frutos son de forma ovoide y alcanzan en su madurez un peso aproximado de 5 a 12 gramos. Como se puede apreciar en la figura 1, el fruto está compuesto por una piel lisa y brillante (exocarpio), un tejido carnoso donde se encuentra el aceite atrapado en las células fibrosas (mesocarpio), una nuez o semilla compuesta de una corteza o cuesco (endocarpio) y una almendra aceitosa (endospermo) de donde se extrae el aceite de palmiste.

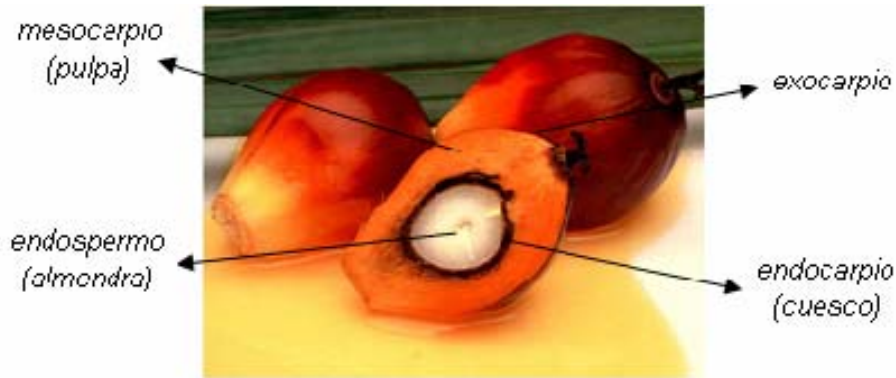


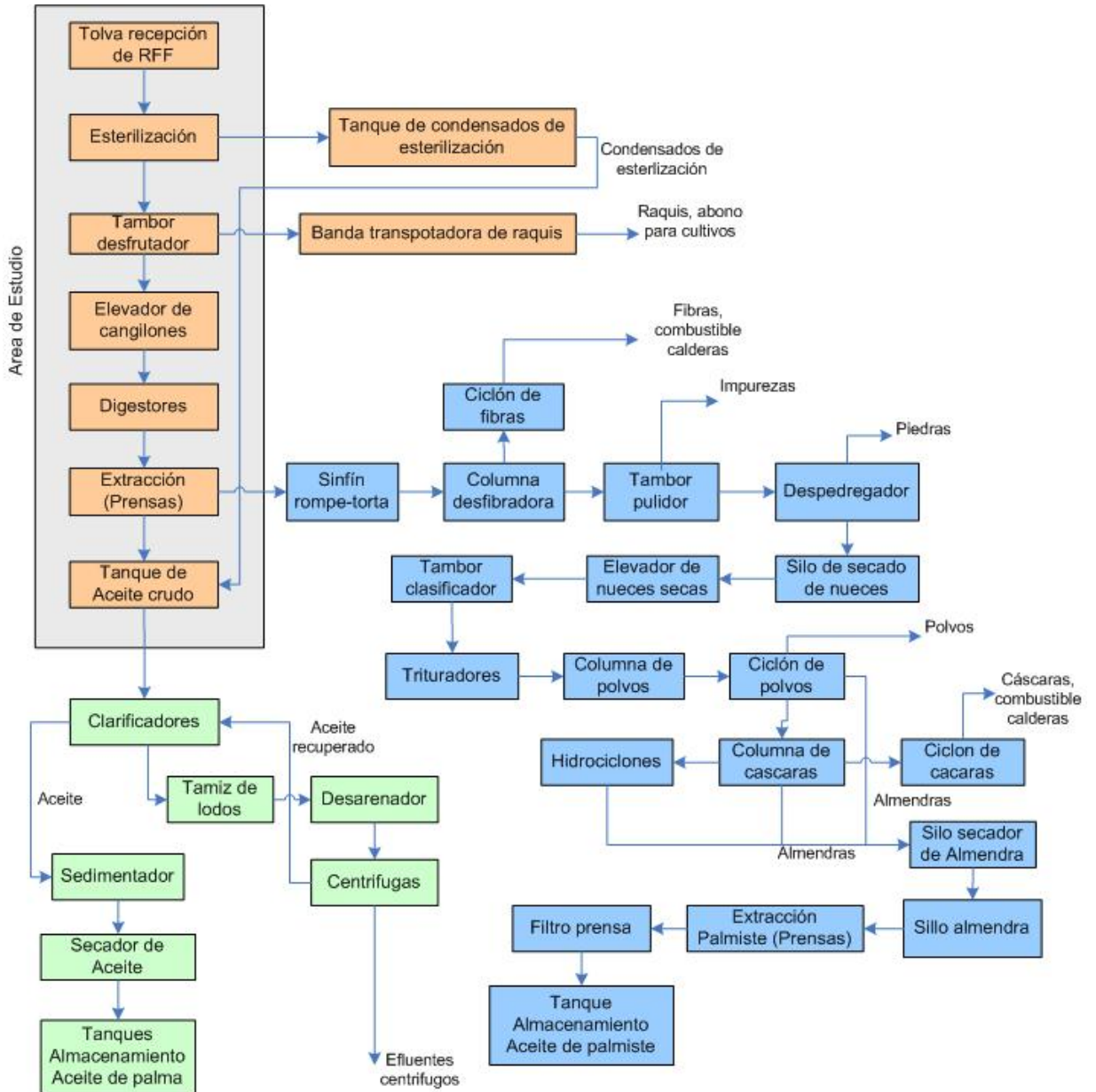
Figura A1. Composición de los racimos y los frutos de palma africana

➤ **Clasificación de variedades de palma africana.**

Los tipos de palma africana se establecen de acuerdo a sus características físicas más relevantes como son el color del fruto, el grosor del cuesco y por ende con el contenido de aceite del fruto. Según el grosor del cuesco se clasifica en Pisífera (PxP), Dura (DxD) y Ténera (DxP).

En el tipo pisífera los frutos se caracterizan por que el cuesco es un cartílago blando muy delgado y las palmas tienen altas producciones de flores femeninas que en su mayoría no logran culminar con la formación de frutos; por ello esta variedad no es apetecida comercialmente. En el tipo Dura, los frutos presentan cuescos muy gruesos (2 a 8 mm de espesor en promedio) y por lo tanto los contenidos de mesocarpio son bajos. La palma tipo Ténera es un híbrido de la Dura y la Pisífera, por lo tanto el cuesco es mucho más delgado que la Dura y presenta porcentajes de pulpa considerables. Este tipo de palma es la más sembrada en el mundo actualmente. Los materiales Irho, unilever, Papúa son pertenecientes al tipo Ténera y están presentes en gran parte de las plantaciones en el país.

Anexo B. Diagrama del proceso de Extracción de Aceite en la planta de beneficio.



Anexo C. Metodología alterna de muestreo y análisis de racimos de palma de aceite (Ceniavances 76)

Esta metodología surgió como una herramienta para identificar la composición y variación de los principales componentes del racimo, de tal manera que puedan ser asociados con diversos factores que determinan la calidad del racimo (expresado como cantidad y calidad de aceite), la producción de racimos en campo y la TEA en planta.

La metodología para el análisis de racimos fue propuesta inicialmente por Blaak *et al.* 1963, y posteriormente modificada por varios trabajos como los de Lim and Toh. 1985 y Rao *et al.* En 1983, en los cuales se realizaron algunas modificaciones para aumentar el nivel de precisión de los análisis, debido a la tendencia a presentar resultados erróneos por falta de representatividad en los muestreos y pérdidas de humedad. Estos aspectos favorecían la amplia diferencia presentada entre el potencial de aceite estimado por la metodología y la tasa de extracción obtenida en planta. Al revisar metodologías convencionales se encontró que las etapas que más influyen en el tiempo de análisis son el secado del mesocarpio y el proceso de extracción de aceite soxhlet. Estos procesos fueron estudiados con el propósito de buscar alternativas que permitan estimar en forma representativa los resultados sin perder precisión en los mismos.

➤ Secado del Mesocarpio

En forma convencional, el secado del mesocarpio se realizaba en hornos de resistencia eléctrica con temperaturas controladas de 105-115°C. Dependiendo del tipo de horno, el diseño interno del mismo, la cantidad y conformación de la muestra, el tiempo de secado empleado en los laboratorios era entre 18 y hasta 36 horas. El excesivo tiempo de secado radica en el sistema de calentamiento empleado en estos hornos, los cuales se basan en la transferencia de calor por convección y una parte por radiación, además de la gran cantidad de muestra empleada (100-150g). Estos aspectos no permitían una eficiente y rápida transferencia de la energía necesaria para eliminar el agua dentro del mesocarpio incrementando así el tiempo

de análisis. Debido a esto surgió la necesidad de buscar otra herramienta (Horno microondas) para el secado del mesocarpio.

➤ **Calentamiento por Microondas**

Para facilitar el proceso de secado se planteó la utilización de un horno microondas domestico, el cual permite elevar la temperatura de la muestra rápidamente por medio de la incidencia directa de las microondas sobre las moléculas de agua. Existen varios tipos de respuesta de los materiales a la incidencia de las microondas. En el caso del agua, por ser molécula polar la rotación dipolo-dipolo ocasiona fricción molecular entre los átomos de hidrogeno, generando de esta forma el calentamiento de la misma. Basados en estos conceptos, se evaluó una técnica con un horno microondas domestico, con las siguientes características técnicas: marca Goldstar, una fuente de energía de 120 V, 60 Hz, con una potencia entregada de 800 W y frecuencia de 2450 Hz. En dichos ensayos se evaluaron varios niveles de energía aplicada y tiempos de exposición, para los cuales se emplearon muestras de mesocarpio de frutos externos e internos.

Luego de establecer los parámetros de secado en el horno microondas. Se realizó una comparación estadística que permitiera corroborar que los resultados obtenidos por el horno microondas eran similares al horno convencional; y se determinó que no existen diferencias estadísticas.

Estos resultados soportan la validación del uso del horno microondas para el secado de mesocarpio de fruto.

➤ **Análisis del Contenido de Aceite en Mesocarpio**

Con el propósito de buscar alternativas para estimar el contenido de aceite en mesocarpio, se estudiaron los componentes principales del mismo (agua, aceite, y sólidos secos no aceitosos o ssna), determinando como se encuentran relacionados. Al relacionar los componentes principales del mesocarpio se aprecia el comportamiento uniforme de los SSNA y por tanto la estrecha relación entre el agua y el aceite del mismo. Estos conceptos permitieron plantear un modelo matemático

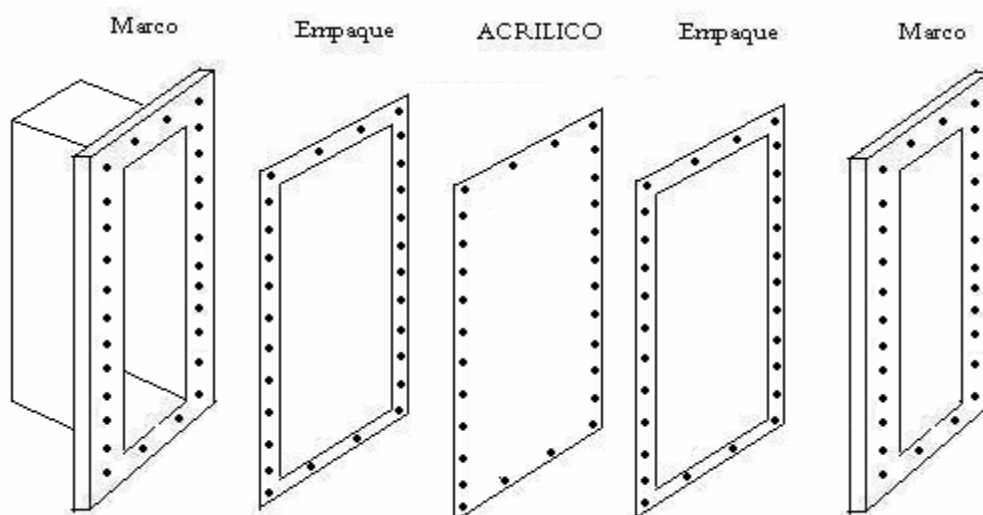
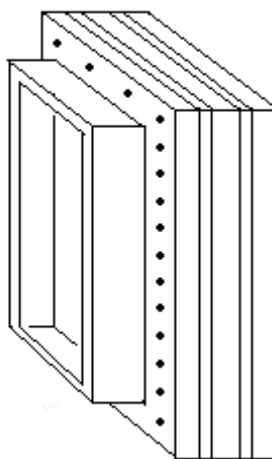
lineal entre el aceite y el agua del mesocarpio, basados en su relación proporcional inversa. Dicho modelo ha sido evaluado y validado en varias plantaciones del país, sin que se presenten variaciones considerables en la precisión de los resultados.

Esta relación se presenta a continuación como un modelo lineal muy sencillo con solo una variable independiente, que para éste caso es el porcentaje de humedad del mesocarpio.

Aceite/Mesocarpio fresco = $82.3791 - (0.95005 * \text{Humedad})$, este modelo presenta un buen grado de ajuste ($r^2 = 0.9377$).

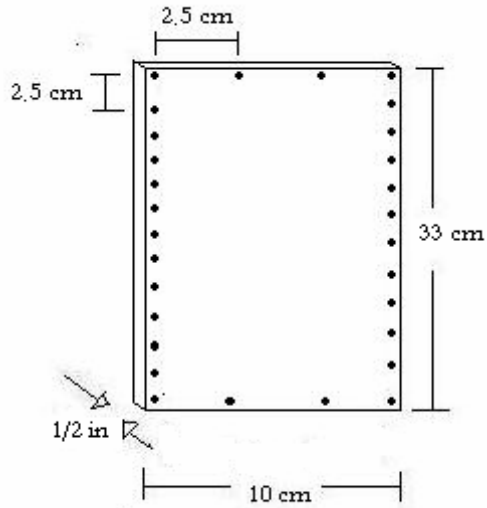
Anexo D. Dimensionamiento de la mirilla implementada en el tanque de aceite crudo.

MIRILLA



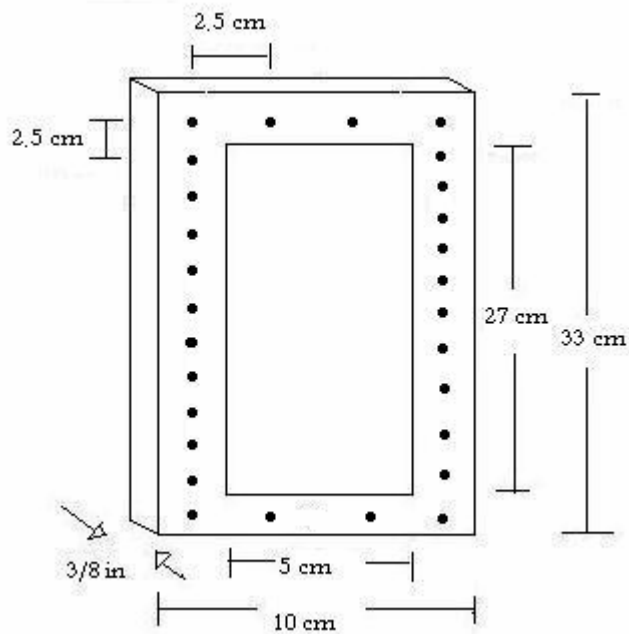
ACRÍLICO:

1 unidad, de 1/2 in de espesor, con agujeros pasantes para tornillos de 3/8 in.



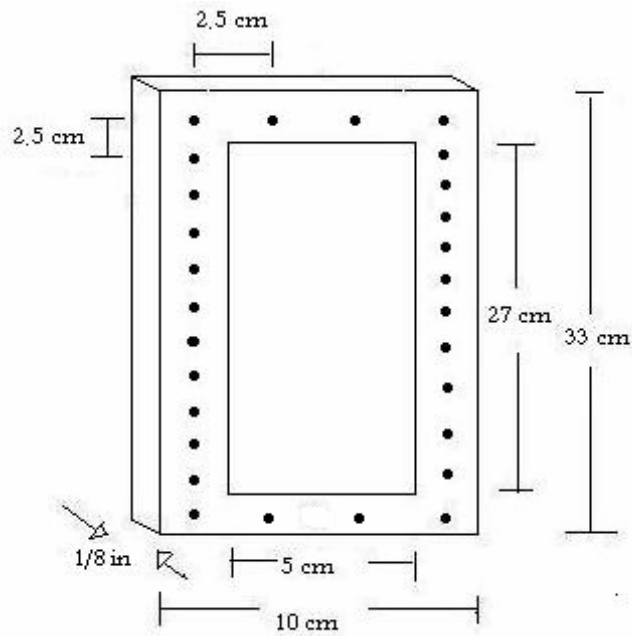
MARCOS:

2 unidades, de acero inoxidable de 3/8 in de espesor, uno con agujeros pasantes para tornillo de 3/8 in, y el otro (el interno) con rosca para tornillos de 3/8 in.

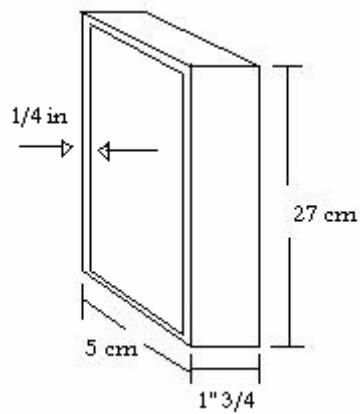


EMPAQUES:

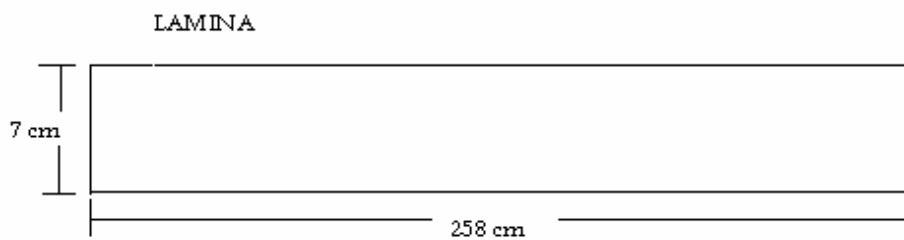
2 unidades, de caucho crudo de 1/8 de espesor con agujeros pasantes para tornillos de 3/8 in



CAJUELA: 1 unidad, de acero inoxidable de 1/4 de espesor.



LAMINA: en acero inoxidable de 1/4 in de espesor.



Anexo E. Ensayos de determinación de la Tasa de extracción de aceite.

En la tabla F1, se muestran algunas de las variables calculadas en el desarrollo de los ensayos de determinación de la tasa de extracción de aceite realizados, el volumen de licor de prensas, el volumen de aceite, el peso de aceite, y la TEA, calculados a partir de los datos obtenidos durante el desarrollo de los ensayos de determinación de la tasa de extracción de aceite.

Tabla E1. Variables determinadas en los ensayos de determinación de la TEA.

Ensayo	Volumen LPD (m³)	Volumen aceite (m³)	Peso aceite (Ton)	Peso RFF (Ton)	TEA (%Ac/RFF)
1	267,52	139,11	120,33	555,71	21,65
2	307,28	153,64	132,90	626,76	21,20
3	364,87	178,79	154,65	701,76	22,04
4	327,13	163,56	141,48	658,76	21,48
5	345,35	169,22	146,38	678,76	21,57
6	378,38	181,62	157,10	760,49	20,66
7	388,97	198,37	171,59	831,12	20,65
8	421,70	210,85	182,38	818,12	22,29
9	417,03	204,34	176,76	813,99	21,71
10	353,00	180,03	155,72	719,49	21,64
11	424,00	207,76	179,71	826,76	21,74

Fuente: Autor.

En la tabla E2, se presentan una comparación entre los resultados de los ensayos de determinación de la tasa de extracción de aceite, realizados por medio de la metodología de medición del licor de prensas y la TEA real.

Tabla E2. Ensayos de determinación de la TEA.

Ensayo	TEA (vertedero) (%Ac/RFF)	TEA Real (%Ac/RFF)
1	21,65	21,70
2	21,20	21,20
3	22,04	22,40
4	21,48	21,64
5	21,57	21,67
6	20,66	20,80
7	20,65	20,82
8	22,29	22,18
9	21,71	22,00
10	21,64	21,40
11	21,74	21,80

Fuente: Autor.

Anexo F. Ensayos de determinación del potencial de Aceite.

A continuación se presenta los resultados obtenidos de los ensayos de determinación del potencial de aceite realizados al fruto (RFF) de las plantaciones seleccionadas, por medio de la metodología de medición del licor de prensas y por medio de la metodología alterna de análisis de racimos.

Tabla F1. Análisis de potenciales de aceite de la plantación A.

Ensayo	Metodología del vertedero (%Ac/RFF)	Metodología de Análisis de RFF (%Ac/RFF)
1	21,42	23,27
2	22,78	19,09
3	19,53	20,09
4	21,63	23,46
5	23,86	25,18
6	23,67	26,46
7	22,80	24,75
8	20,55	22,53
9	23,89	25,00
10	18,71	19,70
11	24,70	23,58
12	24,02	21,18
13	22,56	26,38
14	22,29	23,88
15	22,00	22,65
16	22,70	24,39

Fuente: Autor.

Tabla F2. Análisis de potenciales de aceite de la plantación B.

Ensayo	Metodología del vertedero (%Ac/RFF)	Metodología de Análisis de RFF (%Ac/RFF)
1	21,75	21,38
2	20,77	21,66
3	22,67	22,78
4	18,87	19,06
5	19,68	20,34
6	22,65	21,90
7	21,21	19,35
8	20,12	20,33
9	20,43	21,38
10	19,87	21,66
11	21,50	20,96
12	21,76	21,03
13	20,65	20,66
14	20,22	18,54
15	21,04	20,87
16	20,32	21,14

Fuente: Autor.

Tabla F3. Análisis de potenciales de aceite de la plantación C.

Ensayo	Metodología del vertedero (%Ac/RFF)	Metodología de Análisis de RFF (%Ac/RFF)
1	24,66	25,78
2	19,72	20,04
3	20,68	21,05
4	21,15	20,03
5	21,34	22,73
6	20,21	20,91
7	21,85	22,28
8	22,25	20,91
9	22,09	23,50
10	20,34	22,83
11	21,03	21,56
12	20,22	20,44
13	20,43	21,33
14	20,54	19,34
15	20,02	21,32
16	20,45	20,31

Fuente: Autor.

Anexo G. Propuesta de estudio: Desarrollo de una herramienta para la determinación de potenciales de aceite a escala comercial

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la metodología de determinación de potenciales de aceite por medio de la medición del licor de prensas (Metodología del vertedero), permitieron identificar la plantación proveedora de fruto con mayor potencial de aceite (Plantación A) entre las tres plantaciones analizadas. De acuerdo a esto se crea la necesidad de plantearse nuevos objetivos y convertir la metodología en una herramienta para la determinación de los potenciales de aceite en la planta de beneficio a escala comercial. De tal forma que en la planta de beneficio se pueda categorizar cada uno de los proveedores de fruto. Para lograr esto, es necesario:

- Realización de ensayos de determinación de potenciales de aceite a cada una de las plantaciones proveedoras de fruto de la planta de beneficio.
- Programación de análisis mensuales, teniendo en cuenta la participación del fruto de cada proveedor en el fruto total procesado en la planta extractora durante el mes de operación; de tal manera que el proveedor que mas ingrese fruto al planta de beneficio se le realizaran mas ensayos.

Esto se realizaría cada mes y al completar el año (12 meses de estudio), se hace un análisis estadístico que permita clasificar a los proveedores; de tal forma que el proveedor cuyo fruto presente el mayor potencial de aceite (%Ac/RFF) será el mejor remunerado y a partir de el se categorizan los demás.