



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL “SEK”  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO  
AMBIENTAL**

**TEMA: “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE  
RECUPERACIÓN DE ACEITE DE PALMA (TANQUES  
FLORENTINOS) DE LA PLANTA EXTRACTORA AIQUISA  
(QUININDÉ-ECUADOR)”**

**REALIZADO POR:**

**MARIO RODAS TALBOTT**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. CARLOS ORDÓNEZ**

**Quito - Ecuador**

**2004**

# INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Proceso de Extracción de Aceite de Palma	4
1.3. Problema	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. MUESTREO	8
2.1.1. Tipos de Muestras	8
a) Muestra Simple o Puntual	8
b) Muestras Compuestas	9
c) Muestras Integradas	10
2.1.2. Control y Vigilancia del Muestreo, Preservación y Análisis	11
a) Etiquetas	11
b) Sellos	12
c) Libro de Campo	12
d) Registro de Control y Vigilancia de la Muestra	12
e) Formato de Solicitud de Análisis	12

f) Entrega de la Muestra en el Laboratorio	13
g) Recepción y Registro de la Muestra	13
2.1.3. Métodos de Muestreo	13
a) Muestreo Manual	13
b) Muestreo Automático	13
2.1.4. Recipientes para las Muestras	14
2.1.5. Precauciones Generales	15
2.1.6. Número de Muestras	16
2.1.7. Recomendaciones para el Muestreo y Preservación de Muestras	17
2.1.8. Cantidad de Muestra	17
2.1.9. Preservación de la Muestra	18
a) Naturaleza de los Cambios en la Muestra	18
b) Intervalo de tiempo entre la Toma Análisis de la Muestra	y el 18
c) Técnicas de Preservación	19
2.2. POTENCIAL HIDRÓGENO, pH	20
2.2.1. Concepto de pH	20
2.3. SÓLIDOS	21
2.3.1. Sólidos Totales	21
2.4. GRASAS Y ACEITES	21
2.4.2. Definición de Grasas y Aceites	22

2.4.3. Palma de Aceite	22
2.4.4. Importancia del Aceite de Palma	24
2.5. EMULSIONES	25
2.5.1. Emulsiones Aceite en Agua	25
2.6. SEPARACION DE AGUA Y ACEITE	27
2.6.1. Separación por Gravedad	30
2.6.1.1. Separador API	30
2.6.2. Flotación	35
2.6.2.1. Teoría de la Flotación por Aire Disuelto	36
2.6.2.2. Flotación por Aire Inducido	39
2.6.2.3. Desarenado-Desengrasado Conjunto	39
2.7. MEDICIÓN DE ACEITES Y GRASAS	40
2.7.1. Medición de Aceites y Grasas en Aguas Residuales	42
2.7.2. Medición de Aceites y Grasas en Lodos	43
2.8. MEDICIÓN DE CAUDAL	44
2.8.1. Vertederos de Pared Aguda	44
2.9. ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO	47
2.9.1. Determinación de Sólidos Totales	47

CAPÍTULO III: PARTE EXPERIMENTAL	48
3.1. PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ENSAYO	48
3.1.1. Plan de Muestreo	48
3.1.1.1. Recolección y Preservación de Muestras	49
3.1.2. Métodos de Análisis	50
3.1.2.1. Medición de Aceites y Grasas	50
3.1.2.2. Medición de Sólidos Totales	54
3.1.3. Pruebas de Tratabilidad	55
a) Flotación Estática o por Batch	55
b) Flotación con Caudal Regulado	56
c) Flotación con Caudal Regulado y Comparación Sistema de Gravedad I	con el 56
d) Flotación con Caudal Regulado y Comparación Sistema de Gravedad II	con el 56
3.2. DATOS EXPERIMENTALES	57
3.2.1. Caracterización del Efluente	57
– Primer Muestreo	58
– Segundo Muestreo	59
– Tercer Muestreo	60
– Cuarto Muestreo	62
3.2.2. Pruebas de Tratabilidad	64
– Primer Ensayo	64
– Segundo Ensayo	65
– Tercer Ensayo	66
– Cuarto Ensayo	67

3.2.3. Concentración de Aceite en los Lodos del Agua Residual	68
3.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS	68
3.3.1. Cálculos	68
3.3.1.1. Cálculo de la Concentración de Aceites y Grasas	68
3.3.1.2. Cálculo de la Concentración de Sólidos Totales	70
3.3.1.3. Cálculo del Porcentaje de Aceite y Sólidos Totales Removidos	72
3.3.1.4. Cálculo del Caudal	73
3.3.2. Resultados	74
3.3.2.1. Resultados de la Caracterización del Efluente	75
– Primer Muestreo	75
– Segundo Muestreo	78
– Tercer Muestreo	81
– Cuarto Muestreo	84
3.3.2.2. Pruebas de Tratabilidad	87
– Primer Ensayo	87
– Segundo Ensayo	88
– Tercer Ensayo	89
– Cuarto Ensayo	91

3.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ACEITES Y GRASAS	94
3.4.1. Cálculo de las Dimensiones de la Trampa de Grasas	94
3.4.2. Cálculo de las Dimensiones de los Orificios en los Tabiques	97
3.4.3. Diseño de las Canaletas y de la Cámara de Recolección de Aceite	97
3.4.4. Diseño del Desarenador	98
 CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	 100
 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 104
5.1. CONCLUSIONES	104
5.2. RECOMENDACIONES	105
 CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA	 107
 GLOSARIO DE TÉRMINOS	 109

ANEXOS	113
Anexo 1: Análisis de DBO <sub>5</sub> o Carga Orgánica de la Salida de los Florentinos, hecho en dos Laboratorios Diferentes	114
Anexo 2: Norma INEN 1640, Aceite Comestible de Palma Africana. Requisitos	115
Anexo 3: Fotografías del Proceso de Extracción de Aceite de Palma	116
PLANOS	125



## **RESUMEN**

El presente trabajo, plantea un diseño alternativo del sistema de recuperación de aceites y grasas para el agua residual de la planta extractora de aceite de palma africana Aiquisa, con el propósito de disminuir la carga orgánica que llega a las lagunas de oxidación, que constituyen el tratamiento final de los efluentes representando, además un beneficio económico para la empresa; para esto se realizó la determinación del caudal de las aguas residuales que se vierten en el sistema de recuperación actual (Tanques Florentinos), la caracterización de los efluentes líquidos tanto antes como después del Florentino (se midió parámetros como concentración de aceites y grasas, concentración de sólidos totales, pH, temperatura, etc. para evaluar la eficiencia de dicho sistema). Finalmente, se realizó pruebas de tratabilidad (Ensayos de retención de aceite API, Separadores modificados, Variación de temperatura, Tiempo de retención hidráulica y Flotación por aire inducido).

Al comparar los resultados obtenidos con los diferentes sistemas de separación de aceite, se descartó la flotación por aire inducido, ya que no rompe la fuerte emulsión existente y mezcla aún más el efluente, por esta razón, se propuso un diseño alternativo de trampa de grasas con un tiempo de retención de 40 minutos y un volumen total de 12m<sup>3</sup>, con el que se logró recuperar hasta un 20% del aceite libre, según los datos obtenidos con el tanque piloto.

## **DESCRIPTORES**

\* Grasas y Aceites \*

\* Trampa de grasas \*

\* Lagunas de oxidación \*

\* Tanques Florentinos \*

\* Flotación \*

\* Tiempo de Retención \*

\* Aceite Libre\*

\* Emulsión\*

## **ABSTRACT**

The present work, consists of an alternative design of the recovery system of oils and fats for the residual water of the plant of oil extraction Aiquisa, in order to diminish the organic load that arrives at the oxidation lagoons, which are the last treatment of the residual water and because it represents an economic benefit for the company; for this it was made the determination of the volume of the residual water, that is spilled in the present recovery system (Florentinos Tanks), the characterization of the residual water as much before as after of the Florentino (it was moderate parameters like amount of oils and fats, amount of total solids, pH, temperature, etc. thus to evaluate the efficiency of this system). Finally, it was made some tests (Tests of oil retention API, modified Separators, Variation of temperature, Time of hydraulic retention and Flotation by induced air).

When comparing the results obtained with the different systems of oil separation, the flotation by induced air was discarded, since it does not break the strong existing emulsion and it mixes even more the residual water, therefore, an alternative design of fat trap was proposed with a time of retention of 40 minutes and a total volume of 12m<sup>3</sup>, with which a 20% of the free oil was recovered, according to the data collected with the pilot tank.

## **KEYWORDS**

\* Fats and Oils \*

\* Fat trap \*

\* Lagoons of oxidation \*

\* Florentinos Tanks \*

\* Flotation \*

\* Time of Retention \*

\* Free Oil \*

\* Emulsion \*

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La planta extractora de aceite de palma AIQUISA S.A. Se encuentra funcionando desde 1984 en el sector de San José, ubicado en el Km 3 de la vía Quinindé - Santo Domingo. La empresa tiene una capacidad de procesamiento de 9 TRFF/hora (toneladas de racimos de fruta fresca por hora) con sus cuatro autoclaves llenos. “El porcentaje de extracción de la planta es del 21% lo que resulta en una producción estimada en 65 toneladas de aceite rojo de palma por día” <sup>(1)</sup>.

En casi todos los procesos que ocurren en una planta extractora de aceite de palma se producen pérdidas de aceite, ya sea en la fase de esterilización de la fruta (eliminación de vapor) como en la fase de la digestión y prensado, pero en la fase de la clarificación del aceite es donde se pierde la mayor cantidad. Todo este aceite junto con lodos ligeros, agua y lodos pesados son los efluentes de la planta, estos son sometidos a un último proceso de recuperación de aceite en los tanques Florentinos (trampas de grasa) mediante diferencias de densidades.

Debido a la alta temperatura a la que se realizan la mayoría de los procesos en una planta extractora de palma y a la agitación mecánica que los afluentes reciben, el aceite que estos contienen se encuentra emulsionado por lo que se hace más difícil la separación por gravedad, produciendo una importante pérdida.

El aceite y la grasa son muy perjudiciales para el ambiente, por la alta carga orgánica que representan, y, si se vierte a un cauce receptor de agua, pueden ocasionar un importante problema de contaminación. Además, después de la recuperación de este aceite, dependiendo de las características que este posea, puede ser devuelto a la producción normal del aceite comestible o se puede disponer como materia prima utilizada en la elaboración de jabón, principalmente, todo esto se traduce en un beneficio económico para la empresa.

## **1.2. Proceso de Extracción de Aceite de palma.**

El primer paso en el proceso de extracción de aceite de palma se realiza en una báscula que pesa los camiones que transportan los racimos de frutas al entrar a la fábrica y una vez que son descargados, se los vuelve a pesar, así, por diferencia de pesos se obtiene la cantidad exacta de fruta que se recibe.

La palma se descarga en tolvas que sirven como almacenamiento temporal, pues de aquí pasan a las vagonetas que están encima de rieles para transportar la fruta hasta los autoclaves horizontales presurizados con vapor de agua (cilindro provisto de un par de rieles internos, sobre las cuales se desplazan las vagonetas), donde es sometida a un proceso de esterilización y cocción, por un tiempo que depende del grado de madurez de la fruta (aproximadamente 90 minutos) y una presión que oscila entre 20 y 45 psi<sup>(22)</sup>. El vapor evacuado de los autoclaves, una vez que esta lista la fruta, va en parte a la atmósfera y en parte como condensado aceitoso a los canales que conducen a la trampa de grasas. Este es el primer efluente que contiene aceite, sólidos en diferentes formas, materia orgánica y metales que arrastran de la estructura del esterilizador.

Con la ayuda de los rieles las vagonetas con la fruta esterilizada llegan hasta una grúa monorriel, la cual las va colocando en el desfrutador que es un tambor horizontal giratorio donde se separan los frutos de las tusas (raquis) al golpearse con los barrotes que el tambor tiene en su interior, este proceso se hace más fácil por la previa cocción de los racimos que actúa en los puntos de unión de los frutos al raquis, causando su desprendimiento.

Los racimos sin frutas son transportados en una banda sin fin, una parte va hasta los calderos donde sirve como combustible para producir vapor para los autoclaves y otra parte va a un incinerador.

Luego del desfrutador se introduce los frutos a los digestores, que son unos tanques cilíndricos verticales provistos de paletas giratorias e inyección directa de vapor donde se macera la palma. Dentro del digestor se afecta en alto grado la estructura del mesocarpio, hasta el grado de romper vasos lipógenos y liberar cierta cantidad de aceite, este proceso dura aproximadamente 60 minutos y alcanza temperaturas de hasta 95 °C. El fruto digerido se alimenta a un conjunto de prensas (tornillo sin fin) que trabajan entre 90 y 100 bares<sup>(22)</sup> contra la presión de unos conos ubicados a la salida, extrayendo de esta manera el aceite del mesocarpio.

El aceite extraído pasa a un proceso de clarificación con el fin de eliminar agua, lodos y materia orgánica celular. El aceite crudo de palma que entra a la clarificación, teóricamente debe contener 35% aceite, 5% lodos ligeros, 35% agua y 25% lodos pesados<sup>(22)</sup>. Este proceso se realiza en unos tanques donde por diferencia de densidad y por gravedad se separa el aceite que queda en la superficie del agua y los lodos. Posteriormente el aceite clarificado se lo almacena en tanques hasta su distribución, mientras que los lodos y el agua que quedan en el fondo del tanque de clarificación, los cuales todavía tienen algo de aceite, pasan a un proceso de separación mecánico que son las centrífugas, de donde se extrae otra cantidad de aceite que va también a los tanques de almacenamiento.

Los lodos restantes pasan a un último proceso de separación que son unas trampas de grasa llamadas “tanques florentinos”, aquí se trata de recuperar la mayor cantidad de aceite por diferencia de densidades. Este aceite recuperado es de menor calidad por lo que se lo almacena aparte del anterior y se lo utiliza para la industria jabonera. Todo este efluente pasa a los tanques desarenadores y por último con el uso de una bomba se lo transporta a las lagunas de oxidación, donde por un proceso biológico se termina de degradar el aceite restante antes de descargar los efluentes al curso de agua.

### **1.3. El Problema**

El sistema de recuperación de aceites y grasas (Tanques Florentinos) de la planta extractora de aceite de Palma Africana Aiquisa, se construyó hace más de 10 años, por lo que se hace evidente que frente a un aumento en la producción de aceite, el sistema de recuperación ha venido convirtiéndose poco a poco en obsoleto al no poder retener por un tiempo adecuado el flujo de agua residual proveniente del proceso. Además, al venir este efluente a una temperatura bastante elevada y fuertemente mezclado, se encuentra en un estado de emulsión, lo que dificulta aun mas la separación de aceite del agua por una simple diferencia de densidades.

Los Tanques Florentinos de la planta Aiquisa constan en la actualidad de un primer tanque recolector o ecualizador en donde se produce también una sedimentación de los sólidos más pesados, que en este caso serían las arenas que vienen adheridas en los racimos de fruta, de aquí pasa a la trampa de grasas o sistema de recuperación de aceites propiamente

dicho, que tiene forma cuadrada y esta separado en cuatro partes iguales por una cruz metálica (Ver Fotografía 1.1) que se encuentra abierta en la parte inferior en dos de sus cuadrantes, mientras que los otros dos, se encuentran comunicados por cuellos de ganso.

**Fotografía 1.1.** Sistema de Recuperación de Aceites y Grasas de Aiquisa



Este sistema de recuperación también cuenta con un tanque recolector de aceite, ubicado a un costado del segundo cuadrante, tiene una compuerta la cual solo se abre una vez que exista una cantidad de aceite recuperado considerable como para que pase por rebose. Aquí existe una malla metálica, donde se retienen las basuras y sólidos grandes y pasa solo el aceite rojo de palma, que es bombeado hacia las centrífugas para que entre nuevamente al proceso de producción.

Existen dos tanques más, después del sistema de recuperación de aceites que son de mucho mayor tamaño y actúan como sedimentadores para los sólidos pequeños que en su mayoría son fibras de la fruta de la palma.

Para la realización del presente trabajo, se siguió una serie de pasos, en primer lugar se realizó una determinación del caudal de aguas residuales que se vierten en los tanques florentinos, este se midió varias veces en el vertedero en “V” que posee el sistema de recuperación de aceites y grasas actual de la fábrica y se calculó un promedio, que sirve para el dimensionamiento y diseño del nuevo sistema de recuperación de aceites y grasas propuesto.

A continuación se colectó muestras compuestas de las aguas residuales tanto de las que llegan (afluente) como de las que salen (efluente) de los tanques florentinos para realizar la caracterización físico-química del agua, midiendo la concentración de aceites y grasas, sólidos totales, pH y temperatura, esto con el fin de conocer con exactitud que cantidad de aceite entra y que cantidad sale del florentino y así calcular su eficiencia actual.

Finalmente, se efectuó las pruebas de tratabilidad (Ensayos de retención de aceite API, Separadores modificados, Variación de temperatura, Tiempo de retención hidráulica y Flotación por aire inducido), para conseguir la recuperación mejorada del aceite mediante modelos de laboratorio. Con estos resultados, se propone un rediseño o diseño alternativo más eficiente del sistema de separación de aceites y grasas. Todas estas conclusiones y recomendaciones se resumen en el capítulo V del presente texto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. MUESTREO**

La recolección de las muestras depende de los procedimientos que sean empleados y los objetivos de la investigación.

El objetivo es obtener una muestra representativa del material bajo estudio (cuerpo de agua, efluente industrial, agua residual, etc.) para la cual se analizarán las variables fisicoquímicas de interés. El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (coolers, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. “Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis”. <sup>(18)</sup>

“En algunos casos, el objetivo del muestreo es demostrar que se cumplen las normas especificadas por la legislación (resoluciones de las autoridades ambientales). Las muestras ingresan al laboratorio para determinaciones específicas, sin embargo, la responsabilidad de las condiciones y validez de las mismas debe ser asumida por las personas responsables del muestreo, de la conservación y el transporte de las muestras. Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis”. <sup>(18)</sup>

##### **2.1.1. Tipo de Muestras<sup>(18)</sup>**

- a) Muestra simple o puntual: Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones,



puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

Cuando se sabe que un cuerpo de agua varía con el tiempo, las muestras simples tomadas a intervalos de tiempo precisados, y analizadas por separado, deben registrar la extensión, frecuencia y duración de las variaciones. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más. Las variaciones estacionales en sistemas naturales pueden necesitar muestreos de varios meses. Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se requiere tomar las muestras en los sitios apropiados.

- b) Muestras compuestas: En la mayoría de los casos, el término "muestra compuesta" se refiere a una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos. Algunas veces el término "compuesta en tiempo (*time-composite*)" se usa para distinguir este tipo de muestras de otras. La mayor parte de las muestras compuestas en el tiempo se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios.

Para estos propósitos, se considera estándar para la mayoría de determinaciones una muestra compuesta que representa un período de 24 h. Sin embargo, bajo otras circunstancias puede ser preferible una muestra compuesta que represente un cambio, o un menor lapso de tiempo, o un ciclo completo de una operación periódica. Para evaluar los efectos de descargas y operaciones variables o irregulares, tomar muestras compuestas que representen el periodo durante el cual ocurren tales descargas.

No se debe emplear muestras compuestas para la determinación de componentes o características sujetas a cambios significativos e inevitables durante el almacenamiento; sino hacer tales determinaciones en muestras individuales lo más pronto posible después de la toma y preferiblemente en el sitio de muestreo. Ejemplos de este tipo de determinaciones son: gases disueltos, cloro residual, sulfuros solubles, temperatura y pH. Los cambios en componentes como oxígeno o dióxido de carbono disuelto, pH, o temperatura, pueden producir cambios secundarios en determinados constituyentes inorgánicos tales como hierro, manganeso, alcalinidad, o dureza. Las muestras compuestas en el tiempo se pueden usar para determinar solamente los componentes que permanecen sin alteraciones bajo las condiciones de toma de muestra, preservación y almacenamiento.

Tomar porciones individuales del cuerpo de agua en estudio en botellas de boca ancha cada hora (en algunos casos cada media hora o incluso cada 5 min.) y mezclarlas al final del período de muestreo, o combinarlas en una sola botella al momento de tomarlas. Si las muestras van a ser preservadas, agregar previamente las respectivas sustancias a la botella, de tal manera que todas las porciones de la composición sean preservadas tan pronto como se recolectan. Algunas veces es necesario el análisis de muestras individuales.

Es deseable, y a menudo esencial, combinar las muestras individuales en volúmenes proporcionales al caudal. Para el análisis de aguas residuales y efluentes, por lo general es suficiente un volumen final de muestra de 2 a 3 L. Para este propósito existen muestreadores automáticos, que no deben ser empleados a menos que la muestra sea preservada; limpiar tales equipos y las botellas diariamente, para eliminar el crecimiento biológico y cualquier otro depósito.

- c) Muestras integradas: Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un

efecto significativo en la tratabilidad o en la composición. La predicción matemática puede ser inexacta o imposible, mientras que la evaluación de una muestra integrada puede dar información más útil.

Los lagos naturales y artificiales muestran variaciones de composición según la localización horizontal y la profundidad; sin embargo, estas son condiciones bajo las cuales las variaciones locales son más importantes mientras que los resultados promedio y totales no son especialmente útiles. En tales casos se deben examinar las muestras separadamente antes que integrarlas.

La preparación de muestras integradas requiere generalmente de equipos diseñados para tomar muestras de una profundidad determinada sin que se contaminen con la columna de agua superior. Generalmente se requiere conocer el volumen, movimiento, y composición de varias partes del cuerpo de agua a ser estudiado. La toma de muestras integradas es un proceso complicado y especializado que se debe describir adecuadamente en el plan de muestreo.

### **2.1.2. Control y Vigilancia del Muestreo, Preservación y Análisis<sup>(18)</sup>**

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis (*chain-of custody procedure*) es esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad de seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su posterior análisis. Este proceso es básico e importante para demostrar el control y confiabilidad de la muestra no sólo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras. Se considera que una muestra está bajo la custodia de una persona si está bajo su posesión física individual, a su vista, y en un sitio seguro. Los siguientes procedimientos resumen los principales aspectos del control y vigilancia de las muestras.

- a) Etiquetas. Para prevenir confusiones en la identificación de las muestras, pegar al frasco de muestra antes de o en el momento del muestreo, papel engomado o etiquetas adhesivas en las que se anote, con tinta a prueba de agua, por lo menos la siguiente información: número de muestra, nombre del recolector, fecha, hora y lugar de recolección, y preservación realizada.

- b) Sellos. Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, sellar los recipientes con papel autoadhesivo, en los que se incluya por lo menos la siguiente información: número de muestra (idéntico al número en la etiqueta), nombre del recolector, fecha y hora de muestreo; también son útiles los sellos de plástico encogible. Adherir el sello de tal manera que sea necesario romperlo para abrir el recipiente de la muestra, después de que el personal muestreador ceda la custodia o vigilancia.
- c) Libro de campo. Registrar toda la información pertinente a observaciones de campo o del muestreo en un libro apropiado, en el que se incluya como mínimo lo siguiente: propósito del muestreo; localización de la estación de muestreo, o del punto de muestreo si se trata de un efluente industrial, en cuyo caso se debe anotar la dirección y el nombre del representante de la empresa; tipo de muestra y método de preservación si es aplicable. Si se trata de una muestra de aguas residuales, identificar el proceso que produce el efluente. Estipular también la posible composición de la muestra y las concentraciones; número y volumen de muestra tomados; descripción del punto y método de muestreo; fecha y hora de recolección; número(s) de identificación del (los) recolector(es) de la muestra; distribución y método de transporte de la muestra; referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo; observaciones y mediciones de campo; y firmas del personal responsable de las observaciones. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, es esencial registrar la información suficiente de tal manera que se pueda reconstruir el evento del muestreo sin tener que confiar en la memoria de los encargados. Guardar el libro en un sitio seguro.
- d) Registro del control y vigilancia de la muestra. Diligenciar el formato de control y vigilancia de cada una de las muestras o grupo de muestras, las cuales deben estar acompañadas de este formato; en él se incluye la siguiente información: número(s) de la(s) muestra(s); firma del recolector responsable; fecha, hora y sitio de muestreo; tipo de muestra; firmas del personal participante en el proceso de control, vigilancia y posesión de las muestras y las fechas correspondientes.
- e) Formato de solicitud de análisis. La muestra debe llegar al laboratorio acompañada de una solicitud de análisis; el recolector completa la parte del formato correspondiente a la información de campo de acuerdo con la información anotada en el libro de campo. La parte del formato correspondiente al laboratorio la completa el personal del laboratorio, e incluye: nombre de la persona que recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recepción, y las determinaciones a ser realizadas.

- f) Entrega de la muestra en el laboratorio. Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo, en el transcurso de dos días como máximo; si el tiempo de almacenamiento y preservación es menor, debe planificarse el procedimiento para asegurar su entrega oportuna en el laboratorio. En caso de que las muestras sean enviadas por correo a través de una empresa responsable, se debe incluir el formato de la compañía transportadora dentro de la documentación del control y vigilancia de la muestra. La solicitud de análisis debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control y vigilancia de la muestra. Entregar la muestra a la oficina de recepción en el laboratorio; el recepcionista a su vez debe firmar el formato de vigilancia y control, incluyendo la fecha y hora de entrega.
- g) Recepción y registro de la muestra. En el laboratorio, el recepcionista inspecciona la condición y el sello de la muestra, compara la información de la etiqueta y el sello con el registro o formato del proceso de control y vigilancia, le asigna un número o código para su entrada al laboratorio, la registra en el libro del laboratorio, y la guarda en el cuarto o cabina de almacenamiento hasta que sea asignada a un analista.
- h) Asignación de la muestra para análisis. El coordinador del laboratorio asigna la muestra para su análisis. Una vez la muestra está en el laboratorio, el auditor y los analistas son responsables de su cuidado y vigilancia.

### **2.1.3. Métodos de Muestreo<sup>(18)</sup>**

- a) Muestreo manual: El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, (Fotografía 2.1.), pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.
- b) Muestreo automático: Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos. En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado. Programar el muestreador automático de acuerdo con las especificaciones del mismo y

las necesidades del muestreo, ajustar cuidadosamente las velocidades de la bomba y los tamaños de los tubos según el tipo de muestra a tomar.

**Fotografía 2.1.** Toma de Muestra de los Florentinos



#### **2.1.4. Recipientes para las Muestras<sup>(18)</sup>**

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio, y se utilizan de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. Los recipientes de vidrio son inconvenientes para muestras destinadas a ser analizadas por metales traza; el vidrio libera silicio y sodio, a su vez, pueden adsorber trazas de metales contenidas en la muestra. Por otra parte los recipientes de plástico -excepto los teflonados (politetrafluoroetileno, TFE)- deben descartarse para muestras que contengan compuestos orgánicos, estos materiales liberan sustancias del plástico (por ejemplo, ésteres de ftalato del plástico) y a su vez disuelven algunos compuestos orgánicos volátiles de la muestra. Las tapas de los envases, generalmente de plástico, también pueden ser un problema, por lo que se debe usar empaques o séptum de metal o TFE. Para situaciones críticas, es adecuada la inclusión de un blanco del recipiente para demostrar la ausencia de interferencias. Usar los de vidrio para todos los análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, plaguicidas, PCBs, aceites y grasas.

### **2.1.5. Precauciones Generales<sup>(18)</sup>**

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación antes de iniciar los análisis en el laboratorio; en el muestreo de aguas, antes de coleccionar la muestra es necesario purgar el recipiente dos o tres veces, a menos que contenga agentes preservativos. Dependiendo del tipo de determinación, el recipiente se llena completamente (esto para la mayoría de las determinaciones de compuestos orgánicos), o se deja un espacio para aireación o mezcla (por ejemplo en análisis microbiológicos); si el recipiente contiene preservativos no puede ser rebosado, lo cual ocasionaría una pérdida por dilución. Excepto cuando el muestreo tiene como objetivo el análisis de compuestos orgánicos, se debe dejar un espacio de aire equivalente a aproximadamente 1% del volumen del recipiente, para permitir la expansión térmica durante su transporte.

Cuando las muestras coleccionadas contienen compuestos orgánicos o metales traza, se requieren precauciones especiales, debido a que muchos constituyentes están presentes en concentraciones de unos pocos microgramos por litro y se puede correr el riesgo de una pérdida total o parcial, si el muestreo no se ejecuta con los procedimientos precisos para la adecuada preservación.

Las muestras representativas se pueden obtener sólo coleccionando muestras compuestas en periodos de tiempo predeterminados o en diferentes puntos de muestreo; las condiciones de recolección varían con las localidades y no existen recomendaciones específicas que puedan ser aplicables en forma general. Algunas veces es más informativo analizar varias muestras en forma separada en lugar de obtener una muestra compuesta, ya que es posible aparentar su variabilidad, los máximos y los mínimos.

En términos generales, la muestra coleccionada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su remoción, los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, estos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede

presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente, y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

La selección de la técnica para recolectar una muestra homogénea debe ser definida en el plan de muestreo. Generalmente, se separa cualquier cantidad significativa de material suspendido por decantación, centrifugación o un procedimiento de filtración adecuado. Para el análisis de metales la muestra puede ser filtrada o no, o ambas, si se requiere diferenciar el total de metales y los disueltos presentes en la matriz.

#### **2.1.6. Número de Muestras<sup>(18)</sup>**

Debido a las variaciones aleatorias tanto del procedimiento analítico como la presencia de un constituyente en el punto de muestreo, una muestra simple puede ser insuficiente para obtener el nivel deseado de incertidumbre. Si la desviación estándar de todo el proceso es conocida, el número de muestras requeridas puede ser calculado a través de la siguiente relación:

$$N \geq (ts/U)^2$$

Donde:

N = número de muestras,

t = prueba t de Student para un nivel de confiabilidad dado,

s = desviación estándar global, y

U = nivel aceptable de incertidumbre.

El cálculo del número de muestras se puede consultar en la Figura 1060:1, página 1-23, *Standard Methods*, 1995.



### 2.1.7. Recomendaciones para el Muestreo y Preservación de Muestras

En la tabla 2.1. se ha recolectado las condiciones básicas para el muestreo de los parámetros involucrados en la presente investigación, así como las formas de preservación y el tiempo máximo de almacenamiento de cada uno.

**Tabla 2.1.** Muestreo y Preservación

Determinación	Recipiente <sup>(a)</sup>	Volumen Mínimo de la Muestra (ml)	Tipo de Muestra <sup>(b)</sup>	Preservación <sup>(c)</sup>	Almacenamiento Máximo Recomendado <sup>(d)</sup>
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Temperatura	P, V	—	s	Análisis inmediato	—
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo

(a) P = plástico; V = vidrio

(b) s = simple o puntual; c = compuesta

(c) refrigerar = almacenar a 4°C en ausencia de luz

(d) muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido.

(Fuente: [www.drcalderonlabs.com](http://www.drcalderonlabs.com))

### 2.1.8. Cantidad de Muestra<sup>(18)</sup>

Para la mayoría de análisis físicos y químicos tomar 2 L de muestra. Para determinados análisis puede ser necesario un mayor volumen de muestra. Para pruebas químicas, bacteriológicas y microscópicas se deben tomar muestras por separado debido a que los métodos de recolección y manejo son diferentes. Colectar siempre un volumen de muestra suficiente en el recipiente adecuado que permita hacer las mediciones de acuerdo con los requerimientos de manejo, almacenamiento y preservación.

### 2.1.9. Preservación de la Muestra<sup>(18)</sup>

Es prácticamente imposible la preservación completa e inequívoca de las muestras de aguas residuales domésticas e industriales y de aguas naturales. Independientemente de la naturaleza de la muestra, nunca puede lograrse la completa estabilidad de todos sus constituyentes; en el mejor de los casos, las técnicas de preservación solamente pueden retardar los cambios químicos y biológicos, que continúan inevitablemente después de que la muestra se retira de su fuente.

- a) Naturaleza de los cambios en la muestra: Los cambios químicos son función de las condiciones físicas y suceden en la estructura de ciertos constituyentes. Los cationes metálicos pueden precipitarse como hidróxidos, formar complejos con otros constituyentes, e incluso algunos, tales como aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, manganeso, plata y zinc, se pueden adsorber en las superficies de los recipientes (vidrio, plástico, cuarzo, etc.). Bajo determinadas condiciones oxidantes o reductoras, los iones pueden cambiar de estado de valencia; otros constituyentes se pueden disolver o volatilizar con el paso del tiempo.

Los cambios biológicos que tienen lugar en una muestra pueden cambiar la valencia de un elemento o radical; los constituyentes solubles pueden convertirse en materiales orgánicamente enlazados a las estructuras celulares; o la ruptura de las células puede liberar el material celular hacia la solución. Los ciclos del nitrógeno y del fósforo son ejemplos de la influencia biológica en la composición de la muestra. La actividad microbiológica puede ser responsable de cambios en el contenido de nitrato-nitrito-amonio, disminución de la concentración de fenoles y de la DBO, o de la reducción del sulfato a sulfuro.

- b) Intervalo de tiempo entre la toma y el análisis de muestras: Los resultados analíticos son más exactos en la medida que el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis sea menor, hecho especialmente cierto cuando las concentraciones de los analitos están en el orden de  $\mu$  g/L. Para evaluar ciertos constituyentes y parámetros físicos, se requiere su análisis inmediato en el campo. Para las muestras compuestas se registra el tiempo en el momento de finalizar la operación de composición. Los cambios provocados por el crecimiento de microorganismos se retardan por almacenamiento de la muestra en la oscuridad y a baja temperatura ( $<4^{\circ}$  C pero sin

congelar). Registrar el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis de la muestra, y la técnica de preservación aplicada.

- c) Técnicas de preservación: Los métodos de preservación incluyen las siguientes operaciones: control del pH, adición de reactivos, uso de botellas ámbar y opacas, refrigeración, filtración y congelamiento; y obran para: (1) retardar la acción biológica, (2) retardar la hidrólisis de los compuestos o complejos químicos, (3) reducir la volatilidad de los constituyentes, y (4) reducir los efectos de absorción.

Para minimizar la volatilización o biodegradación de los constituyentes, guardar la muestra a baja temperatura sin congelación. Antes del envío al laboratorio, es preferible empacar las muestras en hielo triturado o en sustitutos comerciales del hielo; evitar el uso de hielo seco debido a que puede alterar el pH de las muestras, además de que las congela y puede causar la ruptura de los recipientes de vidrio. Las muestras compuestas deben mantenerse a 4° C, con hielo o un sistema de refrigeración, durante el período de composición. Analizar las muestras lo más pronto posible después de su llegada al laboratorio; si esto no es posible se recomienda, para la mayoría de muestras, almacenamiento a 4° C.

La adición de preservativos químicos sólo es aplicable cuando estos no interfieren con los análisis a realizarse, y deben agregarse previamente a la botella de muestra de tal manera que todas las porciones de muestra se preserven de inmediato. En ocasiones, cuando se hacen diferentes determinaciones en una muestra es necesario tomar diferentes porciones y preservarlas por separado, debido a que el método de preservación puede interferir con otra determinación. Todos los métodos de preservación pueden ser inadecuados cuando se aplican a la materia en suspensión. El formaldehído afecta la mayoría de análisis químicos y no debe usarse como preservativo.

Sin embargo, es imposible dar las reglas absolutas para prevenir todos los cambios posibles; en cada protocolo de análisis de las variables fisicoquímicas se encuentra la información correspondiente. La confiabilidad de una determinación analítica se apoya en la experiencia y buen criterio de la persona que toma la muestra.

## 2.2. POTENCIAL HIDRÓGENO, pH

“El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de los iones hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. Es importante en casi todos los aspectos de la práctica de la ingeniería ambiental.” <sup>(3)</sup>

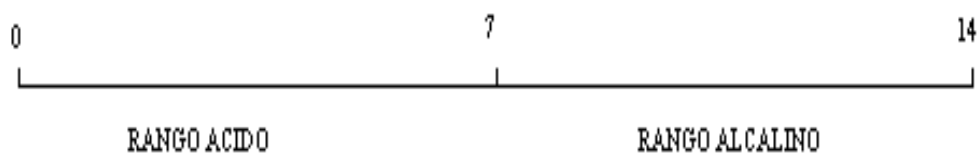
### 2.2.1. El Concepto de pH

“La expresión de la actividad del ión hidrógeno en términos de concentración molar es bastante complicada. Con el fin de superar esta dificultad, Sorensen (1909) propuso expresar estos valores en términos de sus logaritmos negativos y llamar estos valores  $P^+_H$ . su símbolo ha sido reemplazado por la designación simple pH. El término se puede representar como:

$$\text{pH} = -\log [H^+] \quad \text{o} \quad \text{pH} = \log \left[ \frac{1}{H^+} \right]$$

y la representación de la escala de pH usualmente oscila de 0 a 14, en la que el pH de 7 a 25°C representa la neutralidad absoluta.” <sup>(3)</sup>

**Figura 2.1.** Escala de pH



**Fuente:** (N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001))

El pH de neutralidad cambia con la temperatura, siendo 7.5 a 0°C y 6.5 a 60°C. la acidez aumenta cuando el pH disminuye y la alcalinidad aumenta con el incremento del pH. (Ver Figura 2.1.).

## **2.3. SÓLIDOS**

“En la ingeniería es importante la medición de la materia sólida existente en una gran variedad de materiales líquidos y semilíquidos que oscilan entre las aguas potables y las contaminadas, los residuos domésticos y los industriales y los lodos formados en los procesos de tratamiento. En sentido estricto toda la materia excepto el agua contenida en los materiales líquidos se clasifica como materia sólida. Sin embargo la definición usual de sólidos, se refiere a la materia que queda como residuo después de la evaporación y el secado a 103 y 105 °C.”<sup>(3)</sup>

### **2.3.1. Sólidos Totales**

Los sólidos totales son la suma de todos los sólidos existentes en el agua, sean estos sólidos sedimentables, en suspensión y disueltos.

## **2.4. GRASAS Y ACEITES**

“El contenido de aceite y grasa en los residuos domésticos, en algunos residuos industriales y en los lodos es una consideración importante en la manipulación y tratamiento de estos materiales para su disposición final. Al aceite y a la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. Si bien estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, complican el transporte de los residuos por las tuberías, su destrucción en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras.”<sup>(3)</sup>

El aceite y la grasa han generado muchos problemas en el tratamiento de residuos. Muy pocas plantas tienen la posibilidad de separar estos materiales para su disposición en los

sistemas de recolección de grasa o en los incineradores; en consecuencia, el residuo que se separa en forma de nata en los tanques de sedimentación primaria normalmente es transferido a las unidades de disposición junto con los sólidos sedimentados. En los tanques de digestión de lodos, los aceites y las grasas tienden a separarse y a flotar en la superficie para formar densas capas de natas, debido a su escasa solubilidad en el agua y a su bajo peso específico. Los problemas de estas capas son especialmente graves cuando los residuos de alto contenido en grasa llegan al alcantarillado público, por ejemplo, los del empaque de carnes y los de las industrias de grasas y aceites. La filtración al vacío del lodo también se complica por su alto contenido graso.

#### **2.4.2. Definición de Grasas y Aceites<sup>(3)</sup>**

Las grasas y los aceites son glicéridos de los ácidos grasos, los ácidos grasos generalmente tienen 16 ó 18 átomos de carbono, aun cuando los ácidos butírico, caproico y caprílico están presentes, en gran proporción, como componentes de los ésteres de la grasa de mantequilla.

Los glicéridos de los ácidos grasos que están en estado líquido a temperaturas normales, son llamados *aceites*, mientras que los que están en estado sólido son llamados *grasas*. Químicamente son bastante similares. En la composición de los aceites predominan los ácidos grasos de cadena corta o los ácidos grasos de alto grado de insaturación, como el linoleico o el linolénico.

Los ácidos grasos en una molécula dada de glicérido pueden ser todos iguales, o pueden ser diferentes, como se muestra en las figuras anteriores.

#### **2.4.3. Palma 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.” <sup>(20)</sup>

“Su lugar de origen está localizado a lo largo del Golfo de Guinea y se extiende hasta 15° de latitud norte y sur”. <sup>(21)</sup>

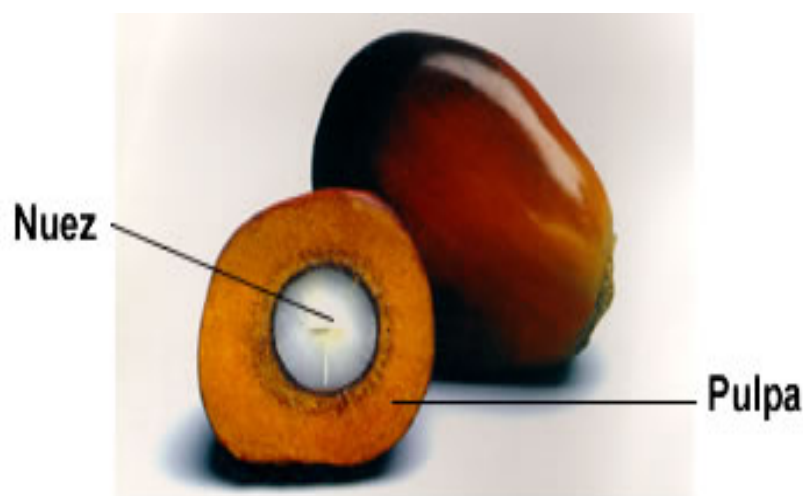
“La producción mundial de aceite de palma se calcula en más de 3.000 millones de toneladas métricas. Los principales países productores son Malasia, Nigeria, Indonesia, Zaire y Costa de Marfil, y otros países africanos y sudamericanos.” <sup>(20)</sup>

Además de su alto rendimiento por unidad de superficie, la palma de aceite es importante por la gran variedad de productos que genera, los cuales se utilizan en la alimentación y la industria. Tanto el aceite de pulpa como el de almendra se emplean para producir margarina, manteca, aceite de mesa y de cocina, y jabones.

El aceite de pulpa se usa en la fabricación de acero inoxidable, concentrados minerales, aditivos para lubricantes, crema para zapatos, tinta de imprenta, velas. Se usa también en la industria textil y de cuero, en la laminación de acero y aluminio, en la trefilación de metales y en la producción de ácidos grasos y vitamina A.

El fruto de la palma es una drupa ovoide, de 3 a 5 cm de largo. Los estigmas persisten en su extremo, en forma de tres pequeños apéndices arqueados como se aprecia en la fotografía. 2.2.

**Fotografía 2.2.** Fruto de Palma.



**Fuente:** [www.fedepalma.com](http://www.fedepalma.com)

#### 2.4.4. Importancia del Aceite de Palma.

El aceite de palma es un alimento natural que se viene consumiendo desde hace 5.000 años<sup>(21)</sup>. Se refina sin necesidad de disolventes químicos, por lo que se reduce el riesgo de contaminación por residuos.

“El aceite de palma contiene iguales proporciones de ácidos grasos no saturados, conteniendo alrededor del 40% de ácido oleico (no monosaturado), 10% de ácido linoléico (no polisaturado), 44% de ácido palmítico (saturado) y 5% de ácido esteárico (saturado). Éste aceite es una fuente natural de vitamina E, tocoferoles y tocotrienoles y el aceite de palma sin refinar también es una fuente importante de vitamina A .” <sup>(20)</sup>

El aceite de palma tiene un contenido glicérido sólido alto que lo hace semisólido normalmente se usa en estado natural, sin hidrogenar.

**Fotografía 2.3.** Composición del Aceite de Palma.



COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE PALMA		
Ácidos Grasos		(%)
Saturados		50,0
	Láurico	0,1
	Mirístico	1,0
	Palmítico	43,8
	Esteárico	4,8
	Araquídico	0,3
Monoinsaturados		39,0
	Palmitoleico	0,1
	Oleico	38,9
Poliinsaturados		10,9
	Linoleico	10,6
	Linolénico	0,3

Fuente: [www.fedepalma.com](http://www.fedepalma.com)



## **2.5. EMULSIONES<sup>(8)</sup>**

Una emulsión es una mezcla íntima de dos fases líquidas, tales como aceite y agua, en la cual una de ellas esta dispersa en la otra. En la química del agua, por lo común se encuentran dos tipos de emulsiones, agua aceitosa de desecho (aceite emulsionado en agua o emulsiones AC / AG) y emulsiones de aceite de desecho (agua emulsionada en aceite o emulsiones AG / AC).

Las aguas de desecho aceitoso por lo común pueden distinguirse visualmente de las emulsiones de aceite de desecho. La emulsión AC / AG tiene justamente la apariencia aceitosa, la del agua sucia; una gota de la emulsión se dispersara al ponerla en agua. Una emulsión AG / AC es de ordinario espesa y viscosa; una gota de esta emulsión no se dispersara al ponerla en agua.

### **2.5.1. Emulsiones Aceite-en-Agua<sup>(8)</sup>**

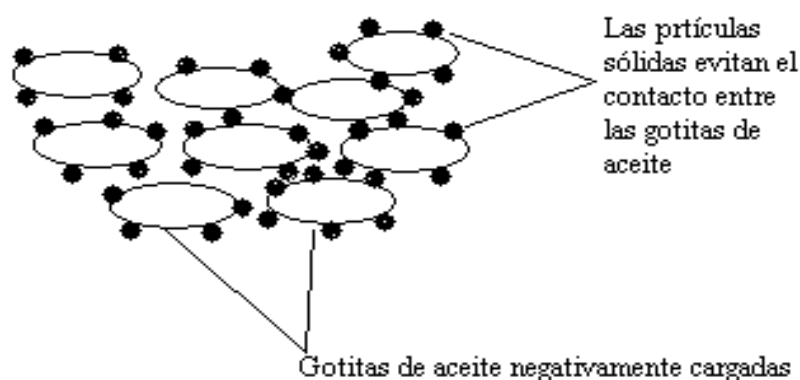
Una emulsión de desecho aceitoso, en la cual el aceite esta disperso en la fase acuosa, puede contener cualquiera de los diferentes tipos de aceite dentro de un intervalo grande de concentración. Estos aceites se definen como sustancias que pueden extraerse del agua mediante hexano, tetracloruro de carbono, cloroformo o freón. Además de los aceites, los contaminantes típicos de estas emulsiones son los sólidos, limo, partículas metálicas, emulsificadores, limpiadores, jabones, solventes y otros residuos. Los tipos de aceites que se encuentran en estas emulsiones dependerán de la industria. Pueden ser grasas, lubricantes, fluidos para corte, hidrocarburos pesados como alquitrán, grasa, petróleo y aceites diesel, y también hidrocarburos ligeros incluyendo gasolina, kerosene y combustible de aviones a reacción. Además de los aceite vegetales de palma, algodón, maní, oliva, entre otros. Su concentración en el agua de desecho puede variar desde unas pocas partes por millón hasta entre 5 y 10% en volumen.

Una emulsión AC / AG estable es un sistema coloidal de gotitas de aceite eléctricamente cargadas y rodeadas por un ambiente iónico. El mezclado violento y el cizallamiento de aguas aceitosas de desecho en las bombas de transferencia dispersa estas diminutas gotitas de aceite a través del agua. La estabilidad de la emulsión se mantiene mediante una combinación de mecanismos físicos y químicos. El comportamiento de estas

emulsiones es semejante al de los sistemas coloidales encontrados en los pantanos (color) y en los ríos (limo).

Uno de estos mecanismos de estabilización, la ionización, se produce por la adición de agentes que actúan sobre la superficie, como materiales orgánicos o limpiadores, que auxilian en el mantenimiento de la estabilidad de un sistema coloidal. Estas moléculas portan de ordinario una carga eléctrica y buscan la zona interfacial aceite/agua de la gota emulsificada. Aquí, las cargas acumuladas estabilizan la emulsión mediante la repulsión entre las gotas que poseen carga de igual signo. También pueden estabilizar una emulsión los agentes de superficie neutrales (no iónicos), ya que estas moléculas son bifuncionales: uno de sus extremos es soluble en agua y el otro en el hidrocarburo, de manera que la molécula enlaza a la entrecara y la estabiliza.

Partículas sólidas, finas, pueden estabilizar una emulsión si su tamaño y abundancia son adecuados. En este caso, la estabilización se produce porque las partículas sólidas adsorbidas en la entrecara tienden a reforzar la película interfacial. Las gotitas dispersas no puede coalescer a causa del efecto de interferencia o de obstrucción producido por los sólidos, como se muestra en la figura 2.2.



**Figura 2.2.** Estabilización física de una emulsión por sólidos  
**Fuente:** (Kemmer, F. McCallion, J. (1995))

También pueden estabilizarse las emulsiones por la fricción entre las fases del agua y del aceite que se produce en una vigorosa agitación mecánica o física. Las cargas eléctricas que se desarrollan en esta acción tienden a colectarse en la interfase aceite / agua.

Un emulsificador es por lo común una molécula compleja, que a menudo tiene en un extremo un grupo hidrofílico (afín al agua) y un grupo liofílico (afín al aceite) en el otro extremo. Los emulsificadores dispersan las gotitas de aceite, ya que poseen una afinidad tanto por el agua como por el aceite que les permite superar las fuerzas naturales de coalescencia.

La mayor parte de los emulsificadores son agentes de superficie que poseen grupos polares aniónicos o no iónicos. Los sulfonatos de petróleo o los ácidos grasos sulfonados son emulsificadores aniónicos comunes, y los fenoles alquílicos etoxilados son emulsificadores no iónicos comunes. Ejemplos de agentes de superficie naturales son los compuestos orgánicos de azufre, y diversos ésteres simples y complejos metálicos. Los limpiadores alcalinos que contienen agentes de superficie que emulsifican aceite libre, se encuentran en muchas aguas de desecho.

## **2.6. SEPARACIÓN DE AGUA Y ACEITE<sup>(19)</sup>**

El desarrollo de cualquier técnica de separación de la mezcla de agua y aceite lleva a la determinación de la naturaleza particular del agua residual contaminada con aceite, antes de diseñar o seleccionar cualquier tipo de tratamiento.

Los principales factores que se deben tomar en cuenta para el diseño de plantas de tratamiento de agua con aceite son:

1. - La cantidad de aceite presente en el agua.
2. - La cantidad de aceite que se vierte en al agua.
3. - La presencia de surfactantes o emulsificantes químicos
4. - La gravedad específica del aceite.
5. - La gravedad específica del agua residual.

6. - La temperatura del agua residual.

7. - La concentración de los sólidos suspendidos.

Muchos tipos de instalaciones industriales descargan aceite y grasas. Las cantidades pueden variar drásticamente. El aceite descargado en una planta de tratamiento puede causar numerosos problemas, entre los que se distinguen:

- La inhibición del tratamiento biológico (más de 50 mg/l de aceite).
- Atascamiento.
- Interferencia con la operación de espumado (retirar la espuma de la superficie).
- Recubrimiento de los electrodos utilizados para medir el pH, conductividad, etc, (lo que impide que funcione el equipo).
- Riesgo de fuego/explosión.

Por lo tanto es necesario reducir lo más posible las descargas de aceite y grasas. Al hablar de la separación del aceite y la grasa de las aguas residuales hay que identificar antes que nada los tres tipos de aceite y grasas:

- Aceites libres (que suben a la superficie y pueden ser separados).
- Aceites emulsionados (en los que es necesario deshacer la emulsión antes de que puedan ser separados).
- Aceites disueltos (que necesitan tratamiento biológico u otro tratamiento más sofisticado para poder ser separados).

La forma más simple de separar el aceite es mediante la gravedad. Se deja reposar las aguas residuales que contienen aceite y el aceite libre que flota a la superficie por ser más ligero que el agua puede ser bombeado o desnatado. Con frecuencia se utilizan cintas rotativas para retirar el aceite de la superficie. Los sólidos que se depositan en el fondo también pueden ser retirados.

El diseño de un separador de gravedad está basado en el volumen del agua por superficie por tiempo, el tamaño de las gotas de aceite (cuanto más pequeñas, más tiempo se tarda en recogerlas), y, la gravedad específica del aceite (cuanto mas denso sea, mas tiempo se necesitará para recogerlo).

El uso de placas paralelas interceptoras que consiste en hacer pasar las aguas residuales por una serie de placas paralelas, ha sido utilizado para facilitar la separación del aceite, ya que sirven para dejar el agua en reposo y reducir la distancia que el aceite tiene que recorrer para subir a la superficie, de donde se puede recoger, las aguas residuales pueden ser tratadas utilizando el método de separación por gravedad hasta lograr un nivel de aproximadamente 35-100 mg/l.

Cuando el aceite está presente, en estado de emulsión (como es el caso de los refrigerantes aplicados directamente a piezas de metal o equipo de fabricación de metal durante la manufactura) es necesario deshacer dicha emulsión. (Los aceites emulsionados frecuentemente se conocen por el nombre de 'aceites solubles', debido a que el aceite parece estar disuelto en agua, aunque en realidad está suspendido en el agua en forma de gotas muy pequeñas). Normalmente se deshace el estado de emulsión cambiando el pH o añadiendo compuestos químicos.

Los polielectrólitos se han convertido en el método preferido en la disolución del estado de emulsión debido a la gran cantidad de compuestos químicos que pueden usarse y el poco volumen de lodo residual que se produce (comparado con el antiguo procedimiento de usar cal o alumbre).

Después de deshacer la emulsión el aceite puede separarse utilizando técnicas de flotación ya sea flotación por aire disuelto o aire inducido. En la flotación por aire disuelto se somete a las aguas residuales a presión en la presencia de aire, lo que disuelve el aire en el agua. Cuando se corta la presión y se pasa el agua a un tanque descubierto se forman pequeñas burbujas de aire que transportan el aceite disuelto y los sólidos en suspensión a la superficie de donde pueden ser retirados por el proceso de desnatado o espumado.

La flotación por aire inducido consiste en introducir pequeñas burbujas por debajo de un líquido y, a medida que las burbujas emergen recogen el aceite y los sólidos en suspensión haciéndolos subir con ellas a la superficie de donde pueden ser separados. (Las burbujas de aire en el sistema de aire inducido son más grandes que las que se crean en sistemas de aire disuelto). La variable más importante en el diseño de sistemas de aire flotante es el tiempo que el tanque de flotación está en la zona de contacto con aire.

### 2.6.1. Separación por Gravedad

“El manejo de aguas aceitosas, se lleva a cabo mediante un sistema de separación gravitacional, aprovechando la diferencia de densidad entre el agua y el aceite, eficientes para remover aceite libre o dispersiones fácilmente separables. Los tanques interceptores de aceites y grasas, se denominan en general “Trampas de Grasa” y existen varios tipos de ellas, sin que se haya definido, hasta el momento, cual funciona mejor con cada tipo de aceite.” <sup>(26)</sup>

#### 2.6.1.1. Separador de Aceite API<sup>(14)</sup>

El separador de aceite API se usa para remover aceite de aguas residuales de refinería. Su uso está limitado a la separación y retención de sólidos y líquidos no miscibles, separables por gravedad. El separador API no retiene ni separa sustancias en solución, así como tampoco sirve para romper emulsiones. La eficiencia del separador como removedor de aceite se incrementa con el tiempo de retención; para remociones mayores del 50% de aceite se recomienda tiempos de retención mayores de 2 minutos. Los criterios básicos de diseño del separador de aceite de aguas residuales de refinerías, por gravedad, o tanque API, los ha formulado el American Petroleum Institute (API).

El área horizontal mínima se calcula por la expresión 2.6.a.

$$A_H = \frac{QF}{V_t} \quad (2.6.a.)$$

Donde:  $A_H$  = área horizontal mínima,  $m^2$

$Q$  = caudal de agua residual,  $m^3 / s$

$F$  = factor de compensación para cortocircuito y turbulencia

$V_t$  = velocidad de elevación del glóbulo de aceite de diámetro 0.0015 cm,  $m / s$

$$F = F_1 F_2 \quad (2.6.b.)$$

Donde:  $F_1$  = factor de compensación por cortocircuito, generalmente igual a 1.2  
 $F_2$  = factor de compensación para turbulencia, el cual depende del valor de la relación entre la velocidad horizontal de flujo y la velocidad de elevación del glóbulo de aceite (ver tabla 2.2.).

La velocidad de elevación del glóbulo de aceite se puede calcular por la ecuación 2.6.c. o ecuación de Stokes:

$$V_t = \frac{g(\rho_w - \rho_0)D^2}{18\mu} \quad (2.6.c.)$$

Donde:  $V_t$  = velocidad de elevación del glóbulo de aceite, m / s

$g$  = aceleración de la fuerza de gravedad, m / s<sup>2</sup>

$\mu$  = viscosidad absoluta del agua residual, Ns / m<sup>2</sup>

$\rho_w$  = densidad del agua residual, Kg / m<sup>3</sup>

$\rho_0$  = densidad del aceite, Kg / m<sup>3</sup>

$D$  = diámetro del glóbulo de aceite, m

La viscosidad del agua residual ( $\mu$ ) se puede calcular mediante tablas, en base a su temperatura. La densidad del aceite se puede obtener de gráficos que relacionan densidades relativas con temperatura.

La velocidad horizontal máxima de flujo, en el tanque API, esta dada por el menor valor de la ecuación 2.6.d. o de la ecuación 2.6.e.

$$V_H \leq 15 V_t \quad (2.6.d.)$$

$$V_H \leq 0.0015 \text{ m / s} \quad (2.6.e.)$$

**Tabla 2.2.**

**Valores recomendados de  $F_2$**

$\frac{V_H}{V_t}$	$F_2$
<b>20</b>	<b>1.45</b>
<b>15</b>	<b>1.37</b>
<b>10</b>	<b>1.27</b>
<b>6</b>	<b>1.14</b>
<b>3</b>	<b>1.07</b>

**(Fuente: Romero, J. 1era edición (2000))**

El valor del factor de compensación por turbulencia se obtiene de la tabla 2.2. de acuerdo con el valor de la relación entre la velocidad horizontal de flujo y la velocidad ascensional del glóbulo de aceite.

El área mínima de la sección transversal del tanque separador API esta dada por la ecuación 2.6.f.

$$A_C = \frac{Q}{V_H} \quad (2.6.f.)$$



Donde:  $A_C$  = área de la sección transversal de flujo,  $m^2$

$Q$  = caudal de agua residual,  $m^3 / s$

$V_H$  = velocidad horizontal de flujo,  $m / s$

La relación mínima de profundidad / ancho es de 0.3 y máxima de 0.5; preferiblemente la profundidad debe ser mayor de 0.9 m y menor de 2.4 m, así como el ancho debe ser mayor de 1.8 m y menor de 6 m.

O sea,

$$0.3 \leq \frac{d}{B} \leq 0.5 \quad (2.6.g.)$$

$$0.9 \text{ m} \leq d \leq 2.4 \text{ m} \quad (2.6.h.)$$

$$1.8 \text{ m} \leq B \leq 6.0 \text{ m} \quad (2.6.i.)$$

Donde:  $d$  = profundidad del agua residual en el separador, m

$B$  = ancho del tanque separador, m

La longitud del tanque separador API se calcula por la expresión 2.6.j.

$$L = \frac{FV_H d}{V_t} \quad (2.6.j.)$$

Donde: L = longitud del tanque separador API, m

Para mejorar las características hidráulicas, prevenir cortocircuito y maximizar el rendimiento del tanque separador, se recomienda proveer, a la entrada del tanque, una pantalla de distribución con área transversal con flujo del 3 al 7% del área de la sección transversal de la cámara. Los orificios de distribución deben ser mayor de 3mm, colocados lo mas cerca posible para lograr una distribución cercana a la ideal. En el extremo de la salida del tanque separador hay que colocar una pantalla retenedora de aceite y un vertedero de salida. La pantalla vertical retenedora de aceite debe tener una sumergencia entre 0.5 y 0.6 d.

La pérdida sobre el vertedero de salida rectangular de pared delgada en caída libre, se puede calcular por la formula de Francis (ecuación 2.6.k.).

$$H = \left( \frac{Q}{1.84L} \right)^{2/3} \quad (2.6.k.)$$

Donde: H = altura de la lamina de agua sobre el vertedero, m

Q = caudal de agua residual, m<sup>3</sup> / s

L = longitud del vertedero, m

Cuando la caída libre del vertedero efluente del separador es mayor de 1.5 m, se recomienda diseñar la salida con una escalera o perfil de caída que limite la caída a unos pocos centímetros e impida la formación de aerosoles.

### 2.6.2. Flotación<sup>(9)</sup>

La flotación es un proceso unitario de separación basado en la capacidad para flotar de las partículas sólidas en una fase líquida. En las plantas municipales, los sólidos son típicamente grasas y aceites (FOG “Fats, Oils, Greases”), aunque en muchas de estas plantas sus cantidades son insignificantes y la flotación no es un proceso unitario esencial. En plantas industriales los sólidos pueden ser productos oleaginosos residuales. Este proceso de flotación implica el aporte de burbujas de aire desde la parte inferior de las cubas de flotación. Estas burbujas de aire se adhieren a la materia sólida y la capacidad del conjunto para flotar provoca que las partículas se eleven hasta la superficie donde son recogidas por rasquetas.

Existen varios sistemas de flotación entre los que se incluyen:

- Flotación al vacío.
- Electroflotación
- Flotación por aire disuelto (FAD)
- Flotación por aire inducido

La flotación al vacío consiste en saturar con aire el agua residual en el tanque de aireación y posteriormente provocar un vacío parcial en un depósito cubierto. Del líquido se liberan burbujas diminutas que se adhieren a las partículas en suspensión y que se desplazan hacia la superficie donde se recogen mecánicamente. Este proceso de flotación es común en la industria de procesamiento de fruta y vegetales en los EE UU.

La electroflotación es el proceso en que unos electrodos dispuestos en la base del tanque producen unas microburbujas cuando el líquido en los tanques es electrolizado por medio de corriente continua. Las burbujas de oxígeno producido en el ánodo se elevan y se adhieren a las partículas en suspensión, produciendo una capa en la superficie que puede ser barrida. Este proceso tiene un alto costo debido a la reposición de los electrodos.

El método de más éxito es el de flotación por aire disuelto. Normalmente (aunque no siempre) desde la zona inferior de la unidad de FAD se recircula parte del efluente. El caudal recirculado se almacena en un depósito a presión donde se mezcla con aire durante unos minutos hasta que se logra la saturación. Seguidamente este efluente recirculado se añade a la unidad de FAD donde se mezcla con el caudal bruto de entrada. A medida que la presión vuelve a ser atmosférica, el aire disuelto se desprende de la solución, formando burbujas finas,

que se elevan hasta la superficie llevando consigo la materia grasa, donde se separa. La velocidad ascensional de diseño se encuentra en un rango de 4 a 6 m/h y la relación aire a sólidos se encuentra entre el 1 y 5 por 100 en peso. La flotación por aire inducido es una variación del proceso de FAD donde el aire se introduce directamente en el tanque de flotación por medio de una soplante.

#### **2.6.2.1. Teoría de la Flotación por Aire Disuelto<sup>(8)</sup>**

La cantidad de aire que puede estar disuelta en el agua esta determinada por la ley de Henry, la cual establece que, para gases no ionizantes de baja solubilidad, el volumen disuelto en el agua varía con la presión absoluta. A 75 psia (5 bars), por ejemplo, el aire que puede disolverse en agua es 5 veces mayor que el que puede disolverse a la presión atmosférica. La cantidad de gas que teóricamente se liberará de una solución cuando la presión es reducida a la atmosférica es:

$$G_R = G_A \left( \frac{P_A}{14.7} - 1 \right) \quad (2.6.1)$$

Donde:  $G_R$  = gas liberado, mg/l

$G_A$  = solubilidad del gas a la presión atmosférica, mg/l (véase tabla 2.3.)

$P_A$  = presión absoluta en el tanque de saturación, psia.

Los valores obtenidos deberán ser corregidos por la eficiencia de la absorción del gas en el recipiente de saturación, la cual esta influida por los tiempos de mezclado y de retención. La eficiencia fluctúa entre el 40 y el 60%, de modo que la cantidad de gas liberado deberá ser alrededor de la mitad de la calculada por la formula anterior.

**Tabla 2.3.** Solubilidad del gas a la presión atmosférica en mg/l

<b>Temperatura</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>Aire</b>
0°C (32°F)	10.3	18.0	28.3
10°C (50°F)	8.0	15.0	23
20°C (68°F)	6.5	12.3	18.8
30°C (86°F)	5.5	10.5	16
40°C (104°F)	4.9	9.2	14.1
50°C (122°F)	4.5	8.5	13

**Fuente:** (Kemmer, F. McCallion, J. (1995). Tomo I)

Las burbujas de aire formadas en la unidad de FAD llevan en general una pequeña carga negativa. Según el tipo de las partículas y el grado de aglomeración del sólido, las burbujas de aire pueden pegarse a la materia por alguno de los siguientes mecanismos:

1. Simple adhesión de la burbuja de aire a la superficie del sólido. Esto puede ocurrir por colisión o por formación de la burbuja de cine en la superficie de la partícula.
2. atropamiento de la burbuja en la parte inferior del flóculo de lodo, de modo que la partícula de desecho sube a la superficie. Referido a veces como “tamizado”, esto implica que no es precisa una sujeción real de las burbujas de aire a las partículas de lodo para lograr la flotación.
3. Incorporación de las burbujas de aire a las estructuras del flóculo. Se cree que este es el método más eficiente de emplear el aire, ya que es menor la posibilidad de que el flóculo se separe de la burbuja. Este proceso es estimulado por el uso de polielectrólitos que, cuando están aplicados correctamente, harán flocular las partículas de lodo en los lugares donde las burbujas de agua salen de la solución.

Ya que la gravedad específica neta de las partículas aire-sólido o aire-líquido es menor que la del agua, estas suben a la superficie, y allí se consolidan formando una masa flotante que puede ser eliminada por desnatadoras mecánicas.

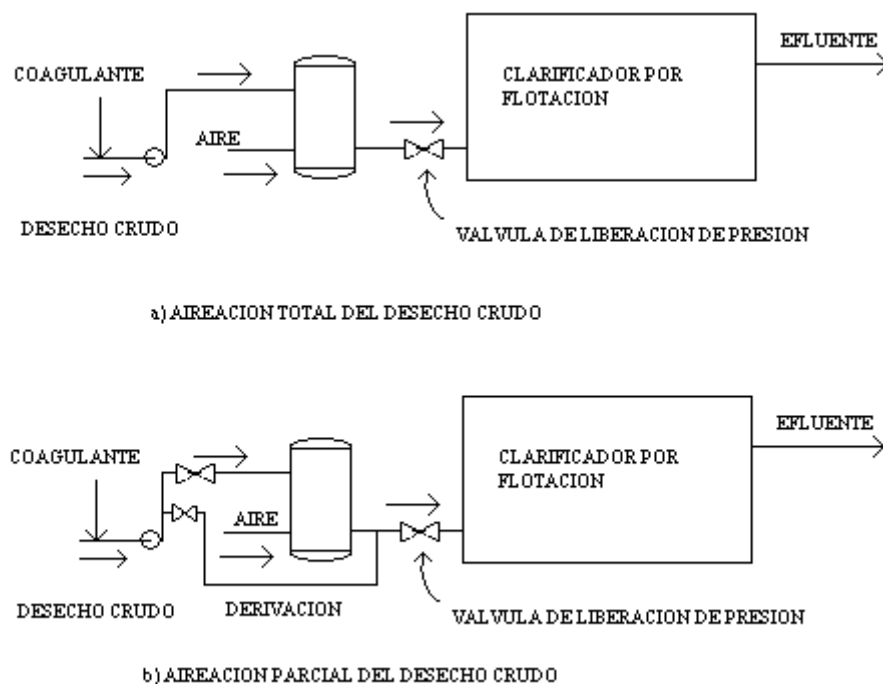
Tres son los tipos básicos de sistemas de flotación por aire disuelto (Ver Figura 2.3.). En el de aireación directa, toda la corriente de desecho se sujeta a presión y es aireada. En este caso, el material que va a separarse debe ser capaz de superar todas las fuerzas cortantes en la

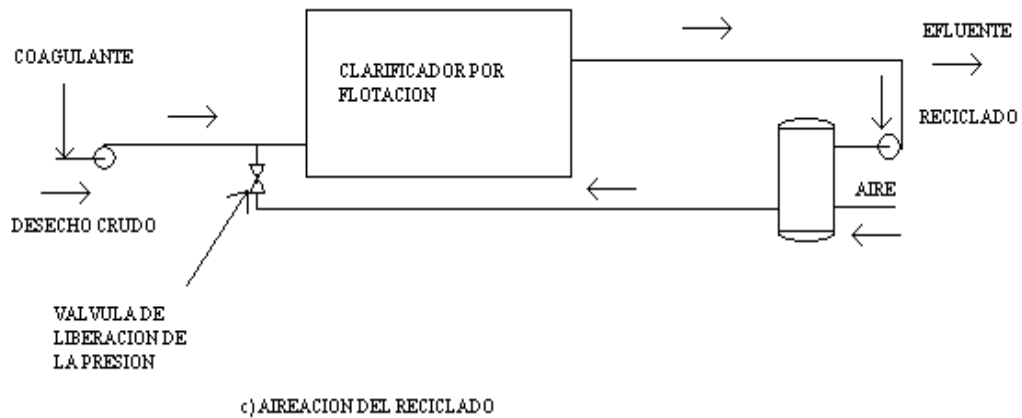
bomba presión y en la válvula de escape de presión, o bien, el flóculo debe volverse rápidamente a formar antes de que la presión sea liberada. Este método se usa con frecuencia cuando los desechos contienen aceite.

Cuando la aireación es parcial, solo una parte de la corriente de desecho se somete a presión. Este método reduce los costos de bombeo cuando la carga de sólidos es pequeña, pero solo es aplicable cuando esta presentes cantidades bajas o moderadas de aceite. Se varía la cantidad de flujo que se somete a presión basándose en la relación deseada de aire a sólidos en una base de pesos, generalmente en el intervalo de 0.01 a 0.06.

Se recomienda recircular el efluente donde se forma un flóculo frágil. Este flóculo podría destruirse por el mezclado intenso que se presenta en el sistema de compresión. Se disuelve gas en la corriente recirculada. Se combina esta corriente con la de alimentación en un punto donde se libera la presión. La mezcla de estas corrientes antes de entrar a la zona de flotación produce un contacto íntimo del gas precipitado y de los sólidos suspendidos para efectuar una flotación eficiente. Cuando se emplea la recirculación del efluente, las áreas de flotación deberán ser grandes, ya que la carga hidráulica esta basada tanto en el flujo de alimentación como en el de recirculación.

**Figura 2.3.** Sistemas de Flotación por Aire Disuelto (FAD)





**Fuente:** (Kemmer, F. McCallion, J. (1995). Tomo I)

### 2.6.2.2. Flotación por Aire Inducido

“En la flotación por aire inducido se generan burbujas mayores de 100 micras mediante dispositivos mecánicos de corte que actúan sobre el aire inyectado en el agua que esta en una celda de flotación. Las burbujas de aire enganchan a los sólidos, aumentando la flotabilidad de las partículas, haciendo que se eleven a la superficie y se concentren.”<sup>(9)</sup>

### 2.6.2.3. Desarenado – Desengrasado Conjunto<sup>(7)</sup>

El desarenado y desengrasado pueden realizarse de forma separada o bien conjuntamente en un mismo depósito. Esta última alternativa presenta las siguientes ventajas:

- Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican prácticamente por realizar el desarenado y la desemulsión de grasas en el mismo depósito. Ello es lógico si se considera la diferencia de densidades entre las partículas de arena y de grasa.
- El aire comprimido añadido para la desemulsión ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango, poco densas por lo que la arena depositada en el fondo del desarenador es más limpia.
- Las partículas de arena, al sedimentar, desaceleran las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así estas de mas tiempo para ponerse en contacto entre si

durante su recorrido hasta la superficie, aumentándose el rendimiento de la flotación de grasas.

Las necesidades de inyección de aire para evitar la sedimentación de materia orgánica, con acción de desemulsión de grasas, pueden deducirse de la siguiente tabla, en función de la superficie transversal “S” del desarenador.

**Tabla 2.4.**

**Caudales de Aire de un Desarenador-Desengrasador**

<b>S (m<sup>2</sup>)</b>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>C(a)</b>	4.5-	6-	7.5-	9-	10-	12-	13-	15-	16-	18-	19-	21-	22-
<b>(m<sup>3</sup>/h/m)</b>	10.5	11.5	13	14	15	17	18	19	20	21	22	23	25

**Fuente:** Hernández, A. 2da edición (2000))

## 2.7. MEDICIÓN DE ACEITES Y GRASAS<sup>(3)</sup>

El término aceite y grasa se aplica a una gran variedad de sustancias orgánicas que se extraen de las soluciones acuosas o de las suspensiones, mediante el hexano o el 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano (Freón-113 o CFC-113). Los principales materiales que estos solventes pueden disolver son hidrocarburos, ésteres, aceites, grasas, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular. Todos estos materiales tienen un “toque grasoso” y presentan los mismos problemas de los aceites y las grasas en el proceso de tratamiento de residuos.

El hexano y el CFC-113 se catalogan como solventes aceptables para las determinaciones estándares de aceite y grasa por ser buenos solventes de estos materiales, mientras que su capacidad para disolver otros compuestos orgánicos es mínima. Hoy en día, solo se recomienda el CFC-113 puesto que ofrece menor riesgo de explosión que el hexano. Sin embargo, todos los clorofluorocarbonos (CFC), incluyendo el CFC-113, que son excelentes solventes y refrigerantes y han tenido amplia utilidad industrial y comercial, son los responsables de la depleción del ozono en la estratosfera antártica; por esta razón han sido mundialmente retirados de la producción. Por tanto, es posible que en futuro cercano se



retorne al hexano para el análisis de aceites y grasas. En el pasado también se usaron el cloroformo, el éter dietílico y otros solventes, pero tienen inconvenientes en uno o más aspectos; por ejemplo, la limitada disolución de los carbohidratos por el cloroformo.

Todos los métodos estándares para hacer la determinación de aceites y grasas en el agua, en las aguas residuales y en los lodos emplean la extracción del solvente por el CFC-113. Estos procedimientos no miden los hidrocarburos de bajo peso molecular, como la gasolina, puesto que no tienen buena partición en el solvente. Adicionalmente, uno de los procedimientos para las muestras de agua y los lodos requiere el secado de la muestra a 103 °C antes de la extracción. En consecuencia, se pierden los materiales con punto de ebullición inferior a esta temperatura, del mismo modo que se pierden cantidades considerables de todos los demás materiales que tienen altas presiones de vapor a 103 °C. Estos compuestos, salvo en casos raros, existen normalmente en cantidades relativamente pequeñas en las aguas residuales domésticas y son poco importantes, excepto los residuos de la industria de petróleo.

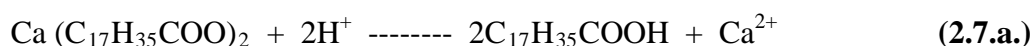
La mayoría de materiales clasificados normalmente como “grasas” tienen muy bajas presiones de vapor a 103°C y se pueden recuperar en su totalidad por la extracción con el CFC-113. Cuando hay aceites secantes, durante el procedimiento de secado ocurre algún grado de oxidación en los enlaces insaturados que los puede hacer insolubles. Sin embargo, estos aceites normalmente no están presentes en grandes proporciones en los residuos domésticos.

Si bien los métodos utilizados para la determinación de la grasa pueden parecer muy poco refinados e imprecisos, son el resultado de años de esfuerzo para obtener una medición razonable de la cantidad de grasa en el agua, en los residuos domésticos e industriales y en los lodos que tienden a separarse en la fase acuosa y crear problemas especiales. Una vez que los ingenieros comprendieron la finalidad de la determinación de los aceites y las grasas y entendieron la importancia relativa de los materiales volátiles en comparación con los no volátiles, se adaptaron a las condiciones del método de la prueba y sus limitaciones.

### 2.7.1. Medición de Aceites y Grasas en Aguas Residuales<sup>(3)</sup>

El contenido de aceites y grasas en las aguas relativamente limpias no es una determinación de rutina y rara vez se realiza, excepto en aquellos casos especiales en que ha ocurrido contaminación accidental. La elección del método de análisis depende de la volatilidad de los contaminantes. Todos los procedimientos estándares miden los materiales con punto de ebullición alto, pero los que tienen alta presión de vapor a 70°C se deben medir con los procedimientos de partición infrarroja o el de los hidrocarburos, que se describen mas adelante.

Las principales sustancias en las aguas residuales domésticas que se clasifican como aceites y grasas son los aceites, las grasas, las ceras y los ácidos grasos. Las aguas residuales industriales pueden contener ésteres simples y, posiblemente, otros pocos compuestos de la misma categoría. El termino “aceite” representa una gran variedad de sustancias del grupo de los hidrocarburos del petróleo con alto y bajo peso molecular; el termino recorre la gama que hay entre la gasolina y los combustibles pesados e incluye los aceites lubricantes. La grasa representa los hidrocarburos de peso molecular más alto y todos los glicéridos de origen animal y vegetal. Los ácidos grasos se encuentran principalmente en forma de precipitado, como los jabones de calcio y magnesio; como tales, son insolubles en solventes. Las muestras se acidifican con ácido clorhídrico hasta aun pH cercano a 1.0, con el fin de que liberen los ácidos grasos para su análisis. La reacción química se puede representar por la ecuación



Se dispone de cuatro procedimientos diferentes para la determinación del aceite y la grasa en las muestras de agua y de agua residual. Todos comienzan con la extracción con el CFC-113. Posteriormente, en el método gravimétrico de partición, el CFC-113 es separado del agua y evaporado; el residuo remanente se utiliza como medida del contenido de grasa y aceite. En el método de partición infrarroja, los materiales extraídos del CFC-113 se miden con exploración infrarroja; la precisión de este método depende de los estándares de aceites y grasas utilizados para la calibración, que son de composición similar a los de las muestras que se analizan; su ventaja sobre el procedimiento gravimétrico es la velocidad de análisis. El

tercer procedimiento incluye un paso inicial de acidificación y filtración para remover el aceite y la grasa de la fase acuosa, y luego la extracción por el CFC-113; este procedimiento tiende a retener mas hidrocarburos volátiles que el procedimiento gravimétrico, pero consume más tiempo.

La filtración es una práctica aceptable en el tercer procedimiento, puesto que separa en forma efectiva los aceites y las grasas y permite que salgan en el filtrado los materiales solubles de bajo peso molecular, sin consecuencias sobre la medición. El secado del material filtrado remueve el agua de manera que el solvente pueda penetrar fácilmente a la muestra y llevar a cabo la separación de la grasa en un periodo de extracción de 4 horas, que es lo que normalmente se espera. También elimina la posibilidad de que se pasen al extracto cantidades apreciables de agua, simplificando así el proceso de secado. Se utiliza un extractor tipo Soxhlet, que realiza la extracción en forma intermitente, por tandas.

Existe un cuarto método estándar usado para el agua y el agua residual, diseñado para determinar en forma más selectiva los hidrocarburos de los productos del petróleo, que excluye los ácidos grasos y otros materiales grasos de origen animal y vegetal. Por tanto, es un análisis para *hidrocarburos*, más que para aceites y grasas. En este caso, se agrega al extracto del CFC-113 un gel de sílice, que remueve selectivamente los materiales grasos; los materiales que quedan en el solvente CFC-113 se analizan luego mediante cualquiera de los otros tres procedimientos.

### **2.7.2. Medición de Aceites y Grasas en Lodos<sup>(3)</sup>**

Con frecuencia los lodos tienen una consistencia y carácter que los hace difíciles de filtrar, y usualmente se requieren periodos prolongados para secarlos en forma suficiente para la extracción por el solvente. El procedimiento estándar que se utiliza se basa en una técnica de deshidratación que elimina la necesidad de filtración y secado. El método consiste en pesar una cantidad definida de la muestra, se acidifica para liberar los ácidos grasos, como se indica en la ecuación (2.7.a.), y luego se añade  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en cantidad suficiente para que se combine con toda el agua libre y produzca formas hidratadas mas altas, siendo la forma final el  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Con el agua unida químicamente, la muestra es pulverizada para facilitar

la extracción de la grasa. Para separar la materia orgánica diferente de la grasa y la grasa del  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  con el CFC-113, se usa un extractor de Soxhlet.

## 2.8. MEDICIÓN DE CAUDAL

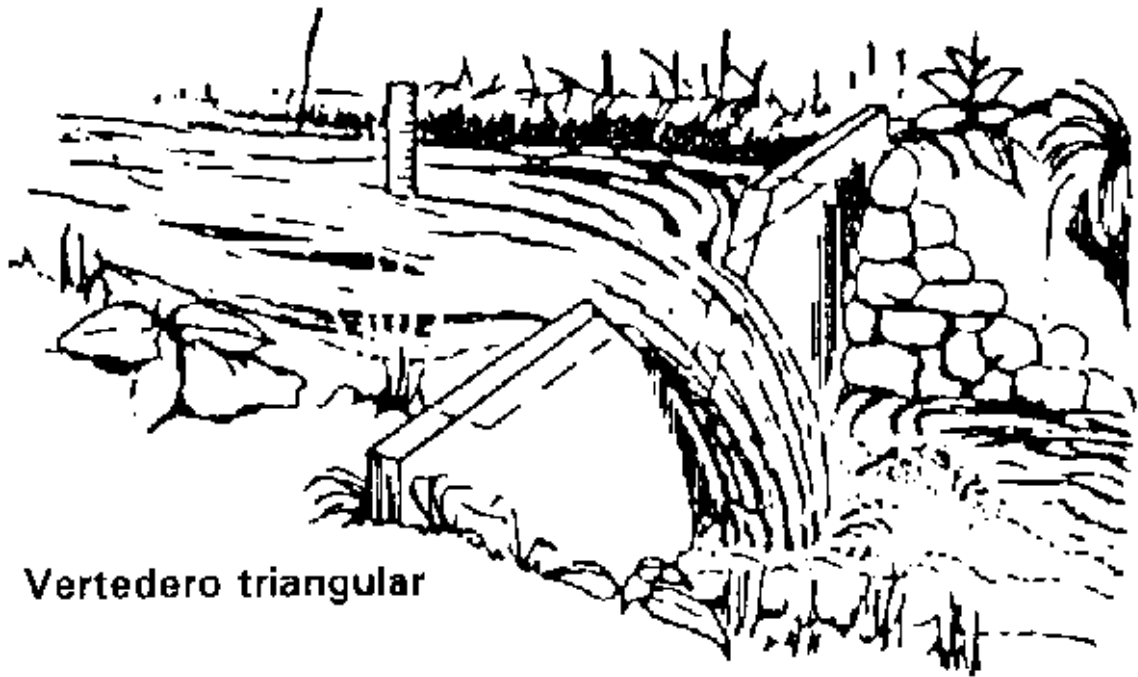
“La medición del caudal de las corrientes naturales nunca puede ser exacta debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto es irregular la relación entre nivel y caudal. Los canales de corrientes naturales están también sometidos a cambios debidos a erosión o depósitos. Se pueden obtener cálculos más confiables cuando el caudal pasa a través de una sección donde esos problemas se han limitado. Para ello se podría simplemente alisar el fondo y los lados del canal, o recubrirlos con mampostería u hormigón o instalar una estructura construida con ese fin. Existe una amplia variedad de esos dispositivos, la mayoría idóneos para una aplicación particular.” <sup>(17)</sup>

### 2.8.1. Vertederos de Pared Aguda<sup>(23)</sup>

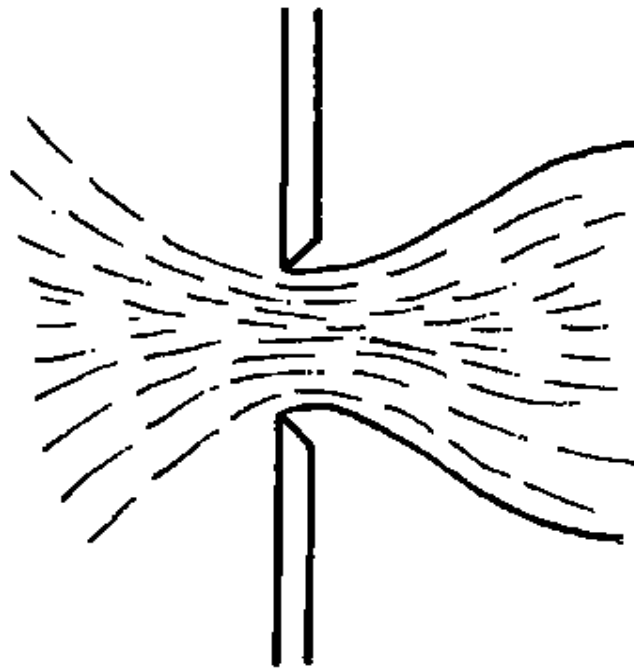
Los dos tipos más comunes son el vertedero triangular (con escotadura en V) y el vertedero rectangular como se muestra en la Figura 2.4. Debe haber una poza de amortiguación o un canal de acceso aguas arriba para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero lenta y suavemente. Para tener mediciones precisas el ancho del canal de acceso debe equivaler a ocho veces al ancho del vertedero y debe extenderse aguas arriba 15 veces la profundidad de la corriente sobre el vertedero. El vertedero debe tener el extremo agudo del lado aguas arriba para que la corriente fluya libremente tal como se muestra en la Figura 2.5. A esto se denomina **contracción final**, necesaria para aplicar la calibración normalizada.

Para determinar la profundidad de la corriente a través del vertedero, se instala un medidor en la poza de amortiguación en un lugar en el que se pueda leer fácilmente. El cero del medidor fija el nivel en el punto más bajo de la escotadura. El medidor debe instalarse bastante detrás de la escotadura para que no se vea afectado por la curva de descenso del agua a medida que el agua se acerca a la misma.

**Figura 2.4.** Vertedero con escotadura en “V” de 90°<sup>(\*)</sup>



**Figura2.5.** Los vertederos con pared aguda deben tener el extremo agudo aguas arriba<sup>(\*)</sup>



(Fuente: [www.fao.org](http://www.fao.org))

Los vertederos con escotadura en V son portátiles y sencillos de instalar de manera temporal o permanente. La forma en V significa que son más sensibles a un caudal reducido, pero su ancho aumenta para ajustarse a caudales mayores. El ángulo de la escotadura es casi siempre de 90°, pero se dispone de diagramas de calibración para otros ángulos, 60°, 30° y 15°, cuando es necesario aumentar la sensibilidad. En la Tabla 2.5. Figuran los valores del caudal a través de pequeños vertederos con escotadura en V de 90°.

Para caudales mayores el vertedero rectangular es más adecuado porque el ancho se puede elegir para que pase el caudal previsto a una profundidad adecuada.

**Tabla 2.5.** - Caudales por encima de un vertedero de escotadura en V de 90° (de USDI 1975)

<b>Carga (mm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
40	0,441
50	0,731
60	1,21
70	1,79
80	2,49
90	3,34
100	4,36
110	5,54
120	6,91
130	8,41
140	10,2
150	12,0
160	14,1
170	16,4
180	18,9
190	21,7

## **2.9. ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO**

“Análisis gravimétrico significa análisis por peso y hace referencia a todas las determinaciones donde los resultados finales se obtienen mediante la balanza analítica. En el campo de la ingeniería ambiental, las determinaciones de sólidos totales, en suspensión, fijos y volátiles se hace por procedimientos gravimétricos porque es el mejor método para obtener la información necesaria.” <sup>(3)</sup>

### **2.9.1. Determinación de Sólidos Totales**

La determinación de sólidos totales se hace fácilmente por evaporación y secado de la muestra medida en un recipiente de peso conocido. La diferencia entre el peso de la muestra original y el peso de la muestra seca y evaporada, nos da la cantidad de sólidos totales presentes en esa muestra.

## **CAPÍTULO III**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

Para la realización de la presente investigación fue necesario caracterizar el efluente líquido de la empresa, para lo cual se midieron parámetros in-situ como pH, temperatura, además, se registró el caudal medio de descarga de efluentes de los florentinos. También se determinó en los laboratorios tanto de Aiquisa como de la UISEK, la concentración de aceites y grasas y la concentración de sólidos totales, para esto, se tomaron varias muestras del efluente con diferentes propósitos.

#### **3.1. PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ENSAYO**

##### **3.1.1. Plan de Muestreo**

En la primera parte de la investigación se tomaron diez muestras simples, una cada media hora, tanto antes como después de los tanques florentinos, con un volumen parcial de 250ml y se midió en cada una, el pH y temperatura. Después de 5 horas de muestreo se unieron todas las muestras simples para formar una sola muestra compuesta en tiempo de 2.5 litros y en esta se realizaron las determinaciones de aceites y grasas y sólidos totales. Este ensayo tiene como fin determinar la calidad del efluente y la eficiencia del sistema actual de recuperación de aceites y grasas, en un tiempo aproximado al de un turno de trabajo.

La segunda etapa del muestreo consistió en tomar diez muestras compuestas, cada una formada por tres simples de 50ml, tomadas cada 10 minutos, de esta forma se completaba una muestra compuesta de 150ml cada media hora. De igual manera que en el caso anterior, de cada una se tomaron datos de pH y temperatura. Al final de 5 horas de muestreo se realizaron las diez determinaciones correspondientes de aceites y grasas y de sólidos totales.



### 3.1.1.1 Recolección y Preservación de Muestras

Antes de empezar el muestreo se determinó los puntos de recolección, los cuales están ubicados a la entrada y a la salida de los florentinos (como se observa en la fotografía 3.1.), de esta manera podemos contar con datos que nos permitan calcular la cantidad de aceites y grasas y de sólidos totales que son retenidas en el actual sistema de recuperación de la planta extractora Aiquisa. También se identificó cada una de las botellas de recolección para que sean perfectamente reconocibles una vez que estas se encuentren en el laboratorio para su respectivo análisis.

**Fotografía 3.1.** Puntos de muestreo (entrada y salida del Florentino)



Para que las muestras recolectadas no se contaminen y se mantengan en perfecto estado hasta el momento de realizar las determinaciones en el laboratorio, se procedió con extremo cuidado en la limpieza de los recipientes recolectores, lavándolos primero con agua limpia y luego enjuagándolos tres veces en el efluente de estudio, antes de tomar una muestra del mismo.

Una vez completa la cantidad de muestra requerida se sellaban los recipientes herméticamente, para evitar que el oxígeno pueda alterar la concentración de cualquiera de los parámetros a ser medidos (en los casos en que era posible se llenó los frascos de muestras hasta que se derrame el líquido de manera que no exista aire en la botella).

En el caso de los aceites y grasas, para que estos se preserven y no altere su concentración, se tomaron las muestras en recipientes de vidrio, bien sellados. En los casos en que las determinaciones no se realizaron de inmediato (laboratorio de la Aiquisa), se preservaron los frascos con muestras en “coolers” con hielo a una temperatura aproximada de 4°C, nunca excediendo las 48 horas de espera hasta realizar las mediciones (no fue necesario preservar las muestras con ácido clorhídrico debido a que los análisis se los realizó casi inmediatamente).

Para las partículas sólidas las condiciones de recolección y preservación de las muestras son mucho más flexibles y al no alterarse con las condiciones requeridas para muestrear aceites y grasas, las determinaciones de este parámetro se realizaron utilizando las mismas muestras recogidas para el aceite.

### **3.1.2. Métodos de Análisis**

Los métodos utilizados en esta investigación para la determinación de aceites y grasas y sólidos totales son el método de extracción Soxhlet y el método gravimétrico respectivamente, con algunas variaciones realizadas para mejorar la obtención de datos y su reproducción.

#### **3.1.2.1. Medición de Aceites y Grasas**

Una vez tomada la muestra se procedió al análisis de aceites y grasas usando el método de extracción Soxhlet, para esto se siguieron los siguientes pasos:

- Precalentar la estufa 8 horas antes de iniciar el ensayo a 105°C y colocar dentro las cápsulas y pedazos de algodón (aproximadamente 3 gramos), necesarios para el análisis, con el propósito de que pierdan toda la humedad que puedan tener.
- Identificar las cápsulas para reconocer a que muestra le corresponde.

- Pesar las cápsulas y los pedazos de algodón y anotar los resultados.
- Forrar las cápsulas con el algodón y colocar 100ml de la muestra líquida del efluente, cubriéndola también con una lámina de algodón. (el algodón sirve para que en líquido no se pegue a las paredes de la cápsula, una vez que estén secas). Figura 3.2.

**Fotografía 3.2.** Proceso de secado de la muestra.



- Colocar las cápsulas llenas en el horno de microondas por aproximadamente 15 minutos por cada una, para retirar de una manera mas rápida toda el agua que pueda tener la muestra.
- Una vez que salen del horno de microondas, colocar las cápsulas en la estufa por un tiempo mínimo de 8 horas a 105°C, así, se logra eliminar cualquier resto de humedad.
- Esperar hasta que las cápsulas estén completamente secas, volver a pesar y registrar los resultados.
- Recoger el algodón con la muestra seca de cada una de las cápsulas y asignar, a cada una, un dedal de extracción en el cual se los introduce. Sellar con papel filtro y clips para evitar que se desprendan pedazos de la muestra seca. (Ver Fotografía 3.3.)

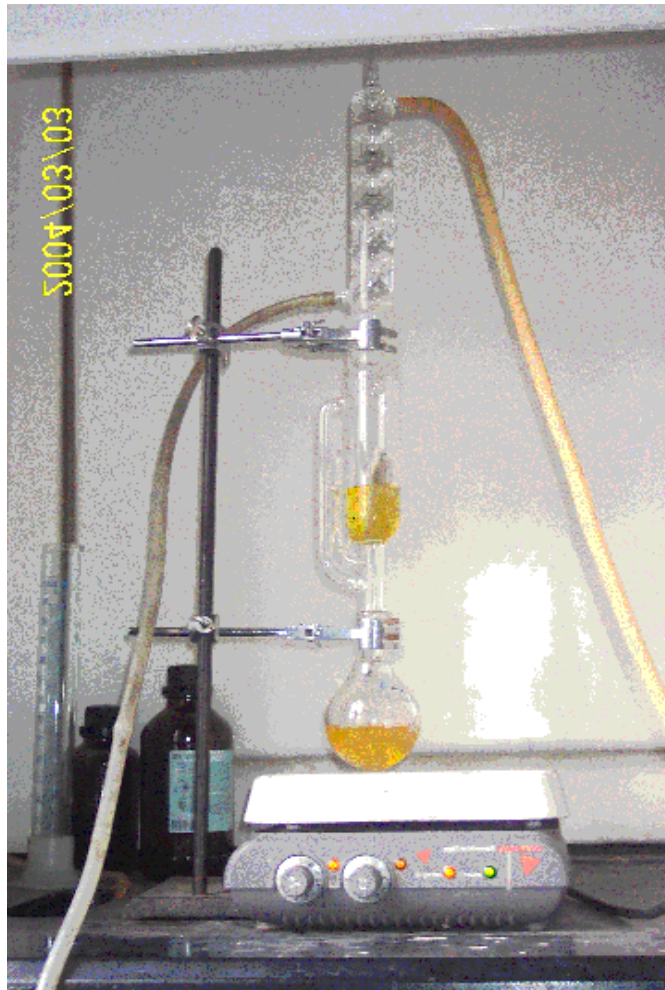
- Pesar balones vacíos, previamente secados en la estufa y se coloca en ellos el volumen de cloroformo que se ha comprobado que es suficiente para que logre reflujar en el soxhlet.

**Fotografía 3.3.** Muestra seca y dedal de extracción sellado



- Introducir los dedales de extracción llenos con muestra en el soxhlet y armar el equipo como se muestra en la fotografía 3.4.
- Prender la fuente de calor para empezar la extracción, durante aproximadamente 2 horas o hasta que se clarifique el cloroformo en la cámara de reflujo.
- Terminada la extracción se retira los dedales y se desarma el equipo soxhlet; en el mismo balón se arma el equipo de destilación, para recuperar de esta manera el cloroformo que ha extraído el aceite de la muestra (fotografía 3.5.)
- Una vez que en el balón solo queda una pequeña costra, que es el aceite, se lo introduce en la estufa a 105°C por 8 horas, mínimo, para que elimine toda la humedad y cualquier rastro de cloroformo sobrante.
- Pesar el balón después de las 8 horas y registrar el resultado.

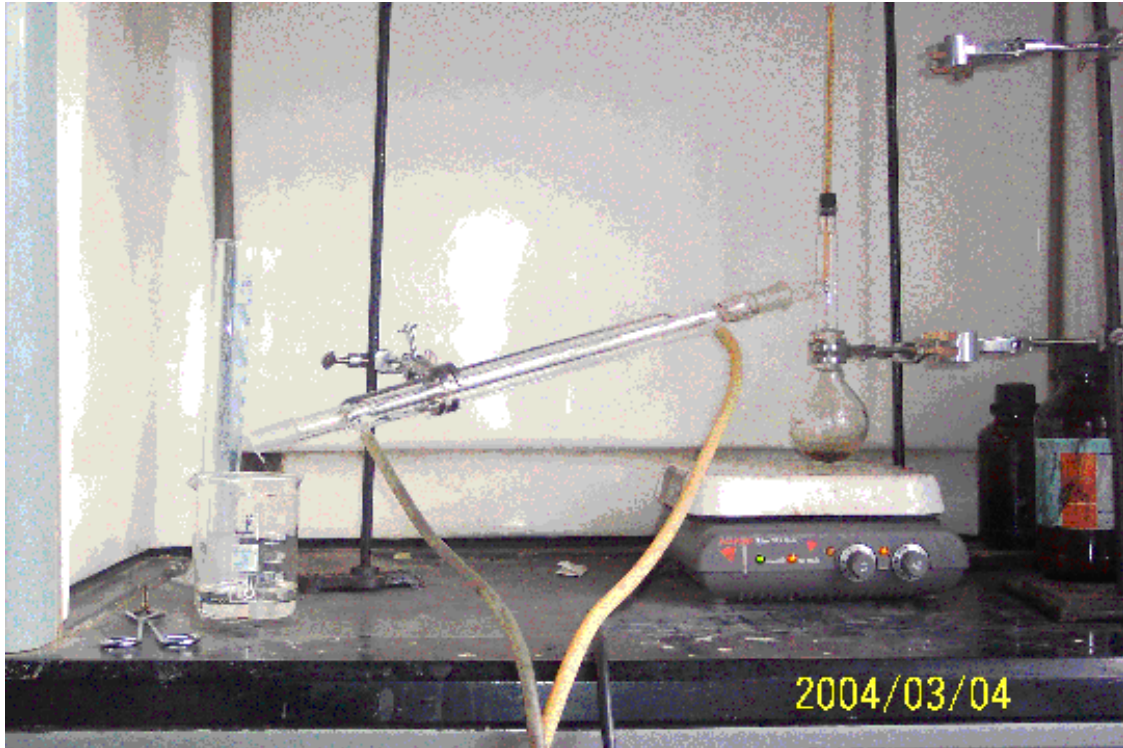
**Fotografía 3.4.** Equipo de extracción Soxhlet



La diferencia entre el peso del balón con el aceite extraído, una vez seco, y el balón vacío, seco, nos da como resultado el peso de aceite en gramos que existe en una muestra de 100ml de efluente, resultado que, mediante transformación de unidades se lo puede expresar en partes por millón (ppm) de aceite, que es la medida de concentración.



**Fotografía 3.5.** Equipo de destilación



#### **3.1.2.2. Medición de Sólidos Totales**

Para la determinación de sólidos totales se utilizó el método gravimétrico que consiste en registrar la diferencia de pesos que existe entre una cápsula que contiene la muestra seca (sin rastros de agua) y la cápsula vacía. Para este análisis se implementan los siguientes pasos.

- Precalentar la estufa 8 horas antes de iniciar el ensayo a 105°C y colocar dentro las cápsulas y pedazos de algodón (aproximadamente 3 gramos), necesarios para el análisis, con el propósito de que pierdan toda la humedad que puedan tener.
- Identificar las cápsulas para reconocer a que muestra le corresponde.
- Pesar las cápsulas y los pedazos de algodón y anotar los resultados.
- Forrar las cápsulas con el algodón y colocar 100ml de la muestra líquida del efluente, cubriéndola también con una lámina de algodón. (el algodón sirve para que en líquido no se pegue a las paredes de la cápsula, una vez que estén secas).

- Colocar las cápsulas llenas en el horno de microondas por aproximadamente 15 minutos por cada una, para retirar de una manera mas rápida toda el agua que pueda tener la muestra.
- Una vez que salen del horno de microondas, colocar las cápsulas en la estufa por un tiempo mínimo de 8 horas a 105°C, así, se logra eliminar cualquier resto de humedad.
- Esperar hasta que las cápsulas se encuentren completamente secas, volver a pesar y registrar los resultados.

La diferencia entre el peso de las cápsulas con la muestra seca y el peso de la cápsula vacía más el algodón, nos da como resultado el peso de las partículas sólidas en 100ml del efluente líquido, este peso se lo puede transformar en partes por millón de sólidos totales o concentración.

### **3.1.3. Pruebas de Tratabilidad**

Las pruebas de tratabilidad se realizaron tanto en el laboratorio de Aiquisa como en el de la Universidad Internacional “SEK”. Se ensayó dos métodos de remoción de aceites y grasas, el primero por gravedad en un tanque piloto preparado según el diseño propuesto en el presente trabajo (Ver Figura 3.1.) y el segundo, se realizó una combinación de flotación por aire inducido y separación por gravedad, donde en la primera celda del tanque piloto se inducía aire desde el fondo utilizando una bomba y un difusor para provocar un burbujeo y en las siguientes celdas se dejaba en reposo para que las partículas sólidas puedan sedimentarse y el aceite subir a la superficie.

Las cuatro pruebas que se realizaron para determinar que método es el más eficiente para remover el aceite que contiene el efluente, se describen a continuación.

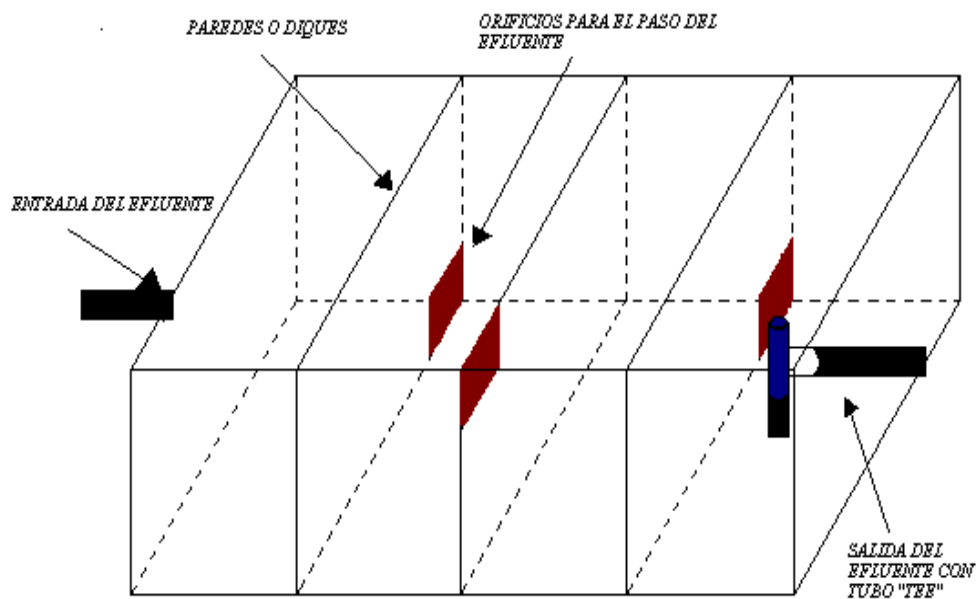
- a) Flotación Estática o por Batch: este primer ensayo consistió en la inyección de aire por un tiempo de 30 minutos en un tanque, sin entrada ni salida de efluente. Se lo realizó en el laboratorio de la UISEK a temperatura ambiente (20°C) y las muestras del efluente flotado para los análisis se tomaron, todas a una profundidad igual a un tercio de la altura del agua en el tanque.

- b) Flotación con Caudal Regulado: se trabajó con la inyección de aire en la primera celda del tanque piloto, haciendo que circule un caudal regulado dependiendo del tiempo de retención que se quiera, esto se logró utilizando un tanque de 150 litros con una llave de paso, el cual se llenó del efluente y se determinó la apertura de la llave para dejar pasar el caudal deseado (se realizó los mismos pasos para tiempos de retención de 20, 30 y 60 minutos). Las muestras para los análisis fueron tomadas en el tubo de descarga del tanque el cual cuenta con una T sumergida (Cuello de Ganso) que no permite que los aceites y grasas removidos salgan del tanque.
- c) Flotación con Caudal Regulado y Comparación con el Sistema de Gravedad: en este ensayo se trabajo igual que en el anterior, pero, se dejo también circular el efluente por el tanque piloto sin la inducción de aire, para probar como funciona el sistema por diferencia de densidades entre el aceite y el agua. En esta prueba se trabajo con tiempos de retención de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, tanto para el sistema con flotación como para el de gravedad. Las muestras para los análisis fueron tomadas de igual manera que en el ensayo anterior.
- d) Este ultimo ensayo se lo realizó de igual manera que el anterior con la única diferencia que en este solo se trabajó con tiempos de retención de 30 y 60 minutos tanto para flotación como para el sistema de gravedad

En todos los ensayos se tomó también muestras del efluente original (sin pasar por el sistema de flotación o gravedad) para comparar las concentraciones de aceite de este con las demás muestras y determinar que porcentaje de aceites y grasas y de sólidos totales se ha logrado remover.



**Figura 3.1.** Tanque Piloto<sup>(\*)</sup> Usado en los Ensayos de Tratabilidad



<sup>(\*)</sup> Las dimensiones del tanque son: Largo = 49.5cm; Ancho = 20cm y Alto = 20cm  
con un volumen de 17.4 litros

## 3.2. DATOS EXPERIMENTALES

### 3.2.1. Caracterización del Efluente

Todas las siguientes tablas contienen los datos recogidos en los cuatro muestreos realizados como pH y temperatura, además cuentan con los resultados de los análisis y los cálculos hechos con los datos obtenidos en el laboratorio como caudal, concentración de aceite y grasas, sólidos totales y en los tres primeros muestreos, sólidos suspendidos. Para averiguar sobre procedimientos de muestreo, toma de muestras, medición de parámetros en el campo y métodos de análisis para determinaciones de parámetros, referirse a la sección 3.1. del presente capítulo.

Primer Muestreo:

**Tabla 3.1.** Caudal, pH y Temperatura del Efluente

<b>Muestreo # 1 (*)</b>						
<b>Fecha: 15-01-2004</b>						
<b>Tipo de Muestra: Compuesta</b>			<b>Volumen de Muestra Simple: 250ml</b>			
<b>Frecuencia: cada 30 min</b>			<b>Entrada al Florentino</b>		<b>Salida del Florentino</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	10:30	2,6	4,5	60,3	4,6	53,9
2	11:00	2,4	4,5	58,0	4,5	57,3
3	11:30	2,2	4,5	62,1	4,6	54,8
4	12:00	3,1	4,7	64,4	4,6	56,5
5	12:30	2,6	4,6	63,7	4,6	57,7
6	13:00	2,8	4,5	62,7	4,6	58,9
7	13:30	2,2	4,5	64,0	4,7	56,4
8	14:30	1,9	4,6	61,2	4,7	56,3
9	15:00	2,0	4,8	60,1	4,6	54,7
10	15:30	1,9	4,6	60,3	4,7	54,3
<b>Promedio</b>		<b>2,4</b>	<b>4,6</b>	<b>61,7</b>	<b>4,6</b>	<b>56,1</b>

(\*) Se formó una muestra compuesta por 10 muestras simples

**Tabla 3.2.** Concentraciones de Aceites y Sólidos

<b>Cantidad de muestra para el análisis: 100ml</b>									
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Entrada Florentino</b>				<b>Salida Florentino</b>			
		<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Prom</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Prom</b>
Aceites y Grasas	mg/l	8406,7	11124,0	8761,3	<b>9430,7</b>	10801,3	14578,0	11000,7	<b>12126,7</b>
Sólidos Totales	mg/l	46739,3	46234,0	45953,3	<b>46308,9</b>	44282,7	43645,3	43948,0	<b>43958,7</b>
Sólidos Suspendidos	mg/l	23862,5	23950,0	23537,5	<b>23783,3</b>	14312,5	13587,5	13687,5	<b>13862,5</b>

Segundo Muestreo:

**Tabla 3.3.** Caudal, pH y Temperatura del Efluente

<b>Muestreo # 2 <sup>(*)</sup></b>						
<b>Fecha: 27-02-2004</b>						
<b>Tipo de Muestra: Compuesta</b>			<b>Volumen de Muestra Simple: 250ml</b>			
<b>Frecuencia: cada 30 min</b>			<b>Entrada al Florentino</b>		<b>Salida del Florentino</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	10:30	1,8	4,87	61,0	5,01	59,0
2	11:00	2,2	5,01	65,0	5,02	61,0
3	11:30	2,9	5,06	62,1	5,01	59,0
4	12:00	3,2	4,98	63,0	5,06	58,0
5	12:30	3,1	4,97	65,0	5,01	61,0
6	13:00	3,1	4,94	66,0	5,00	59,0
7	13:30	2,8	4,95	65,0	5,01	59,0
8	14:30	3,1	4,95	66,0	4,96	60,0
9	15:00	2,6	4,91	66,0	4,93	62,0
10	15:30	2,8	4,97	65,0	4,95	61,0
<b>Promedio</b>		<b>2,8</b>	<b>5,0</b>	<b>64,4</b>	<b>5,0</b>	<b>59,9</b>

<sup>(\*)</sup> Se formó una muestra compuesta por 10 muestras simples

**Tabla 3.4.** Concentraciones de Aceites y Sólidos

<b>Cantidad de muestra para análisis: 100ml</b>									
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Entrada Florentino</b>				<b>Salida Florentino</b>			
		<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Prom</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Prom</b>
Aceites y Grasas	mg/l	14708,7	13333,3	12666,7	<b>13569,6</b>	9333,3	11944,7	12000,0	<b>11092,7</b>
Sólidos Totales	mg/l	48091,3	62666,7	55003,3	<b>55253,8</b>	42796,7	45447,3	46279,3	<b>44841,1</b>
Sólidos Suspendidos	mg/l	23212,5	19462,5	19812,5	<b>20829,2</b>	13775,0	14987,5	15550,0	<b>14770,8</b>

Tercer Muestreo:

**Tabla 3.5.** Caudal, pH y Temperatura del Efluente

<b>Muestreo # 3 (*)</b>						
<b>Fecha: 11-03-2004</b>						
<b>Tipo de Muestra: Compuesta</b>			<b>Volumen de Muestra Simple: 250ml</b>			
<b>Frecuencia: cada 30 min</b>			<b>Entrada al Florentino</b>		<b>Salida del Florentino</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Hora</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	16:00	3,0	5,1	65	5,1	58
2	16:30	2,6	5,0	63	5,1	60
3	17:00	2,4	5,0	64	5,0	60
4	17:30	2,3	5,0	62	5,1	59
5	18:00	1,9	5,0	59	5,0	59
6	18:30	2,1	5,0	59	5,0	59
7	19:00	2,1	5,2	59	5,0	58
8	19:30	4,2	5,0	53	5,0	56
9	20:00	3,2	5,0	58	5,1	53
10	20:30	3,2	5,0	59	5,0	55
<b>Promedio</b>		<b>2,7</b>	<b>5,0</b>	<b>60,1</b>	<b>5,0</b>	<b>57,7</b>

(\*) Se formó una muestra compuesta por 10 muestras simples

**Tabla 3.6.** Concentraciones de Aceites y Sólidos

Cantidad de muestra para análisis: 100ml							
	Número de Muestra	Concentración de aceite (mg/l)	Prom (mg/l)	Concentración de ST (mg/l)	Prom (mg/l)	Concentración de SS (mg/l)	Prom (mg/l)
M1 (entrada al florentino)	1	14400,0	13616,0	59426,7	53592,0	23212,5	20829,2
	2	15293,3		47426,7		19462,5	
	3	10846,7		68220,0		19812,5	
	4	14586,7		44960,0		SM	
	5	15213,3		47926,7		SM	
	6	11060,0		SM		SM	
	7	13393,3		SM		SM	
	8	14046,7		SM		SM	
	9	14653,3		SM		SM	
	10	12666,7		SM		SM	
M2 (salida del florentino)	1	5366,7	9320,0	48506,7	57254,7	13775,0	14770,8
	2	5200,0		58240,0		14987,5	
	3	12080,0		58273,3		15550,0	
	4	7373,3		65126,7		SM	
	5	10140,0		56126,7		SM	
	6	10673,3		SM		SM	
	7	10246,7		SM		SM	
	8	10560,0		SM		SM	
	9	10753,3		SM		SM	
	10	10806,7		SM		SM	

SM = sin medición

Cuarto Muestreo:

**Tabla 3.7.** Caudal, pH y Temperatura del Efluente

Muestreo # 4 <sup>(*)</sup>						
Fecha: 25-03-2004						
Tipo de Muestra: Compuesta			Volumen de Muestra Simple: 50ml			
Frecuencia: cada 10 min			Entrada al Florentino		Salida del Florentino	
Muestra	Hora	Caudal (l/s)	pH	Temperatura °C	pH	Temperatura °C
1	15:00	3,2	4,8	52	4,79	48
2	15:30	2,9	4,8	54	4,79	50
3	16:00	2,3	4,8	56	4,8	50
4	16:30	3,1	4,8	55	4,84	53
5	17:00	3,0	4,8	54	4,76	55
6	17:30	3,1	4,8	52	4,75	53
7	18:00	2,8	4,7	54	4,7	52
8	18:30	2,4	4,8	59	4,76	57
9	19:00	2,8	4,9	57	4,8	57
10	19:30	2,6	4,8	55	4,8	54
Promedio		2,8	4,8	54,8	4,8	52,9

<sup>(\*)</sup> Se formó una muestra compuesta por 10 muestras simples

**Tabla 3.8.** Concentraciones de Aceites y Grasas y Sólidos

Cantidad de muestra para análisis: 100ml					
Tipo de Muestra	Número de Muestra	Concentración de aceite (mg/l)	Promedio (mg/l)	Concentración de ST (mg/l)	Promedio (mg/l)
M1 (entrada al florentino)	1	22960,0	<b>17505,0</b>	62150,0	<b>53608,0</b>
	2	16420,0		49840,0	
	3	9150,0		38000,0	
	4	20560,0		56210,0	
	5	26300,0		68200,0	
	6	25530,0		66240,0	
	7	15090,0		56740,0	
	8	13380,0		45500,0	
	9	13710,0		49730,0	
	10	11950,0		43470,0	
M2 (salida del florentino)	1	19620,0	<b>16042,0</b>	47610,0	<b>46457,0</b>
	2	17140,0		48250,0	
	3	9570,0		36800,0	
	4	15930,0		37610,0	
	5	22040,0		57920,0	
	6	23000,0		57810,0	
	7	17230,0		51700,0	
	8	11750,0		42220,0	
	9	11400,0		40720,0	
	10	12740,0		43930,0	

### 3.2.2. Pruebas de Tratabilidad

De igual manera que en la caracterización físico química del efluente, en cada uno de estos cuatro ensayos se tomaron muestras del efluente líquido, después del tratamiento, para analizar en el laboratorio, concentraciones de aceites y grasas y de sólidos totales, además se calculo, una vez que se dispuso de los datos de estas concentraciones, la eficiencia de cada método de remoción (Flotación y Gravedad) al compararla siempre con las características del efluente original (sin tratamiento). Todos los resultados de estos ensayos se encuentran ordenados en las siguientes tablas. Para mayor información sobre los procedimientos de remoción de aceites y grasas y la toma de muestras en estos ensayos, referirse al sub-capítulo 3.1. parte 3.1.3.

#### Primer Ensayo:

**Tabla 3.9.** Flotación sin Caudal

<b>Cantidad de Muestra para Análisis: 100ml</b>		
<b>Tiempo de Flotación: 30 min</b>		<b>Temp: 20°C</b>
<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Concentración de Aceite mg/l</b>	<b>Concentración de ST mg/l</b>
Original	3899	19237
Flotado	3392	12140
% de Remoción	13%	37%



Segundo Ensayo:

**Tabla 3.10.** Flotación con caudal regulado

<b>Laboratorio Aiquisa 12-05-2004</b>				
<b>Temperatura Promedio: 60 °C</b>				
<b>Cantidad de Muestra para Análisis: 100ml</b>				
<b>Tiempo de Flotación</b>	<b>Concentración de Aceite (mg/l)</b>	<b>% de Aceite Removido</b>	<b>Concentración de ST (mg/l)</b>	<b>% de ST Removidos</b>
0 min (Original)	8210	0	46120	0
20 min	6010	27	40430	12
30 min	5810.	29	39380.	15
60 min	5220	36	37340	19

Tercer Ensayo:

**Tabla 3.11.** Flotación con caudal regulado y comparación con el sistema por gravedad

Laboratorio Aiquisa 30-06-2004					
Temperatura Promedio: 60 °C					
Cantidad de Muestra para Análisis: 100ml					
	Tipo de muestra	Concentración de Aceite (ppm)	Concentración de Sólidos Totales (ppm)	% de Aceite Removido	% de Sólidos Totales Removidos
	Original	9810	53080	0%	0%
FLOTACION	10 min	8390	51190	14	4
	20 min	8500	51020	13	4
	30 min	9650	51150	2	4
	40min	8310	51310	15	3
	50 min	9070	46440	8	13
	60 min	9410	49030	4	8
GRAVEDAD	10 min	9170	50440	7	5
	20 min	9730	49370	1	7
	30 min	7990	46040	19	13
	40min	7880	45647	20	14
	50 min	8900	49440	9	7
	60 min	7640	52090	22	2

Cuarto Ensayo:

**Tabla 3.12.** Flotación con caudal regulado y comparación con el sistema por gravedad

Laboratorio Aiquisa 10-07-2004					
Cantidad de Muestra para Análisis: 100ml					
Temperatura Promedio: 60 °C					
	Tipo de muestra	Concentración de Aceite (ppm)	Concentración de Sólidos Totales (ppm)	% de Aceite Retirado	% de Sólidos Totales Retirados
	ORIG	18230	60470	0,0	0,0
Flotación	10 min			3,7 *	2,0 *
	20 min			7,4 *	3,9 *
	30 min	16360	57580	10,3	4,8
	40 min			11,0 *	4,6 *
	50 min			11,0 *	3,3 *
	60 min	16210	59120	11,1	2,2
Gravedad	10 min			3,3 *	3,6 *
	20 min			6,5 *	7,3 *
	30 min	16600	54710	8,9	9,5
	40 min			10,2 *	11,2 *
	50 min			10,6 *	11,6 *
	60 min	16150	53440	11,4	11,6

\* Datos extrapolados gráficamente

### 3.2.3 Concentración de Aceite en los Lodos del Agua Residual

**Tabla 3.13.** Concentración de aceite en el efluente líquido y en el filtrado

<b>Laboratorio UISEK 19-07-2004</b>	
<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Concentración de Aceite mg/l</b>
Original	10174
Filtrado	9089
% de Aceite en Lodos	89%

## 3.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

### 3.3.1. Cálculos

#### 3.3.1.1. Cálculo de la Concentración de Aceites y Grasas

En el caso de las mediciones de aceites y grasas, se puede determinar el peso del aceite en la muestra empleada para el análisis simplemente por la resta del peso del balón que contiene el aceite extraído con el cloroformo menos el peso del mismo balón pero vacío y seco, de esto se tiene que:

$$W_{BA/G} - W_{BV} = W_{A/G}$$

Donde:  $W_{A/G}$  = Peso del Aceite en la Muestra Analizada, g

$W_{BV}$  = Peso del Balón Vacío y Seco, g

$W_{BA/G}$  = Peso del Balón + Aceite (después de la Extracción), g

Por lo tanto si:  $W_{BV} = 106.4 \text{ g}$

$$W_{BA/G} = 108.1 \text{ g}$$

Entonces realizando la resta obtenemos:

$$W_{A/G} = 1.7 \text{ g}$$

Para determinar la concentración de aceite en el efluente, hay que transformar estos gramos de aceite a miligramos por litro (ppm), para esto se sabe que:

$$W_{A/G} = 1.7 \text{ g} \times \frac{1000mg}{1g} = 1700mg$$

Si tomamos en cuenta que se usaron 150ml de muestra del efluente para realizar este análisis, entonces se puede decir que existen 1700mg de aceite por cada 150ml de muestra y como sabemos que 1 litro equivale a 1000ml, la transformación sería la siguiente:

$$\hat{C}_A = \frac{W_{A/G}}{V_M} \times \frac{1000ml}{1l}$$

Donde:  $V_M$  = Volumen de la Muestra, ml

$\hat{C}_A$  = Concentración de Aceite en el Efluente, mg/l ó ppm

Realizando las operaciones y simplificando las unidades, se obtiene la concentración de aceites y grasas en el efluente, la cual es:

$$\hat{C}_A = 11124.0\text{mg/l}$$

### 3.3.1.2. Cálculo de la Concentración de Sólidos Totales

Este cálculo se realiza de igual manera que el anterior por diferencia de pesos, por lo que tenemos el peso de la cápsula vacía y seca más el peso del algodón seco que se usa para recubrirla, todo esto se resta del peso de la cápsula que contiene la muestra seca absorbida en el algodón y así se obtiene el peso de los sólidos totales en la muestra tomada para el análisis:

$$W_{ST} = W_{CS} - (W_{CV} + W_{Alg})$$

Donde:  $W_{ST}$  = Peso de los Sólidos Totales en la Muestra, g

$W_{CV}$  = Peso de la cápsula vacía y seca, g

$W_{CS}$  = Peso de la cápsula más la muestra y el algodón secos, g

$W_{Alg}$  = Peso del algodón seco, g

Por lo tanto si:  $W_{CV} = 108.215\text{g}$

$$W_{CS} = 116.733\text{g}$$

$$W_{Alg} = 2.303\text{g}$$

Entonces realizando las operaciones:

$$W_{ST} = 6.215g$$

Para obtener la concentración de sólidos totales en el efluente hay que transformar este peso a mg/l ó ppm, para lo cual primero se pasan los gramos a miligramos, así:

$$W_{ST} = 6.215g \times \frac{1000mg}{1g} = 6215mg$$

Si para este análisis se tomaron únicamente 100ml de muestra entonces podemos decir que por cada 100ml de efluente hay 6215mg de sólidos totales y para calcular esto en ppm sería:

$$\hat{C}_{ST} = \frac{W_{ST}}{V_M} \times \frac{1000ml}{1l}$$

Donde:  $V_M$  = Volumen de la Muestra, ml

$\hat{C}_{ST}$  = Concentración de Sólidos Totales en el Efluente, mg/l ó ppm

Realizando las operaciones y simplificando, se obtiene la concentración de sólidos totales en el efluente, la cual es:

$$\hat{C}_{ST} = 62150.0mg/l \text{ ó ppm}$$

### 3.3.1.3. Cálculo del Porcentaje de Aceite y Sólidos Totales Removidos

Para realizar este cálculo se necesita dos datos que son la concentración original y la concentración después de pasar por el sistema de remoción ya sea de sólidos totales o de aceites y grasas.

Por ejemplo si se tiene que la concentración de aceite original del efluente es de 15000mg/l y la concentración después de pasar por el sistema de remoción de aceite es de 9500mg/l, el cálculo sería así:

$$\%A/G_{DS} = \frac{C_{DS} \times 100\%}{C_{ORI}}$$

Donde:  $\%A/G_{DS}$  = Porcentaje de aceites y grasas después del sistema de remoción, %

$C_{DS}$  = Concentración de aceites y grasas después del sistema de remoción, mg/l

$C_{ORI}$  = Concentración de aceites y grasas original

Realizando las operaciones se obtiene:

$$\%A/G_{DS} = 63.33\%$$

Pero este es el porcentaje de aceite que existe en el agua después de pasar por el sistema y lo que se busca es el porcentaje removido por lo que a este resultado hay que restarlo del 100% y de esta manera se tiene que:



$$\%A/G_R = 100\% - \%A/G_{DS}$$

Donde:  $\%A/G_R$  = Porcentaje de aceites y grasas removidos, %

Al realizar esta operación obtenemos como resultado el porcentaje de aceites y grasas removidos durante el paso del efluente por el sistema de recuperación, el cual es:

$$\%A/G_R = 36.67\%$$

#### 3.3.1.4. Cálculo del Caudal

En los cuatro muestreos realizados se recogió datos de la altura de la vena de agua en el vertedero triangular de 90°, ubicado al final del sistema de recuperación de aceites y grasas actual de la Planta Extractora Aiquisa, que es el único dato necesario para calcular el caudal de las aguas residuales.

La formula de cálculo del caudal en un vertedero triangular de 90° es la siguiente:

$$Q = 1.34 \times H^{2.48}$$

Donde: Q es el caudal de las aguas residuales, m<sup>3</sup>/s

H es la altura de la vena de agua sobre el vertedero de 90°, m

Para una altura de la vena de agua sobre el vertedero “H” de 0.08m, el caudal sera:

$$Q = 1.34 \times (0.08)^{2.48}$$

$$Q = 0.0025\text{m}^3/\text{s} \text{ ó } 2.5\text{l/s}$$

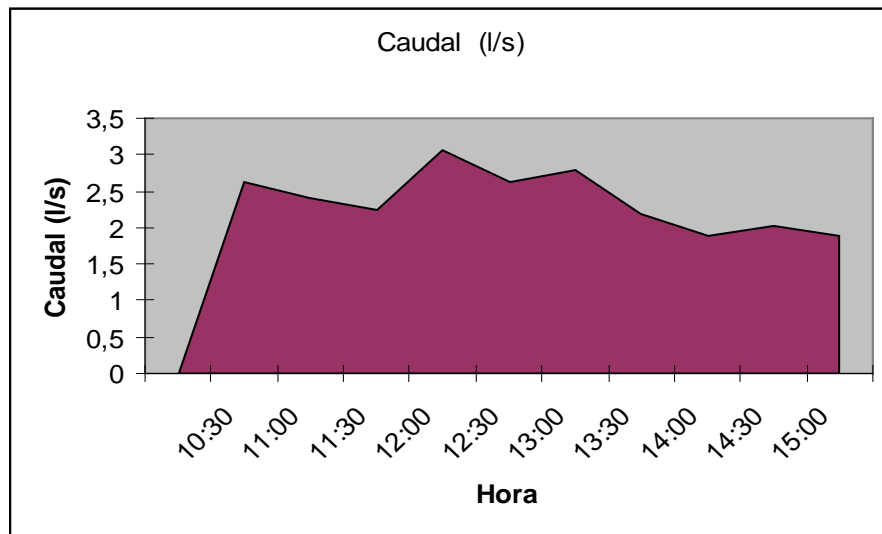
### **3.3.2. Resultados**

De los datos experimentales (Sub-capítulo 3.2.) se puede obtener los siguientes resultados en forma de gráficos, en los que se muestra de una manera más comprensible como se comporta en el tiempo las concentraciones de aceite y sólidos totales del efluente, además del pH y la temperatura, también se visualiza los porcentajes removidos de aceite y sólidos totales del efluente después de pasar por el sistema propuesto en esta investigación y se hace comparaciones de la eficacia de los dos sistemas probados (flotación y Gravedad).

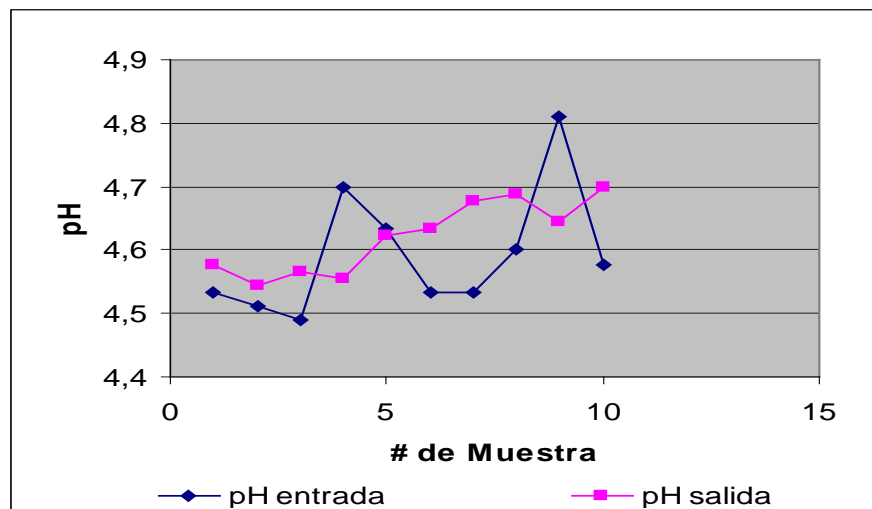
### 3.3.2.1. Resultados de la Caracterización del Efluente

#### Primer Muestreo:

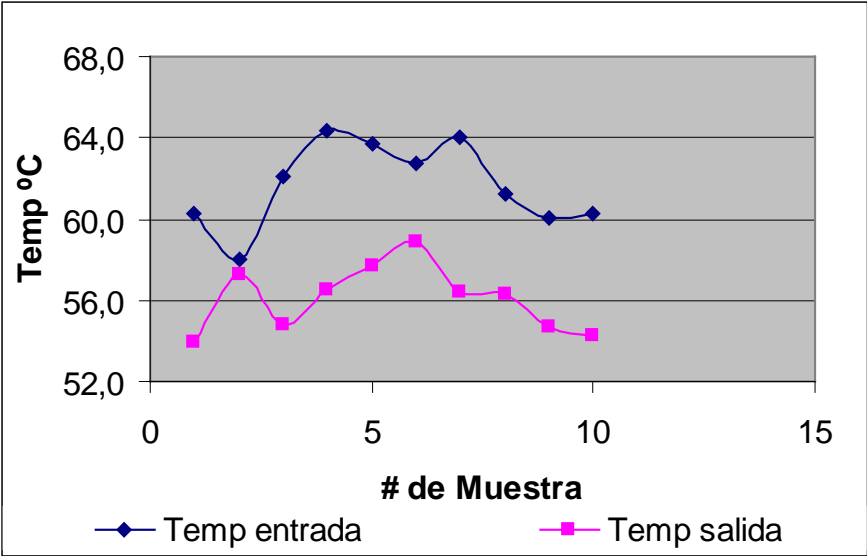
**Gráfico 3.1.** Comportamiento del Caudal de las Aguas Residuales de la Planta Extractora de Aceite de Palma Aiquisa en un Turno de 5 Horas



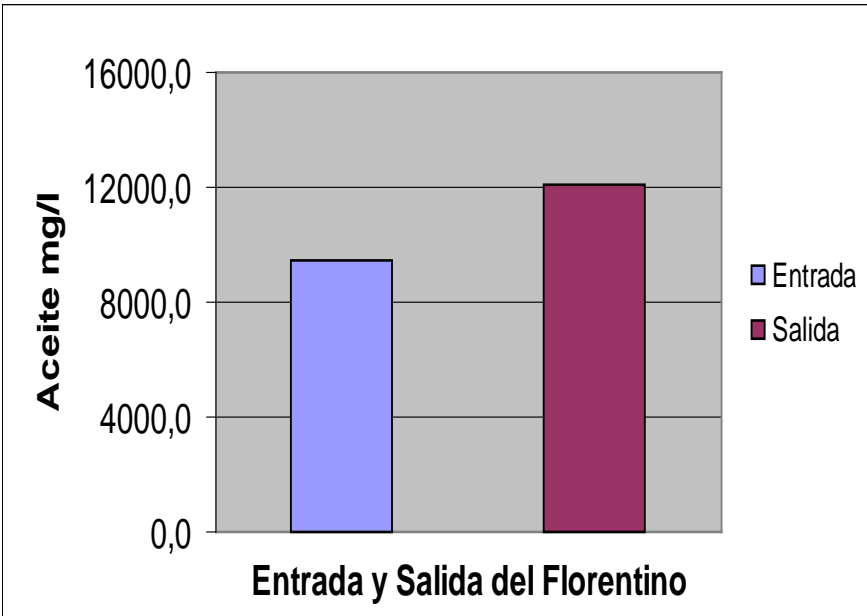
**Gráfico 3.2.** pH del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



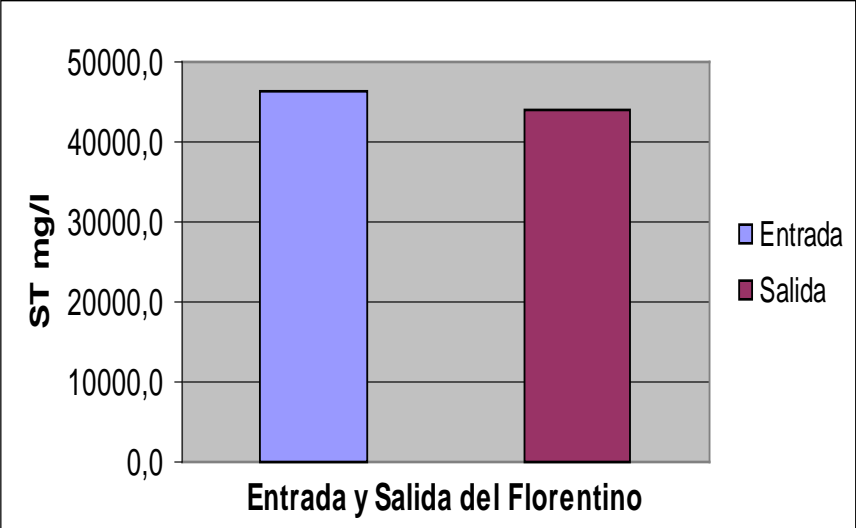
**Gráfico 3.3.** Temperatura del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



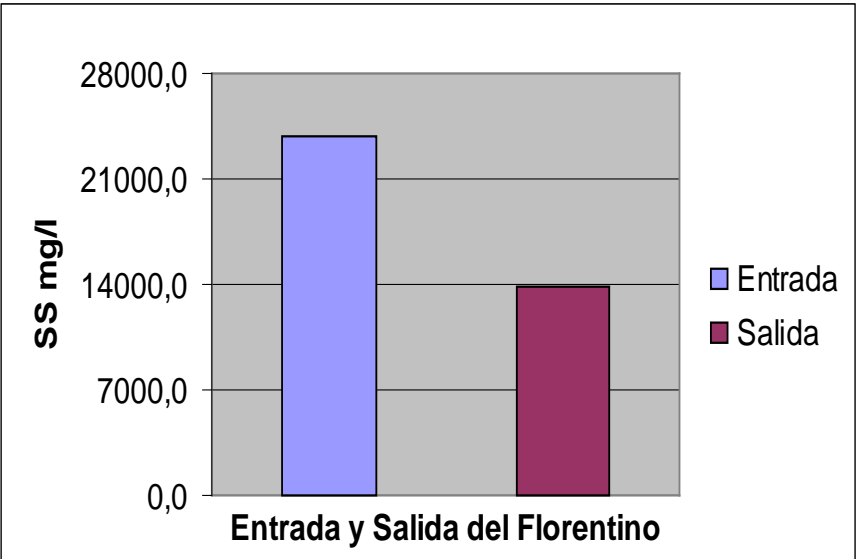
**Gráfico 3.4.** Promedio de la Concentración de Aceites y Grasas a la Entrada y Salida del Florentino



**Gráfico 3.5.** Promedio de la Concentración de Sólidos Totales a la Entrada y a la Salida del Florentino

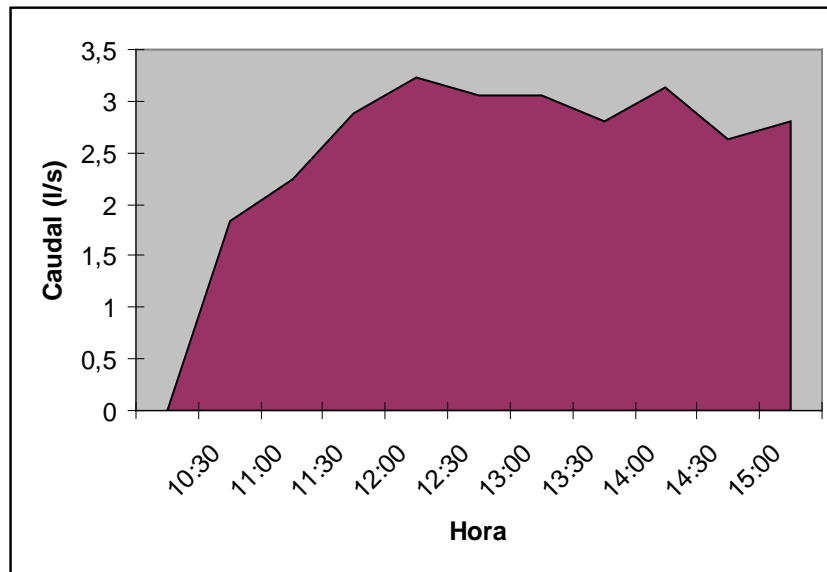


**Gráfico 3.6.** Promedio de la Concentración de Sólidos Suspendedos a la Entrada y a la Salida del Florentino

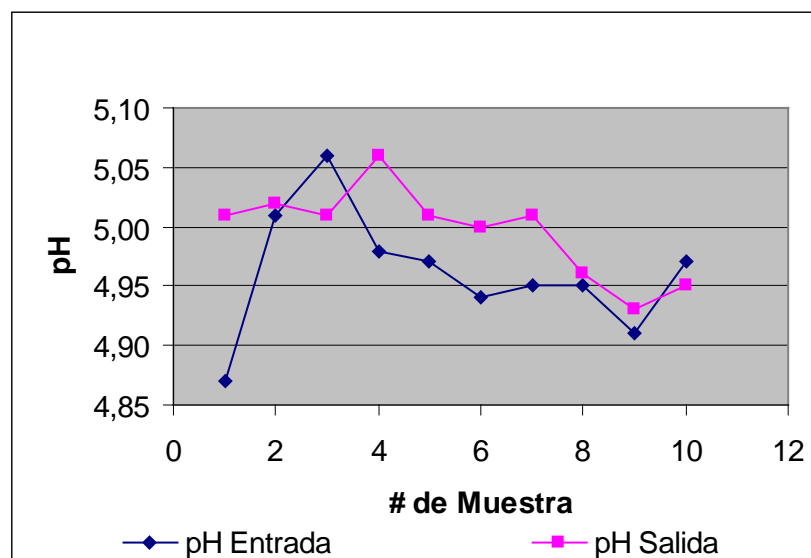


Segundo Muestreo:

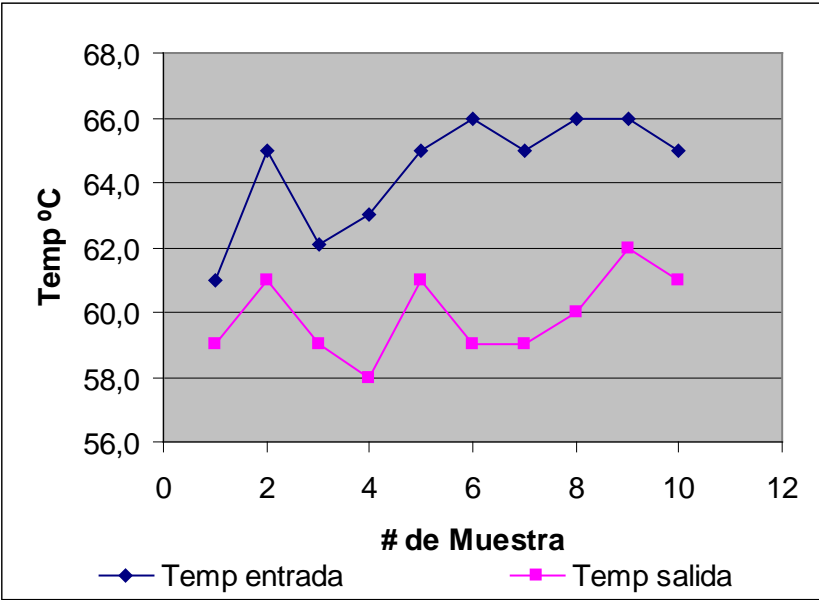
**Gráfico 3.7.** Comportamiento del Caudal de las Aguas Residuales de la Planta Extractora de Aceite de Palma Aiquisa en un Turno de 5 Horas



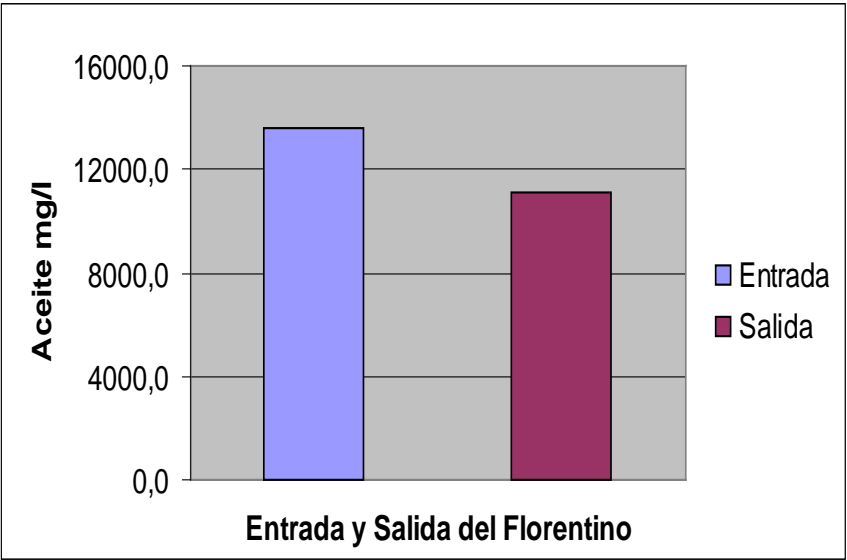
**Gráfico 3.8.** pH del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



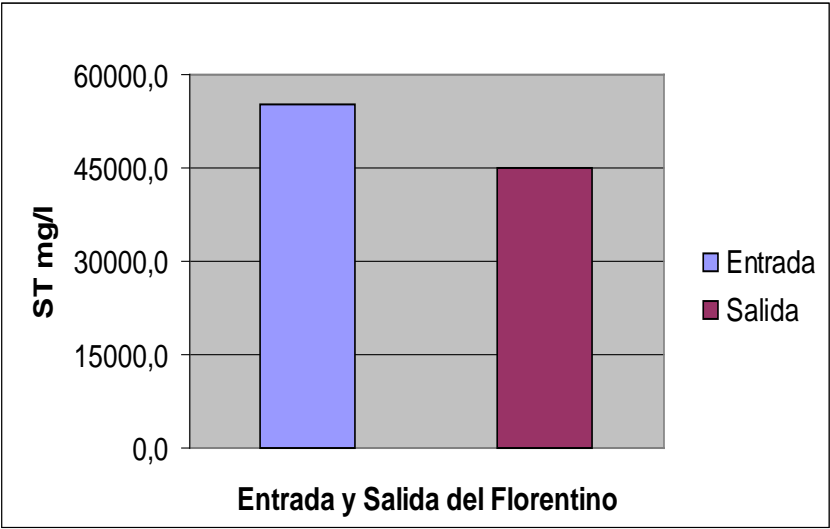
**Gráfico 3.9.** Temperatura del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



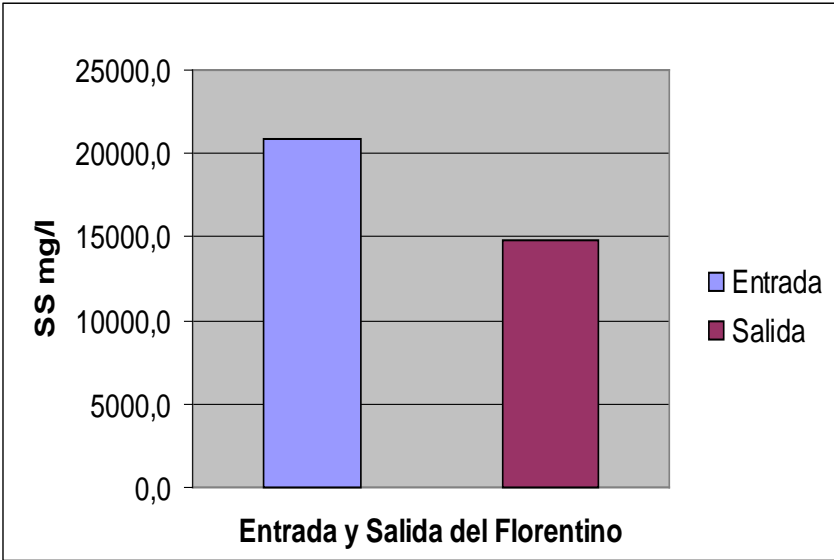
**Gráfico 3.10.** Promedio de la Concentración de Aceites y Grasas a la Entrada y a la Salida del Florentino



**Gráfico 3.11.** Promedio de la Concentración de Sólidos Totales a la Entrada y a la Salida del Florentino



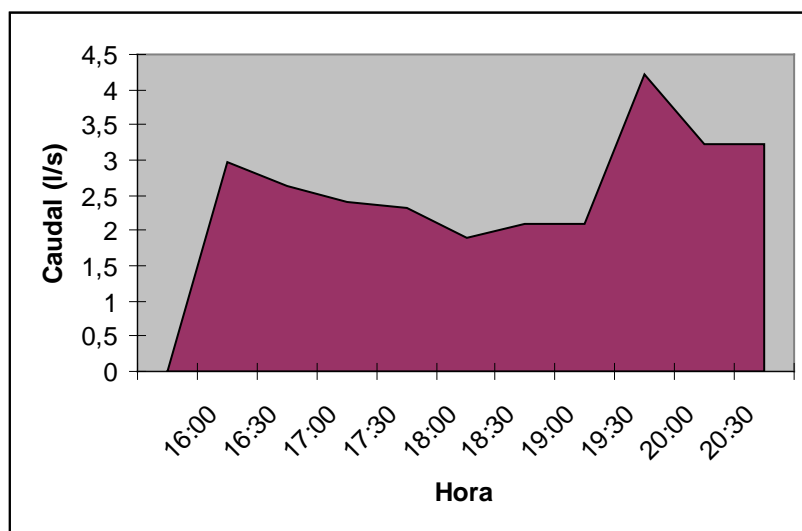
**Gráfico 3.12.** Promedio de la Concentración de Sólidos Suspendedos a la Entrada y a la Salida del Florentino



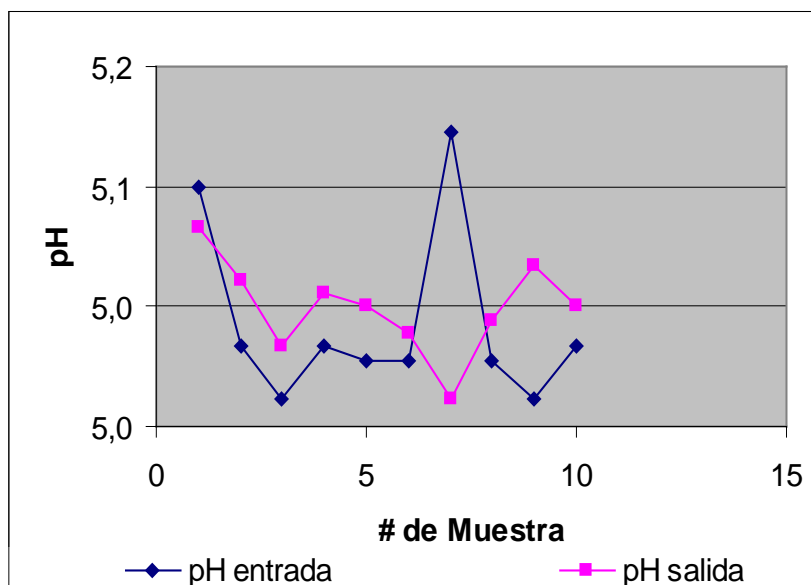


Tercer Muestreo:

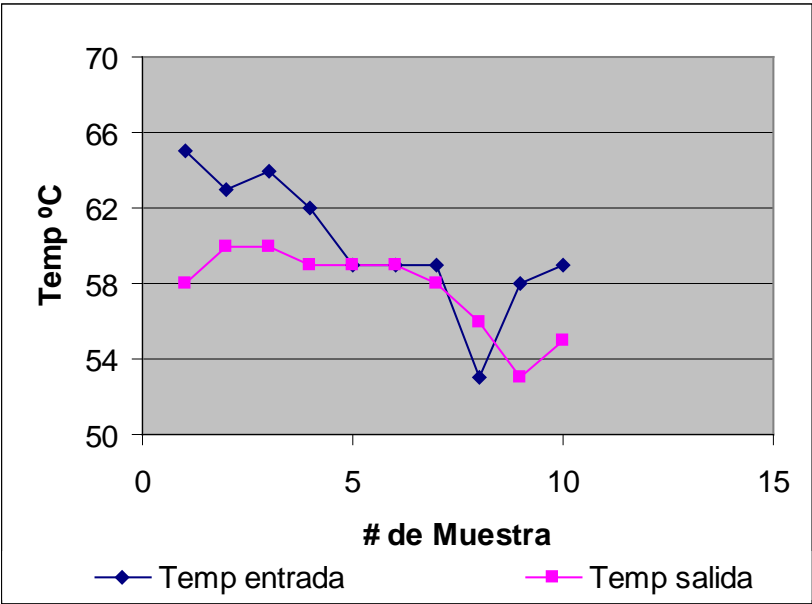
**Gráfico 3.13.** Comportamiento del Caudal de las Aguas Residuales de la Planta Extractora de Aceite de Palma Aiquisa en un Turno de 5 Horas



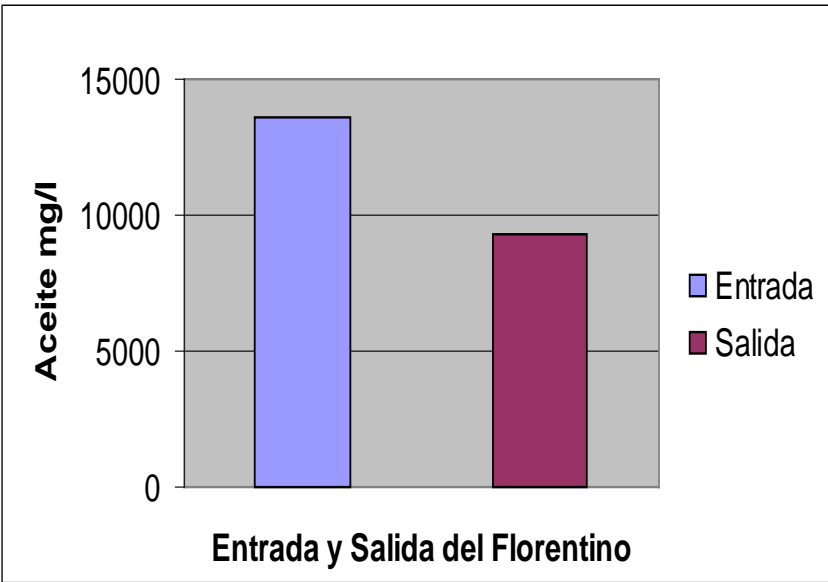
**Gráfico 3.14.** pH del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



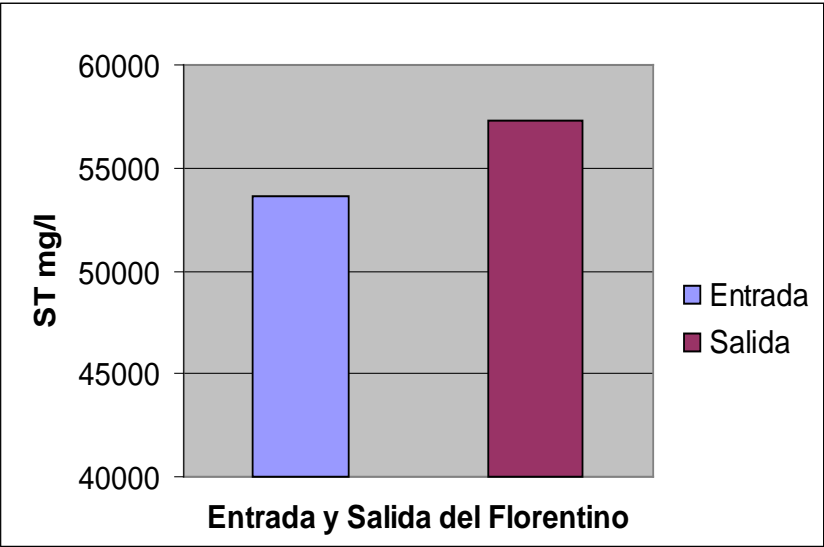
**Gráfico 3.15.** Temperatura del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



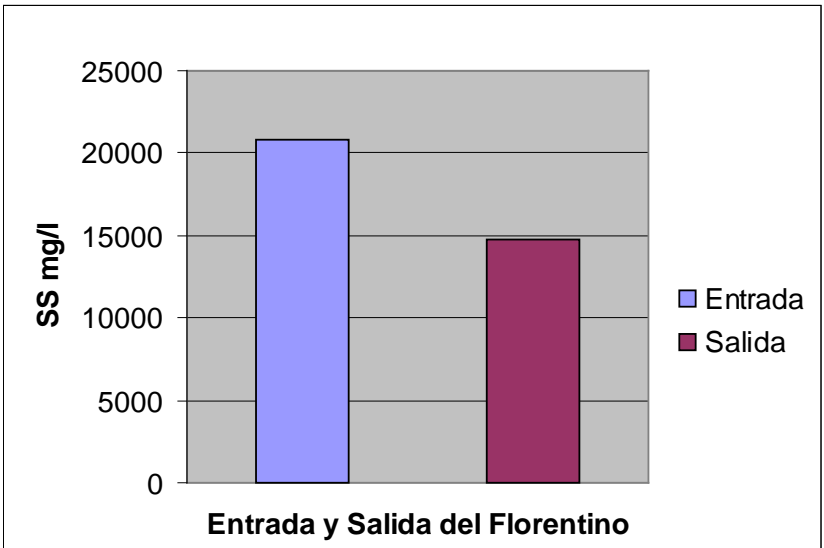
**Gráfico 3.16.** Promedio de la Concentración de Aceites y Grasas a la Entrada y a la Salida del Florentino



**Gráfico 3.17.** Promedio de la Concentración de Sólidos Totales a la Entrada y a la Salida del Florentino

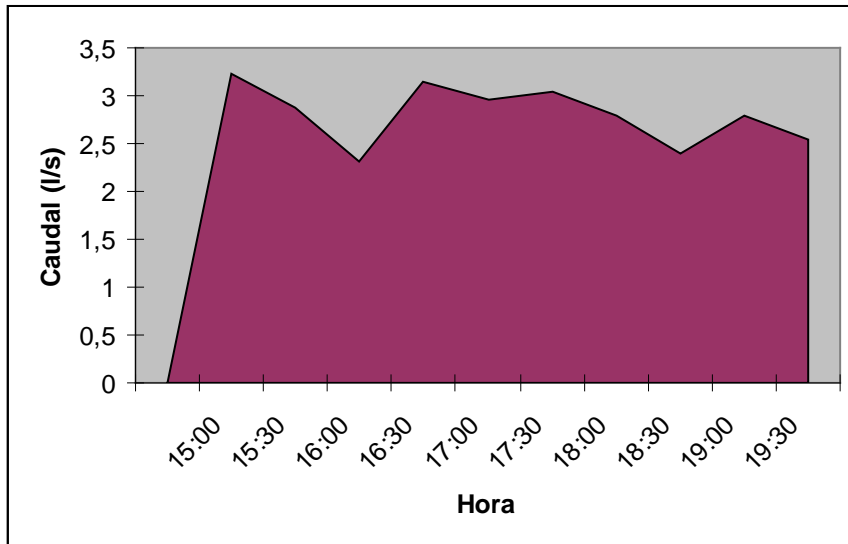


**Gráfico 3.18.** Promedio de la Concentración de Sólidos Suspendedos a la Entrada y a la Salida del Florentino

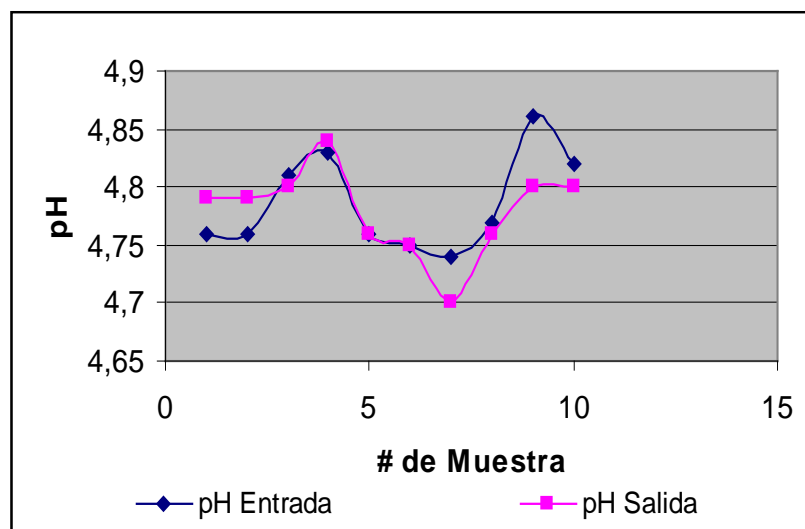


Cuarto Muestreo:

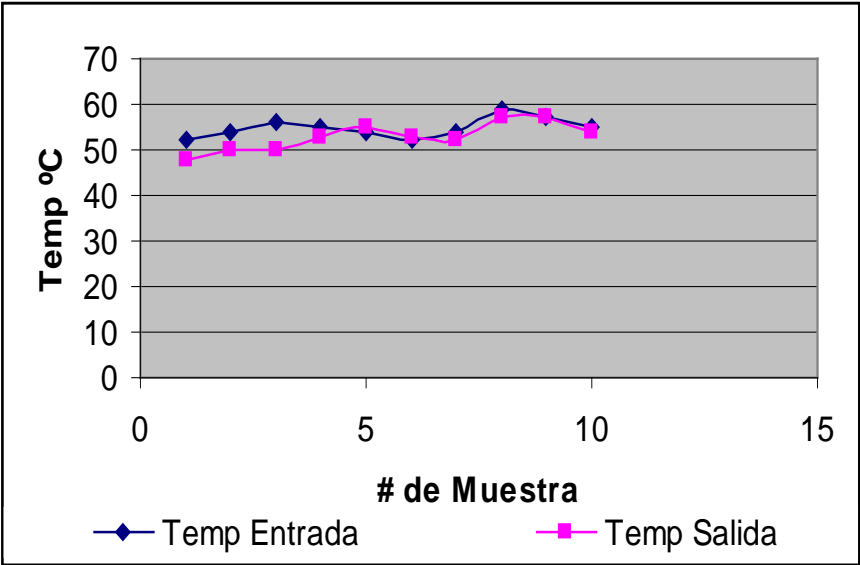
**Gráfico 3.19.** Comportamiento del Caudal de las Aguas Residuales de la Planta Extractora de Aceite de Palma Aiquisa en un Turno de 5 Horas



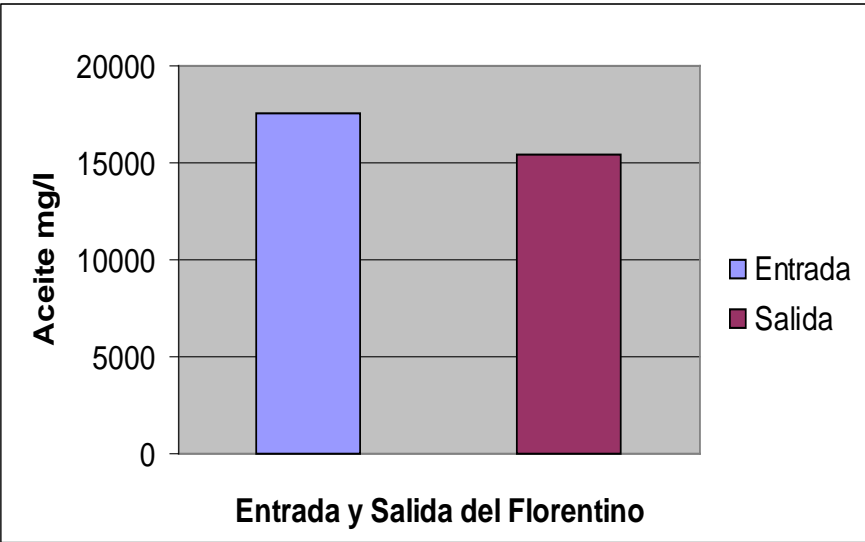
**Gráfico 3.20.** pH del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



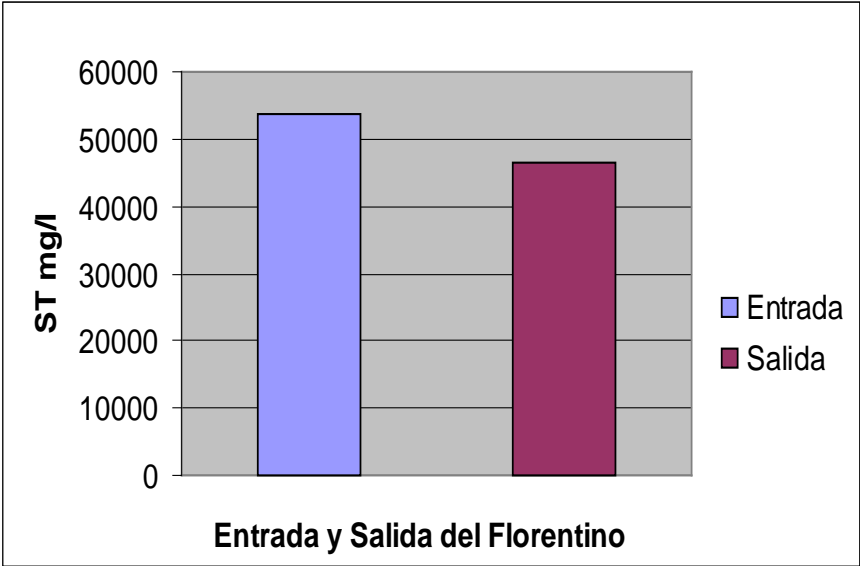
**Gráfico 3.21.** Temperatura del Efluente a la Entrada y a la Salida del Florentino



**Gráfico 3.22.** Promedio de la Concentración de Aceite y Grasas a la Entrada y a la Salida del Florentino



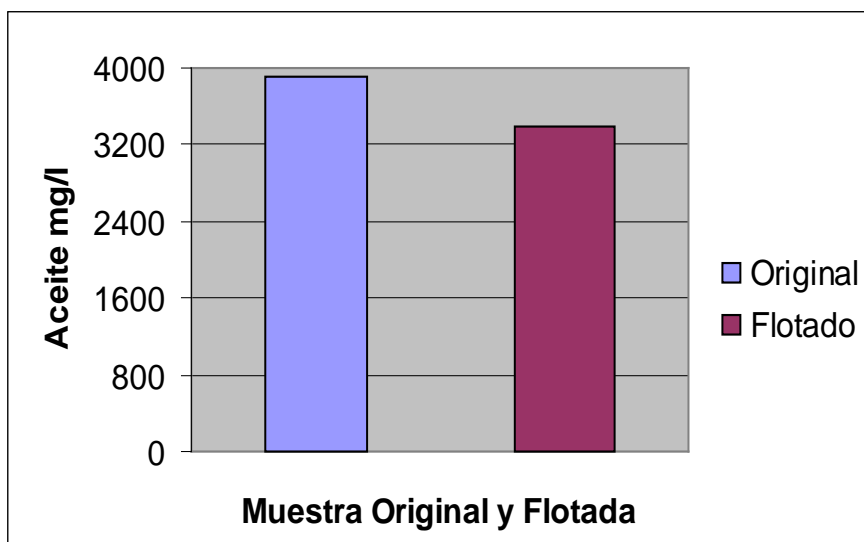
**Gráfico 3.23.** Promedio de la Concentración de Sólidos Totales a la Entrada y a la Salida del Florentino



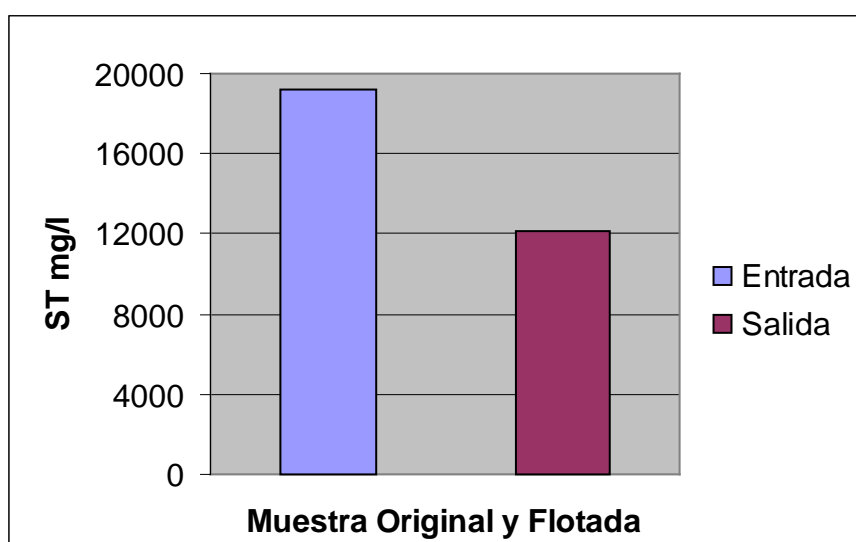
### 3.3.2.2. Pruebas de Tratabilidad

#### Primer Ensayo:

**Gráfico 3.24.** Concentración de Aceites y Grasas en la Muestra Original y Flotada

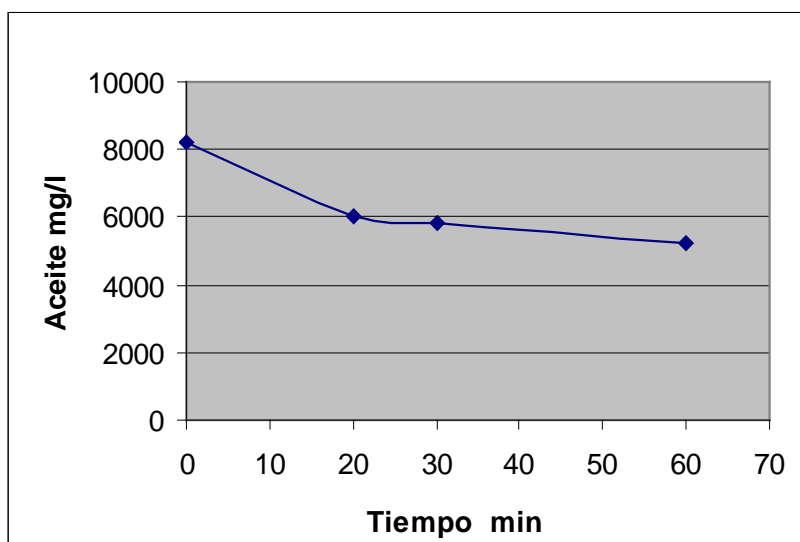


**Gráfico 3.25.** Concentración de Sólidos Totales en la Muestra Original y Flotada

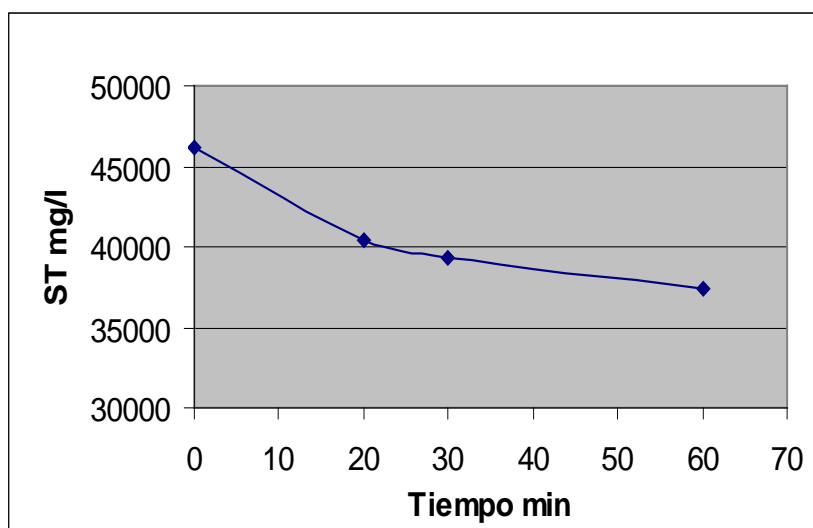


Segundo Ensayo:

**Gráfico 3.26.** Concentración de Aceites y Grasas en el Efluente Respecto al Tiempo de Flotación

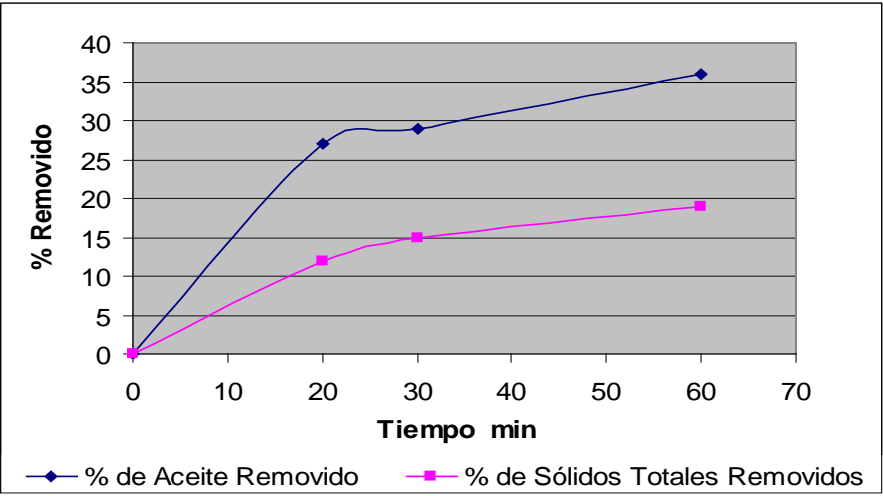


**Gráfico 3.27.** Concentración de Sólidos Totales en el Efluente Respecto al Tiempo de Flotación



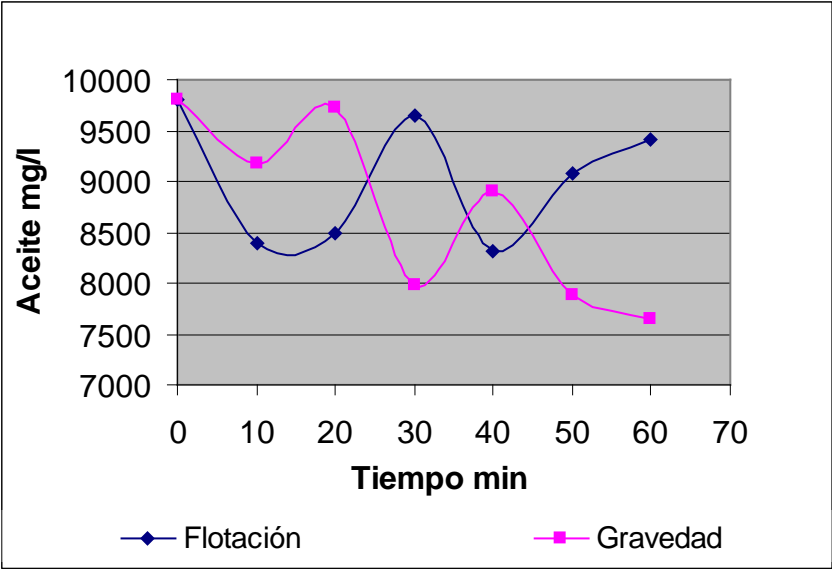


**Gráfico 3.28.** Remoción de Aceites y Grasas y Sólidos Totales Respecto al Tiempo de Flotación

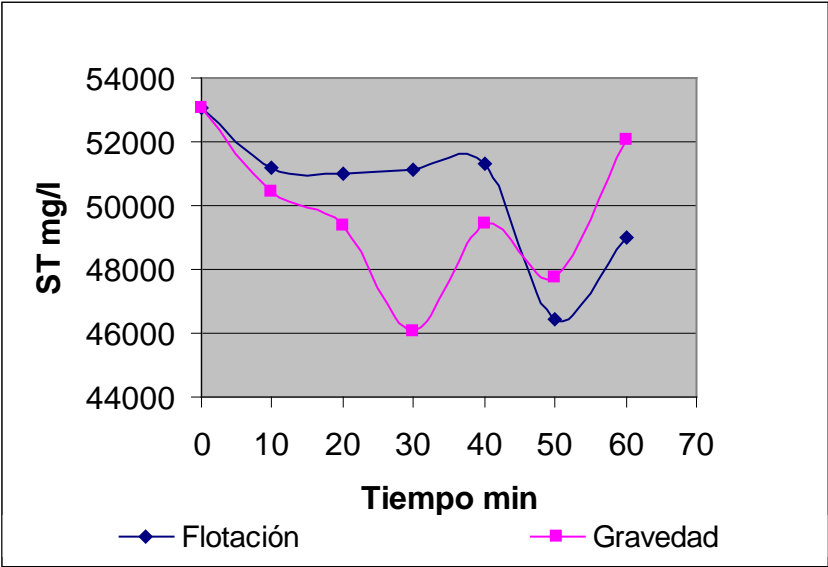


Tercer Ensayo:

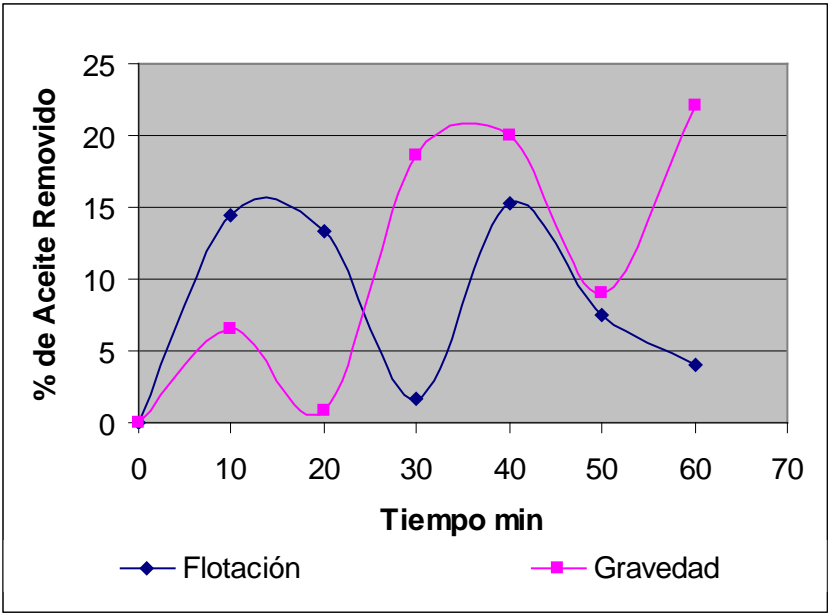
**Gráfico 3.29.** Concentración de Aceite y Grasas Después de la Remoción por Flotación y Gravedad



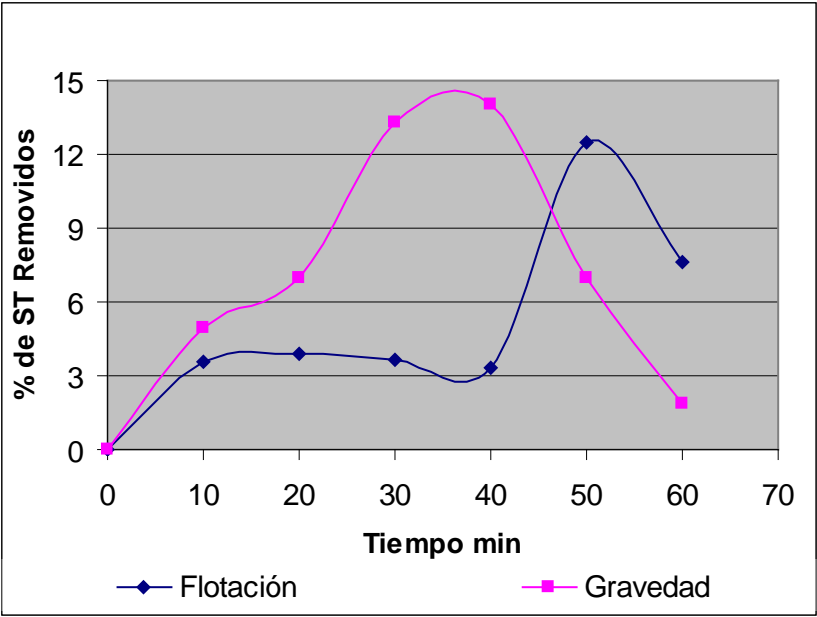
**Gráfico 3.30.** Concentración de Sólidos Totales Después de la Remoción por Flotación y Gravedad



**Gráfico 3.31.** Comparación de los Porcentajes Removidos de Aceites y Grasas mediante los dos Procesos

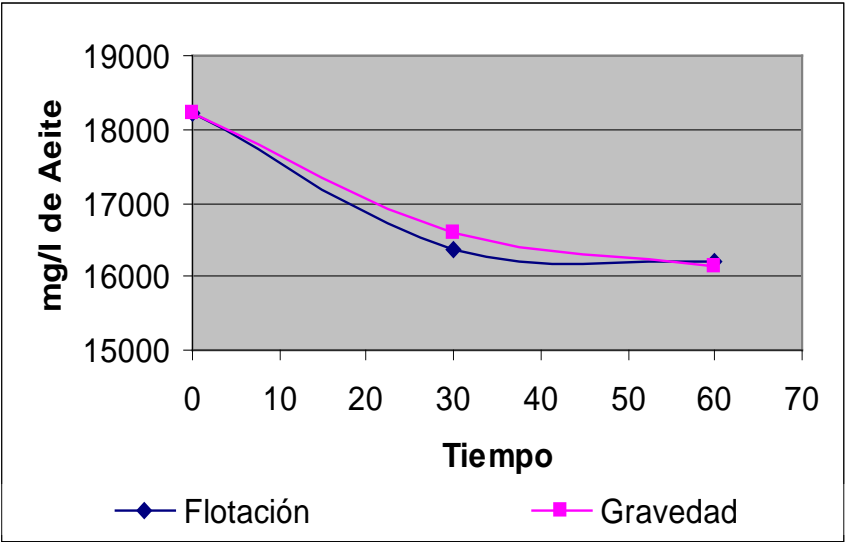


**Gráfico 3.32.** Comparación de los Porcentajes Removidos de Sólidos Totales mediante los dos Procesos

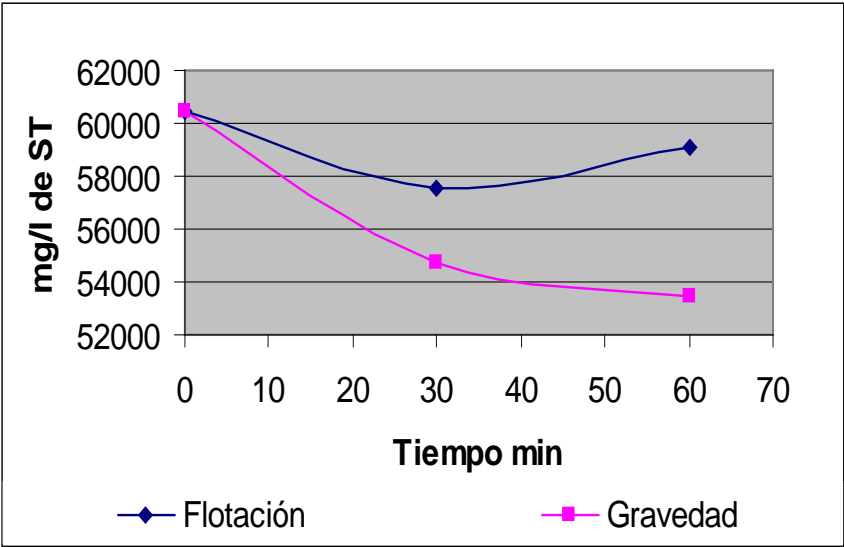


Cuarto Ensayo:

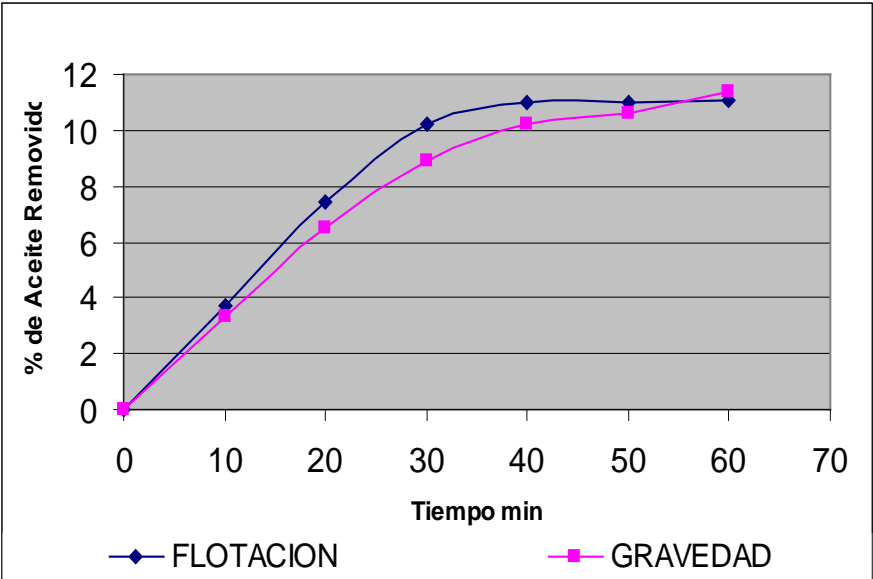
**Gráfico 3.33.** Concentración de Aceite y Grasas Después de la Remoción por Flotación y Gravedad



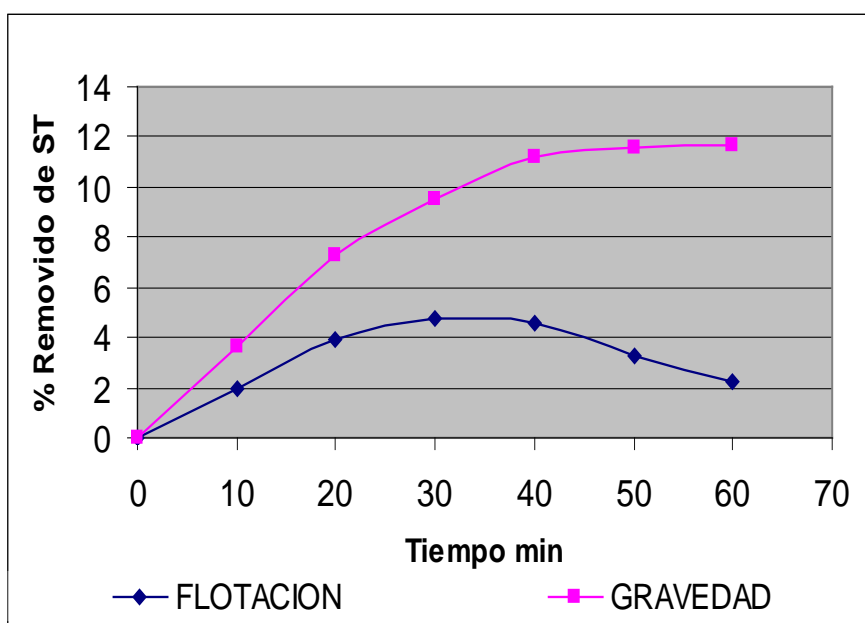
**Gráfico 3.34.** Concentración de Sólidos Totales Después de la Remoción por Flotación y Gravedad



**Gráfico 3.35.** Comparación de los Porcentajes Removidos de Aceites y Grasas mediante los dos Procesos



**Gráfico 3.36.** Comparación de los Porcentajes Removidos de Sólidos Totales mediante los dos Procesos



### 3.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ACEITES Y GRASAS<sup>(14)</sup>

#### 3.4.1. Cálculo de las Dimensiones de la Trampa de Grasas

Para el diseño de este sistema de remoción y recuperación de aceites y grasas propuesto en esta investigación se necesita una serie de datos, los cuales son tomados de las tablas del sub-capítulo 3.2., debido a que el diseño debe realizarse de acuerdo a las características propias y al caudal del agua residual a tratar, por lo tanto, tenemos los siguientes datos para diseño:

- ✓ Caudal de las Aguas Residuales, 4.22l/s ó 0.00422m<sup>3</sup>/s
- ✓ Temperatura del Agua Residual, 60.25°C
- ✓ pH del Agua Residual, 4.84
- ✓ Concentración de Aceites y Grasas del Agua Residual, 17505mg/l
- ✓ Concentración de Sólidos Totales del Agua residual, 46457mg/l
- ✓ Densidad del Agua Residual, 1.02g/ml
- ✓ Densidad Relativa 25/25°C del Aceite de Palma, 0.914g/ml (VER ANEXO 2)
- ✓ Tiempo de Retención Propuesto, 40min

Con los datos de caudal y tiempo de retención se puede calcular el volumen que debería tener la trampa de grasas para poder tratar eficientemente el efluente, para esto se tiene la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{t_r}$$

Donde: Q = Caudal del Agua Residual, m<sup>3</sup>/s

V = Volumen de la Trampa de Grasas, m<sup>3</sup>

t<sub>r</sub> = Tiempo de Retención Propuesto, segundos (s)

De esta formula despejamos el volumen de la trampa de grasas y calculamos:

$$V = Q \times t_r = 0.00422 \frac{m^3}{s} \times (40 \times 60)s$$

$$V = 10.13m^3$$

Se aumenta en un 20% el volumen calculado, por seguridad, según la literatura técnica recomendada<sup>(14)</sup>.

La relación mínima profundidad / ancho es de 0.3 y máxima de 0.5; preferiblemente la profundidad debe ser mayor de 0.9m y menor de 2.4m, así como el ancho debe ser mayor de 1.8m y menor de 6m.

$$\begin{aligned} 0.3 &\leq \frac{d}{B} \leq 0.5 \\ 0.9m &\leq d \leq 2.4m \\ 1.8 &\leq B \leq 6.0m \end{aligned}$$

Siendo: d = Profundidad del Agua Residual en el Tanque

B = Ancho de la Trampa de Grasas

Conociendo el volumen y aplicando estas relaciones se puede adoptar dimensiones para el tanque, se propone que la profundidad del agua residual en el tanque (d) sea de 1.3m, el ancho (B) de 2.2m y el largo (L), 4.2m

Lo que nos da un volumen total de:

$$V_T = L \times d \times B = 4.2 \times 1.3 \times 2.2$$

$$V_T = 12.01\text{m}^3$$

Se debe tomar en cuenta que este modelo de trampa de grasas cuenta con cuatro paredes que dividen al tanque (tabiques) de aproximadamente 10cm de ancho cada una, por lo que se debe aumentar al largo L del tanque una longitud igual al ancho de los cuatro tabiques sumados. También se debe considerar que la profundidad “d” es la del agua en el tanque, por lo tanto, la altura real del tanque debe ser mayor para que no existan desbordes.

Los valores reales del tanque o trampa de grasas son los siguientes:

- ✓ Profundidad del Tanque = 1.5m
- ✓ Ancho del Tanque = 2.2m
- ✓ Largo del Tanque = 4.6m

La entrada del agua residual a la trampa de grasas se hará de la misma manera que en el sistema actual que posee la Planta Extractora Aiquisa, es decir, por el canal de conducción de aguas, sabiendo que la altura del agua en la trampa de grasas es de 1.3m, se hará que la entrada este por lo menos 5cm sobre esta altura

Se dispone a la salida de la trampa de grasas de un tubo “T” con una sumergencia de 0.9m es decir a 0.4m de altura desde el fondo, para asegurar que se descargue solo agua y no el aceite recuperado. La altura de descarga del tubo “T” debe hallarse a 1.3m desde el fondo del tanque, para asegurar que el agua no sobrepase ese nivel.



### 3.4.2. Cálculo de las Dimensiones de los Orificios en los Tabiques

Todos los tabiques del diseño propuesto cuentan con orificios, ya sea en la parte inferior del tanque como en la superficie, por donde pasa el efluente en su recorrido hasta la descarga, estos orificios se van alternando, en el primer tabique estará ubicado en el fondo del tanque, al lado opuesto de la entrada del agua residual, el segundo estará en la superficie del tanque al lado opuesto del tabique anterior y con el mismo criterio se ubicaran los orificios en los dos tabiques restantes.

El área de los orificios debe ser aproximadamente del 10% de la superficie de los tabiques ( $A_D$ ), por lo que:

$$A_D = d \times B = 1.3 \times 2.2$$

$$A_D = 2.86\text{m}^2 \text{ ó } 28600\text{cm}^2$$

El 10% de esta superficie de los tabiques es de  $2860\text{cm}^2$ , por lo que las dimensiones de los orificios pueden ser:

- ✓ Alto del Orificio = 40cm
- ✓ Largo del Orificio = 60cm

### 3.4.3. Diseño de las Canaletas y de la Cámara de Recolección de Aceite

La trampa de grasas contará con una canaleta a un lado del tanque, la cual estará conectada al mismo por tuberías de dos pulgadas que traspasan la pared del tanque y que cuentan con válvulas para abrir o cerrar el paso del aceite hacia la canaleta, existirán cinco tubos comunicantes con válvula uno en cada división o sección de la trampa de grasas.

La canaleta tendrá un declive del 8% para asegurar que el aceite fluya hacia la cámara de recolección. Con estos criterios las dimensiones de la canaleta serán:

- ✓ Profundidad de la Canaleta al Inicio del Tanque = 30cm
- ✓ Profundidad de la Canaleta al Final del Tanque = 40cm
- ✓ Ancho de la Canaleta = 15cm
- ✓ Diámetro de los Tubos Comunicantes = 2"
- ✓ Longitud Desde el Borde del Tanque Hasta en Centro de los Tubos = 24cm

El tanque de recolección de aceite estará dividido en dos partes por una malla de poros anchos, la cual tiene el propósito de eliminar cualquier partícula grande que pueda venir en el flujo de aceite. Las dimensiones de esta caja recolectora serán:

- ✓ Ancho de la Caja = 1m
- ✓ Largo de la Caja = 1m
- ✓ Profundidad del aceite en la caja = 1m
- ✓ Profundidad de la caja = 1.4m

Esto será suficiente para un volumen de aceite recuperado de hasta  $0.9\text{m}^3$ , pero además esta caja debe contar con una bomba de succión para vaciar el aceite de ella y enviarlo hasta el tanque de almacenamiento.

#### **3.4.4. Diseño del Desarenador**

Con el objeto de que las arenas o las partículas más grandes que contenga el agua residual, no se sedimenten en la trampa de grasas y dificulten el paso del agua por los orificios de los tabiques, se diseñó un desarenador como primer paso del tratamiento. Para obtener las dimensiones de este tanque se siguieron los mismos criterios de diseño que para la trampa de grasas.

Entonces para un tiempo de retención de las aguas residuales, en el desarenador, de 30 minutos se tiene que:

$$V_D = Q \times t_r = 0.00422 m^3 / s \times (30 \times 60) s$$

$$V_D = 7.6 m^3$$

Se adopta un volumen del tanque de  $9 m^3$  (20% de margen de seguridad)

Para ese volumen del desarenador se propone una profundidad del agua residual en el desarenador de 1.3m, el ancho de 2.5m y el largo de 3m. Tomando en cuenta que la profundidad propuesta es la del agua en el tanque, se la debe aumentar para que no existan desbordes, entonces, las dimensiones reales del desarenador son:

- ✓ Profundidad = 1.5m
- ✓ Ancho = 2.5m
- ✓ Largo = 3m

La entrada y la salida del agua del tanque será de igual manera que en el sistema actual que posee la Planta Extractora Aiquisa, es decir por el canal de conducción de las aguas residuales. El nivel del agua en el desarenador debe ser de 1.3m, por lo que, la entrada y la salida del agua estarán a ese nivel.

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN

- El presente trabajo de investigación depende casi en su totalidad de la precisión y exactitud de los datos obtenidos en los cuatro muestreos realizados, los que se hicieron en los meses de mayor producción y procesamiento de fruta de palma (época lluviosa), por lo tanto los datos recogidos sobre todo la altura de la vena de agua en el vertedero, van a ser los mas altos del año. El caudal promedio de los cuatro muestreos es 2.8l/s ó 0.0028m<sup>3</sup>/s, mientras que el caudal pico o el más elevado se observa en el tercer muestreo a las 19:30 horas con un valor de 4.22l/s ó 0.00422m<sup>3</sup>/s.
- El pH no varía demasiado desde la entrada del florentino hasta la salida, así, la media del pH a la entrada es de 4.8, mientras que a la salida tiene un valor medio, un poco más alcalino de 4.9.
- En la temperatura se encuentra una diferencia de casi 4°C, desde la entrada del efluente al florentino, el cual tiene una media de 60.3°C, hasta la salida donde tiene un valor medio de 56.7°C. Esta reducida diferencia nos da una idea del poco tiempo de retención que existe en el sistema actual de recuperación de aceites y grasas, el cual es muy difícil de determinar ya que el tanque florentino tiene una gruesa capa de sólidos sedimentados que disminuyen considerablemente el volumen real del tanque.
- Las concentraciones de aceites y grasas y sólidos totales, determinados en el laboratorio, son bastante variables con un rango de valores que va desde 9430mg/l de aceites y grasas y 46457mg/l de sólidos totales hasta 17505mg/l y 55592mg/l respectivamente, esto se debe a que el proceso de extracción de aceite, de los racimos de fruta, no se realiza de una manera pareja y también se debe a las constantes paradas en el proceso de extracción de la Planta Aiquisa. En los resultados del primer muestreo se observa que la concentración promedio de aceites y grasas a la entrada del florentino (9430.7mg/l) es menor que la de salida (12126.7mg/l), esto se puede producir, por la falta de mantenimiento y limpieza del sistema de recuperación o por la falta de recolección oportuna del aceite removido, lo cual puede producir una sobresaturación de aceite en el florentino que empieza a salir junto con el agua.

- Las concentraciones tomadas para esta investigación como más representativas, tanto a la entrada como a la salida del florentino, son las determinadas con los datos del último muestreo, ya que solo en este se analizó muestras compuestas cada media hora por separado, mientras que en los anteriores, se formaba una muestra compuesta de cinco horas. La concentración de aceites y grasas promedio a la entrada del florentino es 17505mg/l, y a la salida tiene un valor de 16042mg/l, lo que da un porcentaje de remoción con el sistema actual del 8.4%. La concentración media de sólidos totales a la entrada es 53608mg/l y a la salida es 46457mg/l, con un porcentaje del 13% de remoción para el sistema actual.
- Para el diseño de la trampa de grasas y el desarenador, se usó los datos obtenidos en los cuatro muestreos realizados (pH, la temperatura y caudal). El caudal de diseño es 0.0042m<sup>3</sup>/s que es el más alto obtenido en los muestreos, de esta manera nos aseguramos que no exista una sobrecarga ni ocurran desbordes en la trampa de grasas, debido a descargas pico de aguas residuales que se pueden producir, sobre todo en los meses en los que existe una mayor producción de fruta en la zona (Quinindé) que son desde enero hasta mayo (época lluviosa). Además la facilidad que se tuvo para las mediciones de caudal, al contar la Planta Extractora Aiquisa con un vertedero triangular de 90°, nos asegura exactitud de los datos obtenidos.
- Otro dato importante para el dimensionamiento de la trampa de grasas es el tiempo de retención del agua residual en el tanque, para esto se observó los resultados en las tablas y gráficos de las pruebas de tratabilidad. Aunque en la segunda prueba realizada se observó una remoción máxima del 37% en aceites y grasas y del 19% en sólidos totales en una hora de flotación, que es el mejor resultado obtenido, no se puede trabajar con estos datos para la obtención del tiempo de residencia, ya que la concentración de aceites y grasas fue una de las mas bajas registradas con un valor de 8210mg/l, lo cual puede haber influenciado en el alto porcentaje de remoción obtenido y además, no se hizo una comparación de la eficiencia entre el sistema por gravedad y por flotación. El primer ensayo tampoco es tomado en cuenta para la determinación del tiempo óptimo de retención, ya que se realizó en el laboratorio de la Universidad Internacional SEK, a una temperatura de 20°C, que no es la propia del efluente, y solo se probó el sistema de recuperación por flotación.

- Al realizar extracciones de aceite en el efluente líquido y compararlo con las extracciones realizadas en el efluente filtrado, se pudo comprobar que el 89% de aceite se encuentra en las fibras que contiene el agua residual, provenientes del proceso de prensado de la fruta, por lo que, el aceite que se logra separar con una trampa de grasas es el que se escapa de los procesos de clarificación y centrifugado y que no esta embebido en las fibras. Este aceite, embebido en las fibras, no se lo puede separar con ninguno de los dos métodos probados en esta investigación, para esto habría que mejorar el prensado de la fruta de palma o añadir otro proceso similar para las fibras residuales de dicho proceso.
- El tiempo de retención escogido para el diseño de la trampa de grasas es de 40 minutos y fue tomado del tercer ensayo, con un porcentaje de remoción de aceites y grasas del 20% y de sólidos totales del 14% y del cuatro ensayo con una remoción para aceites y grasas del 10.2% y para sólidos totales del 11.2%. Estos porcentaje no son los más altos de los ensayos, los cuales vendrían a ser los correspondientes a 60 minutos de retención en la trampa de grasas, pero la poca cantidad más de aceites y grasas y sólidos totales removidos, con estos 20 minutos más de residencia, no justifica el aumento en las dimensiones del tanque y por lo tanto, aumento en costos de construcción, que esto significaría.
- Los orificios de los tabiques tienen una altura de 40cm desde el fondo, lo que es suficiente para que no existan problemas de obstrucción del paso del agua residual por material sedimentado, esto cuando los orificios están en la parte inferior del tanque, en la parte superior, el orificio debe estar a la misma altura del agua (1.3m) para permitir mantener ese nivel en todo el tanque. La correcta ubicación de cada orificio es esencial para el funcionamiento de la trampa de grasas, ya que estos obligan a la corriente de agua residual a zigzaguear en forma vertical y horizontal, asegurando de esta manera que una vez que el aceite que se logre remover se encuentre en la superficie del tanque, no pueda volver a descender.
- La canaleta para recolección de aceite recuperado, esta ubicada a todo el largo de la trampa de grasas y cuenta con cinco válvulas de desfogue, ubicadas una en cada sección del tanque formadas por los tabiques, de esta manera se podrá recuperar el aceite de cada una por separado. La distancia desde el borde del tanque hasta el agua será de 20cm y la ubicación del centro de las tuberías de recolección de aceite estará a una distancia de 24cm desde el borde del tanque, al ser esta tubería de 2" ó 5cm de

diámetro, la altura mínima que debe tener el aceite en el tanque antes de poder ser recuperado es de 6.5cm. Esta canaleta tiene un declive del 8%, es decir, una diferencia de altura de 10cm desde su inicio hasta su descarga en la cámara de recolección, para facilitar el flujo del aceite. El tanque recolector mantendrá el mismo diseño que el del actual sistema de recuperación con el que cuenta la Planta Extractora Aiquisa, pero se aumentó sus dimensiones para que sea suficiente para recolectar el aumento en el volumen de aceite removido esperado con el nuevo diseño de trampa de grasas, se puede mantener la misma bomba de succión con la que cuenta la Planta para el transporte de este aceite recuperado hasta su sitio de almacenamiento.

- El desarenador operará del mismo modo que el del sistema actual de la Extractora, se aumentó sus dimensiones para que el tiempo de retención en este tanque sea de 30 minutos con el mismo caudal utilizado para el diseño de la trampa de grasas ( $0.00422\text{m}^3/\text{s}$ ), de esta manera se logrará remover las arenas o partículas de otro material sólido, que tengan velocidades de sedimentación bastante mayores que la de las fibras y sólidos orgánicos degradables en el agua residual. Este paso previo a la remoción de aceites y grasas, tiene por objeto reducir la formación de depósitos en los canales de conducción del agua residual y de minimizar la frecuencia de limpieza requerida en la trampa de grasas. Tanto el desarenador como la trampa de grasas se deben limpiar manualmente.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- De la caracterización físico-química del agua residual de la Planta Extractora Aiquisa se puede comprobar que la cantidad de aceites y grasas que salen como efluentes es de aproximadamente 3800Kg/día, lo que evidencia que se necesita una mejora tanto en el proceso de extracción de la fruta como en el sistema de recuperación final de aceites y grasas.
- La carga orgánica máxima que teóricamente pueden soportar las lagunas de oxidación, último tratamiento de las aguas residuales de la Planta, es de 400gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>día<sup>(14)</sup>, sin embargo, la carga real que reciben esta entre 9560 y 10138gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>día (VER ANEXO 1), esto no permite el correcto funcionamiento de las lagunas y por lo tanto, la posterior descarga de aguas contaminantes.
- De los dos últimos ensayos realizados comparando flotación y gravedad, se concluye que el sistema más adecuado es el de remoción por gravedad, ya que el aire inducido en la flotación no logro separar mucho más aceite, e incluso mezcla aún más el efluente, ayudando así a mantener la fuerte emulsión existente.
- El porcentaje máximo removido de aceites y grasas y sólidos totales en 40 minutos, en el tanque piloto fue del 20% y 14% respectivamente, se puede esperar, que al contar el diseño final con un tabique más y la salida del agua residual mas profunda, además, del desarenador, estos porcentajes de remoción mejoren.
- Con la determinación de aceites y grasas en el agua residual filtrada, se observa que la concentración en los lodos es del 89%, lo que implica que la mayoría de aceite se encuentra en las fibras, como sólidos suspendidos y hace imposible su recuperación por cualquiera de los dos sistemas probados en esta investigación.
- Aunque el promedio del caudal medido en cada muestreo es similar, las variaciones puntuales que se registran son bastante grandes, motivo por el cual se diseño la trampa de grasas con un factor de seguridad en su volumen del 20% y se le proporcionó una



salida (tubo “T”) de 4”, diámetro suficiente para poder evacuar sin dificultad cualquier subida normal de caudal.

- Se comprobó que en ciertas ocasiones la concentración de aceite y grasas de salida del florentino es mayor que la de entrada, lo que además de la falta de mantenimiento y limpieza, evidencia la baja eficiencia en la recuperación del sistema actual y la poca carga de aceite recuperado que puede soportar.
- El sistema de recuperación por aire inducido (flotación), no es eficiente para este tipo de aguas residuales, que contienen una excesiva cantidad de sólidos en suspensión (fibras) y dificulta aún más, la remoción del aceite libre, proveniente de los procesos de autoclavado, clarificación y centrifugación, debido a que las burbujas de aire mezclan el afluente.
- En base a los resultados de la presente investigación, se puede concluir que el sistema más eficaz para remoción de aceites y grasas, entre los dos probados, es el de gravedad, con un tiempo mínimo de retención de 40 minutos.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- La trampa de grasa debe recibir mantenimiento y limpieza regularmente para prevenir el escape de aceite y evitar la posible generación de malos olores. La frecuencia de limpieza se determinara en base a la observación o por lo menos una vez al mes. De igual manera la frecuencia de desalojo de la cámara de retención de aceites recuperados debe hacerse cada vez que sea necesario.
- Para el funcionamiento eficaz de la trampa, se debe evitar las cargas hidráulicas súbitas o fuera de lo normal en ella, ya que esto puede producir la mezcla en exceso del agua residual que impedirá la flotación del aceite, permitiendo su escape por la unidad de salida.
- La recuperación de aceite de cada sección de la trampa de grasas, se la puede realizar por separado, dependiendo del nivel de aceite existente en cada una, tomando en cuenta siempre que en las primeras secciones será donde mas aceite se removerá.
- El personal de mantenimiento deberá contar con el equipo de seguridad adecuado para la realización de dicha operación.

- Debido al grado de acidez de las aguas residuales, el tanque tendrá que ser de un material no corrosivo y completamente hermético para prevenir cualquier tipo de fugas.
- Para reducir los costos en la construcción de la trampa y el desarenador, se puede usar bloque revestido de cemento portland libre de humedad por almacenamiento y para el buen curado, el cemento debe mantenerse húmedo durante 3 días.
- El tubo de salida de la trampa debe ser en forma de T, como esta descrito en el diseño y no un codo o cuello de ganso, para evitar el vaciado de la trampa por efecto de vacío.
- El tanque desarenador y la trampa de grasas no deben estar expuestos a inundaciones, por lo que se sugiere la construcción de un techo y de canales recolectores de agua lluvia, para evitar la escorrentía, alrededor del sistema.
- La ubicación del sistema de recuperación de aceites y grasas propuesto, puede ser la misma del sistema actual, pudiendo ampliarse aguas arriba del canal de conducción de aguas residuales existente y hacia el tanque de almacenamiento de diesel.
- Los lodos producto de la sedimentación en el desarenador y en la trampa de grasas, en lo posible deberían ser tratados con algún sistema de digestión antes de su eliminación final o posiblemente el método mas económico para su disposición final sea un relleno sanitario.
- Cada cierto tiempo es recomendable hacer determinaciones de aceites y grasas tanto a la entrada como a la salida de la trampa, de esta manera se puede ir midiendo su eficiencia e ir corrigiendo cualquier detalle que se crea mejore su rendimiento.
- El sistema de recuperación de aceites y grasas propuesto en este trabajo de investigación es simple de operar y no requiere de personal técnico o especializado.
- Se recomienda que se analice la posibilidad de un mejoramiento en el proceso de prensado, de esta manera se evitara la descarga de una alta cantidad de aceite que se encuentra embebido en las fibras.
- El proceso de centrifugación también debería analizarse en busca de una reducción en el porcentaje de aceite libre que sale junto al agua residual.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFÍA

1. (Base de Datos: Aiquisa, 2003)
2. Chamberlain, A. (1952). Measuring Water in Small Channels. Station Circular 200, State College of Washington.
3. Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogotá-Colombia: McGraw-Hill.
4. Corbitt, R. 1era edición (2003). Manual de Referencias de la Ingeniería Medioambiental. Madrid-España: McGraw-Hill.
5. Correal, R. 1era edición (2002). Tratamiento y Postratamiento de Aguas Residuales. Boyacá-Colombia: Uniboyacá.
6. Glynn y Gary. 2da edición (1999). Ingeniería Ambiental. México: Prentice Hall.
7. Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España: Rugarte, S.L.
8. Kemmer, F. McCallion, J. (1995). Manual del Agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo I. México: McGraw-Hill
9. Kiel, G. (1999). Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Volúmenes I, II y III. Madrid-España. McGraw-Hill.
10. Metcalf, Eddy. 2da edición (1986). Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evaluación y Reutilización de la Aguas Residuales. España: Editorial Labor S.A.
11. Norma Obligatoria Ecuatoriana. INEN-1640. Aceite Comestible de Palma Africana. Requisitos.
12. Perry, R y Green, D. 7ma edición (2001). Manual del Ingeniero Químico. Vol III. Madrid-España: McGraw-Hill.
13. Rodríguez, H. 1era edición (2001). Hidráulica Experimental. Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieros.
14. Romero, J. 1era edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

15. Sanz, R y Ribas, J. 1era edición (1999). Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos. Bogota-Colombia: Alfaomega.
16. Valencia, J. 3era edición (2000). Teoría y Practica de la Purificación del Agua. Tomo I y II. Bogota-Colombia: McGraw-Hill.
17. Water Measurement Manual. Second edition. (1975). Departamento del Interior de los Estados Unidos, Oficina de Colonización, Denver, Colorado.
18. [www.drcalderonlabs.com](http://www.drcalderonlabs.com)
19. [www.medidasdemanejoambiental.com](http://www.medidasdemanejoambiental.com)
20. [www.fedeplma.com](http://www.fedeplma.com)
21. [www.ancupa.com](http://www.ancupa.com)
22. [www.numar.net](http://www.numar.net)
23. [www.fao.org](http://www.fao.org)
24. [www.bna.com](http://www.bna.com)
25. [www.se.ehu.es](http://www.se.ehu.es)
26. [www.lenctech.com](http://www.lenctech.com)

## GLOSARIO DE TÉRMINOS<sup>(14)</sup>

**Aceite crudo (de palma).** Aceite extraído del fruto de la palma por prensado y sin refinar

**Acidez.** Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se expresa usualmente en términos de mg/l como carbonato e calcio.

**Afluente.** Agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o a algún proceso de tratamiento.

**Aguas Crudas.** Aguas residuales que no han sido tratadas.

**Aguas residuales.** Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

**Aireación.** Proceso de transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

**Ambiente aerobio.** Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

**Ambiente anaerobio.** Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

**Análisis.** Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado en un laboratorio.

**Autoclavado (de la fruta de palma).** Proceso de cocción del fruto que ayuda al desprendimiento del raquis y a la digestión del fruto

**Biodegradación.** Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire o cuerpos de agua receptores o proceso de tratamiento de aguas residuales.

**Cámara.** Compartimiento con paredes, empleado para un propósito específico.

**Carga de diseño.** Producto del caudal por la concentración de un parámetro específico; se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, en condiciones aceptables de operación. Tiene unidades de masa por unidad de tiempo.

**Carga orgánica.** Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en Kg/día.

**Caudal máximo.** Caudal a la hora de máxima descarga.

**Caudal medio.** Media aritmética de los todos los caudales medidos.

**Clarificador.** Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos o aceites del agua.

**Concentración.** Denomínase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

**Contaminante.** Cualquier sustancia que cambia las características originales del cuerpo receptor.

**Criterios de diseño.** 1. Normas o guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema. 2. Guías que especifican detalles de construcción y materiales.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonacea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20°C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**Densidad.** Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo cualquiera, se expresa como g/l.

**Desarenadores.** Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).

**Digestión anaerobia.** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

**Digestión (del fruto de palma).** Licuefacción mecánica del fruto de palma en unidades construidas específicamente para esto

**Digestión (de lodos).** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

**Disposición final.** Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

**Eficiencia de tratamiento.** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

**Efluente final.** Líquido que sale de una planta de tratamientos de aguas residuales.

**Efluente.** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**Fibras.** Parte esencial de la que esta compuesta la fruta de palma.

**Lagunas de oxidación.** Estanque para tratamiento biológico de aguas residuales con un tiempo de retención bastante grande.

**Lodos ligeros.** Fibras u otro material sólido con baja velocidad de sedimentación.

**Lodos pesados.** Arena u otro material sólido con una alta velocidad de sedimentación

**Muestra compuesta.** Mezcla de varias muestra alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tomar en cuenta el caudal en el momento de la toma.

**Muestra integrada.** Consiste en el análisis de muestras instantáneas tomadas simultáneamente en diferentes puntos o tan cerca como sea posible. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medidos al tomar la muestra.

**Muestra simple.** Muestra tomada al azar en un cuerpo receptor y en una hora determinada para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.

**Muestreo manual.** El que no se realiza con equipos, puede ser muy costoso y demorado para muestreos a gran escala.

**Palmiste.** Nuez de cáscara dura que se encuentra dentro del fruto de la palma

**Planta de tratamiento (de aguas residuales).** Conjunto de obras instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

**Planta piloto.** Planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

**Pretratamiento.** Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

**Pruebas de tratabilidad.** Pruebas realizadas en el campo o a nivel de laboratorio para probar la eficiencia de un sistema de tratamiento.

**Raquis.** Tusa de la cual se encuentran agarrados los frutos de la palma. Es el desecho producido después del proceso de desfrutado en la extracción de aceites.

**Refinado.** Etapa que puede ocurrir, en segundo lugar, en la elaboración de algunos tipos de aceite, donde los aceites crudos se someten a combinaciones de calor, química o tratamientos enzimáticos para corregir problemas de olor, decoloración o contaminación.

**Sedimentación.** Proceso de clarificación de las aguas residuales mediante la precipitación de la materia orgánica o la materia putrescible.

**Sólidos sedimentables.** Materia sólida que sedimenta en un periodo de una hora.

**Sólidos suspendidos.** Material sólido que se mantienen en suspensión en el agua residual

**Tanques florentinos.** Término usado en la empresa de extracción de aceite de palma para nombrar al sistema de recuperación de aceites o trampa de grasas.

**Tiempo de retención hidráulico.** Tiempo medio que se demora las partícula de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa coma la razón entre el caudal y el volumen útil.

**Tubo Tee.** Tubo metálico en forma de T que es útil para sacar el agua de un tanque sin que salga el material flotante.

**Viscosidad.** Capacidad de un líquido para fluir sobre una superficie. Generalmente se expresa en poisse o centipoisse



A

N

E

X

O

S

# *A N E X O 1*

**Análisis de  $\text{DBO}_5$  o Carga Orgánica de la Salida de los Florentinos,**

**hecho en dos Laboratorios Diferentes**

# *A N E X O 2*

**Norma INEN 1640, Aceite Comestible de Palma**

**Africana. Requisitos**

# *A N E X O 3*

**Fotografías del Proceso de Extracción de**

**Aceite de Palma Africana**

## PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA



**F1.** Pesado de los racimos de palma a la entrada de Aiquisa



**F2.** Carga de los racimos de palma en los vagones



**F3.** Proceso de autoclavado de la fruta



**F4.** Calderos de producción de vapor para autoclaves





**F5.** Rotor de desfrutado



**F6.** Disposición del Raquis



**F7.** Digestión de la fruta de palma



**F8.** Prensado de la fruta

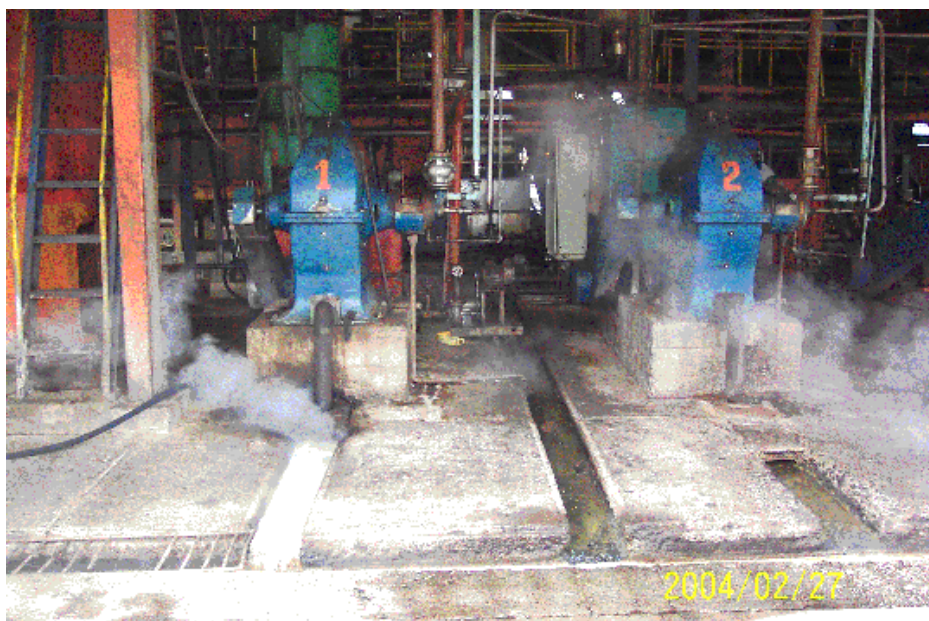




**F9.** Torre de separación de fibra y palmiste



**F10.** Tanque de clarificación (separación agua aceite)



**F11.** Centrifugas para separación agua aceite



**F12.** Sistema de Recuperación de Aceites y Grasas





**F13.** Tanque desarenador



**F14.** Tanques Florentinos



**F15.** Tanque sedimentador y Vertedero en “V”



**F16.** Lagunas de Oxidación

..

# PLANOS



