

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS
DE UNA PLANTA EXTRACTORA
DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

GILDA ELIZABETH GÓMEZ COYOY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 27 de abril de 1,999.


GILDA ELIZABETH GÓMEZ COYOY

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL PRIMERO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL SEGUNDO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL TERCERO	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL CUARTO	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL QUINTO	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Julio Enrique Chávez Montúfar
EXAMINADOR	Ing. Oscar René Rosal Higueros
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

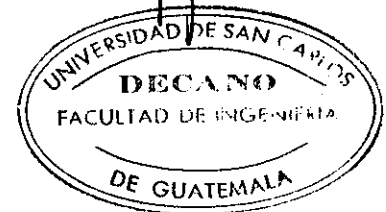


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS DE UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA AFRICANA, de la estudiante, Gilda Elizabeth Gómez Coyoy, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, noviembre de 1.999

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este día.

A la virgen María, por guiar mi vida por senderos de bien y por obtener este triunfo.

Al Ingeniero Carlos Enrique Gómez Coyoy, por su valiosa asesoría, su incondicional apoyo y motivación para realizar este trabajo de tesis.

Al Ingeniero Luis Eduardo Gómez Coyoy, por su apoyo, motivación y cooperación en este trabajo.

A mi familia, por el apoyo, motivación y respaldo que me brindaron para poder realizar este trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A mis padres

Luis Gómez y Matilde Coyoy de Gómez,
como muestra de mi amor hacia ellos, gracias por su apoyo espiritual, moral y económico que siempre me han brindado. Les dedico a ellos este triunfo que en gran parte es suyo.

A mis hermanos

Ingenieros químicos: Carlos Enrique y Luis Eduardo;
Ingenieros civiles: Jaime Rolando y Aníbal Armando;
Ingeniero Electricista: Oscar René,
gracias por el apoyo, motivación y respaldo que me brindan en todo momento de mi vida.

A mi hijo

Luis Fernando,
motivación para realizar mis más caros anhelos.

A mi esposo

Mario Fernando Pisquiy
con amor, gracias por su motivación y apoyo para la realización de este trabajo.

A mis sobrinos

Evelyn Rocío, Lidia Liseth y Luis Pablo,
como ejemplo de perseverancia y lucha para alcanzar las metas propuestas.

A mis cuñadas

Cariñosamente.

A la Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	v
LISTA DE SÍMBOLOS	vii
GLOSARIO	viii
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Descripción del proceso de la extracción de aceite de palma africana	1
1.2 Tipos de desechos líquidos de una planta extractora de aceite de palma africana	4
1.3 Características de los desechos líquidos de los efluentes	5
2. PROCESO DE TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS	7
2.1 Pretratamiento	9
2.1.1 Desbaste	9
2.1.1.1 Rejas	9
2.1.1.2 Tamices	10
2.1.2 Dilaceración	10
2.1.3 Desarenadores	11
2.1.3.1 Desarenador de flujo horizontal	12
2.1.3.2 Desarenadores aireados	12
2.1.3.3 Desarenadores de vórtice	13

2.1.4	Floculación	13
2.1.5	Tanques separadores de grasa	13
2.2	Tratamiento primario	14
2.2.1	Sedimentadores	14
2.2.1.1	Tanques rectangulares	15
2.2.1.2	Tanques circulares	15
2.2.2	Flotación	16
2.2.2.1	Flotación por aire	16
2.2.2.2	Flotación por aire disuelto	17
2.2.2.3	Flotación por vacío	17
2.2.3	Tanque Imhoff	17
2.3	Tratamiento secundario	18
2.3.1	Procesos de tratamiento aerobio	19
2.3.1.1	Procesos de fangos activados	19
2.3.1.2	Lagunas aireadas	20
2.3.1.3	Digestión aerobia	20
2.3.1.4	Filtros percoladores	21
2.3.1.5	Filtros de desbaste	22
2.3.1.6	Sistemas biológicos rotativos	23
2.3.1.7	Reactores de lecho compacto	23
2.3.2	Procesos de tratamientos anaerobios	24
2.3.2.1	Digestión anaerobia	24
2.3.2.2	Proceso anaerobio de contacto	25
2.3.2.3	Proceso anaerobio de manto de flujo ascendente	25
2.3.2.4	Proceso de filtro activado	26
2.3.2.5	Proceso de lecho expandido	26

2.3.3	Procesos de laguna de estabilización	27
2.3.3.1	Objetivos de las lagunas de estabilización	27
2.3.3.2	Clasificación de las lagunas	28
2.3.3.2.1	Lagunas aerobias	28
2.3.3.2.2	Lagunas anaerobias	29
2.3.3.2.3	Lagunas facultativas	32
2.4	Tratamiento terciario	33
2.4.1	Adsorción	33
2.4.2	Osmosis inversa	34
2.4.3	Precipitación química	34
2.4.4	Intercambio ionico	35
2.4.5	Tratamiento electroquímico	35
2.4.6	Electrodialísis	35
2.4.7	Oxidación	36
2.4.8	Desinfección	36
3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	38
3.1	Tratamientos preliminares	38
3.2	Tratamiento primario mediante lagunas	39
3.3	Tratamiento primario mediante lagunas facultativas	41
4.	RESULTADOS	44
4.1	Parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de las lagunas de estabilización	44
4.2	Eficiencia de remoción de los parámetros evaluados en el sistema de lagunas	50
4.3	Caudal aplicado al sistema	51

4.4	Tiempo de residencia hidráulica	52
4.4.1	Lagunas anaerobias	52
4.4.2	Lagunas facultativas	53
5.	DISCUSIÓN	54
5.1	Parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de las lagunas de estabilización	54
5.1.1	Parámetros fisicoquímicos del afluente	54
5.1.2	Parámetros fisicoquímicos del efluente	55
5.2	Eficiencia de remoción de los parámetros evaluados en el sistema	57
5.3	Caudal aplicado al sistema	59
5.4	Tiempo de retención hidráulica	59
	CONCLUSIONES	60
	RECOMENDACIONES	62
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	BIBLIOGRAFÍA	66
	ANEXOS	68
	APÉNDICE	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1.	Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma	4
2.	Procesos de tratamiento de desechos líquidos	7
3.	Pasos principales de los procesos metabólicos involucrados en la digestión anaerobia	30
4.	Esquema de laguna anaerobia	31
5.	Esquema de mecanismos responsables de la degradación en lagunas facultativas	33
6.	Dimensiones de lagunas anaerobias	40
7.	Dimensiones de laguna facultativa	43
8.	Temperatura versus punto de muestreo	46
9.	Potencial de hidrogeno versus punto de muestreo	46
10.	Demanda química de oxígeno versus punto de muestreo	47
11.	Demanda bioquímica de oxígeno versus punto de muestreo	47
12.	Sólidos totales versus punto de muestreo	48
13.	Sólidos suspendidos versus punto de muestreo	48
14.	Sólidos disueltos versus punto de muestreo	49
15.	Sólidos sedimentados versus punto de muestreo	49
16.	Grasas y aceites versus punto de muestreo	50

TABLAS

No.	Título	Pág.
I.	Caracterización de los desechos líquidos de una planta extractora de aceite de palma	6
II.	Valores promedio de los muestreos en los tres puntos analizados	45
III.	Eficiencias de remoción	51
IV.	Comparación de los valores de los parámetros de descarga del sistema evaluado y de los límites máximos permisibles actuales y propuestos	55
V.	Relación DBO/DQO	68
VI.	CONAMA, límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas de la industria de alimentos	69
VII.	CONAMA, Propuesta de límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas de procesadoras de aceites y grasas (animal y vegetal)	70
VIII.	Reglamentación exigida en Colombia, para efluentes de plantas extractoras	71
IX.	Estándar de regulaciones para efluentes de plantas extractoras en Malasia	72
X.	Resultados de los análisis efectuados el 15 de abril de 1999	74
XI.	Resultados de los análisis efectuados el 29 de abril de	74
XII.	Resultados de los análisis efectuados el 9 de junio de	75
XIII.	Resultados de los análisis efectuados el 22 de julio de	75

LISTA DE SÍMBOLOS

- °C** Grados centígrados.
- TRF** Tonelada de fruto fresco.
- DBO₅** Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l).
- DQO** Demanda química de oxígeno (mg/l).
- ST** Sólidos totales (mg/l).
- SS** Sólidos suspendidos (mg/l).
- Q** Caudal (m³/d).
- V** Volumen de la laguna (m³)
- TRH** Tiempo de retención hidráulica (días).
- CP** Capacidad máxima de procesamiento de la planta extractora en t RFF/h.
- HP** Horas de procesamiento en máxima producción de la extractora en h/d.
- R** Relación de agua producida por fruto procesado en m³/t RFF

GLOSARIO

Bacterias	Pequeños organismos vivos formados de una sola célula.
Bacterias aerobias	Bacterias que requieren oxígeno libre para su desarrollo.
Bacteria anaerobias	Bacterias que se desarrollan en ausencia de oxígeno libre, que extraen oxígeno de las sustancias complejas, al descomponerlas.
Bacterias facultativas	Son bacterias que se adaptan por sí mismas, al desarrollo tanto en presencia, como en ausencia de oxígeno no combinado.
Capacidad buffer del sistema	Es la capacidad amortiguadora de un sistema acuoso, incluidos los desechos líquidos; y está dada por la existencia en el agua de compuestos carbonatados que impiden fluctuaciones bruscas de pH
Caudal (Q)	Cantidad que expresa la cantidad volumétrica de un flujo en una unidad determinada de tiempo.
Cuencos	Concavidad, sitio cóncavo.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	Esta prueba es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable.

**Demanda química
de oxígeno (DQO)**

Esta prueba es una medida de la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica en presencia de un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido. Incluye materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

Eficiencia de remoción

Se denomina así la capacidad de un sistema de tratamiento para remover una carga contaminante (DQO, DBO, ST, etc.) y se expresa en porcentaje.

Efluente

Corriente de salida de un depósito, estanque o planta de tratamiento.

Grasas y aceites

Sustancias de origen vegetales o animal. Pueden ser líquidos o sólidos.

**Límite máximo
permisible (LMP)**

Promedio diario, los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de una muestra compuesta de las aguas residuales provenientes de una industria.

Parámetro

Es aquella característica que puede ser sometida a medición.

**Potencial de
hidrógeno (pH)**

Es el potencial de iones hidrónico. Determina la presencia de acidez o alcalinidad de un agua.

**Procesos de cultivo
en suspensión**

Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros componentes de los desechos líquidos en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido.

Procesos de cultivo fijo

Son los procesos de tratamiento biológico en los que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes de los desechos líquidos en gases y tejido celular están fijados a un medio inerte, tales como: piedras, escorias, o materiales cerámicos y plásticos especialmente diseñados para cumplir con esta función

Raquis

Cuerpo del racimo, donde se encuentran adheridos los frutos de palma africana

Sólidos disueltos

Indican el contenido de materiales que no pueden separarse por medios físicos. Su tamaño es pequeño, no son visibles a simple vista.

Sólidos sedimentados

Es la fracción de sólidos insolubles que se depositan por la acción de la gravedad en un recipiente cónico estándar, en un tiempo determinado. Indican la cantidad de **lodos** que podrían separarse por sedimentación de un efluente.

Sólidos suspendidos	Constituyen el material que permanece en suspensión, en los desechos líquidos. Son visibles a simple vista, y se determina como la cantidad de material retenido después de realizada la filtración de una muestra en el agua. Hacen parte de los sólidos suspendidos el material sedimentable que es de fácil remoción en los sedimentadores.
Sólidos totales	Abarcan todos los constituyentes sólidos de los desechos líquidos. Están conformados por la cantidad de materia que permanece como residuo después de una evaporación entre 103 y 105 °C. De éstos hacen parte los sólidos suspendidos y disueltos.
Temperatura	Propiedad de un cuerpo que determina el flujo de calor.
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Es el tiempo durante el cual una parte volumétrica de un fluido permanece en un sistema. Se expresa como la relación entre el volumen de la estructura y el caudal.
Tratamiento de desechos líquidos	Es cualquier proceso, físico, químico o biológico, definido para depurar las condiciones de los desechos líquidos, a través de procesos unitarios preliminares, primarios, secundarios, o terciarios, a fin de cumplir normas establecidas.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó con el fin de evaluar el sistema de tratamiento de desechos líquidos de una planta extractora de aceite de palma africana, ubicada en Tiquisate, Escuintla.

El sistema de tratamiento es biológico y está formado por 2 lagunas anaerobias paralelas y 3 lagunas facultativas en serie.

Para llevar a cabo la evaluación se tomaron muestras periódicas en verano e invierno de desechos líquidos en tres puntos del sistema de tratamiento, entrada al sistema; el paso de lagunas anaerobias a facultativas y en la salida del sistema. Efectuando un análisis de los siguientes parámetros: temperatura, potencial de hidrogeno, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos sedimentados, grasas y aceites.

También se determinó la eficiencia de remoción de los parámetros contaminantes, los parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente del sistema, y se cuantificó el caudal aplicado al sistema y el tiempo de retención hidráulica.

La eficiencia de remoción de DQO es 95.92%, DBO₅ es 97.84%, sólidos totales es 85.72, sólidos suspendidos es 95.46%, sólidos disueltos es 10.03%, sólidos sedimentados es 99.87%, y grasas y aceites es 99.63%, la temperatura se

lleva a la temperatura ambiente 32⁰C, y el potencial de hidrogeno a 8.13. El caudal aplicado al sistema es 456 m³ desechos sólidos al día, y el tiempo de residencia para lagunas anaerobias es de 13 días y para las facultativas de 21 días.

De los resultados obtenidos, se concluye que el sistema de tratamiento biológico esta trabajando adecuadamente, y que esta entre los límites que establece la Comisión Nacional del Medio Ambiente -CONAMA-.

Se recomienda agregarle coagulante en la caja de llegada de aguas residuales, para depositar más sólidos suspendidos y mejorar el porcentaje de remoción de estos sólidos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por objeto el estudio del uso de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma africana, que procesa fruta a razón de 20 TM/Hr.

Los desechos líquidos de esta planta están compuestos básicamente de materia orgánica, agua, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos. La materia orgánica proviene de partículas de pulpa de la fruta que logran pasar los filtros utilizados en el proceso. Los sólidos pesados se componen de arena, que llega al proceso adherida a los racimos de fruta, que por el manejo que reciben en los campos de cultivo se impregnan a ella. La característica de estos lodos es trazas de aceite, pH ácido, temperatura del orden de 80°C, disueltos y en suspensión y una carga orgánica, medida como demanda química de oxígeno (DQO), alta.

En los últimos años el medio ambiente ha venido sufriendo un deterioro debido a la contaminación de los recursos hidráulicos, así como de los otros recursos naturales -aire, suelo, etc.-, lo que está provocando un desequilibrio en el ecosistema.

En los vertederos, donde van a dar las aguas residuales provenientes de los distintos procesos que se llevan a cabo en las industrias, la vida acuática se está extinguiendo, debido a la presencia de materia orgánica que la priva del

oxígeno para su supervivencia, así como la presencia de diversos elementos químicos que no favorecen a este tipo de vida. Por ello se hace necesario el tratamiento de las aguas residuales de las industrias.

En la actualidad, el consumo del aceite que se extrae de la palma africana esta teniendo mayor demanda, lo que ha provocado que este tipo de industria este en crecimiento. Estas plantas extractoras que mediante los efectos de presión, temperaturas y procesos mecánicos, extraen el aceite contenido en la pulpa del fruto, utilizan el agua como medio de dilución, producción de vapor y lavado. Por consiguiente se considera necesario una evaluación del tratamiento de desechos líquidos.

El presente trabajo tiene por objeto evaluar la calidad del agua residual del afluente y efluente de lagunas de estabilización de una planta extractora de aceite de palma africana; determinar los parámetros físicoquímicos del afluente de las lagunas de estabilización; determinar los parámetros físicoquímicos del efluente de las lagunas de estabilización; evaluar la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros a evaluar del sistema de tratamiento implementado y cuantificar el caudal aplicado al sistema y el tiempo de retención hidráulica.

Se evaluará si el tratamiento de aguas residuales de una planta extractora de aceite de palma africana se encuentra dentro de los límites máximos permisibles -LMP- reglamentarios para la industria de aceites y grasas.

Para cumplir con los objetivos, se realiza un trabajo de evaluación teórico-practico. El trabajo teórico incluye definiciones relacionadas con la composición métodos de tratamiento y parámetros de evaluación de los

desechos líquidos, así como la descripción del sistema utilizado. El trabajo práctico consiste en un programa de muestreo y análisis de parámetros; que son temperatura, potencial de hidrógeno, demanda química de oxígeno (DQO) demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sólidos sedimentados, grasas y aceites, los cuales se efectúan en tres puntos del sistema.

Los resultados de la evaluación confirman que actualmente el sistema de tratamiento de desechos líquidos cumple con los valores dados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente -CONAMA- y que sus eficiencias de remoción son aceptables.

Son importantes los estudios de esta naturaleza por ser un problema real en la industria guatemalteca debido al excesivo consumo de agua por producto terminado y a la contaminación que se puede provocar a los efluentes. Es necesario continuar con estudios similares en los sistemas de tratamientos de industrias que los posean, para conservar las fuentes de abastecimiento

1 ANTECEDENTES

Referente a la planta extractora de aceite de palma africana se hace una descripción de:

- proceso de extracción de aceite
- tipos de desechos líquidos
- características de los desechos líquidos

1.1 Descripción del proceso de la extracción de aceite de palma

El proceso de extracción de aceite de palma africana se puede dividir en varias etapas:

- a.- Recepción de la fruta
- b.- Esterilización
- c.- Desfrutación
- d.- Digestión y prensado
- e.- Clarificación

a.- Recepción de la fruta

La fruta es transportada del campo a la planta en camiones o carretones. Luego, es descargada en tolvas de recepción que alimentan las góndolas que la transportaran a la siguiente etapa: la esterilización.

b.- Esterilización

El fruto, contenido en las góndolas, se introduce en los esterilizadores para su cocimiento con vapor vivo. La finalidad de la esterilización puede resumirse en los siguientes puntos:

- b1. Inactivación de las lipasas (enzimas lipolíticas) presentes en la fruta, las cuales dan origen a la formación de ácidos grasos libres.
- b2. Aflojamiento de las frutas en el racimo, con lo que se facilita la siguiente operación de desfrutación.
- b3. Ablandamiento de la pulpa de la fruta (pericarpio y mesocarpio) para una mejor malaxación posterior.
- b4. Acondicionamiento antemano para las nueces (por calentamiento y deshidratación parcial) para facilitar la operación de quebrarlas posteriormente.
- b5. Coagulación de las proteínas e hidrólisis (descomposición de los materiales mucilaginosos de la fruta de palma) con lo que se impide la formación de materias coloidales o emulsiones en el aceite crudo y, así, facilitan el proceso de clarificación del aceite.

c.- Desfrutamiento

Las góndolas, con el fruto ya cocinado, son transportadas hacia una grúa-monoriel que descarga la fruta en una tolva, que a su vez alimenta el tambor desfrutador donde se separan los frutos del raquis.

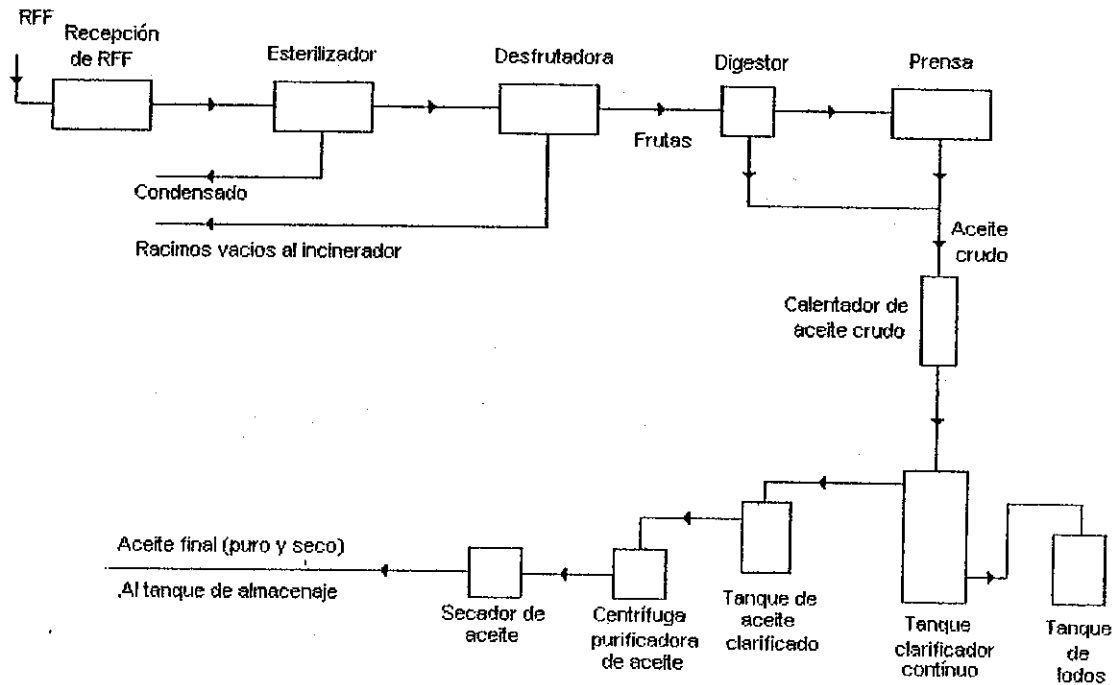
d.- Maceración y prensado

Los frutos son transportados a los digestores que hacen una maceración con éstos, para posteriormente pasar a las prensas de doble tornillo que separaran el aceite y lodos de la parte sólida (fibra y nueces).

e.- Clarificación (eliminación de impurezas)

La parte líquida proveniente del prensado contiene aceite, agua, fibras muy fina del frutos y arena proveniente del campo. Es en esta etapa, donde por medio de decantadores continuos y centrífugas se realiza la separación del aceite de las demás impurezas. Como desechos quedan los lodos (agua, fibras finas de fruto y arena) que constituyen el efluente de la planta extractora.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de palma



RFF: Racimos de fruta fresca de palma africana

1.2 Tipos de desechos líquidos de la planta extractora de aceite de palma africana

Del proceso descrito anteriormente tenemos que los vertimientos de aguas residuales son:

- Condensados de esterilización
- Efluentes de clarificación (la eliminación de las impurezas del aceite).

Estos vertimientos de aguas residuales se describen a continuación:

a) Condensados de esterilización

Los condensados de esterilización son producto de la deshidratación que sufre el fruto en la etapa de cocimiento y que es evacuado continuamente de los esterilizadores, produciéndose un efluente de agua residual que es bombeado al canal recuperador de aceite. Éstos vertidos se caracterizan por su contenido de grasas y aceites, sólidos, materia orgánica, acidez, etc.

De acuerdo con CENIPALMA "Este efluente puede representar el 10 por ciento del peso de la fruta procesada y hasta el 15 por ciento del total de los efluentes." (1)

b) Efluentes de clarificación (eliminación de impurezas)

La cantidad de efluentes producidos en las plantas extractoras de aceite de palma, en proporción con la fruta procesada, oscila entre 0.55 y 1.2 m³ de lodo/TM FP(fruta procesada), con un promedio de 0.82m³ de lodo/TM FP. (2)

1.3 Características de los desechos líquidos

Las características del efluente de la planta extractora de aceite de palma africana son: elevada temperatura, bajo pH, alta carga orgánica medida como DQO (con la ventaja de que un alto porcentaje es biodegradable), alta carga de sólidos suspendidos, y grasas y aceites residuales (generalmente considerado de difícil degradación).

En la tabla I se presentan los valores de los parámetros de los efluentes de plantas extractoras.

Tabla I. Caracterización de los efluentes de plantas extractoras de aceite de palma africana

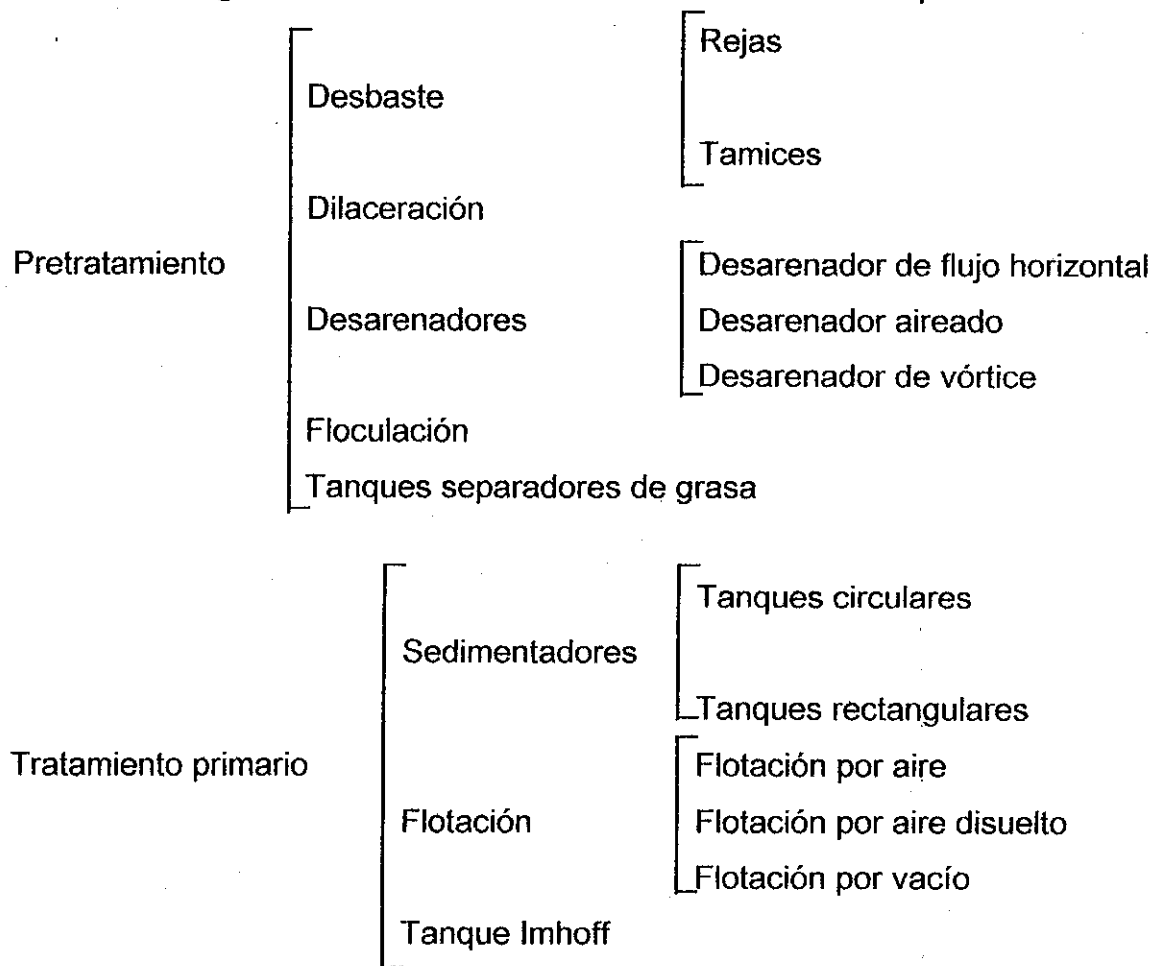
Parámetro	Unidad	Rango
Temperatura	°C	53-77
pH	unidad	3.87-5.25
DQO	mg/l	45,256-232,000
DBO ₅	mg/l	18,700-175,521
Sólidos totales	mg/l	32,482-111,029
Sólidos suspendidos	mg/l	19,129-88,258
Sólidos disueltos	mg/l	5,150-13,074
Grasas y aceites	mg/l	5,400-19,420

Fuente: CENIPALMA, Manejo de efluentes de plantas extractoras. p. 15.

2 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE DESECHOS LÍQUIDOS

El tratamiento de los desechos líquidos es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos, muy putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables.

Figura 2. Procesos de tratamiento de desechos líquidos



Tratamiento secundario

Procesos aerobios

- Proceso de fango activado
- Lagunas aireadas
- Digestión aerobia
- Filtros percoladores
- Filtros de desbaste
- Biodiscos
- Reactores de lecho compacto

Procesos anaerobios

- Digestión anaerobia
- Proceso anaerobio de contacto
- Proceso anaerobio de manto de flujo ascendente
- Proceso de filtro anaerobio
- Proceso de lecho expandido

Proceso de lagunas de estabilización

- Lagunas aerobias
- Lagunas anaerobias
- Lagunas facultativas

Tratamiento terciario

- Adsorción
- Osmosis inversa
- Precipitación química
- Intercambio iónico
- Tratamiento electroquímico
- Electrodialisis
- Oxidación
- Desinfección

2.1 Pretratamiento

El pretratamiento de los desechos líquidos es el proceso de eliminación de los constituyentes de los desechos líquidos cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

2.1.1 Desbaste

El desbaste consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual consiste en hacer pasar los desechos líquidos a través de rejillas de barras o de tamices. Los materiales retenidos se conocen con el nombre de residuos o basuras.

2.1.1.1 Rejas

Una reja es un dispositivo con aperturas generalmente uniformes, los elementos separadores, se fabrican con barras de acero soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal. Las barras están colocadas verticalmente o con una pendiente de 30 a 80 grados respecto a la horizontal. Las rejillas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores. Los residuos que son atrapados en las rejillas consisten en desechos tales como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, raíces de árboles, plásticos y trapos. También se puede separar materia orgánica. Las rejillas de barras se pueden limpiar manual o mecánicamente. Las plantas de tratamiento de desechos líquidos pueden no precisar la instalación de rejillas, dependiendo de las características de los residuos.

2.1.1.2 Tamices

Los tamices retienen los residuos finos que consisten en materiales retenidos en tamices con aberturas libres inferiores a 15 mm.

Los primeros tamices eran de tipo circular o de disco, equipados con una placa de bronce perforada, con aberturas en forma de ranuras con anchura de 3 mm o inferiores. Los tamices modernos son del tipo estático (fijos) o de tambor giratorio, provistos de una malla fina de acero inoxidable o de un material no ferroso.

2.1.2 Dilaceración

Como alternativa a las rejas y tamices gruesos, se pueden emplear dilaceradores. Los dilaceradores se emplean para triturar (dilacerar) los sólidos gruesos con objeto de mejorar las operaciones y procesos que se llevan a cabo a continuación, y para eliminar los problemas que producen los diferentes tamaños de los sólidos presentes en los desechos líquidos. Los sólidos se trituran para conseguir partículas de tamaño menor y mas uniforme, que se reincorporan al flujo para su eliminación en las operaciones que hay que llevar a cabo aguas abajo de los dilaceradores.

Existen diferentes tipos de dilaceradores, un tipo consiste en un tamiz vertical rotatorio en forma de tambor, el material grueso se hace pasar por un peine fino donde es triturado por los dientes cortantes y barras de cizalladura

del tambor giratorio. Las pequeñas partículas cizalladas atraviesan las ranuras de tambor y salen hacia el canal aguas abajo por una abertura en el fondo, mediante un sifón invertido.

Otros tipos de dilaceradores consisten en:

- 1.- Una rejilla fina fija, semicircular, montada en un canal rectangular. provista de discos cortantes circulares rotatorios u oscilantes;
- 2.- Una unidad que contiene dos ejes de rotación verticales de gran diámetro dotados de cuchillas;
3. Una unidad que contiene un reja fina de forma cónica con el eje paralelo al canal de flujo. Esta unidad está equipada con cuchillas.

2.1.3 Desarenadores

La eliminación de arenas se puede llevar a cabo en desarenadores o mediante la centrifugación del fango. Los desarenadores se proyectan para separar arenas propiamente dichas, grava, cenizas, y cualquier otro material pesado cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente mayor al de los sólidos putrescibles presentes en los desechos líquidos.

Los desarenadores se instalan para proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste, reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducciones, y reducción de la frecuencia de limpieza de los digestores.

Existen tres tipos generales de desarenadores: de flujo horizontal, de diseño rectangular o cuadrado; aireados y de vórtice.

2.1.3.1 Desarenadores de flujo horizontal

El agua circula a través del elemento en dirección horizontal y la velocidad de circulación se controla por la propia geometría de la unidad, con compuertas de distribución especiales y mediante la adopción de vertederos de secciones especiales a la salida del canal.

- 1.- Rectangulares: la velocidad se mantiene lo más cercana posible a 0.3 m/s, lo que proporciona suficiente tiempo para que se sedimenten en el fondo del canal las partículas de arena.
- 2.- Cuadrados: el caudal afluyente a la unidad se distribuye en la sección transversal del canal mediante una serie de deflectores, los desechos líquidos circulan a través del tanque siguiendo una trayectoria recta hasta rebosar libremente por un vertedero.

2.1.3.2 Desarenadores aireados

Los desarenadores aireados se proyectan para eliminar partículas de tamaño del tamiz numero 65 (0.2 mm) o superior, con tiempo de detección entre 2 y 5 minutos. La velocidad de la rotación transversal o de la agitación determinan el tamaño de las partículas de peso específico que serán eliminadas.

Los desechos líquidos se desplazan a través del tanque siguiendo una trayectoria helicoidal y pasa dos o tres veces por el fondo del tanque a caudal máximo, e incluso más veces con caudales menores. Los desechos líquidos se introducen en dirección transversal al tanque.

2.1.3.3 Desarenadores de vórtice

El flujo de desechos líquidos provoca la formación de un vórtice.

2.1.4 Floculación

Es la agitación con la finalidad de aumentar la posibilidad de contacto entre partículas (floculación), tras la adición de los productos químicos. La floculación se ve favorecida por una agitación moderada con paletas a poca velocidad. A veces la acción es mejorada por la instalación de aletas fijas o paletas estáticas, situadas entre las paletas móviles, que sirven para interrumpir la rotación de la masa del líquido y activar el mezclado. La floculación mediante aire o agitación mecánica se considera cuando se pretende aumentar la eliminación de sólidos suspendidos y la DBO en tanques de sedimentación primaria.

2.1.5 Tanque separadores de grasa

Un tanque separador de grasa consiste en un depósito colocado de tal manera que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie de los desechos líquidos hasta que se recoja y elimine, mientras que el líquido sale del

tanque en forma continua, a través de una abertura situada en el fondo o por debajo de unos muros o deflectores de espumas bastante profundos.

La finalidad de los separadores de grasas es la separación de los desechos líquidos de las sustancias más ligeras que tienden a flotar. El material recogido en la superficie de los tanques separadores de grasas incluye aceite, grasa, jabón, pedazos de madera, corcho y residuos vegetales.

2.2 Tratamiento primario

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica de los desechos líquidos.

2.2.1 Sedimentadores

Siempre que un líquido, que contenga sólidos, se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse, y los de menor peso específico tienden a ascender. Estos principios básicos se emplean para el proyecto de los tanques de decantación para el tratamiento de aguas residuales.

Cuando los tanques de sedimentación primaria se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, su función es la reducción de la carga afluente a las unidades de tratamiento biológico. Según Metcalf "Los tanques de sedimentación primaria bien dimensionados eliminan entre el 50 y 70 por 100 de los sólidos suspendidos y entre el 25 y el 40 por 100 de la DBO_5 ." (3)

2.2.1.1 Tanques rectangulares

Estos tanques generalmente se componen de un par de cadenas transportadoras sin fin. Sujetos a las cadenas y a intervalos de 3 m, aproximadamente, se colocan tablonces de madera, o rascadoras, de 0.15 a 0.20 m de profundidad, que se extienden por toda la anchura del tanque o tramo. Los sólidos que se sedimentan en el tanque son arrastrados a unos cuencos para el fango en el caso de tanques pequeños, y a unos canales de fondo transversal, en los tanques grandes. Estos, a su vez, están equipados con mecanismos colectores transversales, generalmente del mismo tipo que los longitudinales que transportan los sólidos a uno o más cuencos de fango. Los colectores transversales pueden eliminarse instalando en su lugar varios cuencos.

2.2.1.2 Tanques circulares

Son tanques de 3.6 a 9.0 m de diámetro y tienen el equipo de extracción de fango soportado por medio de vigas de luz igual al diámetro del tanque. Los tanques de 10 m de diámetro y mayores, utilizan un pilar central que soporta el mecanismo y al que se llega por un puente o pasillo. El agua residual es conducida hasta el centro del depósito por una tubería suspendida del puente. En el centro del tanque, el agua penetra en un pozo circular destinado a distribuir el caudal por igual en todas direcciones. El mecanismo de extracción gira lentamente y puede tener dos o cuatro brazos equipados con rascones. Los brazos tienen unas cuchillas en superficie para la recogida de la espuma.

2.2.2 Flotación

La flotación se usa principalmente en el tratamiento de aguas residuales que contienen grandes cantidades de residuos industriales con altas cargas de grasas y sólidos suspendidos finamente divididos. Se considera idóneo para tratar residuos que contienen materias espumantes, los sólidos con peso específico mayor que 1.0, que necesitarían excesivos tiempos de sedimentación. Éstos podrán separarse por flotación en mucho menos tiempo.

La flotación se utiliza para separar partículas líquidas o sólidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula y burbujas de gas es tal, que hace que la partícula suba a la superficie.

Para la flotación se utilizan los siguientes métodos:

2.2.2.1 Flotación por aire

En este sistema, las burbujas de aire se forman introduciendo la forma de gas directamente a la fase líquido por medio de un impulsor giratorio o de difusores. Los tanques de aireación no garantizan la flotación de la grasa y otros sólidos de los desechos líquidos.

2.2.2.2 Flotación por aire disuelto

En este sistema, el aire se disuelve en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas, y a continuación se procede a la liberación de la presión hasta el nivel atmosférico. El caudal se mantiene en un tanque de retención bajo presión durante varios minutos para dar tiempo a que el aire se disuelva. Se deja pasar entonces, a través de una válvula reductora de presión, al tanque de flotación donde el aire deja de estar en disolución y se desprende en forma de burbujas diminutas por todo el volumen del líquido.

2.2.2.3 Flotación por vacío

Este proceso consiste en saturar el agua residual directamente en un tanque de aireación o permitiendo que el aire entre en el conducto de aspiración de una bomba de aguas residuales. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas. Las burbujas y las partículas adheridas suben a la superficie formando una capa de espuma, que se elimina mediante un rascador superficial. La arena y otros sólidos pesados que se depositan en el fondo, se transportan mediante rascadores hacia una poceta central de fangos para su eliminación.

2.2.3 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff consiste en un depósito de dos pisos en el que se consigue la sedimentación en el compartimento superior y digestión en el inferior. Los sólidos que se sedimentan atraviesan unas ranuras existentes en el fondo del compartimento superior, pasando al compartimento inferior para su

digestión a la temperatura ambiente. La espuma se acumula en los compartimentos de sedimentación así como en los respiraderos de gas situado al lado de aquellos. El gas producido en el proceso de digestión en el compartimento inferior se escapa a través de los respiraderos.

2.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de los desechos líquidos está proyectado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables.

El proceso de tratamiento secundario se da por medio de procesos biológicos. Los procesos de tratamiento biológico aprovechan la actividad de microorganismos para degradar materia orgánica. Puede escogerse la descomposición aeróbica o la descomposición anaerobia para llevar a cabo los cambios de la materia orgánica contenida en los desechos líquidos. Los procesos biológicos tienen su origen en fenómenos y procesos que se producen en la naturaleza.

En la mayoría de los casos, con un análisis y control adecuados del sistema, es posible tratar por vía biológica la práctica total de los desechos líquidos. Los objetivos del tratamiento biológico son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso de los desechos líquidos industriales, el principal objetivo es la reducción de la concentración de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos.

La eliminación de la DBO, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la materia orgánica se consiguen, biológicamente, gracias a la acción de varios microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular. Dado que el tejido celular tiene un peso específico ligeramente superior al del agua, se puede eliminar por decantación.

Existen tres grupos principales de procesos biológicos aplicados al tratamiento de desechos líquidos: procesos aerobios; procesos anaerobios; y las lagunas de estabilización. Los procesos individuales se pueden dividir a su vez dependiendo de si el tratamiento se lleva a cabo en sistemas de cultivo en suspensión, en sistemas de cultivo fijo, o en sistemas resultantes de la combinación de ambos.

2.3.1 Procesos de tratamiento aerobios

2.3.1.1 Proceso de fangos activados

Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

En el proceso de fangos activados, un residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aerobias. El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le denomina líquido mezcla. Una vez

que el desecho líquido residual ha sido tratado en el reactor la masa biológica resultante, se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrenadante se elimina o purga.

En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de fangos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. Del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan rápido como sea posible, también lo es el que formen un flóculo adecuado, puesto que ello es un requisito previo a la separación de los sólidos biológicos en la instalación de sedimentación.

2.3.1.2 Lagunas aireadas

Las lagunas aireadas son también llamadas estanques aireados, se desarrollaron a partir de estanques de estabilización facultativos en los que se instalaron aireadores de superficie para eliminar los olores que se producían al estar sometidas a sobrecargas orgánicas.

2.3.1.3 Digestión aerobia

La digestión aerobia es un método alternativo de tratar los fangos orgánicos producidos en el curso de diversas operaciones de tratamiento. Los digestores aerobios se pueden emplear para el tratamiento de: fangos activados o de filtros percoladores; mezclas de fangos activados o de filtros

percoladores con fangos primarios, o fango biológico en exceso de plantas de tratamiento de fangos activados sin sedimentación primaria. Actualmente suelen emplearse dos variantes del proceso de digestión aerobia: el sistema convencional y el sistema de oxígeno puro.

En la digestión aerobia convencional, el fango se airea durante un largo período de tiempo en un tanque abierto, sin calefacción empleando difusores convencionales o aireadores superficiales. El proceso puede ser continuo o discontinuo.

La digestión con oxígeno de gran pureza es una modificación del proceso de digestión aerobia en el que se sustituye el aire por oxígeno de gran pureza.

2.3.1.4 Filtros percoladores

El filtro percolador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtran los desechos líquidos. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm de diámetro. La profundidad de las piedras varían con cada diseño particular, generalmente de 0.9 a 2.4 m con una profundidad media de 1.8 m. Existen filtros percoladores que utilizan unos medios filtrantes plásticos que se construyen con profundidades de 9 a 12 m. El lecho del filtro es generalmente circular y el residuo líquido se distribuye por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio. Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio.

La materia orgánica presente es degradada por una población de microorganismos adherida al medio. La materia orgánica es absorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película. Por ello, se establece un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio.

La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de: protistas-incluyendo bacterias facultativas, aerobias y anaerobias-, hongos, algas y protozoos. Las bacterias facultativas son los microorganismos predominantes en el filtro percolador y, junto con las bacterias aerobias y anaerobias, su misión es descomponer la materia orgánica de los desechos líquidos.

2.3.1.5 Filtros de desbaste

Son filtros percoladores especialmente diseñados para trabajar con cargas hidráulicas elevadas. Los filtros de desbaste se usan principalmente, para reducir la carga orgánica aplicada a los procesos posteriores y para obtener una nitrificación estacional.

Los filtros de desbaste tienen una profundidad entre 3.7 y 12 m, con medios filtrantes formados con piedras. Tienen una alta tasa de recirculación.

2.3.1.6 Sistemas biológicos rotativos de contacto (biodiscos)

Un reactor biológico rotativo de contacto consiste en una serie de discos circulares de poliestireno, o cloruro de polivinilo, situados sobre un eje, a corta distancia uno de otros. Los discos están parcialmente sumergidos en los desechos líquidos y giran lentamente en el seno de la misma.

En el funcionamiento de un sistema de este tipo, los crecimientos biológicos se adhieren a las superficies de los discos, hasta formar una película biológica sobre la superficie mojada de los mismos. La rotación de los biodiscos pone la biomasa en contacto, de forma alternativa, con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera, para la adsorción de oxígeno. La rotación del disco induce la transferencia de oxígeno y mantiene la biomasa en condiciones aerobias. La rotación también es el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos en los discos por medio de los esfuerzos cortantes que origina y sirve para mantener en suspensión a los sólidos arrastrados.

2.3.1.7 Reactores de lecho compacto

El reactor de lecho compacto, se utiliza para la eliminación de la DBO como para la nitrificación. Típicamente, un reactor de lecho compacto consiste en un tanque (reactor) en el que existe un medio en el que se adhieren los microorganismos. Los desechos líquidos se introducen en el tanque por su parte inferior mediante un sistema de distribución adecuado o mediante una cámara de alimentación. El aire u oxígeno puro necesario para el proceso se introduce conjuntamente con los desechos líquidos a tratar.

2.3.2 Procesos de tratamiento anaerobios

2.3.2.1 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de fangos. En este proceso se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Sus principales aplicaciones son la estabilización de fangos concentrados producidos en el tratamiento de los desechos líquidos. Recientemente se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos también se pueden tratar anaerobicamente.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de fangos primarios y biológicos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado. Los fangos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen en su interior durante períodos de tiempo variables. El fango estabilizado, que se extrae del proceso tiene un bajo contenido en materia orgánica y patógenos, y no es putrescible.

Los dos tipos de digestores anaerobios más usados son los de alta y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga, no se suele calentar ni mezclar el contenido del digestor, y los tiempos de detención oscilan entre 30 y 60 días. En los procesos de digestión de alta carga, el contenido del digestor se calienta y se mezcla completamente. El tiempo de detención necesario

suele ser de 15 días o menos. A la combinación de estos dos procesos se le conoce con el nombre de proceso de doble etapa. La función básica de la segunda etapa es de separar los sólidos digeridos del líquido sobrenadante, aunque puede tener lugar una digestión adicional y una cierta producción de gases.

2.3.2.2 Proceso anaerobio de contacto

Algunos residuos industriales con alto contenido en DBO se pueden estabilizar por medio del tratamiento anaerobio de forma muy efectiva. En este proceso los residuos que se requieren tratar se mezclan con los sólidos de fango recirculado y se digieren a continuación en un reactor cerrado para evitar la entrada de aire. El contenido del reactor se mezcla completamente y, tras la digestión, la mezcla se separa en un clarificador o una unidad de flotación al vacío. El sobrenadante del proceso, generalmente es sometido a un tratamiento posterior. El fango anaerobio sedimentado se recircula para servir de siembra del agua residual entrante.

2.3.2.3 Proceso anaerobio de manto de fango de manto de flujo ascendente

En este proceso el residuo que se requiere tratar se introduce por la parte inferior del reactor. El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de fango constituido por gránulos o partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y las partículas. Los gases producidos en condiciones anaerobias -principalmente metano y dióxido de carbon-, provocan una circulación interior, que colabora en la

formación y mantenimiento de los gránulos. Parte del gas generado dentro del manto de fango se adhiere a las partículas biológicas. El gas libre como las partículas a las que se le ha adherido gas, ascienden hacia la parte superior del reactor, donde se produce la liberación del gas adherido a las partículas, al entrar éstas en contacto con unos deflectores desgasificadores.

2.3.2.4 Proceso de filtro anaerobio

El filtro anaerobio es una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos que se utiliza en el tratamiento de la materia orgánica carbonosa contenida en los desechos líquidos. El agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias. Dado que las bacterias están adheridas al medio y no son arrastradas por el efluente, se pueden obtener tiempos medios de retención celular del orden de los cien días.

2.3.2.5 Proceso de lecho expandido

En el proceso de lecho expandido, los desechos líquidos a tratar se bombean a través de un lecho de material adecuado (arena, carbón) en el que se ha desarrollado un cultivo biológico. El efluente se recircula para diluir el agua entrante y mantener un caudal adecuado que asegure que el medio se ha expandido.

2.3.3 Procesos de lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son diseñadas para el tratamiento de aguas residuales, por medio de la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoos, etc.), la materia orgánica y otros procesos naturales (factores hidráulicos, físicos, químicos y meteorológicos). Su finalidad es reducir considerablemente la materia orgánica.

2.3.3.1 Objetivos de las lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización se construyen para:

a.- Protección epidemiológica.

Algunas lagunas disminuyen los organismos patógenos presentes en las aguas residuales.

b.- Protección ecológica.

Disminuyendo la carga orgánica (DQO) de las aguas residuales, lográndose de esta manera que la demanda del oxígeno disuelto (OD) en los cuerpos receptores del agua servida, sea menos, con el beneficio para los peces y demás organismos acuáticos.

c.- Reuso directo del agua servida tratada.

Esta agua puede ser utilizada en la agricultura para riego, sin el riesgo que tienen los desechos líquidos. También puede utilizarse para la piscicultura.

En ambos casos interesa tanto el reuso de agua tratada como el aprovechamiento de los nutrientes presentes en el efluente de las lagunas

Clasificación de lagunas

La clasificación de las lagunas de acuerdo al contenido de oxígeno que puedan tener es la siguiente:

2.3.3.2.1 Lagunas aerobias

Son también llamadas **fotosintéticas**. En este tipo de lagunas las bacterias aerobias descomponen los residuos, mientras que las algas por medio de la fotosíntesis, proveen el oxígeno necesario para mantener un ambiente aerobio. Son estanques de profundidad reducida (0.3 a 0.45 m), lo que permite la penetración de la luz hasta el fondo de la laguna o estanque y son diseñadas para una máxima producción de algas con cortos periodos de retención. Según Samayoa "Han sido diseñadas y utilizadas en climas cálidos y con buena radiación solar, con el propósito de producir y cosechar algas a partir de desechos agropecuarios y excretas". (4)

Una laguna de estabilización aerobia contiene bacterias y algas en suspensión, existiendo condiciones aerobias en toda su profundidad. Existen dos tipos básicos de estanque aerobios. En el primer tipo, el objetivo es maximizar la producción de algas. En el segundo tipo de lagunas, el objetivo es maximizar la cantidad de oxígeno producido. En ambos casos, el oxígeno, además del producido por las algas, penetra en el líquido por la difusión atmosférica. Para optimizar los resultados, es conveniente mezclar

periódicamente el contenido de los estanques por medio de bombas o de aireadores de superficie.

2.3.3.2.2 Lagunas anaerobias

Consisten en digestores, que no requieren oxígeno, ya que las bacterias anaerobias descomponen los complejos residuos orgánicos. Son estanques de mayor profundidad (2 a 5 m), reciben cargas orgánicas mas elevadas de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida. La ausencia de oxígeno es a todos los niveles. Una de sus grandes ventajas es la de reducir las concentraciones de compuestos tóxicos o inhibitorios presentes en las aguas residuales. (5)

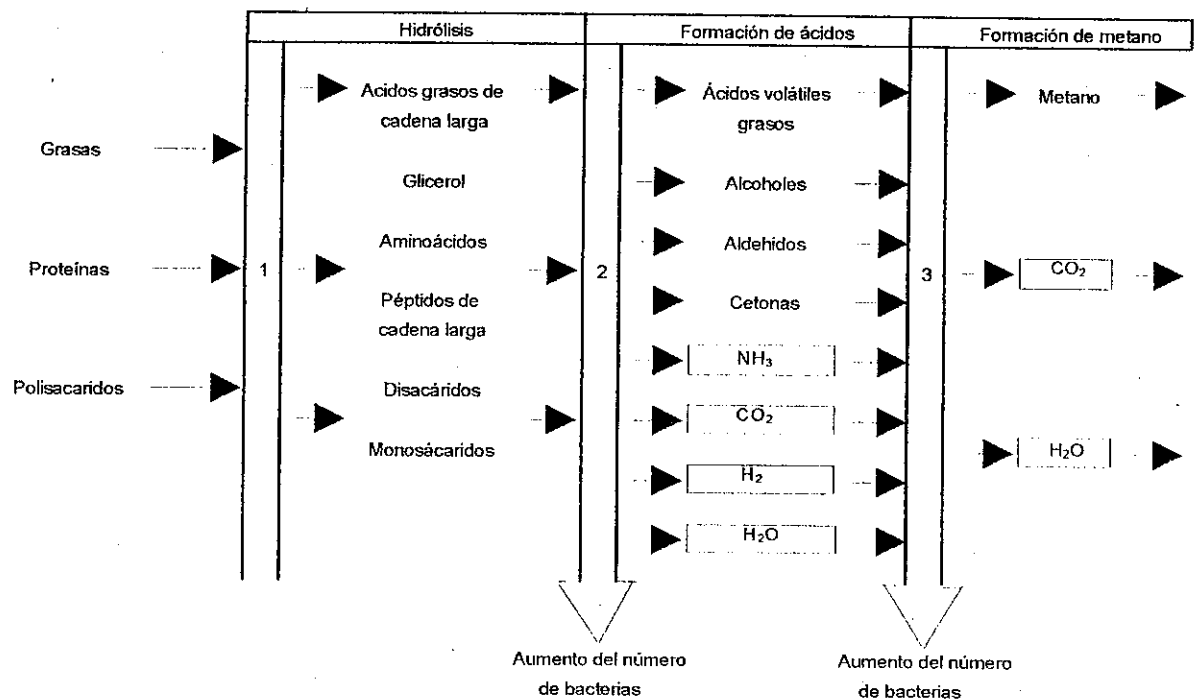
Las lagunas anaerobias se usan para el tratamiento de desechos líquidos de alto contenido orgánico que también contenga una alta concentración de sólidos. Según Metcalf "Para conservar la energía calorífica y mantener condiciones anaerobias se han construido lagunas de profundidades de hasta 9.1 m." (6)

Generalmente, estos estanques son anaerobios en toda su profundidad, excepto en una estrecha franja cercana a la superficie. La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos en CO_2 , CH_4 , otros productos gaseosos finales, ácidos orgánicos y tejido celular.

La estabilización se realiza en dos etapas: inicialmente un grupo de bacterias descomponen las moléculas orgánica a ácidos orgánicos, dióxido de

carbono, sulfuros, amoníaco y materia celular. En condiciones ambientales favorables, relativas a la alcalinidad, pH y concentración de ácidos orgánicos, un segundo grupo de bacterias utilizan los ácidos orgánicos para producir metano, dióxido de carbono y materia celular como se presenta en la figura 3.

Figura 3. Pasos principales de los procesos metabólicos involucrados en la digestión anaerobia



Bacterias hidrolíticas

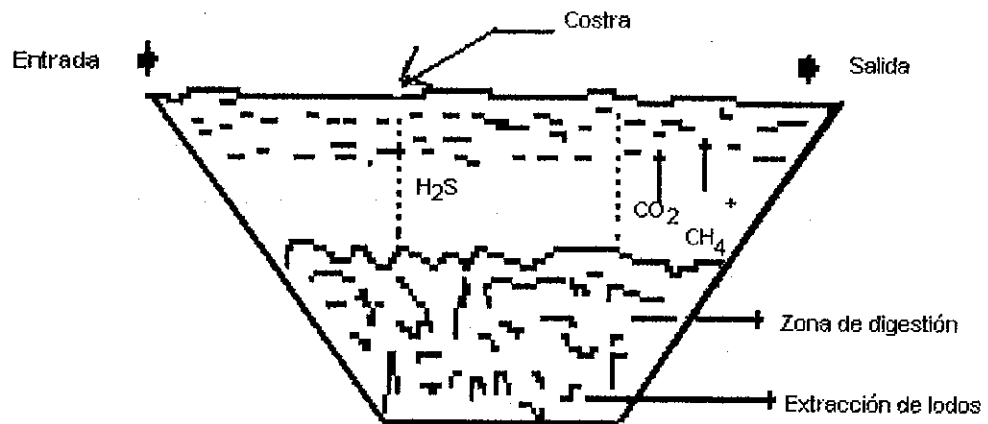
1. Bacterias formadas de ácidos
2. Bacterias formadas de metano
3. Bacterias formadas de metano

Fuente: Cuervo Fuentes, Hernán, **Control de Vertimientos Industriales**, p. 22

La licuefacción de la materia orgánica es simultánea a las etapas del proceso. En aquellos casos en los cuales la concentración de ácidos orgánicos es mayor que la alcalinidad o el pH es menor que 6.0, no es posible cumplir con la etapa metanogénica, en cambio se produce gran cantidad de ácido sulfhídrico, malos olores y deficiencia en el funcionamiento del sistema.

Según Metcalf "Normalmente es fácil conseguir, de forma continua, rendimientos de eliminación de DBO₅ superiores al 70 por ciento. En condiciones óptimas de funcionamiento, es posible conseguir eficacias de eliminación de hasta el 85 por ciento." (8)

Figura 4. Esquema de una laguna anaerobia



Fuente: Cuervo Fuentes, Hernán, Control de Vertimientos Industriales, p. 24

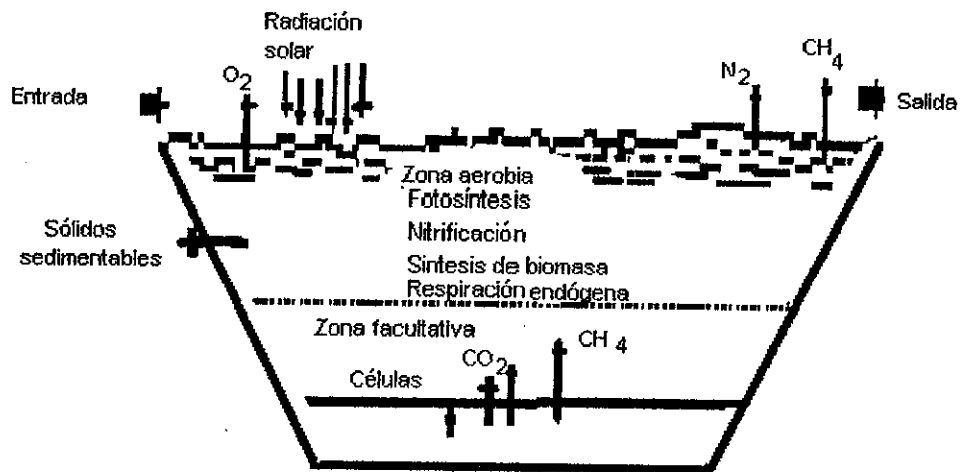
2.3.3.2.3 Lagunas facultativas

Son aquellas, en las cuales hay una zona aerobia superior (mantenida por algas) y una zona anaerobia inferior. Pueden encontrarse organismos aerobios, anaerobios y facultativos.

Su principal característica, es la simbiosis entre algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los sólidos sedimentables en el fondo. Su ubicación en un sistema de tratamiento, pueden ser como laguna primaria única o como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aereadas. (8)

En las lagunas facultativas existen tres zonas (a) una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica; (b) una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias, y (c) una zona intermedia que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos se llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango comporta la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO_2 , el H_2S y el CH_4 , que se oxidan por las bacterias aerobias o se liberan a la atmósfera.

Figura 5. Esquema de mecanismos responsables de la degradación en lagunas facultativas



Fuente: Cuervo Fuentes, Hernán, **Control de Vertimientos Industriales**, p. 25

2.4 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se utiliza para diversas posibilidades de la reutilización del agua por lo que es preciso conseguir efluentes de alta calidad.

2.4.1 Adsorción

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución. El carbón activado se utiliza para eliminar parte de la materia orgánica disuelta y de la materia particulada presente, dependiendo de la forma en que entran en contacto el carbón y el agua.

Carbón activado

Se tienen dos tipos de tratamiento con carbón activado

- a.- Tratamiento con carbón activado granular, este carbón tiene un diámetro mayor a los 0.1 mm, se suele emplear una columna como medio de contacto de los desechos líquidos con el carbón activado granular.
- b.- Tratamiento con carbón activado en polvo, este carbón tiene un diámetro menor que el tamiz 200. El tratamiento consiste en añadir el carbón en polvo al efluente de procesos de tratamientos biológicos, directamente en las unidades de tratamiento, o formando parte de los procesos fisicoquímicos.

2.4.2 Osmosis inversa

La osmosis inversa es un proceso en el que el agua se separa de las sales disueltas en solución filtrando a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sales disueltas en el agua residual.

2.4.3 Precipitación química

La precipitación química se consigue mediante la adición de coagulantes, tales como sulfato de alúmina, cal o sales de hierro, y polielectrólitos. Puede llevarse a cabo en los tanques de sedimentación primaria, fangos activados o como una operación aparte.

2.4.4 Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso en el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio por otros iones de una especie diferente que se encuentran en solución. La operación puede ser continua o discontinua; la resina se agita con el agua que se ha de tratar en un reactor hasta que se complete la reacción.

2.4.5 Tratamiento electroquímico

En este proceso se mezclan los desechos líquidos con agua de mar y se hace pasar a una célula simple que contiene electrodos de carbono. Por densidades relativas el agua de mar se acumula en la superficie del ánodo en la parte inferior de la célula, y los desechos líquidos en la superficie del cátodo cerca de la parte superior de la célula. La corriente eleva el pH en el cátodo, precipitando con ello fósforo y amoníaco, $\text{Ca}_3(\text{PO}_3)$ y MgN_4PO_4 junto con $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{H}$. El cloro desarrollado en el ánodo desinfecta el efluente, las burbujas de hidrógeno, generado en el cátodo, elevan el fango a la superficie, donde es eliminado.

2.4.6 Electrodialisis

Los componentes iónicos de una solución son separados por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones en el proceso de la electrodialisis. La aplicación de un potencia eléctrico entre los dos electrodos

causas una corriente eléctrica que atraviesa la solución, la cual origina una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo. Dado al espaciado alternado de las membranas permeables los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

2.4.7 Oxidación

Se utiliza para eliminar el amoníaco, reducir las concentraciones de materia orgánica remanentes y el contenido de virus y bacterias de los desechos líquidos. El amoníaco puede eliminarse químicamente añadiendo cloro o hipoclorito para formar monocloramina y dicloramina como productos intermedios y gas nitrógeno y ácido clorhídrico como productos finales.

2.4.8 Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso. La desinfección suele realizarse mediante:

a.- Agentes químicos: Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son: fenol y compuestos fenólicos; alcoholes; yodo; cloro y sus compuestos; bromo; ozono; metales pesados; colorantes; jabones y detergentes sintéticos; compuestos amoniacaes cuaternarios; agua oxigenada, y diversos álcalis y ácidos. Los desinfectantes más corrientes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más utilizado. El ozono es un desinfectante muy eficaz.

- b.- Agentes físicos: Los desinfectantes físicos más utilizados son la luz y el calor. El agua caliente a la temperatura de ebullición. La luz solar es un buen desinfectante, en especial la luz ultravioleta.
- c.- Medios mecánicos: Las bacterias pueden eliminarse por medios mecánicos, entre estos medios se encuentran rejillas gruesas; rejillas finas; tanques desarenadores; sedimentación simple; precipitación química; filtros percoladores; fangos activados; cloración de agua residual tratada.
- d.- Radiación: Los principales tipos de radiación son electromagnética, acústica y de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de radioisótopos, tales como el cobalto 60.

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema implementado para el tratamiento de los desechos líquidos originados en las diferentes etapas del proceso de extracción de aceite de palma africana se compone de florentinos, dos lagunas anaerobias en paralelo y tres lagunas facultativas en serie. Las figuras 6 y 7 son una representación esquemática de la combinación de las operaciones y procesos unitarios utilizadas para llevar a cabo el tratamiento de los residuos de los desechos líquidos, resultantes del proceso de extracción de aceite de palma africana.

A continuación se hace una descripción de las diferentes unidades de tratamiento.

3.1 Tratamientos preliminares

Tanque de recuperación de aceite o florentinos.

Son estructuras que por su diseño hidráulico permiten que los aceites - menos densos que el agua-, se ubiquen en la parte superior del tanque, lo que facilita su recuperación. Por medio de rebose, el aceite recuperado se lleva a un tanque de bombeo para ser retornado al proceso. En estas estructuras también se presenta sedimentación de sólidos pesados, por lo que es necesario la evacuación de los lodos periódicamente.

3.2 Tratamiento primario mediante lagunas anaerobias

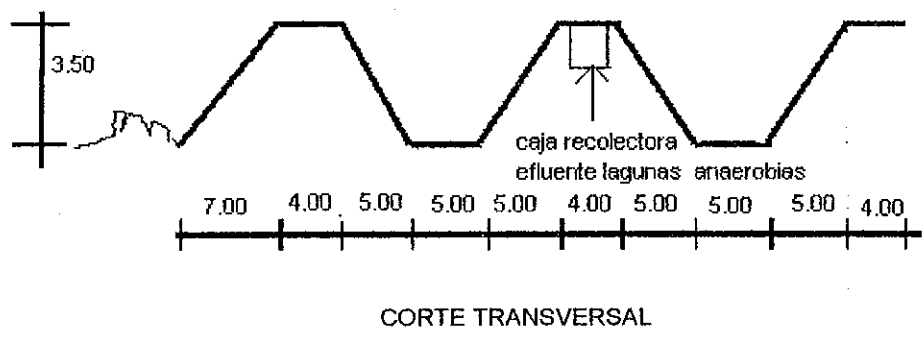
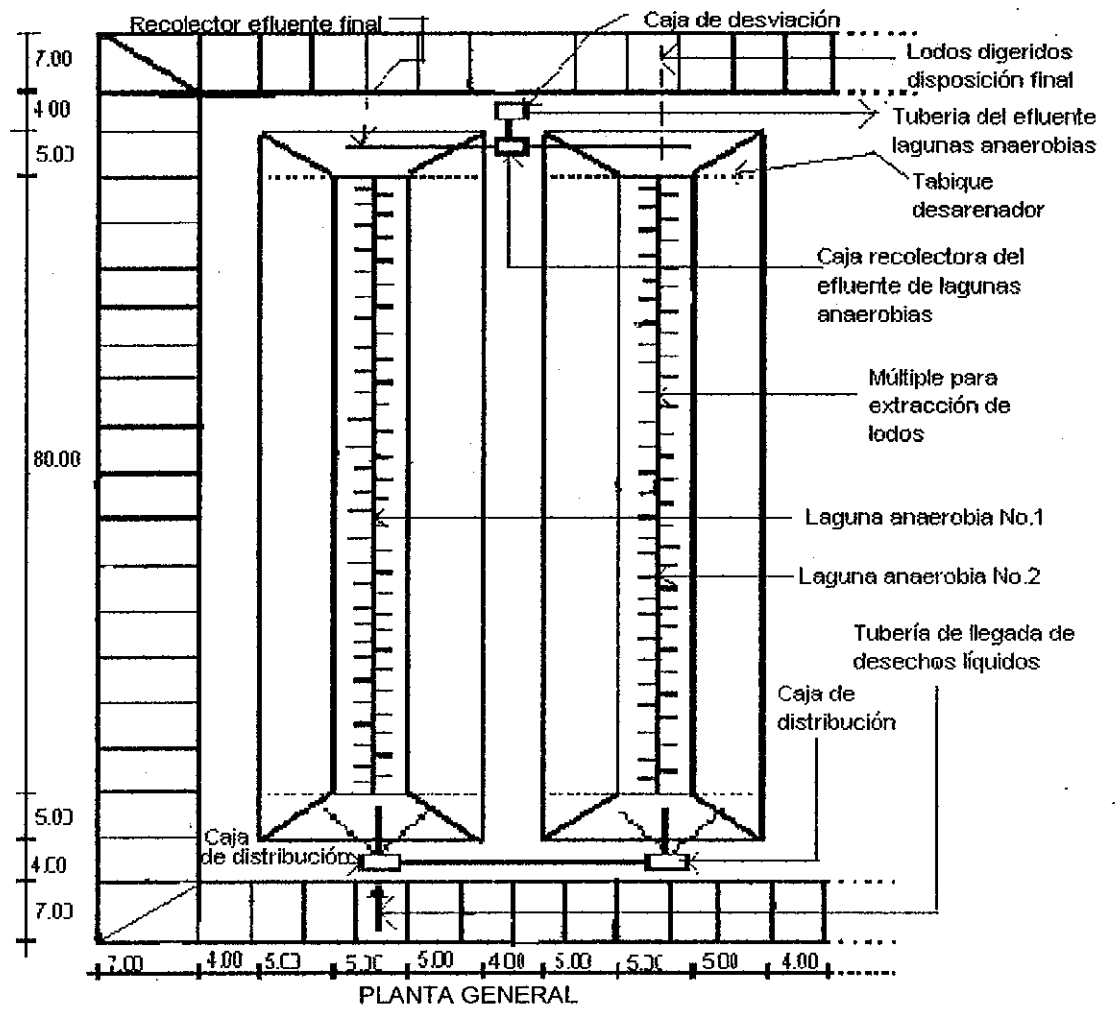
Las lagunas anaerobias son sistemas de tratamiento biológico donde la digestión del material orgánico es realizado por la acción metabólica de bacterias anaerobias.

El sistema de lagunas consta de dos lagunas anaerobias que trabajan en paralelo. Su diseño prevé el tratamiento de cargas orgánicas superficiales altas, teniendo como limitante un debido control de operación. En ella se busca sedimentar y estabilizar un alto porcentaje de sólidos suspendidos (entre 50 y 70 por ciento).

La figura 6 presenta las dimensiones de las lagunas anaerobias.

El volumen de cada laguna anaerobia es de $2,900 \text{ m}^3$, siendo $5,800 \text{ m}^3$ el volumen de las dos lagunas anaerobias.

Figura 6. Dimensiones de las lagunas anaerobias



Los principales componentes de una laguna anaerobia son

Dispositivo de entrada: Esta conformada por una caja donde llegan los desechos líquidos crudos y se distribuyen mediante tres tuberías que alimentan uniformemente la laguna en el fondo. La descarga se realiza sumergida para evitar atascamientos de flujo por lodos y natas, y para permitir un mejor contacto de los lodos anaerobios con los desechos líquidos.

Dispositivo de salida: Se realiza mediante un vertedero que consiste en una tubería perforada a lo largo de la sección transversal, protegida con un tabique deflector para evitar la salida y taponamiento con natas y sólidos ligeros. De esta forma se minimizan los cortos circuitos y los puntos muertos que perjudican el buen funcionamiento del sistema.

Evacuación de lodos: Se realiza desde el fondo de las lagunas mediante un múltiple recolector, conformado por tuberías perforadas y espaciados uniformemente en forma de espinas de pescado. La evacuación de los lodos se realiza cuando el sistema esté colmado en aproximadamente el 30 por ciento.

3.3 Tratamiento primario mediante lagunas facultativas

El efluente de las lagunas anaerobias pasa a un sistema de lagunas facultativas en serie que simulan un comportamiento de flujo pistón. La principal función de ésta es la remoción de la carga orgánica que escapo al tratamiento primario en las lagunas anaerobias. Esta carga es básicamente soluble.

La figura 7 presenta las dimensiones de la laguna facultativa.

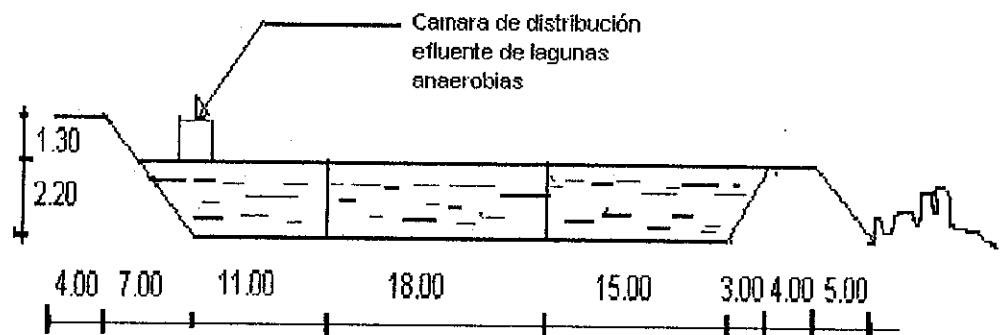
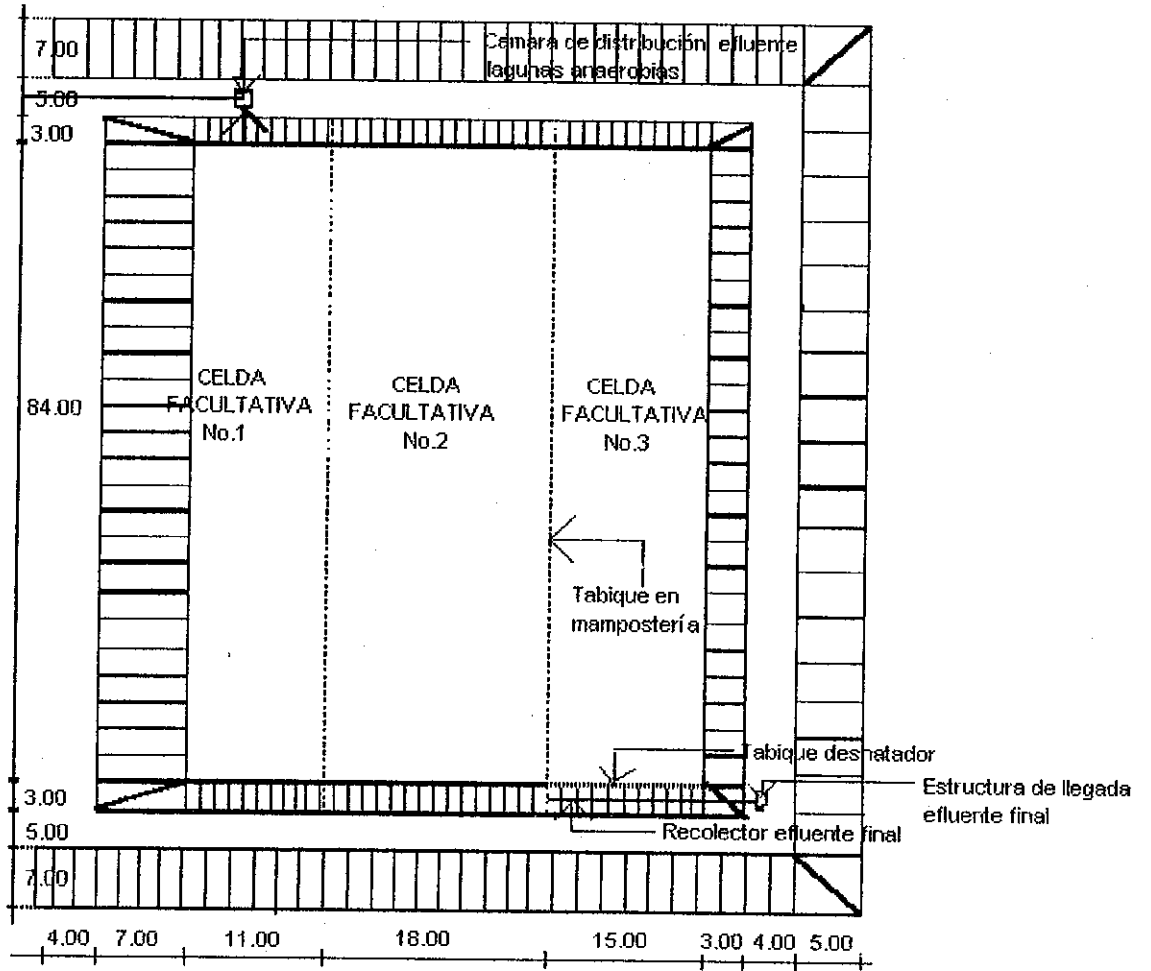
El volumen de las tres lagunas facultativas es de 9,380 m³.

Los principales componentes de una laguna facultativa son:

Dispositivo de entrada: Consiste en una caja de llegada de las aguas residuales, que a su vez sirve como cámara de distribución de caudales, mediante una tubería ramificada en forma de pata de gallina que distribuye uniformemente el flujo a través de la sección transversal de la laguna.

Dispositivo de salida: Se realiza mediante un vertedero que consiste en una tubería perforada a lo largo de la sección transversal, protegida con un tabique deflector para evitar la salida y taponamiento con natas y sólidos ligeros. De esta forma se minimizan los cortos circuitos y puntos muertos que perjudican el buen funcionamiento del sistema.

Figura 7. Dimensiones de las lagunas facultativas.



4 RESULTADOS

4.1 Parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de las lagunas de estabilización.

De las cuatro muestras realizadas, dos en verano y dos en invierno, se observa que no hay diferencia en los resultados con respecto a la época de toma de muestras.

Se analizaron tres puntos del sistema de tratamiento de desechos líquidos, entrada al sistema (entrada a las lagunas anaerobias); salida de lagunas anaerobias, y salida del sistema (salida de lagunas facultativas).

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron en el afluente y efluente del sistema de tratamiento, se presentan en el apéndice 1. Los datos de las cuatro corridas se promediaron, obteniéndose los resultados que se presentan en la tabla II.

Tabla II. Valores promedio de los muestreos en los tres puntos estudiados

Parámetro	Unidad	Valores promedio de los 4 muestreos en diferentes puntos		
		Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura	°C	72.75	40.50	32.00
pH	unidad	4.38	7.33	8.13
DQO	mg/l	55319.00	4022.50	2258.50
DBO ₅	mg/l	17644.33	1172.75	381.50
Sólidos totales	mg/l	40349.75	8171.75	5760.00
Sólidos suspendidos	mg/l	35020.00	3,810,0	1588.25
Sólidos disueltos	mg/l	4504.25	4123.75	4052.50
Sólidos sedimentados	ml/l	437.50	99.50	0.55
Grasas y aceites	mg/l	5305.50	214.75	19.60
Capacidad buffer		***	0.40	0.19

Punto 1: entrada a las lagunas anaerobias y entrada al sistema de tratamiento.

Punto 2: salida de lagunas anaerobias y entrada a lagunas facultativas.

Punto 3: salida de lagunas facultativas y salida del sistema de tratamiento.

*** A este potencial de hidrógeno no se calcula la capacidad buffer.

El comportamiento de los parámetros en los puntos 1, 2, 3 se presentan en las siguientes gráficas.

Figura 8. Temperatura versus punto de muestreo

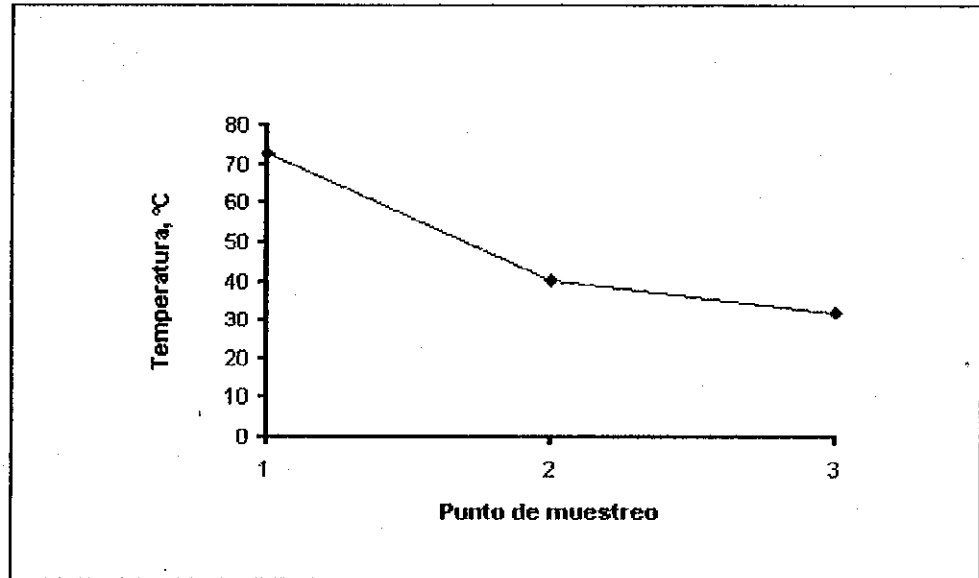


Figura 9. pH versus punto de muestreo

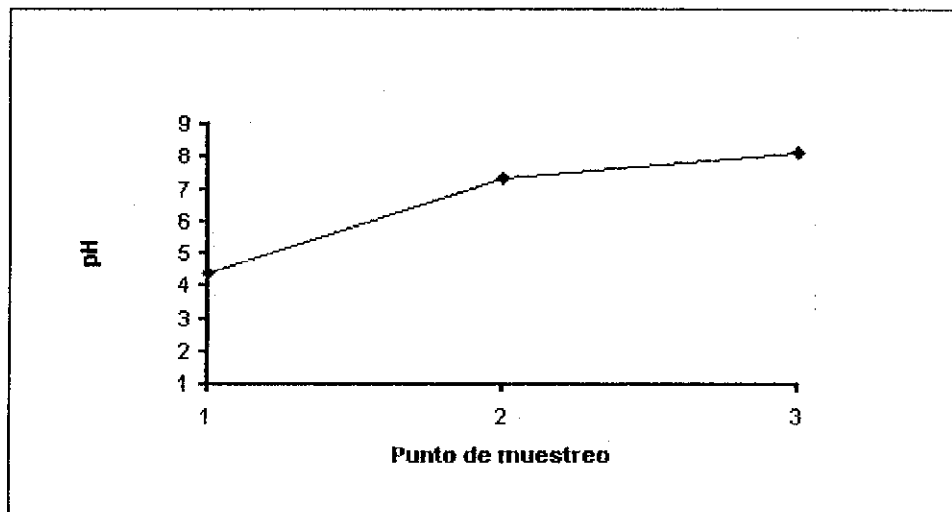


Figura 10. DQO versus punto de muestreo

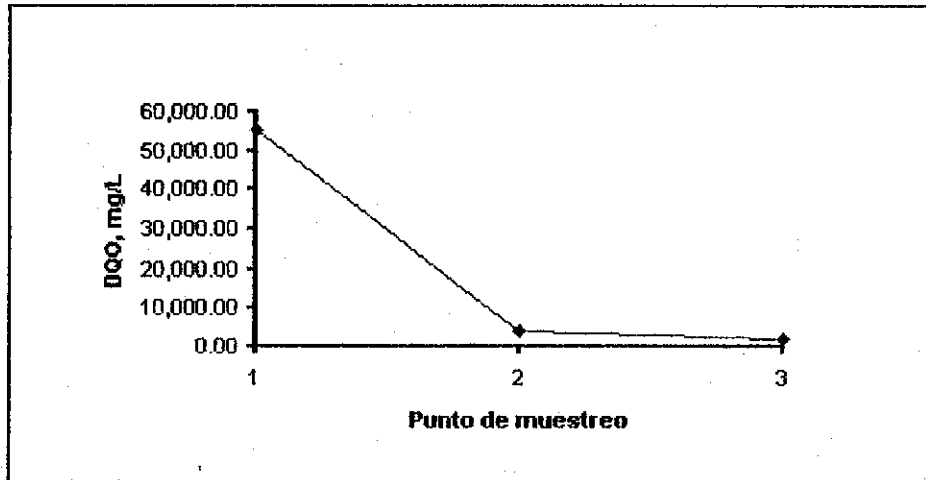


Figura 11. DBO₅ versus punto de muestreo

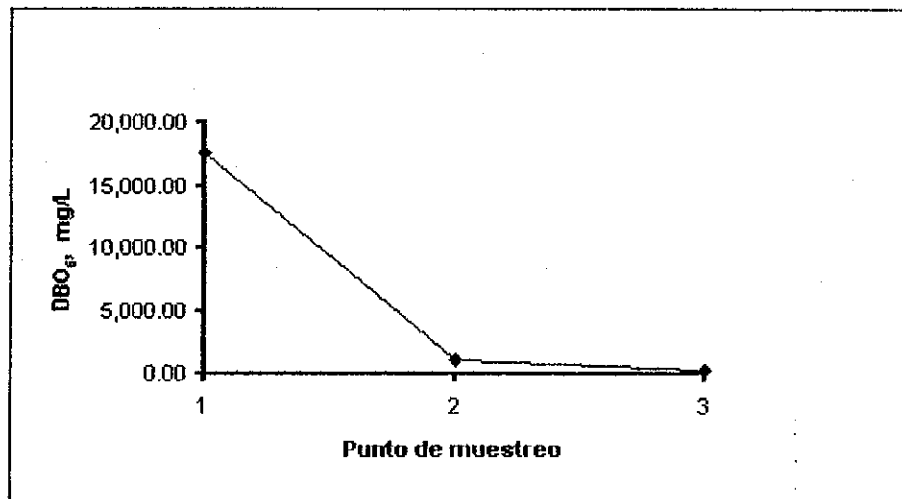


Figura 12. Sólidos totales versus punto de muestreo

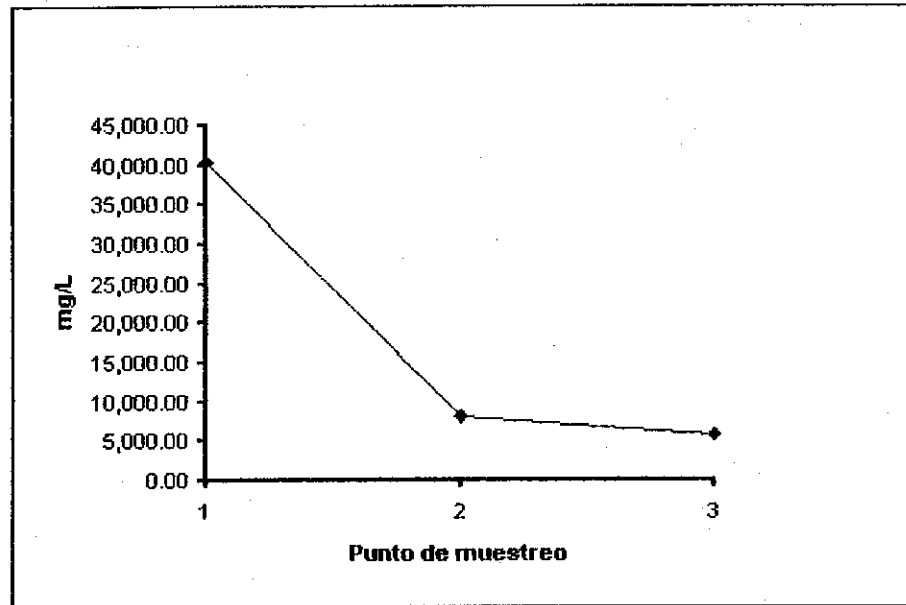


Figura 13. Sólidos suspendidos versus punto de muestreo

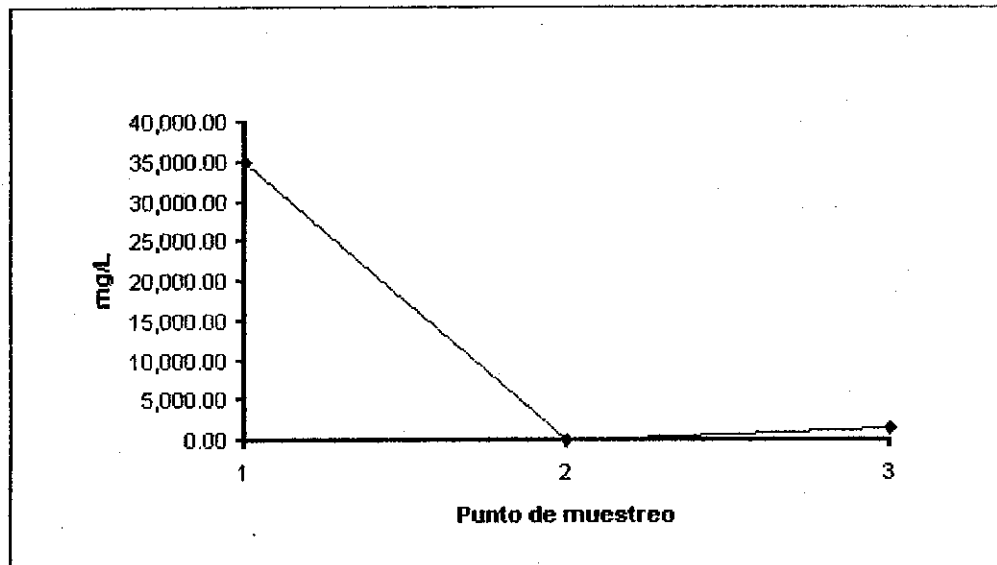


Figura 14. Sólidos disueltos versus punto de muestreo

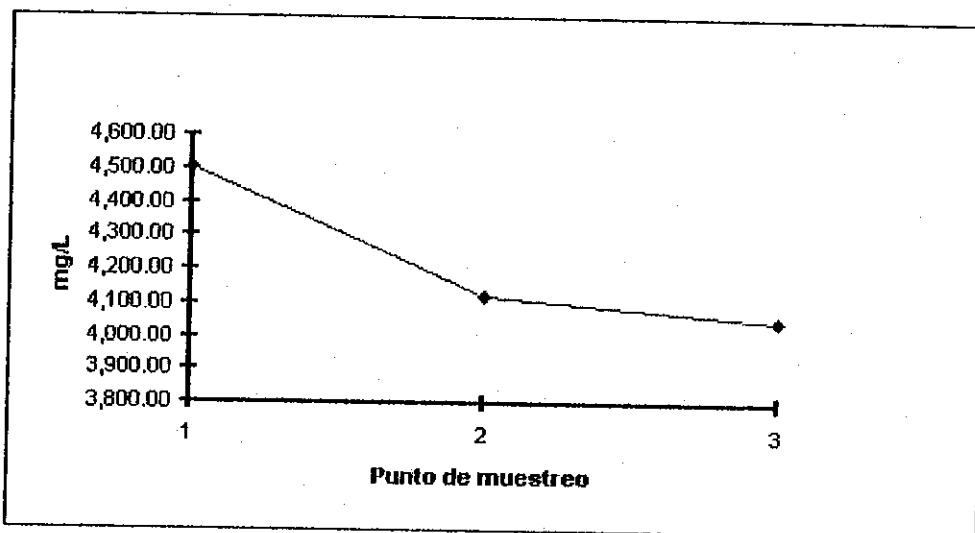


Figura 15. Sólidos sedimentados versus punto de muestreo

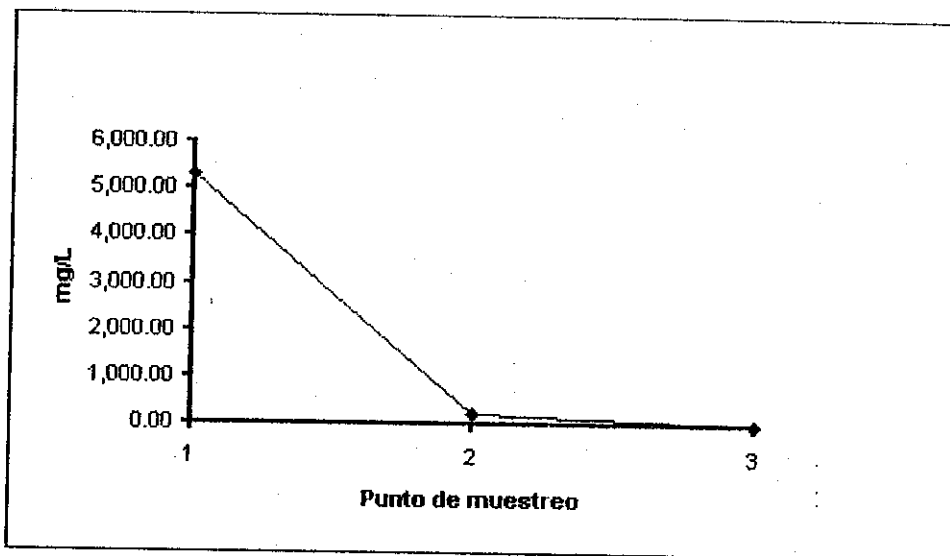
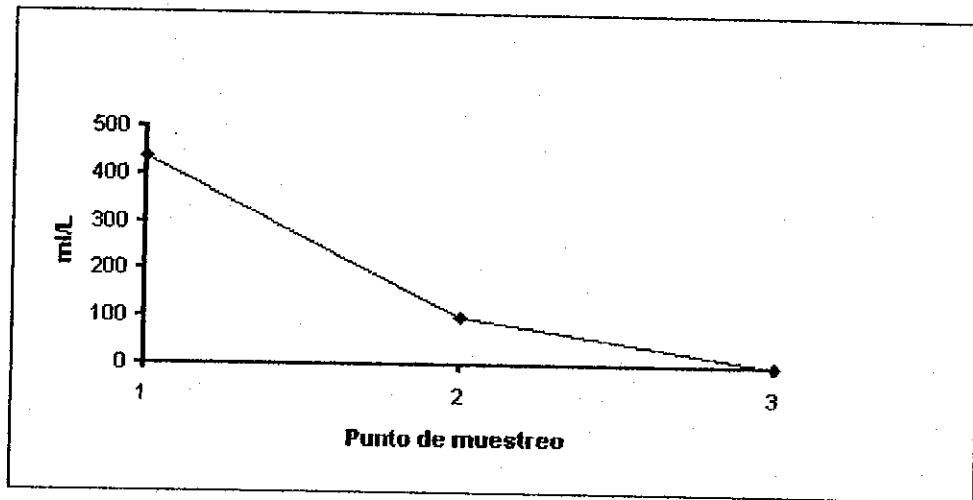


Figura 16. Grasas y aceites versus punto de muestreo



4.2 Eficiencia de remoción de los parámetros evaluados en el sistema de lagunas

Los valores de eficiencia de remoción que tiene la planta de tratamiento, de acuerdo a los puntos evaluados, se presentan en la tabla III.

Tabla III. Eficiencia de remoción

Parámetro	Porcentaje de eficiencia de remoción		
	E1-2	E2-3	E1-3
Temperatura	44.33	20.99	56.01
pH	40.24	9.84	46.13
DQO	92.72	43.85	95.92
DBO ₅	93.35	67.47	97.84
Sólidos totales	79.75	29.51	85.72
Sólidos suspendidos	89.12	58.32	95.46
Sólidos disueltos	8.45	1.73	10.03
Sólidos sedimentados	77.26	99.45	99.87
Grasas y aceites	95.95	90.87	99.63

E1-2 : eficiencia de lagunas anaerobias

E2-3 : eficiencia de lagunas facultativas

E1-3 : eficiencia del sistema de tratamiento

4.3 Caudal aplicado al sistema

El caudal aplicado al sistema es de 456 m³ desecho líquido/día

La fórmula que se utiliza para medir el caudal es la siguiente:

$$Q = C_p * HR * R$$

Donde:

Q = Caudal en m³/d

C_p = Capacidad máxima de procesamiento de la planta en TM RFF/h

HR = Horas de procesamiento en máxima producción de la extractora en m³/TM
RFF

R = Relación de agua producida por fruto procesado en m³/TRFF, (0.80)

$$Q = 23.733 \text{ TRFF/h} * 24\text{h/día} * 0.80 \text{ m}^3 \text{ d. l./TRFF} = 456 \text{ m}^3 \text{ d.l./día}$$

4.4 Tiempo de retención hidráulica

La fórmula que se utiliza para calcular el tiempo de retención hidráulica es la siguiente:

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

Donde:

TRH= Tiempo de retención hidráulica, días.

V = Volumen de la laguna, m³.

Q = Caudal aplicado

4.4.1 Lagunas anaerobias

El tiempo de retención hidráulica es de 13 días.

$$TRH = \frac{5,800\text{m}^3}{456\text{m}^3 / \text{día}} = 12.71 \text{ días}$$

4.4.2. Lagunas facultativas

El tiempo de retención hidráulica es de 21 días.

$$TRH = \frac{9,382.50m^3}{456m^3 / día} = 20.58 \text{ días}$$

5 DISCUSIÓN

5.1 Parámetros fisicoquímicos del afluente y efluente de las lagunas de estabilización

5.1.1 Parámetros fisicoquímicos del afluente de las lagunas de estabilización

De acuerdo a los resultados de los muestreos, se determina que los valores de los parámetros fisicoquímicos del tratamiento de desechos líquidos concuerdan con los valores de descarga que da CENIPALMA (9) y con los valores de Malasia referentes a las plantas extractoras de aceite de palma africana.

Estos valores no difieren de los de la literatura debido a que son desechos líquidos provenientes de descarga de un proceso industrial, que ya está definido, y sus condiciones de operación son similares, teniendo parámetros fisicoquímicos de operación parecidos.

La relación DBO_5/DQO tiene un valor de 0.32, y según la tabla del anexo 1, indica que estos desechos líquidos pueden ser tratados por un sistema de tratamiento biológico, como lo constituyen las lagunas de estabilización.

5.1.2 Parámetros fisicoquímicos del efluente de las lagunas de estabilización

Los valores encontrados en la descarga del sistema de tratamiento, se encuentran entre los límites máximos permisibles que la Comisión Nacional del Medio Ambiente-CONAMA- exige para las procesadoras de aceites y grasas (animal y vegetal). (ver anexo 2)

TABLA IV. Comparación de los valores de los parámetros de descarga del sistema evaluado y de los límites máximos permisibles actuales y propuestos.

Parámetro	Unidad	Descarga	LMP A	LMP P
Temperatura	°C	32		25-30
pH	unidad	8.13		6-9
DQO	mg/l	2258.50	4500.00	200.00
DBO ₅	mg/l	381.50		100.00
Sólidos totales	mg/l	5760.00		1000.00
Sólidos suspendidos	mg/l	1588.25		60.00
Sólidos disueltos	mg/l	4052.50		
Sólidos sedimentados	ml/l	0.55	0.50	1.00
Grasas y aceites	mg/l	19.60		50.00

Descarga: Valores de descarga del sistema evaluado

LMP A: límite máximo permisible actual.

LMP P: límite máximo permisible propuesto

En relación con los valores dados por la propuesta de CONAMA (ver anexo 3), para la etapa 1, se encuentra que los valores de descarga de temperatura del sistema se encuentra 2 grados por encima del valor dado por la propuesta, esto se debe a que la temperatura del ambiente del entorno al sistema de tratamiento es mayor a la dada por la propuesta. Dada ésta limitante no se puede llevar a una temperatura más baja como lo proponen sin tener que utilizar algún medio mecánico.

El potencial de hidrógeno se encuentra entre el rango establecido por la propuesta. Es un valor que indica que los desechos líquidos tienen características básicas.

Los valores de DQO se encuentran 11.3 veces mayor al de la propuesta. Los valores de DBO_5 se encuentran 3.82 veces mayor al de la propuesta.

Los sólidos totales se encuentran 5 veces mayor al propuesto por CONAMA; los sólidos suspendidos se encuentran muy elevados en relación a los propuestos; los sólidos sedimentables se encuentran en el rango propuesto.

El valor de las grasas y aceites se encuentra entre el rango establecido por la propuesta.

Los valores fisicoquímicos determinados para el efluente del sistema de tratamiento de desechos líquidos, que cumplen con la propuesta de CONAMA son: temperatura, potencial de hidrógeno, sólidos sedimentados y grasas y aceites; los parámetros que no cumplen con los valores de la propuesta son: DQO, DBO_5 , sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

Comparando los valores fisicoquímicos determinados en este estudio, con los valores de descarga de desechos líquidos de plantas extractoras de aceites permitidos en Colombia y Malasia (ver anexos 4 y 5 respectivamente), el sistema de tratamiento evaluado se encuentra cumpliendo con lo reglamentado en esos países, ya que los valores de descarga están por debajo de lo establecido en esos reglamentos.

Las gráficas presentan un comportamiento decreciente de los parámetros fisicoquímicos en relación al punto de muestreo, indicando la pérdida de materia orgánica contaminante presente en los desechos líquidos. Se observa que para los parámetros evaluados, a excepción de los sólidos suspendidos, las lagunas anaerobias presentan una mayor asimilación de la materia orgánica, que las lagunas facultativas. La relación existente entre el potencial de hidrógeno y el punto de muestreo se presenta en la figura 9 y tiene un comportamiento ascendente: el desecho líquido entra con un pH ácido, por acción de microorganismos anaerobios, luego pasa a un pH neutro y finalmente el pH se torna ligeramente básico.

5.2 Eficiencia de remoción de los parámetros evaluados en el sistema de lagunas

La eficiencia total del sistema se encuentra por encima del 85 por ciento, a excepción de los sólidos disueltos que presentan un 10 por ciento de remoción, de la temperatura y del potencial de hidrógeno.

No interesa que la temperatura de un alto porcentaje de eficiencia de remoción; lo que se busca es que los desechos líquidos que se van a descargar tengan una temperatura similar a la del medio ambiente del sistema. El potencial de hidrogeno se debe llevar a un medio neutro o ligeramente básico, no importando así el porcentaje de eficiencia. Se trata de dar las condiciones necesarias para la protección del ecosistema.

Según CENIPALMA (10) "Las lagunas anaerobias remueven entre un 80 y 90% de DQO, DBO₅ y sólidos totales", el sistema de tratamiento evaluado esta trabajando bien, presentando eficiencias de 95.82, 97.84 y 85.72 por ciento respectivamente. Analizando el DBO₅, se tiene que el sistema esta trabajando en óptimas condiciones según lo escrito por Metcalf (11) "En condiciones óptimas de funcionamiento, es posible conseguir eficacias de eliminación de DBO₅ hasta el 85 por 100".

Se evaluó un porcentaje de remoción del 95.46 por ciento para lo que son sólidos suspendidos y de 98.87 por ciento, para los sedimentados, lo que concuerdan con lo dicho por Cuervo (12) "En ella se sedimentan y estabilizan un alto porcentaje de sólidos suspendidos (entre 50 y 70%)".

Se tiene un alta eficacia de remoción de grasa y aceites de 99.63 por ciento, lo que indica que el desecho líquido es descargado prácticamente libre de grasa.

El sistema de tratamiento esta cumpliendo con su propósito: está trabajando eficazmente eliminando la materia orgánica, disminuyendo la temperatura, regulando el potencial de hidrógeno y removiendo las grasas y aceites, y obteniendo un desecho líquido no contaminante y degradador.

Solamente los sólidos disueltos presentan un bajo porcentaje de remoción del 10.03 por ciento. Esto es debido a que los sólidos forman solución con los desechos líquidos, y el sistema de lagunas no es el adecuado para la remoción de este tipo de sólidos por lo que se deben de remover por métodos químicos.

5.3 Caudal aplicado al sistema

El caudal aplicado a las lagunas de estabilización, se determinó para la época de mayor producción, obteniendo de esta manera el caudal máximo a vertir en el sistema de tratamiento.

5.4 Tiempo de retención hidráulica

Se determino un tiempo de retención de 13 días para las lagunas anaerobias (2 en paralelo) y 21 días para las lagunas facultativas (3 en serie). Este tiempo concuerda con el de la literatura, la cual indica períodos de retención de magnitud considerable, de uno a cuarenta días (13).

De acuerdo con Martínez (14) "Las bacterias anaerobias tienen una tasa de crecimiento lento, el tiempo mínimo de retención celular es de 3 a 6 días", por lo que un tiempo de retención hidráulica de 13 días para una laguna anaerobia es aceptable.

CONCLUSIONES

1. Los parámetros de descarga del sistema de tratamiento evaluado, están entre los límites máximos permisibles que norma CONAMA.
2. Los porcentajes de remoción en: sólidos totales (85.72%), sólidos suspendidos (95.46%), sólidos sedimentados (99.87%), DQO (95.92%), DBO₅ (97.84%), grasas y aceites (99.63%), son aceptables.
3. La temperatura del efluente del sistema de tratamiento de desechos líquidos está determinada por las condiciones ambientales del lugar donde esta situada la planta extractora de aceite. La temperatura promedio registrada fue de 35⁰C.
4. El potencial de hidrógeno del efluente del sistema de tratamiento de desechos líquidos tiene un valor ligeramente básico.
5. El 10.03 por ciento de remoción de sólidos disueltos indica que el sistema de lagunas de estabilización no es el adecuado para el tratamiento de sólidos disueltos en desechos líquidos de plantas extractoras de aceite de palma africana.
6. Los periodos de retención para la laguna anaerobia (13 días) y para la laguna facultativa (21) dias, son aceptables.

7. El 100 por ciento de los desechos líquidos vertidos por la planta extractora ($456 \text{ m}^3/\text{dia}$) son tratados por el sistema de lagunas

RECOMENDACIONES

1. Hacer un manejo adecuado de los lodos digeridos desde su evacuación periódica, hasta el tratamiento de los mismos, lo cual prolonga su vida útil, así como minimizar los costos de operación y mantenimiento, evitando de esta manera que se reduzca el tiempo de residencia hidráulica.
2. Efectuar trabajos de limpieza periódica alrededor de las lagunas, para evitar que las plantas que se encuentran en el contorno se introduzcan dentro de las mismas, reduciendo el área superficial que es donde se liberan los gases generados por las lagunas
3. Colocar rejas, como un sistema de pretratamiento, antes de que los desechos líquidos entren a las lagunas, evitando que pasen materiales no deseados.
4. Evaluar la adición de un coagulante para ayudar a reducir los sólidos suspendidos que el sistema de tratamiento estudiado no logra remover significativamente. Además se deberá considerar que el producto a aplicar no cause algún daño a los microorganismos que existen en las lagunas. (ej. pH, etc.)

5. Considerar la neutralización del afluente que va a las lagunas, para determinar si con ello se logran mayores rendimientos en los parámetros fisicoquímicos, que los obtenidos en este estudio. Así mismo, se debe de evaluar si el costo de este procedimiento, es justificable.
6. Optimizar el consumo de agua en el proceso de extracción de aceite, minimizando la relación tonelada de fruto procesado versus agua del proceso; evitando los desperdicios y los excesos en limpieza de pisos y equipo.
7. Aplicar el principio de sustentabilidad (5R) en el proceso para reducir la contaminación por desechos líquidos.
8. Solicitar a CONAMA que revise los niveles propuestos en las tres etapas para que los LMP, para esta industria en particular, ya que el porcentaje que se necesitaría de eficiencia es de 99.96 por ciento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CENIPALMA. **Manejo de efluentes de plantas extractoras.** (Colombia: Editorial Kimpres, 1997), p. 11.
2. *Ibid.*, p. 27.
3. Metcalf & Eddy. **Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización.** (México: McGraw Hill, 1996), p. 470.
4. Samayoa de Rosal, Elvia Miriam. Evaluación de la calidad del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, por medio de lagunas de estabilización. (Guatemala: Tesis de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos hidráulicos a nivel de Post-grado, 1995), p. 13.
5. *Ibid.*, p. 13.
6. Metcalf & Eddy. *Ob. cit.* p. 473.
7. *Ibid.*, p. 651.

8. Samayoa de Rosal, Elvia Miriam. Ob. cit. p. 14.
9. CENIPALMA. Ob. cit. p. 15.
10. CENIPALMA. Ob. cit. p. 20.
11. Metcalf & Eddy. Ob. cit. p. 651.
12. Cuervo Fuentes, Hernán. **Control de Vertimientos Industriales.** (Colombia 1998), p. 22.
13. Martínez Sum, Jorge Antonio. Lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales. (Guatemala: Tesis Escuela de Ingeniería Civil, 1997), p. 21.
14. Martínez Sum, Jorge Antonio. Ibid., p. 34.
15. Díaz y Santos, S.A. **Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.** (España: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992*), 17 edición, pp. 5-10-5-18, 5-49, 2-78-2-87.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARRANZA López, Gunther Stanley. Selección apropiada de tecnología de tratamiento para aguas residuales domesticas. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1997.
2. FAIR, Geyer y Okun. **Ingeniería sanitaria y de aguas residuales.** Primera edición volúmenes 3 y 4; México; Grupo NORIEGA EDITORES, 1993.
3. GARCIA Nuñez, Jesús Alberto y Jorge Garrido. **Palmas**, (Colombia, 15, No2):41-48. 1994.
4. GARCIA Nuñez, Jesús Alberto y otros. **Palmas**, (Colombia, 16):163-168. 1995.
5. IDRIS, Azni y Au Kay Siat. **Palmas**, (Colombia), (16): 171-175
6. SURRE, Chistian y Robert Ziller. **La palmera de aceite.** España : Editorial Blume. S.A.
7. Tjeng, T.D. y otros. **Producción de aceite y almendras de palma africana.** Amsterdam, 1986.

8. **YANEZ Cossio, Fabian. Lagunas de estabilización, teoría, diseño, evaluación y mantenimiento. Imprenta Monsvalle. Cuenca Ecuador, 1993.**

ANEXOS

1. RELACIÓN DBO/DQO

En muchos tipos de desechos líquidos industriales se correlacionan el DBO Y DQO. Estos parámetros se utilizan para el funcionamiento y control de los procesos de tratamiento de desechos líquidos. La correlación de estos valores depende de la naturaleza de las aguas residuales.

La relación DBO/DQO indica cual es el tipo de tratamiento a aplicarle a los desechos líquidos, en la tabla V se presentan los valores de la relación, los cuales presentan un índice de tratabilidad.

Tabla V. Relación $(\text{DBO})_5/\text{DQO}$

Relación $(\text{DBO})_5/\text{DQO}$	Tratamiento
mayor a 0.6	Tratable biológicamente
0.2 - 0.6	Tratable biológicamente o químicamente
menor a 0.2	Tratable químicamente

Fuente: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, **Evaluación del sistema de tratamiento de aguas, colonia Villa Hermosa.** p. 45

2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINACIÓN PARA LA DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

TABLA V. Límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas de la industria de alimentos.

Industria	Muestras	Sólidos sedimentables ml/l	DQO mg/l
Procesadoras de aceites y grasas	Muestra tomada al azar; máximo	0.5	
	Muestra promedio de 2 horas, máximo		500
	Muestra promedio de 24 horas, máximo		4,500.00

Fuente : CONAMA, Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas

3. PROPUESTA DE CONAMA, LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS EN PROCESADORAS DE ACEITES Y GRASAS

TABLA VII. Propuesta de CONAMA límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas en procesadoras de aceites y grasas (animal y vegetal)

Parámetro	LMP		
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Sólidos sedimentables	1.00 ml/l	0.50 ml/l	0.30 ml/l
Sólidos en suspensión	60.00 mg/l	30.00 mg/l	0.20 mg/l
Sólidos totales	1.00%	1.00%	<1.00%
DBO ₅	100.00 mg/l	80.00 mg/l	20.00 mg/l
DQO	200.00 mg/l	120.00 mg/l	80.00 mg/l
Aceites y grasas	50.00 mg/l	20.00mg/l	10.00 mg/l
Temperatura	25 - 30 °C	25 -30 °C	25 - 30 °C
pH	6-9	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5

Observaciones:

LMP = Límite máximo permisible.

ETAPA 1 = Representan la etapa del proceso a 3 años.

ETAPA 2 = Representan la etapa del proceso a 6 años.

ETAPA 3 = Representan la etapa del proceso a 9 años.

Fuente : CONAMA, Propuesta de modificación. Reglamentos de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para las aguas servidas, p. 10

4. REGLAMENTACIONES EXIGIDAS EN COLOMBIA Y MALASIA, PARA LA DESCARGA DE EFLUENTE DE PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA

4.1 COLOMBIA

Tabla VIII. Reglamentación exigida en Colombia

Parámetros	Unidad	Fase I	Fase II	Fase III
DBO ₅	mg/l	<10,000	<3,000	<1,000
DQO	mg/l	<15,000	<6,000	<2,000
Aceites y grasas	mg/l	<1,000	<300	<75
Material flotante		Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/l	<2,500	<1,000	<600
Sólidos sedimentables	mg/l	<2,500	<1,000	<600
pH	unidad	5-9	5-8	5-8
Temperatura	°C	<45	<45	<45

Fuente: CENIPALMA, **Manejo de efluentes de plantas extractoras**, p. 53

4.2 MALASIA

Tabla IX. Estándar de regulaciones para efluentes de plantas extractoras en Malasia

Parámetro	Unidad	Estándar
DBO ₅	mg/l	500
DQO	mg/l	1,000.00
Aceites y grasas	mg/l	50
Sólidos totales	mg/l	1,500.00
Sólidos suspendidos	mg/l	400
pH	Unidad	5-9
Temperatura	°C	45

Fuente: CENIPALMA, Manejo de efluentes de plantas extractoras, p. 54

6. METODOLOGIA

Para efectuar los análisis de los parámetros fisicoquímicos evaluados se utilizaron los *Standar Methods*.(15), que son métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.

APÉNDICE

1. DATOS ORIGINALES

Tabla X. Resultados de los análisis, efectuados el 15 de abril de 1999

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura	°C	72	39	33
pH	unidad	4	7	8
DQO	mg/l	51,300.00	3,280.00	2,337.00
Grasas y aceites	mg/l	5,455.00	300	0.17
Capacidad buffer		**	0.52	0.25

Tabla XI. Resultados de los análisis, efectuados el 29 de abril de 1999

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura	°C	70	40	32
pH	unidad	4.5	7.3	8
DQO	mg/l	56,777.00	5,010.00	2,633.00
Grasas y aceites	mg/l	4,682.00	2.5	0.19
Capacidad buffer		**	0.48	0.11

Tabla XII. Resultados de los análisis, efectuados el 9 de junio de 1999

Párametro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura	°C	74	42	32
pH	unidad	4.5	7.5	8
DQO	mg/l	55,000.00	4,500.00	1,975.00
Grasas y aceites	mg/l	4,760.00	150	0.15
Capacidad buffer		**	0.39	0.2

Tabla XIII. Resultados de los análisis, efectuados el 22 de julio de 1999

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Temperatura	°C	75	41	31
pH	unidad	4.5	7.5	8.5
DQO	mg/l	48,200.00	3,300.00	2,089.00
Grasas y aceites	mg/l	6,125.00	159	0.24
Capacidad buffer		**	0.21	0.19

Punto 1: entrada a las lagunas anaerobias y entrada al sistema de tratamiento.

Punto 2: salida de lagunas anaerobias y entrada a las lagunas facultativas.

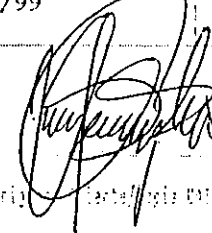
Punto 3: salida de lagunas facultativas y salida del sistema de tratamiento.



FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA

Edificio "T-12"

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-13, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 4769344 y 4760790 al 94 ext. 274		INFORME DE ANALISIS DE LABORATORIO	
Nombre común o comercial de la muestra Aguas de desechos agroindustriales		#Código/Marca del remitente ****	
No. registro: 9904083-85		Empresa/Institución: **** Remitente/Solicitante: Gilda Elizabeth Gómez Cóyoy	
Fecha recepción 15/04/99	Muestras recibidas por HS	Tipo de recipiente Plástico	Peso neto ***
Determinaciones solicitadas Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5			
RESULTADOS DE ANALISIS			
Muestra		Valor DBO5 (mg O2/L)	
Punto 1		***	
Punto 2		864	
Punto 3		320	
*** Debido a que no se tenía una estimación previa del nivel de contaminación de la muestra, las diluciones de la muestra del Punto 1 ensayadas no fueron suficientes para obtener un resultado, pero el valor que se obtendría con una dilución adecuada, probablemente se encuentra alrededor de [≥ 1000 mg O2/L].			
Costo por determinación		Q. 80.00 x 2	
Fecha terminado 21/04/99	Analista HS	Ref Registro Analítico UAI-2/024	Costo total facturado Q. 160.00
Firma 		Recibido	

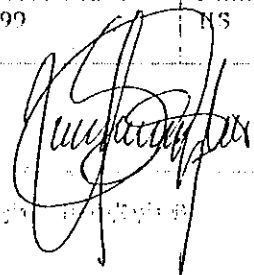





FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA

Edificio "T-12"

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-13, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 4769844 y 4760790 al 94 ext. 274		INFORME DE ANALISIS DE LABORATORIO	
Nombre común o comercial de la muestra Aguas de desechos agroindustriales		#Código/Marca del remitente ****	
No. registro: 9904093-95		Empresa/Institución: **** Remitente/Solicitante: Gilda Elizabeth Gómez Coyoy	
Fecha recepción 29/04/99	Muestras recibidas por HS	Tipo de recipiente Plástico	Peso neto ***
Determinaciones solicitadas Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5			
RESULTADOS DE ANALISIS			
Muestra		Valor DBO5 (mg O2/L)	
Punto 1		15,500 aprox.	
Punto 2		2,490	
Punto 3		658	
Costo por determinación		Q. 80.00 x 3	
Fecha terminado 05/05/99	Analista NS	Fef Registro Analítico UAI-2/025	Costo total facturado Q. 240.00
Firma 		Recibido 	



FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA

Edificio "T-12"

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-13, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 4769844 y 4760790 al 94 ext. 274		INFORME DE ANALISIS DE LABORATORIO	
Nombre común o comercial de la muestra Aguas de desechos agroindustriales		#Código/Marca del remitente ****	
No. registro: 9906126-128		Empresa/Institución: **** Remitente/Solicitante: Gilda Elizabeth Gómez Coyoy	
Fecha recepción 09/06/99	Muestras recibidas por IIS	Tipo de recipiente Plástico	Peso neto ***
Determinaciones solicitadas Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5			
RESULTADOS DE ANALISIS			
Muestra		Valor DBO5 (mg O2/L)	
Punto 1		13,151	
Punto 2		798	
Punto 3		267	
Costo por determinación		Q. 80.00 x 3	
Fecha terminado 06/06/99	Analista HSYMS	Ref Registro Analítico UAI-2/031	Costo total facturado Q. 240.00
Firma		Recibido	

Original de [illegible]

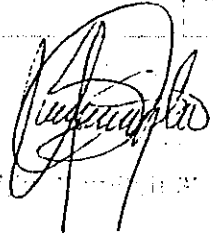




FACULTAD DE CC. QQ. Y FARMACIA

Edificio "T-12"

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-12, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 4769844 y 4760790 al 94 ext. 271		INFORME DE ANALISIS DE LABORATORIO	
Nombre común o comercial de la muestra Aguas de desechos agroindustriales		#Código/Marca del remitente ****	
No. registro: 9907151-153		Empresa/Institución: **** Remitente/Solicitante: Gilda Elizabeth Gómez Coyoy	
Fecha recepción 22/07/99	Muestras recibidas por FP	Tipo de recipiente Plástico	Peso neto ***
Determinaciones solicitadas Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5			
RESULTADOS DE ANALISIS			
Muestra		Valor DBO5 (mg O2/l)	
Punto 1		24,232	
Punto 2		539	
Punto 3		231	
Costo por determinación		Q. 80.00 x 3	
Fecha terminado 29/07/99	Analista HS	Ref Registro Analítico UAI-2/038	Costo total facturado Q. 240.00
Firma 		Recibido	





O. de T. No. 11955

INFORME No. 1784

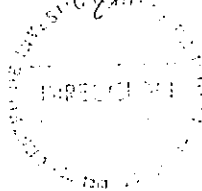
INTERESADO: Gilda Elizabeth Gómez
 LUGAR: EXPASA
 FUENTE: Entrada a Laguna Anaerobia
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION: 15-04-99; 11:50
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB. 15-04-99; 15:10
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO: Tiquisate - Escuintla.

RESULTADOS

Sólidos Totales: ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, 23,309.0 mg/L.
 " Suspendidos: 20,465.0 mg/L.
 " Disueltos: 2,679.0 mg/L.
 " Sedimentales: 900.0 cm³/L. en una hora.

Guatemala, 26 de abril de 1,999.

Vo. Bo. Ing. *Francisco Javier Quiñones*
 Director del CIL



Benjamín Much Santos
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O. de T. No. 11955

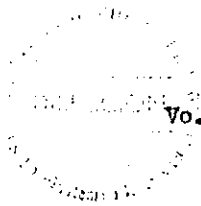
INFORME No. 1785

INTERESADO: Gilda Elizabeth Gómez
 LUGAR: EXPASA
 FUENTE: Salida Laguna Anaerobia
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION: 15-04-99; 11:30
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB. 15-04-99; 15:10
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO: Tiquisate - Escuintla.

RESULTADOS

Sólidos Totales: 7,935.0 mg/L.
 " Suspendidos: 4,987.0 mg/L.
 " Disueltos: 2,948.0 mg/L.
 " Sedimentables: 225.0 cm³/L. en una hora.

Guatemala, 26 de abril de 1,999.



Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quirón
 Director del CII.



ZENON MUCH SANTOS
 Ing. Químico Col. Mex. 4211
 M. Sc. Ing. Sanitario

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
 E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O. de T. No. 11955

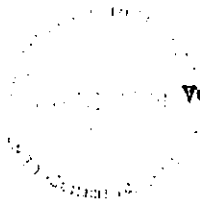
INFORME No. 1786

INTERESADO: Gilda Elizabeth Gómez
 LUGAR: EXPASA
 FUENTE: Salida de Laguna Facultativa
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION: 15-04-99, 11:00 hrs.
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB. 1..... 15-04-99; 15:10
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO: Tiquisate - Escuintla.

R E S U L T A D O S

Sólidos Totales: 5,430.0 mg/L.
 " Suspendidos: 1,997.0 mg/L.
 " Disueltos: 3,333.0 mg/L.
 " Sedimentales: 0.2 cm³/L. en una hora.

Guatemala, 26 de abril de 1,999.



Vo. Bo. Ing. *Francisco Javier Quiñones*
 Director del CII.



Xenon Much Santos
 XENON MUCH SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
 E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.



O. de T. No. 11955
 Informe: 1788

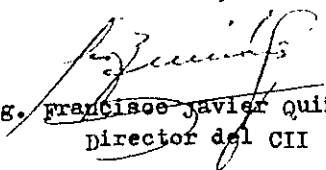
DETERMINACION DE SOLIDOS

INTERESADO;	GILDA ELIZABETH GOMEZ
DEPENDENCIA;	FACULTA DE INGENIERIA - USAC
LUGAR;	EXPASA
FUENTE;	DESECADO DE LA PLANTA
FECHA Y HORA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA;.....	29-04-99; 7:00 hrs.
MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO;	TIQUISATE - ESCUINTLA
FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO;	29-04-99; 13:25 hrs.


R E S U L T A D O S

sólidos totales ;	43,701.0 mg/L.
sólidos suspendidos;	39,680.0 mg/L.
sólidos disueltos;	3,905.0 mg/L.
sólidos sedimentables;	950.0 cm ³ /L. en una hora

guatemala, 13 de mayo de 1,999

VO. BO. 
 Ing. Francisco Javier Quiñones
 Director del CII




 ZENON MUCIENTES
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria





O. de T. No. 11955
 Informe No.: 1789

DETERMINACION DE SOLIDOS

INTERESADO: GILDA ELIZABETH GOMEZ
 DEPENDENCIA: FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 LUGAR: EXPASA
 FUENTE: LAGUNA DE ESTABILIZACION ANAEROBIC
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA: 29-04-99; 7:30 hrs.
 RECOLECTADA POR: INTERESADO
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO: TIQUISATE - ESCUINTLA
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 29-04-99; 13:25 hrs.

RESULTADOS

sólidos totales: 9,130.0 mg/L.
 sólidos suspendidos: 5,716.0 mg/L.
 sólidos disueltos: 3,300.0 mg/L.
 sólidos sedimentables: 110.0 cm³/L. en una hora

Guatemala, 13 de mayo de 1,999

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñones
 director del CII



ZENON MUCUS SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria





O. de T. No. 11955
 Informe No.: 1790

DETERMINACION DE SOLIDOS

INTERESADO; Gilda ELIZABETH GOMEZ
 DEPENDENCIA; FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 LUGAR; EXPASA
 FUENTE; LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVA
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA; 29-04-99; 7:45 hrs.
 RECOLECTADA POR; INTERESADO
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO; TIQUISATE - ESCUINTLA
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO; 29-04-99; 13:25 hrs.

RESULTADOS

sólidos totales; 5,155.0 mg/L.
 sólidos suspendidos; 1,790.0 mg/L.
 sólidos disueltos; 3,300.0 mg/L.
 sólidos sedimentables; 0.3 cm³/L. en una hora

Guatemala, 13 de mayo de 1,999

vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñones
 Director del CIA



ZENON MUCH SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria





O. de T. No.: 11955

Informe No.: 1793

DETERMINACION DE SOLIDOS

INTERESADO: Gilda Elizabeth Gómez
 DEPENDENCIA: FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 LUGAR: EXPASA
 FUENTE: ENTRADA LAGUNA (1)
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA: 09-06-99; 7:05 hrs.
 RECOLECTADA POR: Interesado
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO: TIQUISATE - ESCUINTLA
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 09-06-99; 10:45 hrs.

R E S U L T A D O S

sólidos totales, 45,929.0 mg/L.
 sólidos suspendidos, 38,375.0 mg/L.
 sólidos disueltos, 7,280.0 mg/L.
 sólidos sedimentables, 900.0 cm³/L. en una hora

Guatemala, 17 de junio de 1,999

vo.bo.

Ing. Francisco Javier Quiñónez
 Director del CII



ZENOV MUCK SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria





O. de T. No.: 11955
 Informe No.: 1794

DETERMINACION DE SOLIDOS

INTERESADO;	GILDA ELIZABETH GOMEZ
DEPENDENCIA;	FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
LUGAR;	EXPASA
FUENTE;	SALIDA LAGUNA (2)
FECHA Y HORA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA;	09-06-99; 7:15 hrs.
RECOLECTADA POR;	INTERESADO
MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO;	TIQUISATE - ESCUINTLA
FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO;	09-06-99; 10:45 hrs.

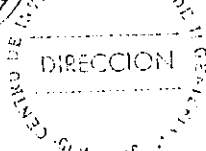
R E S U L T A D O S

sólidos totales;	7,741.0 mg/L.
sólidos suspendidos;	1,280.0 mg/L.
sólidos disueltos;	6,380.0 mg/L.
sólidos sedimentables;	30.0 cm ³ /L. en una hora

guatemala, 17 de junio de 1,999

VO. BO.

Ing. Francisco Javier Quiñones
 Director del CII



ZENON MUCH SANJOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
 E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.



O. de T. No: 11955
 Informe No.: 1795

DETERMINACION DE SOLIDOS

INTERESADO;	GILDA ELIZABETH GOMEZ
DEPENDENCIA;	FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
LUGAR;	EXPASA
FUENTE;	salida laguna (5)
FECHA Y HORA DE RECOLECCION DE LA MUESTRA;	09-06-99; 7:30 hrs.
RECOLECTADA POR;	INTERESADO
MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO;	TIQUISATE - ESCUINTLA
FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO;	09-06-99; 10:45 hrs.

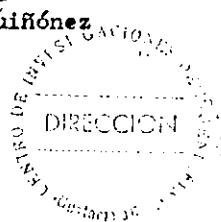
RESULTADOS

S ó l i d o s	totales;	6,697.0	mg/L.
sólidos	suspendidos;	757.0	mg/L.
sólidos	dissueltos;	5,820.0	mg/L.
sólidos	sedimentables;	1.4	cm ³ /L. en una hora

Guatemala, 17 de junio de 1,999

VO. BO.

[Signature]
 Ing. Francisco Javier Quiñónez
 Director del CII



[Signature]
 ZERON MUCHEL SA.
 Ing. Químico Col. No. 42
 M. Sc. Ing. Sanitaria





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O. de T. No. 11955

INFORME No. 1801

INTERESADO; FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 gilda Elizabeth Gómez
 LUGAR; EXPASA
 FUENTE; punto No. 1
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION;..... 22-07-99; 7:00 hrs.
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB..... 22-07-99; 12:20
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO;..... Tiquisate - Escuintla

R E S U L T A D O S

sólidos totales;..... 48,460.0 mg/L.
 " suspendidos;..... 41,560.0 mg/L.
 " disueltos;..... 4,153.0 mg/L.
 " sedimentables;..... 1,000.0 cm³/L. en una hora

guatemala, 28 de julio de 1,999

vo. bo. Ing. *Francisco Javier Quifiones*
 Director del CII



Zenon Much Santos
 ZENON MUCH SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
 E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O. de T. No. 11955


INFORME No. 1802


INTERESADO:..... FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Gilda Elizabeth Gómez
 LUGAR:..... EXPASA
 FUENTE:..... punto No. 2
 FECHA Y HORA RECOLECCION:..... 22-07-99; 7:00 hrs.
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB..... 22-07-99; 12:20
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO:..... Tiquisate - Escuintla

RES U L T A D O S

sólidos totales;.....l..... 7,881.0 mg/L.
 " suspendidos;..... 3,259.0 mg/L.
 " disueltos;..... 3,867.0 mg/L.
 " sedimentadores;..... 33.0 cm³/L. en una hora

guatemala, 28 de julio de 1,999


 DIRECCION
 Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñones
 Director del CII.


 ZENON MUCHAÑOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O. de T. No. 11955

INFORMES No. 1803

INTERESADO:..... FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 gilda Elizabeth Gómez
 LUGAR:..... EXPASA
 FUENTE:..... punto No. 3
 FECHA Y HORA DE RECOLECCION:..... 22-07-99; 7:00 hrs.
 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB..... 22-07-99; 12:20
 MUNICIPIO Y DEPARTAMENTO;..... miquisate - Escuintla

R E S U L T A D O S

sólidos totales;..... 5,758.0 mg/L.
 " suspendidos;..... 1,809,0 mg/L.
 " disueltos;..... 3,757.0 mg/L.
 " sedimentadores;..... 0.3 cm³/L. en una hora

guatemala, 28 de julio de 1,999

DIRECCION
 vo. bo. Ing. Francisco Javier Quiñones
 Director del CII



ZENON MUCH SANTOS
 Ing. Químico Col. No. 420
 M. Sc. Ing. Sanitaria

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 476-3992. Planta: 476-0790 al 4 Ext. 372. FAX: 476-3993
 E-Mail: inge.cen_invest@usac.edu.gt.