

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**TESIS DE GRADO PREVIA LA OBTENCION DEL
TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA
RESIDUOS LIQUIDOS INDUSTRIALES
GENERADOS POR LA PLANTA EXTRACTORA DE
ACEITE DE PALMA “ATAHUALPA” (LA
CONCORDIA – ECUADOR)**

GUSTAVO VITERI ELIZONDO

**QUITO – ECUADOR
SEPTIEMBRE DEL 2005**

RESUMEN

El presente trabajo, plantea el Diseño del sistema de tratamiento de los residuos líquidos industriales generados por la planta extractora de aceite de palma “ATAHUALPA” ubicada en el Cantón Santo Domingo - Recinto Monterrey. El objetivo principal es cumplir con los requerimientos sobre los límites permisibles que se establecen en la ley ecuatoriana ambiental. Para comprobar la existencia de contaminación ambiental generada por la planta extractora, se procedió a realizar la caracterización físico-química del residuo líquido industrial de la planta y del agua del río en el que se produce la descarga.

El sistema propuesto para un adecuado tratamiento del residuo líquido consta de una rejilla para retención de material grueso, un sedimentador para retener las arenas producidas en la extracción, una trampa de grasas para recuperar aceite y grasa de segunda clase, un lecho de secado para deshidratar los lodos residuales, un tanque de neutralización para lograr un pH alrededor de 7 antes de ingresar al tratamiento microbiológico, una piscina de tratamiento biológico anaerobio y una piscina de tratamiento biológico facultativo con el fin de disminuir mediante biodegradación toda la carga contaminante. Se utilizará la infraestructura y equipos existentes en la planta para reducir los costos de su implementación.

DESCRIPTORES

Residuos líquidos, planta de tratamiento, efluentes líquidos, legislación, sólidos totales, sólidos suspendidos, sedimentador, grasa y aceites, trampa de grasas, lecho de secado, neutralizador, biodegradación, piscina anaerobia, piscina facultativa.

ABSTRACT

This investigation project proposes a design system for the treatment of the industrial liquid residues generated by the “Atahualpa” palm oil extracting plant located in Santo Domingo, Monterey. The main objective is to meet the requirements set by Ecuadorian environmental law. In order to prove the existence of the environmental contamination produced by this extracting plant, the following procedures were conducted:

- A physical-chemical characterization of the industrial liquid residue produced by the plant.
- A physical-chemical characterization of the river water in which the discharge is produced.

The system proposed to adequately treat the liquid residue consists of the following: a mesh to retain the thinner materials, a sedimentation basin to retain the sand produced during the extraction process, a grease trap to recover the second-class oil and grease, drying bed. To dehydrate the residual mud, a neutralization tank in order to obtain a balanced pH of approximately 7 before entering the microbiological treatment, a biological anaerobic Treatment pool and a biological facultative pool, which has the objective of reducing the contaminated charge through biodegradation.

In order to reduce costs, the infrastructure and equipment that is already being used at the plant will remain for the present investigation.

KEYWORDS

Liquid residues, treatment plant, liquids effluent, legislation, total solids, suspended solids, sedimentation basin, grease and oil, grease trap, drying bed, neutralizer, biodegradation, and pools.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La plantación de *Elaeis guineensis* Jacq. O más conocida como Palma Africana, se inicia en el Ecuador por los años de 1953 y 1954 ¹. Con el transcurso de los años el cultivo de la Palma Africana a crecido significativamente en nuestro país gracias a la fuerte demanda como producto alimenticio debido a las características nutricionales que su aceite refinado ofrece y que es muy acogido para la producción de aceites vegetales y margarinas como suplemento alimenticio y en la fabricación de cosméticos como jabón de tocador, shampoo y maquillaje.

La obtención a nivel industrial del aceite crudo del fruto de la palma africana se la realiza en plantas extractoras de Aceite de Palma, las mismas que en sus procesos utilizan grandes cantidades de agua limpia, utilizada su mayoría en forma de vapor para el proceso de autoclavado del fruto y elevación de temperatura en tanques florentinos. Dicho vapor de agua que ha sido usado a lo largo de todo el proceso de extracción, es liberado por medio de purgas de presión, a canaletas de recolección diseñadas para el transporte de dicho liquido; que por su intervención en el proceso contiene elevadas concentraciones de materia orgánica, aceites y grasas y elevadas temperaturas que en conjunto son un factor perjudicial para el ambiente.

La canaleta de transporte del residuo liquido industrial es dirigida a dos piscinas de tratamiento totalmente colmatadas, es decir, sin ningún tipo de tratamiento, he inmediatamente es liberado al río aledaño “El Diablo” llamado así por el gran caudal que hace varios años transportaba, río que fluye en las cercanías de sectores poblados y con desarrollo agrónomo.

La inadecuada disposición final de residuos líquidos industriales, ha ocasionado el progresivo deterioro del factores ambientales como, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de escorrentía, suelos agrícolas y otros relacionados, que ha causado una notable disminución de la calidad de vida en asentamientos humanos que se encuentran en las cercanías de los lugares de disposición final al igual que aquellas que se encuentra lejos del lugar, convirtiéndose no solo en un problema ambiental, sino también en un problema social.

La administración de la Planta Extractora de Aceite de Palma Africana “Atahualpa” conciente del deterioro ambiental que su actividad produce y preocupados por cumplir con los parámetros técnicos que la ley exige, a brindado aceptación y apoyo al desarrollo de la presente investigación, que consiste en la evaluación, análisis de aguas residuales industriales

¹ www.ecociencia.org

y Diseño de la Planta de tratamiento de aguas residuales industriales que dicho proyecto lleva como título.

El acelerado deterioro de las condiciones ambientales a nivel mundial, a generado interés en todo nivel social e industrial, para el desarrollo de técnicas aplicables y económicamente factibles, para tratar y disminuir los contaminantes producidos por la actividad humana, en este caso la extracción de aceite de palma. Es así que se plantea el tema de diseñar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales con el fin de disminuir residuos líquidos que puedan alterar el ambiente y cumplir con los parámetros técnicos que la ley exige en cuanto a vertidos industriales, que se generan en el proceso de extracción de aceite de palma.

El residuo líquido que a circulado por todo el proceso de la extracción de aceite, contiene materia orgánica, aceites y grasas y elevadas temperaturas, por lo que se debe realizar análisis físico-químicos en campo como en laboratorio, que determinen niveles de caudal, pH, temperatura y concentraciones de DQO (demanda química de oxígeno), concentración de aceites y grasa, sólidos totales, sólidos suspendidos y densidad del líquido, que nos servirán en la caracterización del efluente y las condiciones de diseño que se deben seguir para que la planta tenga un funcionamiento efectivo y económico. Es de suma importancia el reconocimiento físico del lugar de trabajo y el área disponible para el desarrollo del proyecto.

La Compañía Extractora Atahualpa EXTRACTA S.A. conciente de la importancia de la preservación y conservación del medio ambiente, pondrá en construcción y funcionamiento el presente proyecto aplicable únicamente a las condiciones de la Planta Extractora de Aceite de Palma Atahualpa, ubicada en Monterrey – Santo Domingo de los Colorados.

El objetivo General del trabajo es el diseño del sistema de tratamiento de los efluentes líquidos industriales generados por la planta extractora de aceite de palma “Atahualpa”. De la manera más efectiva y económica posible.

La Planta Extractora Atahualpa, en la actualidad no consta de ningún sistema de tratamiento de sus aguas residuales industriales, por lo que causa continua degradación del ambiente y en especial del río el Diablo aledaño a la planta.

Por medio del presente trabajo técnico, investigativo y práctico se pretende realizar el estudio y caracterización de los residuos líquidos de la Extractora Atahualpa, con el fin de establecer un método adecuado para el manejo del residuo; planteando un diseño que cumpla con el

objetivo de disminuir los contaminantes físicos y químicos, cuya procedencia se origina en los procesos de autoclave y calentamiento del sistema de extracción de aceite de palma y que están en capacidad de contaminar el medio ambiente.

El proyecto busca disminuir de manera adecuada y controlada la contaminación que los residuos líquidos industriales están causando al ambiente y cumplir con el marco legal que reglamenta los vertidos de dicha actividad.

La presente investigación es de tipo Descriptivo, dado que el estudio se fundamenta en la teoría existente sobre el tratamiento de aguas residuales industriales, la cual nos servirá como base para el diseño de la planta de tratamiento y es complementada con el análisis en campo y laboratorio.

Las técnicas empleadas en los análisis de laboratorio son las indicadas por la bibliografía de técnicas de análisis para muestras líquidas.

1.1. ANTECEDENTES DE LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALMA

1.1.1. Aspectos Generales

La fuerte demanda por la utilización del aceite de Palma Africana en el Ecuador a generado un considerable aumento en la descargas de residuos líquidos industriales provenientes del proceso de extracción.

La planta extractora de aceite de palma ATAHUALPA actualmente no consta de un sistema de tratamiento de residuos líquidos industriales que son generados en los procesos de extracción de aceite crudo de palma, específicamente en procesos de esterilización de la fruta, fase de digestión, prensado y clarificación del aceite, esta ultima es donde mas perdidas de aceite existen, formando el residuo liquido con altas cargas de materia orgánica, aceites y grasas y temperaturas muy elevadas, que causan un problema adicional en el aceite que sale del sistema, ya que se encuentra emulsionado por lo que se hace difícil la separación por gravedad, produciendo una importante perdida.

El agua requerida para el funcionamiento de los diversos sistemas que trabajan con vapor de agua en la planta extractora “ATAHUALPA” es tomada directamente del río aledaño llamado el Diablo, como se muestra en la (**fotografía No. 1.**), tomada mediante bombas que succionan e impulsa el agua hacia un sistema de ablandamiento de aguas de río, con el fin de darle las características adecuadas para su uso.

Dado que la planta genera grandes cantidades de residuos líquidos industriales provenientes del proceso de extracción, existen purgas de vapor de agua que liberan el efluente hacia las canaletas de recolección. Como se muestra en la **(fotografía No. 2.)**. Dichas canaletas de recolección se encuentran a lo largo de toda la planta extractora. Como se puede observar en la **(fotografía No. 3.)**

La planta extractora consta de dos piscinas de tratamiento biológico pero que se encuentran totalmente colmatadas, es decir, no cumplen ninguna función. Como se muestra en la **(fotografía No. 4.)**; dichas piscinas serán readecuadas y acondicionadas para el nuevo proyecto.

La planta igualmente consta con una piscina de concreto el forma irregular y en condiciones perfectas para ser adecuada como trampa de grasas. Como se muestra en la **(fotografía No. 5.)**

Los efluentes líquidos industriales son desechados sin tratamiento alguno, al río el Diablo contiguo a la planta, contaminando sus aguas. Como se muestra en la **(fotografía No. 6.)**

Debido a las condiciones actuales de la planta extractor de aceite de palma no esta en condiciones técnicas para el cumplimiento de ninguna normativa ambiental aplicable con respecto a aguas residuales industriales. La administración y gerencia de la compañía ofrecen entera colaboración y apoyo en el desarrollo del presente proyecto, facilitando información detallada del funcionamiento en planta. Que será complementada con material bibliográfico existente con respecto al tema; de igual manera será utilizado investigaciones anteriores realizadas en la Universidad Internacional SEK como tema de Tesis de grado.

Fotografía No. 1. Captación de agua de río para utilizarse en el proceso de extracción.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Fotografía No. 2. Descarga del efluente por medio de purgas a la canaleta de recolección.
(Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Fotografía No. 3. Canaletas de recolección. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Fotografía No. 4. Piscina de tratamiento biológico totalmente colmatada. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Fotografía No. 5. Piscina de concreto apta para adecuar como trampa de grasas. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Fotografía No. 6. Descarga del efluente líquido industrial sin tratamiento hacia el río Diablo. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)

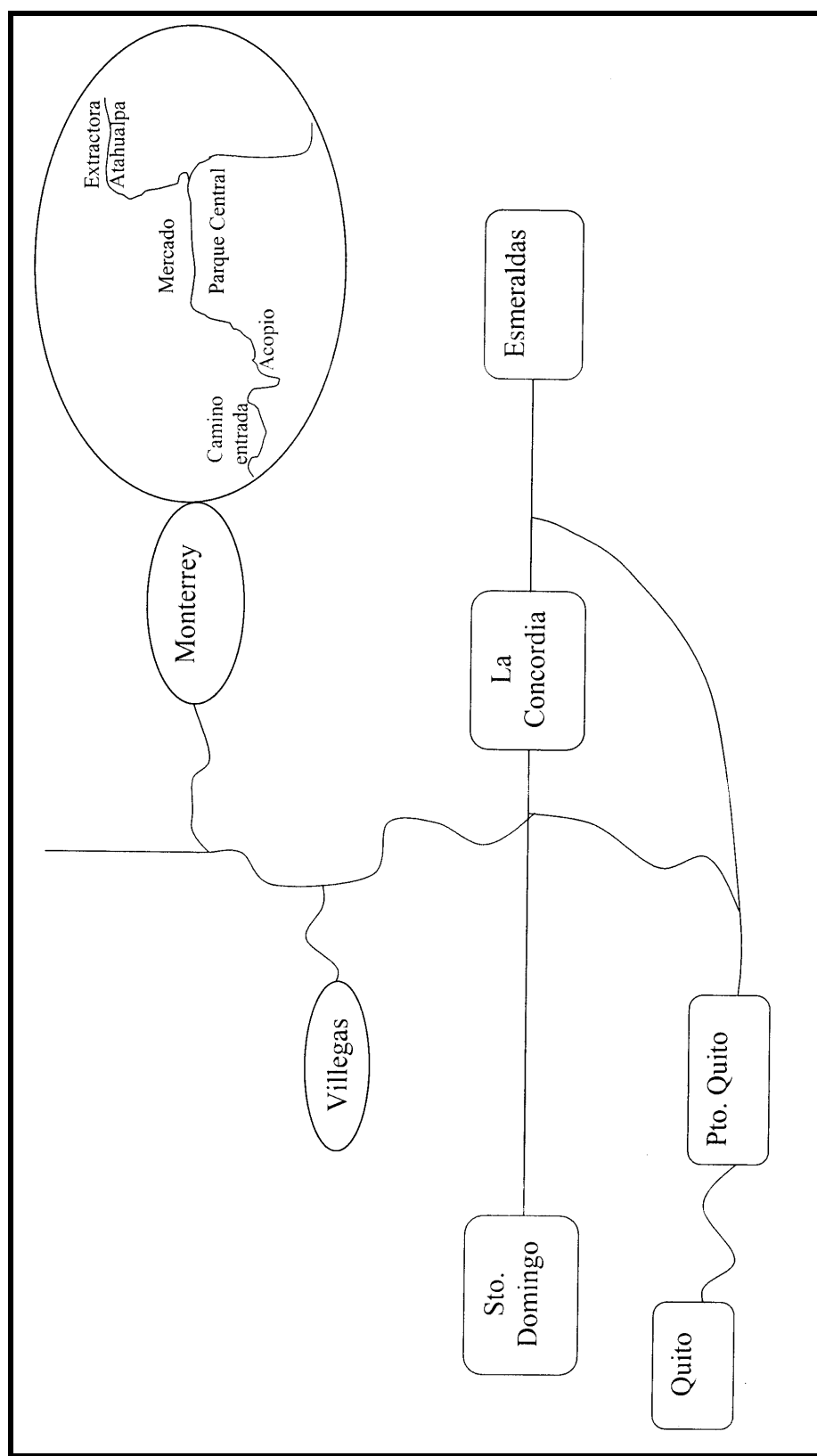


1.1.2. Ubicación

La planta extractora de aceite de palma ATAHUALPA se encuentra ubicada en la Provincia de Pichincha, Cantón Santo Domingo, Recinto Monterrey, Vía Amazonas. Sus coordenadas son las siguientes y se encuentra a 157 m.s.n.m. **(En la Figura No. 1.)** se muestra un croquis de la ubicación de la planta extractora de aceite de palma “ATAHUALPA”

00°21'Sur / 079°29'50 Oeste.

Figura 1. Croquis de la ubicación de la planta extractora de aceite de palma “ATAHUALPA” (Fuente: Gustavo Viteri)



1.1.3. Características de la Planta Extractora Atahualpa

1.1.3.1. Datos Generales

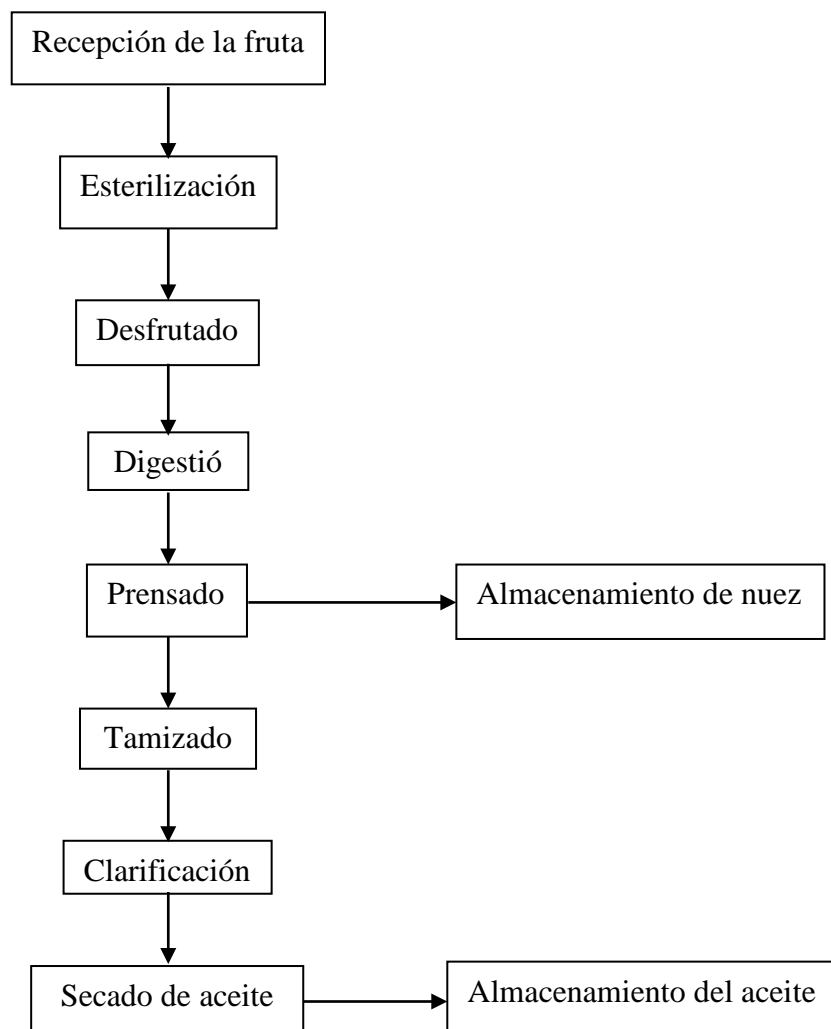
La extractora Atahualpa ubicada en el recinto Monterrey procesa palma africana plantada por la Cooperativa Orellana perteneciente a los mismos accionista de la planta extractora Atahualpa.

En la actualidad la planta esta en capacidad de procesar 10 ton RFF/ hora.

A continuación se presenta el diagrama de flujo de procesos.

Diagrama No. 1. Diagrama de flujo para procesos de extracción de aceite de palma.

(Fuente: Gustavo Viteri)



Recepción de la fruta

Todo camión que ingrese a la planta extractora Atahualpa pasa por una balanza la cual registra el peso del camión mas el fruto de palma que ingresa, para luego calcular por diferencia y obtener el peso de los racimos entregados.

Esterilización

En dicho proceso se somete los RFF a una temperatura de 130°C durante una hora y a una presión de 3 kg. /cm² para lograr inactivar la lipasa enzima del fruto, coagular las materias nitrogenadas u mucilaginosas para impedir que se formen emulsiones en el aceite crudo durante la purificación, mejorar la extracción, al separar los frutos de los racimos, logramos una buena separación de la almendra del mesocarpio.

Dicha esterilización se realiza en esterilizadores verticales.

Desfrutado

Realiza la separación de los frutos de los racimos, operación que se hace a través de un tambor desfrutador de unos 2 m. de diámetro, que funciona a 23 r.p.m., el desfrutador que hace girar la caja con los frutos 180° para descargar su contenido.

Digestor

Se logra mediante agitación mecánica al romper las células que contienen el aceite.

Prensado

El prensado se realiza por procesos mecánicos con una prensa de tornillo tipo continuo para extraer el aceite crudo.

Tamizado

El aceite crudo se recoge y se tamiza para reducir las partículas sólidas grandes.

Clarificación

En la clarificación se realiza la primera etapa de la separación del agua contenida en el aceite, las partículas sólidas del fruto y el lodo, por medio de una decantación natural.

Secado

Se logra con un secador de vacío ó tanques secadores con serpentines.

1.1.3.2. Disposición de residuos sólidos

Los residuos sólidos generados por la extractora ATAHUALPA se los puede clasificar en residuos sólidos domésticos e industriales.

Los residuos sólidos domésticos son entregados al recolector del Recinto Monterrey que a su vez los destina al botadero de la zona.

Los residuos sólidos industriales compuestos en su mayoría por raquis y fibra de la palma son destinados a procesos internos de la compañía; el raquis es utilizado en la protección natural de la corona de la palma y la fibra es usada como combustible en el caldero de producción de vapor.

1.1.3.3. Disposición de residuos líquidos industriales

La disposición final que actualmente se da para los residuos líquidos industriales en la planta extractora, es la descarga sin ningún tipo de tratamiento hacia el río El Diablo que se encuentra aledaño de la planta.

1.1.3.4. Personal y turno de trabajo

En la extractora ATAHUALPA trabaja de martes a sábado en turnos de ocho horas de trabajo. La compañía labora con catorce trabajadores, los cuales están divididos en dos turnos diarios.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Palma de Aceite ²

2.1.1. Historia

La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos que crece en tierras por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar. Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental. De ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq., y su denominación popular: palma africana de aceite.

Su introducción a la América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes esclavos portugueses, que la usaban como parte de su dieta alimentaria de los esclavos en el Brasil.

2.1.2. Proceso Agroindustrial

La palma de aceite es un cultivo perenne y de tardío y largo rendimiento ya que la vida productiva puede durar más de 50 años, pero desde los 25 se dificulta su cosecha por la altura del tallo.

El procesamiento de los frutos de la palma de aceite se lleva a cabo en la planta de beneficio o planta extractora. Ahí se desarrolla el proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o del palmiste. Este es un proceso simple que consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos de racimo, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante.

De la almendra se obtienen dos productos: el aceite de palmiste y la torta de palmiste que sirve para alimentos concentrados de animales. Al fraccionar el aceite de palma se obtienen también dos productos: la oleína, que es líquida y sirve para mezclar con aceites de semillas oleaginosas, y la estearina que es más sólida y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones.

2.1.3. Usos comestibles

Actualmente, el aceite de palma es el segundo aceite más consumido en el mundo y se emplea como aceite de cocina y para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados y deshidratados, cremas no lácteas para mezclar con el café. El contenido de sólidos grasos del aceite de palma le da a algunos productos como margarinas y shortenings una consistencia sólida/semisólida sin necesidad de

² www.fedepalma.org

hidrogenación. En un proceso de hidrogenación parcial se forman ácidos grasos trans, que tienen un efecto negativo en la salud.

2.1.4. Usos no comestibles

El aceite de palma es una materia prima que se utiliza ampliamente en jabones y detergentes, en la elaboración de grasas lubricantes y secadores metálicos, destinados a la producción de pintura, barnices y tintas.

2.1.5. La palma de aceite un cultivo verde

- Todas las partes de la palma se utilizan, por lo tanto no hay desperdicios que contaminen.
- Para evitar el uso de plaguicidas químicos, se han implementado diversas técnicas de control biológico.
- Dentro de los cultivos de semillas oleaginosas, la palma de aceite es la más eficiente en la conversión de energía.
- Los cultivos de palma de aceite son bosques protectores de los ecosistemas.
- La técnica de siembra de los cultivos de palma de aceite previene la erosión.

2.1.6. El aceite de palma en la salud humana

El aceite de palma contiene una relación 1:1 entre ácidos grasos saturados e insaturados, además es fuente importante de antioxidantes naturales como los tocoferoles, los tocotrienoles, y los carotenos. Se han realizado múltiples estudios sobre los efectos del consumo de aceite de palma en la salud humana, principalmente relacionados con el perfil lipídico, el retinol sérico (vitamina A), la trombosis arterial y el cáncer los cuales indican que: Tiene una alta concentración de grasa monoinsaturada, en forma de ácido oléico.

Las dietas ricas en ácidos grasos monoinsaturados ayudan a reducir el colesterol sanguíneo, disminuyendo uno de los principales factores de riesgo en enfermedades coronarias.

Algunos estudios han demostrado que el efecto del ácido palmítico sobre el colesterol sanguíneo es comparable con el del ácido esteárico, considerado como neutro.

Es fuente natural de vitamina E, en forma de tocoferoles y tocotrienoles. Estos últimos actúan como protectores contra el envejecimiento de las células, la arteriosclerosis, el cáncer y algunas enfermedades neurodegenerativas como el alzheimer.

Sin refinar, el aceite de palma es la fuente natural más rica de beta-caroteno (pro vitamina A). Su consumo ha resultado de gran utilidad para prevenir y tratar la deficiencia de vitamina A en poblaciones a riesgo.

En modelos humanos y animales se ha observado que el consumo de oleína de palma no altera significativamente los niveles de colesterol sanguíneo, reduce la oxidación de las LDL y la incidencia de tumores malignos, aumenta los niveles de retinol sanguíneo y previene la formación de trombos.

2.2. Generación de aguas residuales ³

La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

2.3. Contaminación y medio ambiente ⁴

Una afirmación trascendental de la Organización Mundial de la Salud ha sido la manifestación de que "el goce del grado máximo de salud que se pueda lograr es uno de los derechos fundamentales de todo ser humano sin distinción de raza, religión, ideología política o condición económica y social". Para la O.M.S. la salud es un "estado de completo bienestar físico, mental y social". Quedando fijado el nivel de salud por el grado de armonía que exista entre el hombre y el medio que sirve de escenario o de recurso a su vida.

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe esa armonía entre el hombre y su medio ambiente, precisándose en consecuencia luchar contra ella para recuperar el equilibrio necesario.

2.4. Definición de la contaminación de un curso de agua ⁵

Un curso de agua se considera como contaminado. Cuando tal composición o el estado de sus aguas son directa o indirectamente modificadas por la actividad del hombre, en una medida tal. Que disminuye la facilidad de utilización para todos aquellos fines, o algunos de ellos, a los que podrían servir en estado natural.

³ Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

^{4,5} Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

El crecimiento progresivo de los núcleos, el aumento de la densidad, sus actividades artesanales y ganaderas, el cultivo intensivo de la tierra para satisfacer las exigencias de una población que evoluciona, y el desarrollo industrial son las causas principales de la aportación de residuos que contaminan las aguas subterráneas, los ríos, los lagos y mares, destruyendo o modificando la fauna y flora, rompiendo el equilibrio del ecosistema, así como la armonía entre el hombre y su medio.

2.5. Efectos de la contaminación de un curso de agua ⁶

La preocupación por la contaminación de las aguas puede sintetizarse en algunos efectos producidos tales como:

- Destrucción de los limitados recursos hidráulicos.
- Disminución de la calidad de agua para abastecimiento de población, o uso para riego o industria. Todos estos usos tienen sus limitaciones cualitativas.
- Supresión del poder auto depurador de los cauces receptores con destrucción de su fauna y flora, imposibilitando, o dificultando al menos, su utilización.
- Afecta a los asentamientos urbanos e industriales, a los amantes de la pesca y de los deportes, sí como a los simples visitantes que buscan el esparcimiento en la naturaleza.
- Es un peligro potencial que atañe directamente a la salud pública, influyendo sobre la economía de la sociedad o sobre su recreo y esparcimiento.
- Exige un control riguroso y un tratamiento adecuado la utilización de agua con un cierto grado de contaminación.

2.6. Materia Orgánica ⁷

Los sólidos suspendidos de un agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica; los sólidos disueltos un 40%. LA materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40 - 60%), los carbohidratos (25 - 50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes.

Concentraciones grandes de materia orgánica, en aguas residuales, se miden mediante la DBO, la DQO y el COT. Concentraciones pequeñas de materia orgánica, del orden de trazas, 10^{-12} a 10^{-3} mg/L, se cuantifican por cromatografía de gases y espectroscopia de masa.

⁶ Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

⁷Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

2.7. Residuos Líquidos Industriales

“Residuo líquido industrial: Es el efluente residual evacuado de las instalaciones del establecimiento industrial, con destino directo a los sistemas de recolección de aguas servidas o a cuerpos receptores.”⁸

“Se entiende por residuo industrial a cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo”⁹

2.8. Muestreo¹⁰

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos empleados y los objetivos del estudio.

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

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

⁸ www.lauca.usach.cl/ima/nor-1.htm

⁹ www.farn.org.ar/arch/concl_tallerPM5.pdf

¹⁰ www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

2.8.1. Tipos de muestras¹¹

1.- Muestra simple o puntual: Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

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

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

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

¹¹ www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

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

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

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

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

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

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

2.8.2. Control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis ¹²

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

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

2.- Sellos. Para evitar o detectar adulteraciones de las muestras, sellar los recipientes con papel autoadhesivo, en los que se incluya por lo menos la siguiente información: número de muestra (idéntico al número en la etiqueta), nombre del recolector, fecha y hora de muestreo; también son útiles los sellos de plástico encogible. Adherir el sello de tal manera que sea

¹² www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

necesario romperlo para abrir el recipiente de la muestra, después de que el personal muestreador ceda la custodia o vigilancia.

3.- Libro de campo. Registrar toda la información pertinente a observaciones de campo o del muestreo en un libro apropiado, en el que se incluya como mínimo lo siguiente: propósito del muestreo; localización de la estación de muestreo, o del punto de muestreo si se trata de un efluente industrial, en cuyo caso se debe anotar la dirección y el nombre del representante de la empresa; tipo de muestra y método de preservación si es aplicable. Si se trata de una muestra de aguas residuales, identificar el proceso que produce el efluente. Estipular también la posible composición de la muestra y las concentraciones; número y volumen de muestra tomados; descripción del punto y método de muestreo; fecha y hora de recolección; número(s) de identificación del (los) recolector(es) de la muestra; distribución y método de transporte de la muestra; referencias tales como mapas o fotografías del sitio de muestreo; observaciones y mediciones de campo; y firmas del personal responsable de las observaciones. Debido a que las situaciones de muestreo varían ampliamente, es esencial registrar la información suficiente de tal manera que se pueda reconstruir el evento del muestreo sin tener que confiar en la memoria de los encargados. Guardar el libro en un sitio seguro.

4.- Registro del control y vigilancia de la muestra. Diligenciar el formato de control y vigilancia de cada una de las muestras o grupo de muestras, las cuales deben estar acompañadas de este formato; en él se incluye la siguiente información: número(s) de la(s) muestra(s); firma del recolector responsable; fecha, hora y sitio de muestreo; tipo de muestra; firmas del personal participante en el proceso de control, vigilancia y posesión de las muestras y las fechas correspondientes.

5.- Formato de solicitud de análisis. La muestra debe llegar al laboratorio acompañada de una solicitud de análisis; el recolector completa la parte del formato correspondiente a la información de campo de acuerdo con la información anotada en el libro de campo. La parte del formato correspondiente al laboratorio la completa el personal del laboratorio, e incluye: nombre de la persona que recibe la muestra, número de muestra en el laboratorio, fecha de recepción, y las determinaciones a ser realizadas.

6.- Entrega de la muestra en el laboratorio. Las muestras se deben entregar en el laboratorio lo más pronto que sea posible después del muestreo, en el transcurso de dos días como máximo; si el tiempo de almacenamiento y preservación es menor, debe planificarse el procedimiento para asegurar su entrega oportuna en el laboratorio. En caso de que las muestras sean enviadas por correo a través de una empresa responsable, se debe incluir el formato de la compañía transportadora dentro de la documentación del control y vigilancia de la muestra. La solicitud de análisis debe estar acompañada por el registro completo del proceso de control y vigilancia de la muestra. Entregar la muestra a la oficina de recepción en el laboratorio; el recepcionista a su vez debe firmar el formato de vigilancia y control, incluyendo la fecha y hora de entrega.

7.- Recepción y registro de la muestra. En el laboratorio, el recepcionista inspecciona la condición y el sello de la muestra, compara la información de la etiqueta y el sello con el registro o formato del proceso de control y vigilancia, le asigna un número o código para su entrada al laboratorio, la registra en el libro del laboratorio, y la guarda en el cuarto o cabina de almacenamiento hasta que sea asignada a un analista.

8.- Asignación de la muestra para análisis. El coordinador del laboratorio asigna la muestra para su análisis. Una vez la muestra está en el laboratorio, el auditor y los analistas son responsables de su cuidado y vigilancia.

2.8.3. Métodos de muestreo ¹³

1.- Muestreo manual: El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.

2.- Muestreo automático: Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos. En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado. Programar el muestreador

¹³ www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

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

2.8.4. Recipientes para las muestras ¹⁴

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

2.8.5. Precauciones generales ¹⁵

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

¹⁴ www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

¹⁵ www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

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

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

En términos generales, la muestra colectada debe asegurar que los resultados analíticos obtenidos representan la composición actual de la misma. Los siguientes factores afectan los resultados: presencia de material suspendido o turbidez, el método seleccionado para su remoción, los cambios fisicoquímicos en el almacenamiento o por aireación. Por consiguiente es necesario disponer de los procedimientos detallados (como filtración, sedimentación, etc.) a los que se van a someter las muestras antes de ser analizadas, especialmente si se trata de metales traza o compuestos orgánicos en concentraciones traza. En algunas determinaciones como los análisis para plomo, estos pueden ser invalidados por la contaminación que se puede presentar en tales procesos. Cada muestra debe ser tratada en forma individual, teniendo en cuenta las sustancias que se van a determinar, la cantidad y naturaleza de la turbidez presente, y cualquier otra condición que pueda influenciar los resultados.

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

TABLA 1. RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS. (Fuente: www.drcalderonlabs.com)

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado ⁵
DBO	P, V	1000	s	Refrigerar	48 h
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d
Grasa y aceite	V, boca ancha calibrado	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
PH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sólidos	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Temperatura	P, V	—	s	Análisis inmediato	—

2 P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio

3 s = simple o puntual; c = compuesta.

4 Refrigerar = almacenar a 4

☐ C en ause

realizarse en el momento de la toma de muestra. Para muestras compuestas, cada alícuota debe preservarse en el momento de su recolección. Cuando el uso de un muestreador automático haga imposible la preservación de cada alícuota, las muestras deben mantenerse a

4

☐ C hasta que se complete la composición.

5 Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible después de su recolección. Los tiempos listados son los periodos máximos que pueden transcurrir antes del análisis para considerarlo válido. Las muestras pueden dejarse por periodos más prolongados solo si su monitoreo en el laboratorio ha demostrado que la muestra en estudio es estable durante un mayor tiempo. Algunas muestras pueden no ser estables por el periodo máximo dado en la tabla.

2.8.6. Cantidad de muestra ¹⁶

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

2.8.7. Preservación de la muestra ¹⁷

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

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

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

2.- Intervalo de tiempo entre la toma y el análisis de muestras: Los resultados analíticos son más exactos en la medida que el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis

^{16, 17} www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

sea menor, hecho especialmente cierto cuando las concentraciones de los analitos están en el orden de mg/L. Para evaluar ciertos constituyentes y parámetros físicos, se requiere su análisis inmediato en el campo. Para las muestras compuestas se registra el tiempo en el momento de finalizar la operación de composición. Los cambios provocados por el crecimiento de microorganismos se retardan por almacenamiento de la muestra en la oscuridad y a baja temperatura ($<4^{\circ}\text{C}$ pero sin congelar). Registrar el tiempo transcurrido hasta el momento del análisis de la muestra, y la técnica de preservación aplicada.

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

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

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

Sin embargo, es imposible dar las reglas absolutas para prevenir todos los cambios posibles; en cada protocolo de análisis de las variables fisicoquímicas se encuentra la información

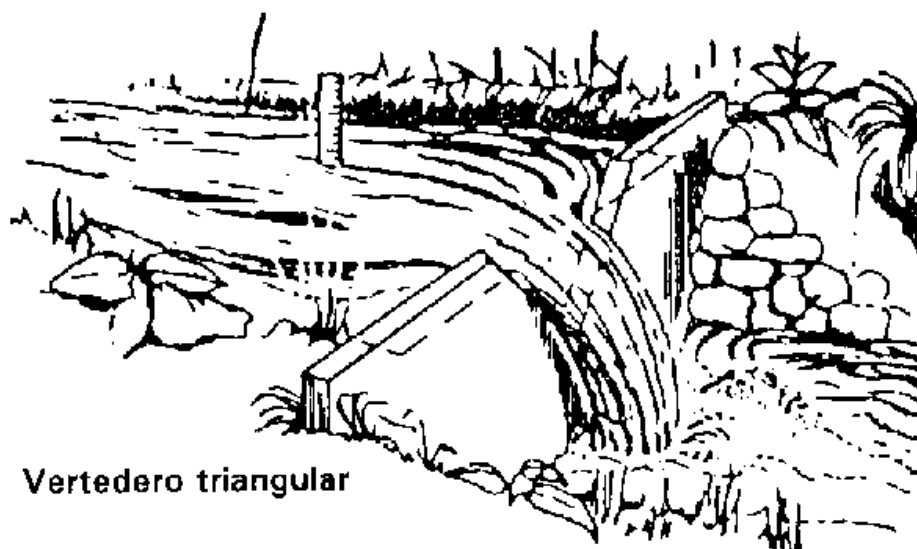
correspondiente. La confiabilidad de una determinación analítica se apoya en la experiencia y buen criterio de la persona que toma la muestra.

2.9. Vertederos de pared aguda ¹⁸

Los dos tipos más comunes son el vertedero triangular (con escotadura en V) como se muestra en la (**Figura No. 2.**) y el vertedero rectangular. Debe haber una poza de amortiguación o un canal de acceso aguas arriba para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero lenta y suavemente. Para tener mediciones precisas el ancho del canal de acceso debe equivaler a ocho veces al ancho del vertedero y debe extenderse aguas arriba 15 veces la profundidad de la corriente sobre el vertedero. El vertedero debe tener el extremo agudo del lado aguas arriba para que la corriente fluya libremente tal como se muestra en la (**Figura No. 3.**) A esto se denomina contracción final, necesaria para aplicar la calibración normalizada.

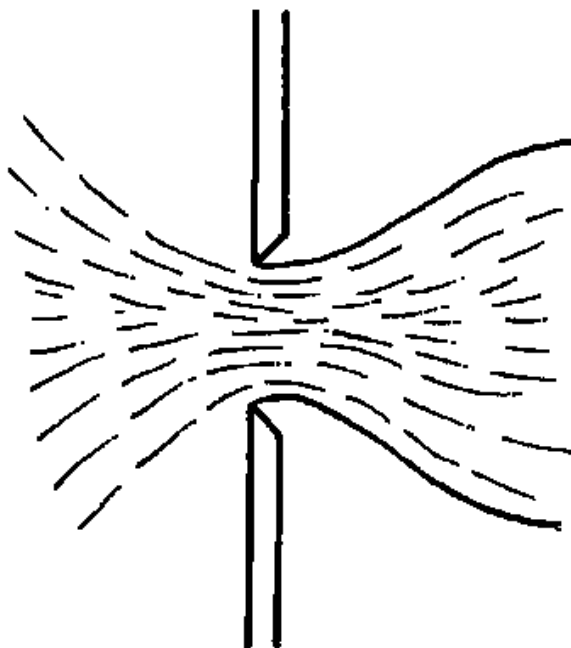
Para determinar la profundidad de la corriente a través del vertedero, se instala un medidor en la poza de amortiguación en un lugar en el que se pueda leer fácilmente. El cero del medidor fija el nivel en el punto más bajo de la escotadura. El medidor debe instalarse bastante detrás de la escotadura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

Figura 2. Vertedero con escotadura en “V” de 90 °. (Fuente: www.fao.org)



¹⁸ [http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm#vertederos de pared aguda](http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm#vertederos%20de%20pared%20aguda)

Figura 3. Vertederos con pared aguda (extremo agudo aguas arriba). (Fuente: www.fao.org)



Los vertederos con escotadura en V son portátiles y sencillos de instalar de manera temporal o permanente. La forma en V significa que son más sensibles a un caudal reducido, pero su ancho aumenta para ajustarse a caudales mayores. El ángulo de la escotadura es casi siempre de 90°, pero se dispone de diagramas de calibración para otros ángulos, 60°, 30° y 15°, cuando es necesario aumentar la sensibilidad. En el Cuadro 4 Figuran los valores del caudal a través de pequeños vertederos con escotadura en V de 90°.

2.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

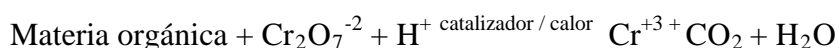
“La demanda química de oxígeno (DQO) se obtiene por medio de la oxidación del agua residual en una solución ácida de permanganato o dicromato de potasio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$).

Esto compuesto oxida casi todos los compuestos orgánicos en gas carbónico (CO_2) y agua. La reacción es completa en más del 95% de los casos. La ventaja de las mediciones de DQO es que los resultados se obtienen rápidamente (en cerca de tres horas), pero tienen la desventaja de que no ofrecen ninguna información de la proporción del agua residual que puede ser oxidada por las bacterias ni de la velocidad del proceso de bio oxidación.”¹⁹

¹⁹ Rolim, S. (2000). Sistema de Lagunas de Estabilización, Como utilizar aguas residuales tratadas en sistema de regadío, Colombia: Mc Graw Hill.

“La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata.

Compuestos inorgánicos que interfieren con el ensayo, como los cloruros, pueden causar resultados erróneos de DBO. La interferencia por cloruros se elimina agregando sulfato mercúrico para formar HgCl_2 y prevenir el consumo de dicromato por el ion cloruro. La reacción principal puede representarse de la manera siguiente:



La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en sólo unas tres horas.

La interpretación correcta de los resultados de demanda de oxígeno, para la oxidación de la materia orgánica, mediante DBO o DQO, es problemática por los diferentes factores y variables que afectan dichos ensayos. En general, se espera que la DQO sea aproximadamente igual a la DBO última; pero, especialmente en aguas residuales industriales, existen factores que hacen que dicha afirmación no se cumpla. Dichos factores son:

- Muchos compuestos orgánicos oxidables por dicromato no son oxidables biológicamente.
- Ciertos compuestos inorgánicos como los sulfures, sulfitos, tiosulfatos, nitritos y hierro ferroso son oxidados por dicromato e introducen una DQO inorgánica en el resultado del ensayo.
- La DBO está sujeta a error cuando se usan simientes bacteriales no aclimatadas adecuadamente al residuo.
- Ciertos compuestos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos y la piridina no son oxidados por el dicromato.
- Para concentraciones de cloruros mayores de 1 g/L se debe ejecutar el ensayo con un testigo de concentración de cloruros igual a la de la muestra.
- El tiempo de reflujo debe ser siempre dos horas, puesto que el resultado de la DQO es función del tiempo de digestión.

Las aguas residuales domésticas crudas tienen DBO promedio de 250 a 1.000 mg/L, con relaciones de DQO/DBO que generalmente varían entre 1,2 y 2,5⁽⁸⁹⁾.”²⁰

²⁰ Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

2.11. Aceites y Grasas

“Se definen como sustancias solubles en hexano, cuando el ensayo se realiza por extracción con hexano. En la técnica actual el ensayo se realiza por extracción con freón. Se consideran grasas y aceites los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar. Generalmente provienen de la mantequilla, manteca, margarina, aceites vegetales, hidrocarburos y carnes. Los aceites y grasas de origen vegetal y animal son comúnmente biodegradables y, aun en forma emulsificada, pueden tratarse en plantas de tratamiento biológico. Sin embargo, cargas altas de grasas emulsificadas como las provenientes de mataderos, frigoríficos, lavanderías y otras industrias causan serios problemas de mantenimiento en las plantas de tratamiento.

Los aceites y grasas de origen mineral pueden ser no biodegradables y requieren pretratamiento para ser removidos antes del tratamiento biológico. Sin embargo, no existe un método que permita distinguir las grasas y aceites vegetales o animales de las de origen mineral, aunque existe el procedimiento para diferenciar entre grasas y aceites polares y no polares.”²¹

"El contenido de aceite y grasa en los residuos domésticos, en algunos residuos industriales y en los lodos es una consideración importante en la manipulación y tratamiento de estos materiales para su disposición final. Al aceite y a la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. Si bien estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, complican el transporte de los residuos por las tuberías, su destrucción en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras." ²²

2.12. Definición de aceites y grasa²³

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

Los glicéridos de los ácidos grasos que están en estado líquido a temperaturas normales, son llamados aceites, mientras que los que están en estado sólido son llamados grasas.

^{21, 22, 23} Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogota – Colombia: McGraw-Hill.

Químicamente son bastante similares. En la composición de los aceites predominan los ácidos grasos de cadena corta o los ácidos grasos de alto grado de insaturación, como el linoleico o el linolénico.

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

2.13. Emulsiones ²⁴

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

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

2.14. Emulsiones Aceite en Agua ²⁵

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

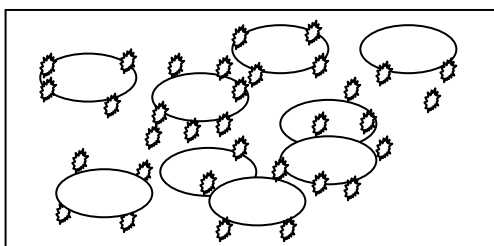
^{24, 25} Kemmer, F. McCallion, J. (1995). Manual del agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo I. México: McGraw-Hill.

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

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

Partículas sólidas, finas, pueden estabilizar una emulsión si su tamaño y abundancia son adecuados. En este caso, la estabilización se produce porque las partículas sólidas adsorbidas en la entrecara tienden a reforzar la película interfacial. Las gotitas dispersas no puede coalescer a causa del efecto de interferencia o de obstrucción producido por los sólidos, como se muestra en la (**figura No. 4.**)

Figura 4. Estabilización física de una emulsión por sólidos. Fuente: (Kemmer, F. McCallion, J. (1995))



- ⊗ → Las partículas sólidas evitan el contacto entre las gotas de aceite
- → Gotas de aceite negativamente cargadas

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

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

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

2.15. Separación de agua y aceite ²⁶

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

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

- La cantidad de aceite presente en el agua.
- La cantidad de aceite que se vierte en al agua.
- La presencia de surfactantes o emulsificantes químicos
- La gravedad específica del aceite.
- La gravedad específica del agua residual.
- La temperatura del agua residual.
- La concentración de los sólidos suspendidos.

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

- La inhibición del tratamiento biológico (más de 50 mg/l de aceite).

²⁶ www.medidasdemanejoambiental.com

- Atascamiento.
- Interferencia con la operación de espumado (retirar la espuma de la superficie).
- Recubrimiento de los electrodos utilizados para medir el pH, conductividad, etc, lo que impide que funcione el equipo).
- Riesgo de fuego/explosión.

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

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

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

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

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

Cuando el aceite está presente, en estado de emulsión (como es el caso de los refrigerantes aplicados directamente a piezas de metal o equipo de fabricación de metal durante la manufactura) es necesario deshacer dicha emulsión. (Los aceites emulsionados frecuentemente se conocen por el nombre de 'aceites solubles', debido a que el aceite parece

estar disuelto en agua, aunque en realidad está suspendido en el agua en forma de gotas muy pequeñas). Normalmente se deshace el estado de emulsión cambiando el pH o añadiendo compuestos químicos.

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

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

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

2.16. Separación por Gravedad ²⁷

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

2.17. Medición de aceites y grasas ²⁸

El término aceite y grasa se aplica a una gran variedad de sustancias orgánicas que se extraen de las soluciones acuosas o de las suspensiones, mediante el hexano o el 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoroetano (Freón-113 o CFC-113). Los principales materiales que estos solventes pueden

²⁷ www.lenctech.com

²⁸ Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogotá – Colombia: McGraw-Hill.

disolver son hidrocarburos, esterés, aceites, grasas, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular. Todos estos materiales tienen un "toque grasoso" y presentan los mismos problemas de los aceites y las grasas en el proceso de tratamiento de residuos.

El hexano y el CFC-113 se catalogan como solventes aceptables para las determinaciones estándares de aceite y grasa por ser buenos solventes de estos materiales, mientras que su capacidad para disolver otros compuestos orgánicos es mínima. Hoy en día, solo se recomienda el CFC-113 puesto que ofrece menor riesgo de explosión que el hexano.

Sin embargo, todos los clorofluorocarbonos (CFC), incluyendo el CFC-113, que son excelentes solventes y refrigerantes y han tenido amplia utilidad industrial y comercial, son los responsables de la depleción del ozono en la estratosfera antártica; por esta razón han sido mundialmente retirados de la producción. Por tanto, es posible que en futuro cercano se retorne al hexano para el análisis de aceites y grasas. En el pasado también se usaron el cloroformo, el éter dietílico y otros solventes, pero tienen inconvenientes en uno o más aspectos; por ejemplo, la limitada disolución de los carbohidratos por el cloroformo.

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

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

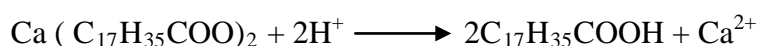
Si bien los métodos utilizados para la determinación de la grasa pueden parecer muy poco refinados e imprecisos, son el resultado de años de esfuerzo para obtener una medición una medición razonable de la cantidad de grasa en el agua, en los residuos domésticos e industriales y en los lodos que tienden a separarse en la fase acuosa y crear problemas especiales. Una vez que los ingenieros comprendieron la finalidad de la determinación de los

aceites y las grasas y entendieron la importancia relativa de los materiales volátiles en comparación con los no volátiles, se adaptaron a las condiciones del método de la prueba y sus limitaciones.

2.18. Medición de Aceites y Grasas en Aguas Residuales ²⁹

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

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



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

²⁹ Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogota – Colombia: McGraw-Hill.

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

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

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

2.19. pH ³⁰

Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Aguas residuales en concentración adversa del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. Aguas con pH menor de seis, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias. A pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor, porque predomina el HOC1; a pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH₃), la cual es tóxica, pero también removible mediante arrastre con aire, especialmente a pH de 10,5 a 11,5. El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la

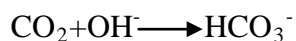
³⁰ Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5.

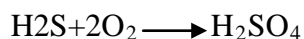
Para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,5. En lagunas de estabilización las algas usan dióxido de carbono para su actividad fotosintética y esto puede dar como resultado aguas de pH alto, especialmente en aguas residuales de baja alcalinidad. En muchos casos las algas utilizan el ion bicarbonato como fuente de carbono celular y pueden, también, presentarse variaciones diurnas fuertes de pH. En aguas residuales duras, cuando el pH aumenta, puede predominar la alcalinidad por carbonatos e hidróxidos y producirse la precipitación del carbonato de calcio, lo cual impide que el pH siga aumentando.

Entre las reacciones que ocurren en sistemas biológicos y producen disminución de pH se tienen:

- Destrucción de alcalinidad cáustica por producción bioquímica de CO_2 :



- Oxidación bioquímica de sulfuros:



- Nitrificación:



- Producción de ácidos orgánicos

A la vez, la oxidación bioquímica de ácidos orgánicos y la destrucción de sales de ácidos orgánicos producen incrementos de pH.

“La expresión de la actividad del ion hidrógeno en términos de concentración molar es bastante complicada. Con el fin de superar esta dificultad, Sorensen (1909) propuso expresar estos valores en términos de sus logaritmos negativos y llamar estos valores P^+_{H} . Su símbolo ha sido remplazado por la designación simple pH. El termino se puede expresar como:”³¹

$$\boxed{\text{pH} = -\log [\text{H}^+]}$$

³¹ Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogotá – Colombia: McGraw-Hill.

3.20. Sólidos

“En la ingeniería es importante la medición de la materia sólida existente en una gran variedad de materiales líquidos y semilíquidos que oscilan entre las aguas potables y las contaminadas, los residuos domésticos y los industriales y los lodos formados en los procesos de tratamiento. En sentido estricto toda la materia excepto el agua contenida en los materiales líquidos se clasifica como materia sólida. Sin embargo la definición usual de sólidos, se refiere a la materia que queda como residuo después de la evaporación y el secado a 103 y 105 °C.”³²

“El contenido de sólidos de un agua afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. Se considera como sólidos totales de un agua el residuo de evaporación y secado a 103 -105 C.

Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en mL/L.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para su remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor de 1,2 μm y los suspendidos los que tienen tamaño mayor de 1,2 μm , tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación.

Los sólidos volátiles son, básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatiliza a temperaturas de 550 \pm 50°C. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce como sólidos fijos y constituye la porción inorgánica o mineral de los sólidos.

En tratamiento biológico de aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16.000 mg/L.”³³

³² Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogotá – Colombia: McGraw-Hill.

^{33, 34} Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

2.21. Temperatura ³⁴

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del Agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. En general, las aguas residuales son mas cálidas que las de abastecimiento y, en aguas de enfriamiento, la polución térmica es significativa.

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. La tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua.

En general los tiempos de retención para tratamiento biológico disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella.

Como el calor específico del agua es mayor que el del aire, la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura ambiente en períodos fríos y menor que la temperatura ambiental en periodos cálidos.

La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25 °C a 35 °C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50 °C. Cuando la temperatura es menor de 15 °C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperaturas de 5 °C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar.

2.22. Análisis Gravimétrico ³⁵

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

2.23. Bases teóricas de la tecnología actual ³⁶

Dejando aparte otros aspectos, conviene centrarse en las bases teóricas de los conocimientos actuales que rigen la tecnología de la depuración de las aguas residuales. Con relación a las aguas residuales urbanas normales, se sabe que la contaminación queda integrada por una

³⁵ Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogotá – Colombia: McGraw-Hill.

³⁶ Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

serie de productos inorgánicos y orgánicos, siendo éstos los que realmente producen las perturbaciones más importantes.

Se sabe también que, de forma natural, millones de microorganismos, como trabajadores incansables, utilizan para su alimentación la transformación de la materia orgánica de los residuos, siendo los elementos esenciales, que garantizan la permanencia de la vida, manteniendo, entre otros, los ciclos, esenciales del nitrógeno y carbono. Estos procesos, debidos a la actividad de los organismos, se conocen bajo la denominación de "metabolismo". Se sabe que las reacciones químicas desarrolladas en el metabolismo quedan limitadas por temperatura y presión, parámetros que pueden afectar a las células vivas, y se sabe que dichas reacciones químicas son posibles en presencia de catalizadores orgánicos, que son compuestos proteínicos producidos por las células vivas, y que se denominan "enzimas".

Puede decirse que el desarrollo normal de una depuración biológica estriba en la adecuada producción de las enzimas en el metabolismo de las células, por lo que es conveniente señalar aquí la existencia de factores que influyen sobre su actividad, y que son, por tanto, determinantes en el proceso de depuración.

El efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática es doble. Como en muchas reacciones químicas, la velocidad de reacción se incrementa con la elevación de temperatura, pero, por otra parte, la elevación de temperatura hace a las enzimas menos estables. Es decir, la depuración biológica se desarrolla de forma adecuada entre dos límites de temperatura, 12 y 38°C.

Las enzimas son activas en un estrecho corredor alrededor de un pH determinado, y que normalmente no puede ser muy diferente del pH = 7.

Las enzimas son activas en estado coloidal, inhibiendo su actividad las sustancias que forman sales insolubles, iones de metales pesados, reactivos alcaloides, agitación mecánica brusca, etc.

De aquí se desprenden los siguientes condicionantes, que gobiernan los tratamientos biológicos.

- Proporcionar un estado coloidal adecuado para la acción de los organismos.
- Necesidad de evitar en los venidos, a ser tratados biológicamente, el sobrepasar en cierta cuantía el contenido de sales y elementos tóxicos.
- La energía, necesaria para el proceso vital de los microorganismos, se consigue por captación de oxígeno. Los organismos aerobios actúan con oxígeno de la atmósfera, y los anaerobios por descomposición de otros compuestos.

Tomando como base la diferencia de captación del oxígeno por los microorganismos, se contemplan dos procesos totalmente diferenciados, también en sus efectos: Los procesos aerobios y anaerobios.

Otro sistema actual sin colaboración de microorganismos es el tratamiento químico, ya usado desde 1762. Este tiene como objeto el separar del agua los elementos extraños por precipitación, rompiendo, mediante la atracción de los coagulantes, la estructura coloidal de las panículas.

Los coagulantes normalmente usados son el sulfato de alúmina, cloruro férrico, polielectrolitos, unidos o no a la acción de los coadyuvantes.

2.24. Consideraciones sobre acciones futuras ³⁷

Según la experiencia actual es preciso, en las acciones futuras, tener en cuenta algunas consideraciones.

2.24.1. Tratamiento primario ³⁸

El tratamiento primario es un simple tratamiento físico, una separación de los elementos sólidos que contiene el agua. Esta separación se define, como fenómeno físico, en fórmula adecuada matemática que refleje el fenómeno real.

Siendo preciso basarse en experiencias. Sobre este punto, interesa destacar que las condiciones que se establecen son fijas y prácticamente son condiciones hidráulicas. Los parámetros de diseño se refieren a un tiempo de retención, y a una velocidad del líquido en el depósito lo más constante posible, debiéndose impedir las variaciones de caudal. La decantación primaria puede diseñarse con dos objetivos: Uno, con base al máximo rendimiento, y otro consistente en obtener un rendimiento suficiente para el correcto funcionamiento de la segunda etapa. Ambos son totalmente validos pero una vez, establecida la alternativa, son condiciones fijas las de las aguas que pasan al tratamiento secundario.

Una vez adoptada una de las alternativas del tratamiento primario, el tratamiento biológico está influido en su funcionamiento.

^{37, 38} Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

3.24.2. Tratamiento secundario ³⁹

Las alternativas posibles en el tratamiento secundario son en principio dos, dentro de los procesos convencionales. La diferencia fundamental es la elección de un tratamiento químico o biológico. Los resultados de ambos son bastante similares en cuanto a los efectos, pero su mecanismo funcional es distinto. En el tratamiento químico, precisamos la introducción de cantidades importantes de reactivos, necesitamos unos sistemas de dosificación muy correctos.

Necesitamos unos equipos de personal preparados, que periódicamente, o casi de forma continua, tiene que estar modificando las dosificaciones para un correcto rendimiento. En el proceso biológico, la formación de flocules, con peso suficiente para poder separarse de la masa de agua, se logra gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos, que están en el agua residual. El equipo encargado del sistema no tiene que preocuparse del propio mecanismo funcional, el sistema biológico tiene inercia suficiente para aceptar las modificaciones de carga y problemas que puedan surgir.

El proceso biológico es un mundo ecológico totalmente cerrado, totalmente coartado y que, solamente tiene un rendimiento óptimo en una situación dada de caudal y de carga. Es un mundo ecológico donde en un volumen fijo, una cantidad de microorganismos vivos, de acuerdo con el sistema seleccionado, admite una única carga. Nuestro sistema para lograr un funcionamiento correcto consiste en mantener las condiciones vitales de esos microorganismos e introducir un caudal constante y una carga orgánica constante.

En un proceso químico el consumo de reactivos oscila entre 90 y 250 mg/l. cuyo coste, unido al del control permanente de la dosificación por técnicos especialistas, obliga a descartar el sistema, salvo excepciones, en favor de los tratamientos biológicos. Si bien el coste, del mantenimiento y explotación de la depuración química, no tiene parangón económico con los costes de los procesos biológicos, el tratamiento químico tiene su aplicación indudable en:

- Depuradoras para zonas turísticas con venidos reducidos a ciertas épocas del año. Puede justificarse en estos casos una inversión inferior compensándose los gastos de mantenimiento y explotación. Es decir, depuradoras funcionando según un proceso

³⁹ Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

durante la mayor parte del año, y acondicionadas a trabajar en punta con la ayuda de un tratamiento químico funcional.

- Depuradoras para zonas industriales o mielas donde los vertidos arrastran iones metálicos, tóxicos, etc., que pueden destruir la actividad biológica. En caso contrario, siempre que no se inhiba la fauna bacteriana, es aconsejable como solución más económica el tratamiento de las aguas industriales y urbanas conjuntas. Debe pensarse en este sistema cuando,

$$D.B.O_5 / D.Q.O \text{ es } < 0.25$$

- Como tratamiento terciario, bien para obtener una eliminación más completa de los contaminantes, bien para la eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, tras un tratamiento biológico. En este caso, los consumos de reactivos pueden elevarse a 40-150 mg/l.

La utilización de este sistema es aceptable sólo cuando los nutrientes en exceso dan origen a problemas de eutrofización, como es el caso de los vertidos en lagos con desarrollo excesivo de algas, o en embalses con utilización posterior, principalmente para abastecimientos. Puede considerarse que un tratamiento terciario representa un incremento del costo de la depuradora, entre un 40 y un 80 por 100 del importe del tratamiento biológico completo, para una reducción complementaria de la D.B.O₅ y S.S., pasando, de un 90 y 92 por 100, a un 96 y 97 por 100. Así se justifica, por las consideraciones expuestas de rendimientos y económicas, el tratamiento biológico como base fundamental de la depuración de aguas domésticas y mixtas (doméstico-industriales sin sobrepasar los límites antes indicados). Para un correcto proceso biológico es imprescindible controlar las relaciones entre nutrientes que optimizarán los resultados del proceso biológico:

- pH en posición neutra.
- Capacidad de degradación expresada por la relación: D.B.O₅/D.Q.O.

En cuanto al desarrollo favorable de la actividad de microorganismos, la relación entre nutrientes debe ser de:

$$D.B.O_5/N = 20$$

$$D.B.O_5/P = 100$$

2.25. Rejillas

2.25.1. Tipos de rejillas ⁴⁰

Existen varios tipos de rejillas, pudiéndose realizar su clasificación con arreglo a diferentes criterios:

2.25.2. Criterio de inclinación de la rejilla ⁴¹

Con arreglo a él y haciendo referencia a la posición de las bañas, malla o criba, se distinguen las rejillas:

Horizontales, Verticales, Inclinas

2.25.3. Criterio de la separación libre entre barras ⁴²

Se clarifican en: Finas, Medias, Gruesas

Aunque no existe un criterio técnico para la delimitación de los distintos tipos, se pueden considerar como rejillas finas aquellas en que la separación libre de aberturas es inferior a 1,5 cm. La distancia entre barras, en las llamadas rejillas de separación media, oscila entre 1.5 y 5,0 cm. Son las más empleadas en la actualidad, puesto que rellenen la mayor parte de las sustancias arrastradas que no pueden eliminarse por sedimentación.

Para el desbaste grueso del efluente se emplean rejillas de abertura entre 5 y 15 cm cuya limpieza se suele realizar manualmente. Se colocan en la entrada del colector a la estación depuradora, sirviendo como pretratamiento respecto a la rejilla media colocada a continuación.

En cualquier caso, interesa la colocación de rejillas bien calculada con lo que se evitan perturbaciones posteriores, que resten eficacia a todo el sistema de depuración.

2.25.4. Criterio de la limpieza de las rejillas ⁴³

Para la limpieza del material retenido en las rejillas se pueden emplear procedimientos manuales o automáticos, según la importancia de la estación y cantidad de materias retenidas.

^{40, 41, 42, 43} Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

En instalaciones pequeñas lo más conveniente es emplear rejillas inclinadas con limpieza mecánica.

En instalaciones importantes es aconsejable realizar mecánicamente la limpieza de las rejillas. El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado;

- Con intervalo de tiempo fijo.
- Con intervalo de tiempo modificado en arreglo al grado de obstrucción de la rejilla.

Este ultimo tipo lleva el motor de accionamiento del apáralo de limpieza, gobernado por un control eléctrico, que actúa en función de las diferencias de nivel entre la superficie del líquido aguas arriba y aguas abajo de la rejilla, esta diferencia de nivel aumenta con las retenciones de sólidos, y cuando llega a un valor señalado de antemano (5 a 10 cm) se cierra el circuito, poniendo en marcha el motor. Presenta en el sistema, respecto al de limpieza con intervalo fijo de tiempo, las siguientes ventajas:

- Funcionamiento del sistema limpiador, sólo cuando es necesario.
- Ahorro consiguiente de energía.
- Mayor cantidad de materia retenida.
- Menor desgaste de maquinaria.

El sistema de automatismo con intervalo de tiempo fijo, tiene, sin embargo, la gran ventaja de sencillez de funcionamiento y no ser necesario personal especializado para su mantenimiento. Ello, unido a que, graduando la duración del ciclo de limpieza con arreglo a las características especiales del agua residual tratada, se obtiene buenos resultados, lo que motiva su gran empleo en las instalaciones actuales.

2.25.5. Diseño de las rejillas, recomendaciones ⁴⁴

Para el diseño de las rejillas de desbaste es muy conveniente tener en cuenta los resultados obtenidos en instalaciones existentes. Se exponen a continuación una serie de recomendaciones, dictadas por la experiencia, que permiten acortar el intervalo de variación de las variables dependientes y el número de variables independientes, que entran en juego para el dimensionado

⁴⁴ Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

2.25.6. Separación entre barras⁴⁵

- Separación libre entre barras en el desbaste de gruesos: Debe estar comprendida entre 50 y 100 mm.
- Separación libre entre barras en el desbaste medio: Debe estar comprendido entre 20 y 30 mm.

Las separaciones óptimas de desbaste grueso y medio, por ejemplo serán aquellos que lograsen una recogida de residuos sólidos del 50% del total encada una de ellas.

2.25.7. Número de rejillas⁴⁶

El número de rejillas necesario viene determinado, en cada instalación, por el tipo y característical, las mismas, así como por la seguridad exigida en el caso de que alguna unidad quede fuera de servicio.

2.25.8. Velocidad de paso del agua residual⁴⁷

La velocidad de paso del agua residual está doblemente condicionada: inferiormente, por la posible sedimentación de arenas y cuerpos densos; superiormente por la posibilidad de que el material retenido sea lavado y arrastrado por el agua forzando las barras.

2.26. Desarenadores⁴⁸

Los desarenadores son utilizados con la finalidad de proteger a las unidades de arenas, detritos y otros materiales inertes que pueden causar daños en la Planta de Tratamiento. Este tratamiento primario es considerado como obligatorio en plantas que tienen sedimentadores.

Las arenas son partículas sólidas inertes que sedimentan a mayor velocidad que los sólidos orgánicos de tamaño similar, pueden ser separados en desarenadores que son estructuras en las cuales se brinda al efluente un tiempo de retención, generalmente entre 5 y 10 minutos, la cual nos permite la sedimentación de sólidos relativamente gruesos hacia el fondo, en donde son almacenados para ser retirados por medios manuales o mecánicos.

^{44, 45, 46, 47} Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

⁴⁸ Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. Guía Ambiental. Colombia. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio del Ambiente. Santa Fe de Bogota-Colombia 2002.

En caso de que el desarenador no incluya medios mecánicos para la remoción de las arenas separadas, su profundidad efectiva no debe ser mayor que 1.2 metros para facilitar la limpieza. El desarenador será preferiblemente de limpieza manual, et mecanismo que puede ser utilizado en este sistema puede ser pro gravedad y con flujo horizontal.

El diseño de un desarenador permitirá remover partículas de diámetro aproximado de 0,2 mm. para lo cual es importante el controlar la velocidad de ingreso del flujo a tratar el cual se encuentre alrededor de 0,3 m/s, la misma que puede aceptar una tolerancia del +/- 20 %.

La longitud del desarenador esta determinada por la profundidad requerida por la velocidad de asentamiento, el área de la sección transversal del canal estará de acuerdo al caudal y al número de canales que se desee construir y operar, además siempre hay que proveer una longitud adicional a la teórica para compensar los efectos de turbulencia a la entrada y salida del afluente. Los desarenadores deberán tener sistemas para facilitar su limpieza como son compuertas para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades a ser limpiadas, cuya frecuencia dependerá de la cantidad de material retenido por lo que su limpieza puede ser semanal, quincenal o mensual.

La cantidad de arena que sea retenido por el desarenador dependerá de las características del drenaje así como de las condiciones del área. El material retenido en este sistema puede ser dispuesto en el Lecho de secado.

2.27. Trampa de Grasas ⁴⁹

Las trampas de grasa son pequeños tanques de flotación simple o tanques en los cuales se introduce aire (flotación con aire disuelto), donde las grasas y aceites salen a la superficie. Existe un tiempo de retención, que por lo general es de 5 a 10 minutos, para que los aceites y grasas (sustancias solubles en hexano) o los sólidos que sean menos densos que el agua lleguen a la superficie en donde se acumulan y pueden ser retirados. Entre más compartimientos tenga una trampa de grasas más eficiente va a ser la remoción de flotantes, pero se recomienda que su número no sea inferior a dos ni superior a cuatro.

Las trampas de grasa deben encontrarse después de las rejillas y aguas arriba de cualquier sedimentador primario o secundario de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo con

⁴⁹ Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. Guía Ambiental. Colombia. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio del Ambiente. Santa Fe de Bogota-Colombia 2002.

el fin de evitar problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores.

Para realizar el diseño de una trampa de grasas y aceites se debe analizar las características propias a tratar y el caudal del líquido a tratar, para lo cual se debe de tomar muy en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg., de grasa debe ser de por lo menos la cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto. El tanque debe tener 0.25 m² de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4 mm/s.

Las grasas o material flotante deben ser retiradas del tanque por lo menos dos veces por semana. Puesto que el sistema también permite la separación de sólidos por gravedad, se debe realizar una limpieza total al menos una vez cada dos meses. Si se tiene un buen mantenimiento, en la mayoría de los casos, el efluente tendrá un contenido de aceites y grasas de aproximadamente 50 - 250 mg/ L. Estos valores serán más altos si se tienen grasas emulsionadas puesto que estas no se separan fácilmente.

2.28. Lechos de Secado de arena ⁵⁰

Los lechos de secado de arena constituyen uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural. Posiblemente es el método más usado en plantas pequeñas, de menos de 100 L/s, para secado de lodos, durante los últimos cien años. El lecho típico de arena para secado de lodos es un lecho rectangular poco profundo, con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje como se muestra en la (**figura No. 5.**).

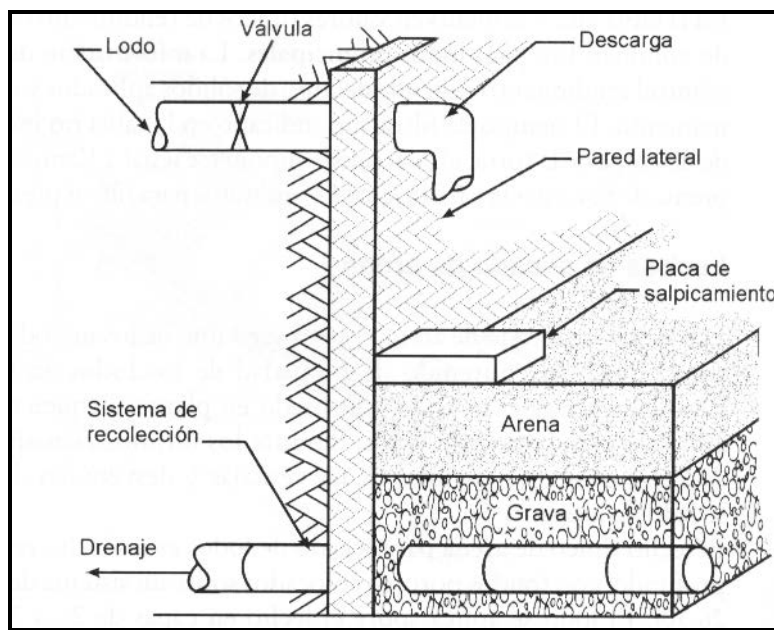
El lodo se aplica sobre el lecho en capas de 20 a 30 cm y se deja secar. El desaguado se efectúa mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación de la superficie por acción del sol y del viento. Inicialmente el agua percola a través del lodo y de la arena para ser removida por la tubería de drenaje en un periodo corto, de unos pocos días. Una vez formada una capa de lodo sobrenadante, el agua es removida por decantación y por evaporación. La pasta se agrieta a medida que se seca, permitiendo evaporación adicional y el escape de agua lluvia desde la superficie. Los lechos de secado de lodos son muy semejantes a filtros intermitentes de arena y tienen la ventaja de requerir poca atención en su operación. El diseño de lechos de

⁵⁰ Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

secado de lodos está afectado por diferentes factores: clima, características del lodo, valor del terreno y pretratamiento de los lodos.

Figura No. 5. Lecho tipo de secado de arena. (Fuente: Romero, J. 1era Edición (2000).

Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.)



2.29. Neutralización ⁵¹

La neutralización, o ajuste de pH, generalmente adición de un álcali o de un ácido a un residuo, para obtener un rango de pH cercano a 7,0, se usa para proteger fuentes receptoras de descargas alcalinas o ácidas fuertes, o para permitir el postratamiento de dichos residuos. Como las normas de vertimiento generalmente requieren pH entre 5 y 9, la neutralización constituye un proceso químico de pretratamiento en muchos residuos industriales. El proceso, sin embargo, requiere valorar con cuidado el efecto de cualquier reacción perjudicial al sistema de recolección o de tratamiento posterior que pueda ocurrir después de la neutralización; por ello, además de la obtención de un pH adecuado, es importante asegurar una capacidad tampón suficiente para mantener dicho pH.

⁵¹ Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

En toda fuente receptora, el pH es un factor importante para los sistemas de reacciones químicas y biológicas. Por ejemplo, la toxicidad del cianuro para los peces aumenta a medida que el pH disminuye; el amoníaco es diez veces más tóxico a pH 8,0 que a pH 7,0 y, además, la solubilidad de los compuestos metálicos contenidos en los sedimentos y en los sólidos suspendidos cambia con el pH. En general, en aguas de consumo el pH debe estar entre 5 y 9; en aguas dulces, para vida acuática, debe estar entre 6,5 y 9 y en el mar, para vida acuática marina, debe oscilar entre 6,5 y 8,5.

La neutralización es importante para ejercer control de la corrosión. La presencia de orín en las tuberías y accesorios de fontanería indica la necesidad de controlar este aspecto.

La neutralización de aguas ácidas se hace comúnmente agregando cal, óxido de cal, óxido o hidróxido de magnesio, o hidróxido de sodio. La cal, óxido de cal (CaO), o su forma hidratada, hidróxido de calcio (Ca (OH)₂), es la más usada por su bajo costo. Sin embargo, la gran cantidad de lodo producido es un problema significativo.

2.30. Lagunas de Estabilización ⁵²

2.30.1. Generalidades. Ventajas y desventajas. Tipos

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada.

El tratamiento a través de lagunas tiene tres objetivos:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar los microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura, por ejemplo.

Por tanto, los factores que influyen sobre la calidad deseada para el efluente de las lagunas de estabilización dependen de la visión de los diferentes sectores:

- Salud: número de microorganismos patógenos o indicadores.

⁵² Rolim, S. (2000). Sistema de Lagunas de Estabilización, Como utilizar aguas residuales tratadas en sistema de regadío, Colombia: McGraw-Hill.

- Medio ambiente: principales indicadores de la contaminación, es decir, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos (SS).
- Reutilización: dependiendo del uso que se dará al efluente, se definirán los criterios para la reducción de DBO y SS y bacteriológica.

Los métodos de tratamiento convencionales (lodos activados o filtros de escurrimiento) usados en los países desarrollados consumen grandes cantidades de energía, además de usar equipos electromecánicos sofisticados y costosos, y necesitar de técnicos especializados para su adecuada operación y mantenimiento. Esos métodos no tienen éxito en los países en desarrollo, debido principalmente a la dificultad para operar y mantener esos equipos y de mantener un inventario de repuestos adecuado, además de las barreras para la obtención de recursos financieros para tal fin.

La mayoría de los países de clima tropical ofrece condiciones ideales para el tratamiento de las aguas residuales mediante procesos naturales, como es el caso de las lagunas de estabilización. Esto se debe principalmente a la temperatura ambiente.

La relación que existe entre las bacterias y las algas en una laguna de estabilización se presenta en la **(figura No. 6.)**.

Las bacterias descomponen la materia orgánica, formando nitrógeno inorgánico, NH_3 , fosfatos, PO_4 , y dióxido de carbono, CO_2 . Las algas usan estos compuestos, junto con la energía de la luz solar, para la fotosíntesis, liberando oxígeno para la solución. El oxígeno es, a su vez, asimilado por las bacterias, cerrando así el ciclo. El efluente de una laguna de estabilización contiene algas suspendidas, y el exceso de los productos finales de la descomposición bacteriana. Según Mendonca (1990), las principales ventajas de los sistemas de lagunas de estabilización son:

- Bajo costo.
- Necesitan poco o ningún componente importado.
- Nulo consumo energético.
- Simples de construir y de operar.
- Confiables y fáciles de mantener.
- Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas.
- Posibilidad de uso como sistemas reguladores para riegos.

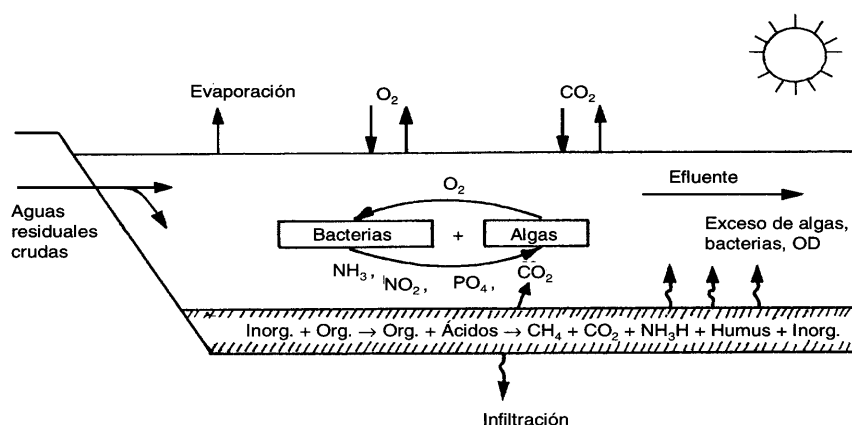
- Fácil adaptación a variaciones estacionales.
- Posibilidad de tratar vertimientos industriales fácilmente biodegradables (mataderos, lecherías, industrias de frutas, etc.)
- Elevada estabilización de la materia orgánica.
- Producen un efluente de alta calidad, con excelente reducción de microorganismos patógenos.

Las principales desventajas de los sistemas de tratamiento convencionales son:

- Alto costo.
- Necesitan componentes importados.
- Su construcción es compleja.
- Necesitan operadores especializados.
- Necesitan mantenimiento especializado y repuestos.
- Tienden a sobrecargarse.
- Elevado consumo de energía eléctrica.
- Pobre eliminación de microorganismos patógenos.

La única desventaja de las lagunas de estabilización es que requieren más terreno que cualquier otro tipo de tratamiento de aguas residuales. En general, las lagunas de estabilización pueden clasificarse en cuatro tipos: anaerobias, facultativas, de maduración y estrictamente aerobias o de alta tasa.

Figura No. 6. Ecosistema de lagunas facultativas.



Las lagunas anóxicas, según Saqqar y Pescod (1996), son un tipo de estado en que las lagunas anaerobias pueden funcionar. Las lagunas anóxicas, que pueden ser asumidas erróneamente

como lagunas anaerobias, son aquellas cuyo consumo de oxígeno por los microorganismos, en particular bacterias facultativas, es casi igual o levemente más grande que el oxígeno producido por las algas existentes. Estas lagunas se caracterizan por tres aspectos principales. Primero, las concentraciones diurnas de oxígeno disuelto (O_2) a profundidades mayores de 10 cm son casi siempre iguales a cero.

Las lagunas anóxicas comparten esta propiedad con las lagunas anaerobias. Segundo, excepto en lagunas primarias, hay algún aumento en la concentración de los sólidos suspendidos en el efluente de la laguna, comparada con el afluente de sólidos suspendidos. Esto indica la existencia de crecimiento de algas, lo cual también puede observarse por la presencia de un color verdoso o por mediciones positivas de clorofila en la laguna. Tercero, el valor del pH es más alto del que normalmente se encuentra en las lagunas anaerobias ($= 7 \pm 0,2$). La segunda y tercera condiciones, las cuales se observan típicamente en conjunto, ocurren normalmente en las unidades de lagunas facultativas.

Las tres condiciones deben ser satisfechas para que una laguna pueda clasificarse como anóxica. Si las condiciones segunda o tercera no pueden obtenerse, entonces esa laguna puede definirse como laguna anaerobia. La laguna puede cambiar a laguna facultativa cuando se da marcha atrás a la primera condición; la mayoría de las concentraciones diurnas de O_2 , (20 horas al día) superan un mg/l en la profundidad media útil de la parte superior (= mitad) de la laguna.

Las lagunas aerobias son aquellas en las cuales el O_2 puede detectarse totalmente a través de la columna de agua de la laguna durante la mayor parte del día (20 horas y más).

Las lagunas anaerobias se diseñan, siempre que sea posible, en asociación con lagunas facultativas o aireadas mecánicamente. Tienen la finalidad de oxidar compuestos orgánicos complejos antes del tratamiento, a través de los otros tipos de lagunas.

Las lagunas anaerobias no dependen de la acción fotosintética de las algas, pudiendo así construirse con profundidades más grandes que las de las otras lagunas, con variación de tres a cinco metros. Su área del nivel medio no debe exceder de cinco ha.

Las lagunas facultativas tienen profundidades que van de 1,5 a 2,5 metros, con áreas relativamente grandes. La profundidad mínima de las lagunas facultativas primarias debe ser igual a 1.5 metros, mientras que las facultativas secundarias no deben tener profundidades

inferiores a 1.2 metros. El área máxima de las lagunas facultativas no debe exceder de 15 ha. Funcionan a través de la acción de algas y bacterias, con la influencia de la luz solar y de la fotosíntesis. La materia orgánica contenida en los desechos se estabiliza, en parte, transformándose en materia más estable en forma de celdas de algas, y en parte, transformándose en productos inorgánicos finales que salen con el efluente.

Esas lagunas son llamadas facultativas, debido a las condiciones aerobias mantenidas en la superficie, liberan oxígeno, y a las condiciones anaerobias mantenidas en la parte inferior donde la materia orgánica se sedimentan, y son el tipo más usado.

Las lagunas de maduración tienen la principal finalidad de reducir los coliformes fecales (CF) contenidos en los desechos de las aguas residuales. Se construyen siempre, después del tratamiento completo, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional. Con adecuado dimensionamiento pueden conseguirse remociones de coliformes fecales mayores que 99.999%. Tienen profundidades menores que las lagunas facultativas, variando de 0,6 a 1,5 metros El área máxima de su nivel medio no debe sobrepasar de 2 ha.

Las lagunas estrictamente aerobias o de alta tasa de degradación son muy poco profundas, por lo general varían de 0.3 a 0.5 metros, su principal aplicación es la producción y cosecha de algas. Se diseñan para el tratamiento de aguas residuales decantadas. Constituyen un poderoso método para la producción de proteínas, por tanto, son de 100 a 1.000 veces más productivas que la agricultura convencional. Según Mará (1976), deberán usarse sólo como método de tratamiento de aguas residuales, cuando hubiera la factibilidad del reaprovechamiento de la producción de algas. Su operación exige personal capaz, y su uso se restringe a unidades experimentales. En este trabajo no se presentan mayores detalles.

2.31. Factores físicos, químicos y microbiológicos que intervienen en el mecanismo de auto dependencia de las lagunas de estabilización.

Existen varios factores que afectan las condiciones hidráulicas y biológicas de las lagunas de estabilización. Algunos de esos factores pueden tenerse en cuenta al elaborar un proyecto. Asimismo, existen otros factores que no son controlables por el hombre: fenómenos meteorológicos, como vientos, temperatura, precipitaciones pluviales, radiación solar y evaporación. Además de éstos, pueden considerarse las variaciones locales, como infiltración y características de las aguas residuales que recibirán el tratamiento.

Todos estos factores deben tenerse en cuenta para poder minimizar sus efectos. Previsiones como la escogencia adecuada de la localización de la laguna y del proyecto mismo pueden reducir el impacto causado por los factores no controlables por el hombre.

2.32. Fenómenos naturales no controlables en lagunas de estabilización

2.32.1. Acción de los vientos

La acción de los vientos es útil cuando es posible la homogeneización de la masa líquida, llevando oxígeno de la superficie a las capas más profundas, haciendo que el afluente y los microorganismos se dispersen en toda la extensión de esa masa. Auxilian el movimiento de las algas, principalmente de aquellas especies desprovistas de movimiento propio y consideradas grandes productoras de oxígeno, como las algas verdes del género *Chlorella*. Cuando la fotosíntesis no sea suficiente por existir déficit de oxígeno, el viento puede contribuir a la transferencia y difusión de oxígeno de la atmósfera hacia la masa líquida.

Siempre que sea posible, las lagunas deben construirse en lugares donde la acción de los vientos dominantes no esté en dirección de las viviendas. Las lagunas anaerobias, las cuales pueden expedir malos olores, como medida de precaución, deben construirse por lo menos a 500 ó 1.000 metros de la comunidad.

Si el lugar donde fueron construidas las lagunas está sujeto a vientos fuertes, la formación de ondas puede provocar erosión en los taludes internos. Normalmente esto puede ocurrir en lagunas con espejos de agua superiores a 10 hectáreas. Para prevenir esos efectos, los taludes deberán recibir protección 30 cm por debajo y por encima de los niveles mínimos y máximos del agua.

Los dispositivos de entrada y salida de las lagunas deben estar localizados de modo que la dirección de los vientos predominantes ocurra del efluente hacia el afluente. Esto hará que no se favorezca la formación de cortocircuitos en las lagunas, y evitará la salida de sobrenadantes en el efluente.

2.32.2. Temperatura

Las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que ocurren en las lagunas de estabilización son muy influenciadas por la temperatura. Es un parámetro que se relaciona con la radiación solar y afecta tanto la velocidad de la fotosíntesis como la del metabolismo de las bacterias responsables de la depuración de las aguas residuales. Esos fenómenos son retardados por las

bajas temperaturas. Por eso, el proyecto de las lagunas debe tener en cuenta siempre las condiciones de temperatura más adversas.

Una caída de 10 °C en la temperatura reducirá la actividad microbiológica en aproximadamente 50%. La actividad de fermentación del lodo no ocurre significativamente en temperaturas por debajo de 17 °C. Aumenta en actividad en proporción de cerca de cuatro veces por cada 5 °C de elevación de temperatura, entre 4 °C y 22 °C.

La producción óptima de oxígeno para algunas especies de algas en las lagunas facultativas se obtiene entre 20 y 25 °C, con valores límite superior e inferior, respectivamente, de 37 y 4 °C; sin embargo, se sabe que temperaturas más altas pueden tolerarse y que algunas especies de algas ya fueron observadas creciendo normalmente debajo de una capa de hielo. A partir de temperaturas próximas a 35 °C, la actividad fotosintética de las algas decrece. Las Chlorophytas (algas verdes) tienden a disminuir o desaparecer y las Euglénophytas (euglenas) pasan a predominar. Por encima de los 35 °C, prevalecen las Cyanophitas (algas azules) y particularmente las Oscillatorioides. Además, es probable que lagunas con temperaturas más altas sean más sensibles a choques hidráulicos o a repentinos aumentos de carga orgánica, con la consecuente menor eficiencia en la reducción de DBO. Los géneros más comunes de algas encontradas en las lagunas se presentan en la **(figura No. 7.)**

La actividad bacteriana se toma más intensa en temperaturas más altas, en las cuales el oxígeno disuelto es usado a una tasa mayor. Si la cantidad de oxígeno solicitada no se compensa por una producción más alta de oxígeno, las condiciones anaerobias pueden prevalecer y el efluente puede tomarse turbio, y aparecer malos olores.

La variación de temperatura del agua en las lagunas es menor que en el aire, en virtud de que la inercia térmica del agua es mayor que la del aire. La temperatura superficial del agua es casi siempre inferior a la del aire. Los cambios bruscos o repentinos en la temperatura pueden acarrear problemas de corta duración en las lagunas facultativas.

La actividad de las algas puede cesar después de una brusca disminución en la temperatura, originando sedimentación parcial de las mismas, lo que generará una aclaración en la coloración verdosa de las lagunas, acompañada de una disminución de su eficiencia.

Una súbita elevación de temperatura puede provocar un rápido aumento de las actividades de las bacterias aerobias y facultativas, una multiplicación del número de esas bacterias y, en

consecuencia, un mayor consumo de oxígeno que podrá no ser suplido por las algas, así ellas pasen por un proceso de desarrollo.

Se ha verificado, con relación a la calidad del efluente, que en los meses más fríos hay un aumento en la concentración de amonio y fósforo y una disminución de los sólidos en suspensión. Todos estos fenómenos están íntimamente relacionados con el decrecimiento de la actividad de las algas.

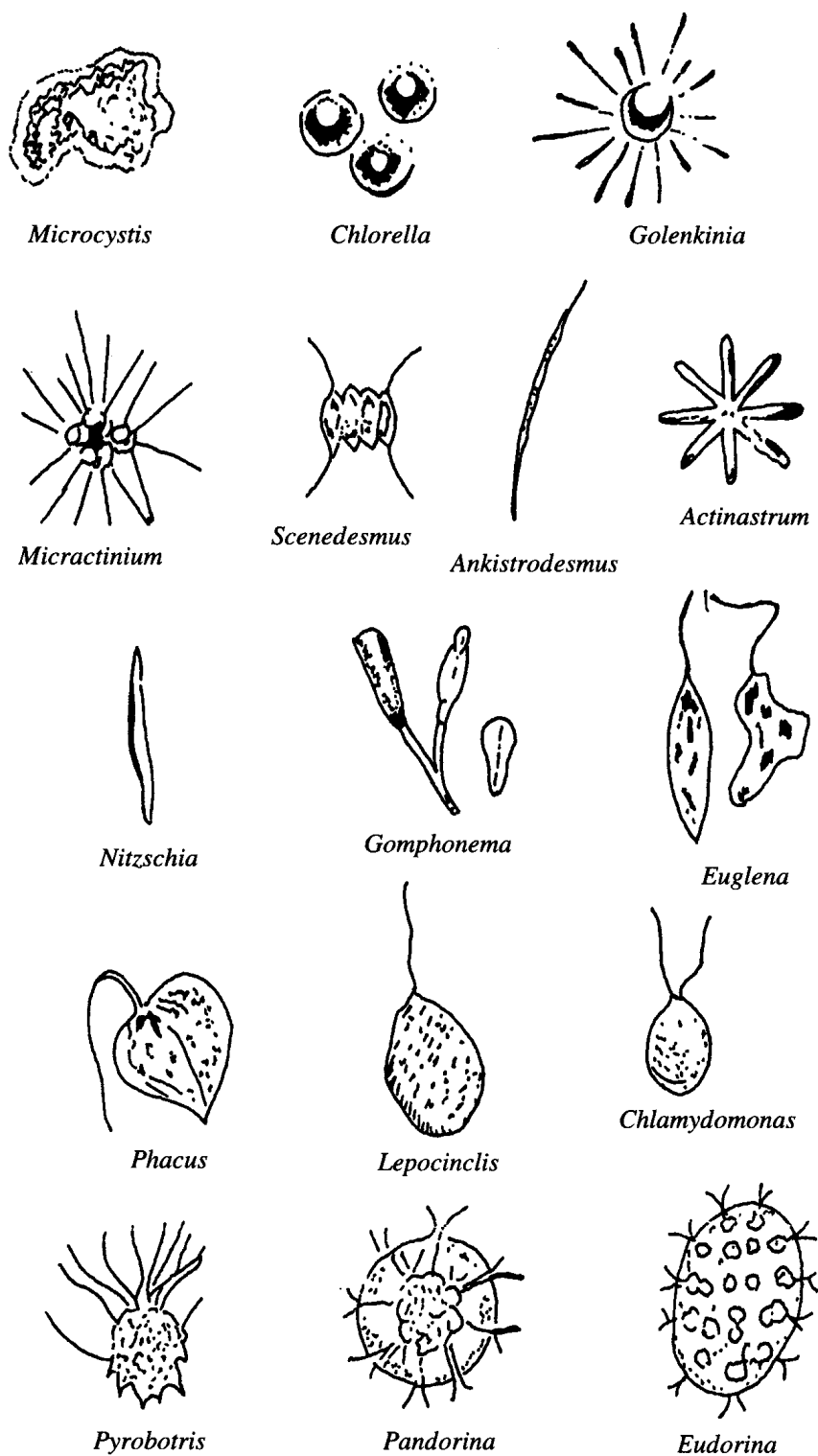
En el caso de las lagunas anaerobias, se ha comprobado que la temperatura del agua durante la noche es casi siempre constante para todo el volumen de la laguna, con una temperatura superficial levemente inferior a la media de aquella que la laguna presenta en las horas en que la temperatura ambiente es más baja. Por tanto, durante la noche, un flujo de calor se produce a partir de las capas inferiores, con temperaturas levemente mayores en la superficie. En algunas horas del día, cuando la temperatura ambiente supera la temperatura media del agua, ésta absorbe energía, originando el proceso de estratificación térmica. El gradiente térmico es mayor cuanto más elevada sea la temperatura ambiente en relación con la del agua.

Además, en lo que se refiere a las lagunas anaerobias, la temperatura del efluente de la laguna es superior a la temperatura media del agua e inferior a la temperatura superficial durante las horas diurnas; en la noche, por ejemplo, los tres valores son muy semejantes.

Como en una laguna de estabilización no existe temperatura uniforme, se torna más conveniente usar la expresión temperatura media de la laguna o temperatura superficial de la laguna, de acuerdo con el caso, a cambio de temperatura de la laguna.

Figura No. 7. Géneros más comunes de algas encontradas en lagunas de estabilización.

(Fuente: CETESB (1989))



2.32.3. Precipitaciones pluviales

Las precipitaciones pluviales media y máxima podrán tener alguna influencia en la actuación y confiabilidad de la laguna. El tiempo de detención podrá reducirse durante periodos de lluvia. Lluvias intensas pueden diluir el contenido de las lagunas poco profundas, afectando el alimento disponible para la biomasa. El aumento repentino del caudal podrá acarrear hacia el efluente grandes cantidades de sólidos, arrastre significativo de la población de algas y de materiales inorgánicos, principalmente arcilla. Sin embargo, la precipitación del agua lluvia directamente en el espejo de agua de la laguna no ha provocado efectos duraderos o perjuicios mensurables en las lagunas de estabilización.

Para minimizar esos problemas, las lagunas deben estar provistas de una caja de alimentación, con rebose lateral para desviar hacia el cuerpo receptor las contribuciones que excedan la capacidad de tratamiento de la instalación. Para contener inundaciones, las lagunas deben estar dotadas de zanjas desviadoras de aguas lluvia, que deberán mantenerse limpias y conservadas.

2.32.4. Radiación solar

La energía solar es indispensable para la operación efectiva de las lagunas facultativas, ya que contribuye a la producción de oxígeno por medio de la fotosíntesis de las algas. Sin embargo, la idea de que la velocidad de fotosíntesis aumenta sin límite en la medida que aumenta la radiación solar, no es cierta. De hecho, por encima de una determinada intensidad de radiación, la tasa de aumento de la fotosíntesis disminuye hasta que la producción de oxígeno alcance un nivel constante, una especie de límite de saturación. A partir de ese punto, la producción de oxígeno fotosintético no aumentará, así la radiación solar aumente. Para bajas intensidades de luz, la luz es un factor limitador en la producción de oxígeno; en cambio, para altas intensidades de luz, durante varias horas de sol en día claro, la temperatura es el factor que favorece la producción de oxígeno.

Las lagunas facultativas dependen de la radiación solar, la cual varía principalmente con la latitud. Además, otro factor significativo es la temperatura atmosférica. Las nubes y la nubosidad reducen la luz disponible en alguna medida, pero como ya se ha enfatizado, la luz solar directa no es esencial. La cantidad de luz solar disponible ayuda a determinar el área y la profundidad necesaria para una operación adecuada. La energía utilizada por las algas proviene principalmente de la parte visible del espectro de radiación solar, en particular entre longitudes de onda o color de 4.000 a 7.000 angstroms. Sólo 2 a 7% de esa radiación solar

visible es utilizado por las algas para acelerar la fotosíntesis, sin necesitar de una exposición continua a la energía solar. Para muchas algas, una intensidad mayor que 20.000 ergs/cm² afecta adversamente su crecimiento. Buenas condiciones de crecimiento de algas y de dispersión de oxígeno ocurren en los primeros 60 centímetros de profundidad.

2.32.5. Factores físicos

Los factores físicos están generalmente relacionados con el proyecto de las lagunas de estabilización, pudiendo ser controlados por el proyectista.

2.32.6. Área superficial

El área superficial de una laguna de estabilización se determina en función de la carga orgánica, por lo general expresada en términos de DBO₅, aplicada por día, principalmente para las lagunas facultativas.

En climas calientes, cargas orgánicas que varían de 150 a 400 kg DBO₅/ha-día se han usado con éxito en las lagunas facultativas. Las cargas más bajas se aplican a temperaturas del aire ambiente alrededor de 20 °C, y las más altas temperaturas, próximas a 30 °C. Las cargas superficiales que exceden de 200 a 250 kg DBO₅ /ha-día han sido objeto de problemas ocasionales de malos olores, en cuanto que las cargas que excedan 400 kg DBO₅/ha-día llevan probablemente a la anaerobiosis, es decir, ausencia de oxígeno disuelto y/o a una caída brusca en la eficiencia total del sistema.

Las lagunas anaerobias son diseñadas en función de las tasas volumétricas o a partir de los tiempos de detención previamente fijados.

La experiencia en otros países recomienda carga orgánica volumétrica de DBO₅ variando entre 100 a 400 g DBO₅/m³-día, tiempo de detención de tres a más días, láminas de agua de 3 a 5 metros y cargas orgánicas superficiales que varían de 1.000 a 6.000 kg DBO₅/ha.día.

2.32.7. Altura de la lámina líquida en lagunas de estabilización

Después de la construcción de las lagunas, éstas deben llenarse con aguas residuales o agua del cuerpo receptor por medio de bombeo, a una profundidad mínima de un metro. Si la lámina mínima de agua bajara hasta los 60 cm, probablemente habrá un desarrollo de plantas acuáticas y gran parte de la superficie de la laguna estará cubierta de vegetación que subirá por encima de la superficie del agua. La penetración de la luz se dificultará y la eficiencia de la laguna podrá caer a un nivel inaceptable. Podrá haber entonces proliferación de mosquitos.

Los mismos problemas podrán ocurrir durante los primeros meses de funcionamiento de la laguna, cuando su nivel aun esté bajo. Es aconsejable que la laguna se llene hasta llegar a un nivel normal de operación lo más rápidamente posible, aun cuando no sea con aguas residuales. Cuando el nivel del agua llega a un valor mayor que dos metros, la luz solar tendrá dificultad para alcanzar las capas inferiores, haciendo que la fotosíntesis se reduzca, desarrollando en el fondo de la laguna una gran capa anaerobia. que podrá perjudicar eventualmente el proceso.

En el caso de desechos industriales que funcionan de manera periódica, la lámina de agua debe mantenerse en un mínimo de 90 cm. Es necesario el mantenimiento mínimo de una laguna para impedir la exposición de los bancos de lodos a la atmósfera, evitando así la emanación de malos olores.

Cuando la tasa de infiltración en el suelo sea grande, podrá existir la posibilidad de contaminación del nivel freático, además de existir la dificultad de mantener el nivel en la laguna. Debe efectuarse la impermeabilización del fondo de la laguna, cuando el suelo presenta en su composición menos del 15% de arcilla, tierra violácea o tierra natural.

Dicho proceso puede hacerse utilizando arcilla compactada, revestimiento asfáltico o tela de polietileno. En suelos permeables existe una reducción gradual de la tasa de permeabilidad, en la medida en que los vacíos de éstos son ocupados por el lodo, por medio de la colmatación, generando así el impedimento total de la infiltración alrededor de los seis meses.

2.32.8. Cortocircuitos

La ocurrencia de cortocircuitos en las lagunas es la causa de varios problemas, como la aparición de zonas muertas o estancadas que reducen el volumen efectivo y el área superficial de la laguna, con la posibilidad de problemas de olor en las áreas sobrecargadas. La reducción de la eficiencia de la laguna es una consecuencia inevitable.

Las aguas residuales deben introducirse en la laguna abajo de la superficie, a una cierta distancia de su borde. Es aconsejable prever dos o más entradas a través de tuberías, y que la salida se instale lo más distante posible de la más próxima entrada. La salida de las lagunas debe estar ubicada en sentido contrario a la dirección de los vientos dominantes, facilitando así la disminución de materiales flotantes hacia el cuerpo receptor. Las corrientes de agua inducidas por los vientos son más propensas a la formación de cortocircuitos de lo que son

propiamente las posiciones relativas de entrada y salida. Lagunas con formas irregulares también contribuyen a la formación de cortocircuitos.

2.32.9. Mezcla

La distribución de las aguas residuales en una laguna debe ser lo más uniforme posible, para que pueda utilizarse todo el volumen de la laguna proyectada para el tratamiento, obteniendo así el tiempo de retención ideal. De esa manera, será posible evitar la formación de cortocircuitos o corrientes preferenciales y zonas muertas o regiones en donde las aguas quedan quietas.

- En las grandes lagunas, principalmente en las facultativas, pueden instalarse cortinas o mamparas plásticas, en forma de canales independientes o en forma de mamparas de flujo horizontal.
- El uso de esas mamparas o cortinas busca principalmente:
- La obtención de mejor tratamiento, dirigiendo el flujo del agua afluente cuidadosamente a través de la laguna y aumentando, en consecuencia, la utilización del área del espejo de agua.
- El impedimento o prevención de cualquier tendencia a la estratificación.

2.33. Factores químicos en lagunas de estabilización

2.33.1. Valor del pH

Tanto las lagunas anaerobias como las facultativas son operadas en forma eficiente con valores del pH ligeramente alcalino. Los desechos líquidos industriales con valores extremos del pH tendrán que pasar por tanques de neutralización para corregir el pH, antes de entrar a la laguna.

En países de clima tropical, las lagunas anaerobias con tiempos de detención de 1 a 5 días y profundidades superiores a 3 metros funcionan satisfactoriamente, con pH óptimo que varía de 7,0 a 7,2, con predominio de la fase metanogénica sobre la fase ácida de formación de ácidos volátiles.

En el caso de las lagunas facultativas, cuando el color de la laguna se presenta verde oscuro, el valor del pH probablemente será alcalino. Si el color es verde-amarillo o pálido, indica con certeza que se ha iniciado el proceso de acidificación.

El pH de una laguna facultativa varía a lo largo del día en las diferentes capas de la masa líquida, prevaleciendo valores más elevados en la superficie. Durante las primeras horas de la mañana, los valores del pH son bajos, debido a la presencia de exceso de gas carbónico (CO_2) producido por la respiración bacteriana aerobia durante la noche. Se vuelven más elevados en periodos comprendidos entre las 14 y 16 horas, cuando las algas se encuentran en plena actividad fotosintética. Durante la noche, el pH vuelve a declinar sensiblemente, pues, de un lado, las algas dejan de consumir gas carbónico, y de otro, éste continúa siendo producido por las bacterias.

2.33.2. Materiales tóxicos

Los materiales, tóxicos, como metales pesados, pesticidas, desinfectantes, sulfitos, desechos líquidos de industrias de antibióticos y otros residuos industriales contenidos en el afluente de las lagunas, deben eliminarse inicialmente, con la notificación del problema al órgano oficial de control del medio ambiente.

Las lagunas anaerobias son excelentes sistemas de tratamiento para la remoción de materiales pesados, a través del proceso de sedimentación, que ocurre naturalmente.

Las lagunas de estabilización, en general, son más sensibles a la presencia de sustancias tóxicas que cualquier otro tipo de tratamiento de aguas residuales. El tiempo de detención permite adaptación gradual de la biomasa a las sustancias inhibidoras, por medio de una selección natural. Las especies más resistentes sobreviven y se multiplican mientras que las más sensibles se eliminan.

2.33.3. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto, (OD), es el mejor indicador de una operación satisfactoria en una laguna facultativa o de maduración. La principal fuente de OD, utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica y en sus funciones respiratorias, proviene del oxígeno producido por la acción fotosintética de las algas. Sin embargo, la concentración de oxígeno disuelto puede caer a menos de 1 mg/L durante la madrugada, y algunas veces, después de un día claro y soleado. La completa reducción de oxígeno puede ocurrir también durante la noche, debido a un excepcional crecimiento de algas.

La capa superficial aerobia sirve para evitar que sean liberados gases malolientes producidos por la capa anaerobia. Puede seguir presentándose problemas de olor de vez en cuando en las

lagunas facultativas, a pesar de la presencia de oxígeno disuelto en la capa superficial. Por ejemplo, en el caso de desarrollo de algas verde-azuladas, a consecuencia de la elevada temperatura del agua o cuando las placas de lodo flotan en la superficie de una laguna, debido a que la temperatura del fondo ha aumentado rápidamente por encima de 22 °C, y pudo haber ocurrido una fuerte liberación de gas.

2.34. Factores microbiológicos en lagunas de estabilización

2.34.1. Nutrientes

Tanto las bacterias como las algas necesitan de una fuente de nutrientes para crecer y multiplicarse. Varios elementos son necesarios; por ejemplo, el carbono, el nitrógeno y el fósforo se requieren en mayor cantidad. Las aguas residuales domésticas contienen todos los nutrientes necesarios para mantener una comunidad de bacterias y algas. Cuando la materia orgánica es suficiente para un óptimo crecimiento bacteriano, automáticamente también es adecuada para que haya un desarrollo de una población de algas.

La relación carbono/ nitrógeno/ fósforo para un agua residual doméstica es del orden de 11,4:3,7:1, mientras que para el desarrollo y reproducción de algas esa razón es de 106:15:1. Para las bacterias aerobias, una relación aproximada de DBO/ nitrógeno/ fósforo está cerca de 100:5:1.

2.35. Fundamentos técnicos del diseño de lagunas de estabilización

Los modelos utilizados para el dimensionamiento de las lagunas de estabilización pueden clasificarse en empíricos y racionales.

Los modelos empíricos se basan en la observación de algunas características físicas y operacionales de lagunas que funcionan adecuadamente y presentan buenos índices de eficiencia. Sin embargo, no se establecen relaciones entre sus características funcionales y los factores que intervienen en el proceso de depuración. Los modelos empíricos tienen una aplicación limitada, pues se obtienen exclusivamente a partir de la observación experimental. Su gran ventaja está en que son sencillos y no necesitan parámetros difíciles de obtener.

La principal característica de un modelo racional es que sigue una teoría racional sobre el funcionamiento de las lagunas. En la práctica, se utilizan lagunas piloto o ensayos de laboratorio para determinar los parámetros que intervienen en los procesos característicos de cada una. Esos parámetros están relacionados con los resultados de operación, donde se

desarrollan expresiones o correlaciones matemáticas que describen el fenómeno y permiten reproducirlo en condiciones controladas. Normalmente, uno de los factores que interviene en el desarrollo de los modelos racionales es la temperatura de la masa líquida.

2.36. Lagunas anaerobias

La materia orgánica depositada en la parte inferior de las lagunas pasa por las siguientes fases: licuefacción y gasificación.

Durante la licuefacción las bacterias facultativas, formadoras de ácidos, convierten carbohidratos, proteínas y gases en ácidos grasos, por hidrólisis. Esto cambia la forma de la materia orgánica, sin que se presente reducción de DBO_5 . El material obtenido por la licuefacción a través de la difusión sube hacia las capas superiores, a no ser que haya condiciones favorables para la gasificación.

En la fase de gasificación las bacterias estrictamente anaerobias (formadoras de metano) convierten el carbono orgánico (C) en gas carbónico (CO_2) más metano (CH_4). De esta forma, se reduce la DBO_5 .

Las condiciones básicas para que exista actividad anaerobia en las lagunas de estabilización son: que no exista oxígeno disuelto (OD) en la zona inferior y que la temperatura sea mayor de 15°C . De esta forma, la remoción de DBO_5 , es más probable en países de clima tropical, con lagunas relativamente profundas.

Las lagunas anaerobias funcionan como un tanque séptico abierto y en ellas están presentes los mismos grupos de bacterias existentes en los pozos sépticos y en los digestores anaerobios.

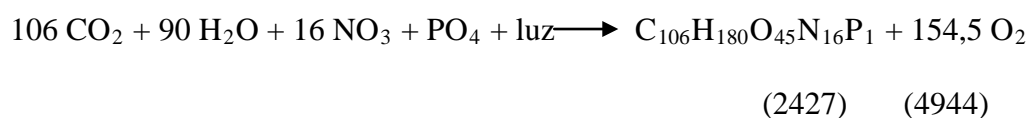
Los sulfatos contenidos en las aguas residuales son reducidos a sulfitos por aquellas bacterias que utilizan sulfato como un aceptador en sus reacciones catabólicas. Las bacterias típicas de este grupo son las *Desulfovibrio spp.* Para que haya condiciones favorables para su desarrollo, es necesario que la concentración de oxígeno sea menor de 0.16 mg/l , prácticamente condiciones anaerobias y temperaturas mayores de 15°C . La concentración máxima de sulfitos ocurre cerca del amanecer, cuando el oxígeno disuelto (OD) es mínimo y la anaerobicidad es máxima.

En términos prácticos, para disminuir la concentración de sulfitos, debe aumentarse el periodo de detención de la laguna facultativa. Ferreira (1988), a través de investigaciones en un sistema de laguna anaerobia seguida de laguna facultativa con contenidos de sulfitos hasta 11,6 mg/l (anaerobia) y 8,6 mg/l (facultativa), verificó que las algas no desaparecían. Pero, sin embargo, hubo inhibición en su crecimiento.

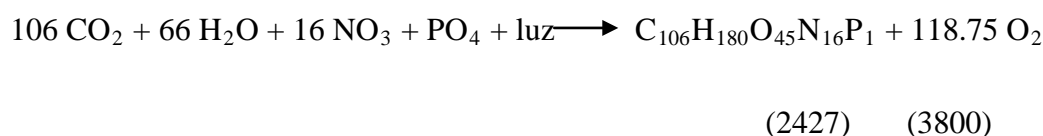
La gran ventaja de las lagunas anaerobias es poder oxidar elevadas cargas orgánicas con buenas reducciones de DBO₅ y SS, en áreas bastante reducidas. Por tanto, las lagunas anaerobias deben incluirse siempre en sistemas de lagunas de estabilización (con excepción de sistemas pequeños. Su principal desventaja es el olor producido principalmente por la liberación del sulfuro de hidrógeno (H₂S).

2.37. Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas pueden recibir aguas residuales crudas o decantadas, ya sea el efluente de una laguna anaerobia, un digestor anaerobio de flujo ascendente o un alcantarillado decantado. Por tanto, las lagunas facultativas pueden funcionar como primarias o secundarias. Existe una elevada concentración de distintas especies de microalgas en las lagunas facultativas, principalmente las microalgas que tienen movilidad y contienen cerca de 1.000 a 3.000 ug de clorofila por litro. Por tanto, las lagunas facultativas son o deberían ser verde oscuras. La simbiosis entre microalgas y bacterias es una realidad. Las algas producen oxígeno (O₂) que es usado por las bacterias heterotróficas, las cuales producen gas carbónico (CO₂) que, a su vez, es usado por las algas. La cantidad de algas en las lagunas de estabilización varía entre 40 y 30 mg/L (peso seco) o 10⁴ y 10⁶ por mililitro. La producción de algas por fotosíntesis necesita nitrógeno, fósforo y carbono, además de agua, de acuerdo con la ecuación 3.1.



Si el nitrógeno es retirado del amoníaco (NH₃), en vez de NO₃⁻, por las algas, la ecuación 3.1. podrá describirse así:



El crecimiento de las algas podrá representarse mediante la ecuación 3.3.



(3500) (4416)

(algas) (1) oxígeno (1,24)*

* En la práctica, este coeficiente varía de 1,25 a 1,75 g O/gramo de materia seca de algas producidas.

Por tanto, la producción de 150 kg algas/ha-día genera una producción de oxígeno de aproximadamente 200 kg O²/ha-día, o sea, 1,3g O²/gramo de materia seca de algas producida por 150 kg algas/ha-día.

Existe una fina capa de lodo en el fondo de las lagunas facultativas que reciben aguas residuales crudas. La intensa digestión anaerobia y la producción de gas carbónico (CO₂) y metano (CH₄) son responsables de la remoción hasta de 30% de DBO₅ en las lagunas facultativas. La remoción de la DBO₅ del efluente se debe principalmente a las algas, aproximadamente entre 60 y 90%. Ese tipo de materia orgánica es bastante distinto de la DBO₅ de las aguas residuales crudas.

La gran ventaja de las lagunas facultativas es que no producen malos olores. Su mayor desventaja es la gran área que ocupan. La reducción de DBO₅ de las lagunas facultativas es alrededor de 70 a 90%.

El esquema típico de lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales domésticas es el llamado sistema australiano. Consiste en dos lagunas en serie, siendo la primera anaerobia y la segunda facultativa.

En un mismo caso, un sistema de ese tipo tendrá siempre área menor que si se adoptara solamente una laguna facultativa. Además, la eficiencia del sistema australiano también es más grande, pero el esquema ideal sería un sistema con tres tipos de lagunas de estabilización en serie: anaerobia, facultativa y de maduración. La relación de áreas entre lagunas anaerobias y facultativas debe obedecer siempre a una relación menor que 1:3, para evitar variaciones bruscas de DBO₅.

2.38. Utilización de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales ⁵³

El desarrollo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el mundo, y en América Latina en particular depende en gran parte de sus costos de inversión y operación. Es la razón básica por la cual los sistemas anaerobios tienen tal auge en los países tropicales.

Con el aprovechamiento de los sub-productos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es posible cubrir parcial o totalmente sus costos de operación y en algunos casos particulares, amortizar la inversión en pocos años. Además, en el caso de las aguas residuales domésticas, este aprovechamiento puede crear un vínculo sano entre la planta y la comunidad vecina que se ve directamente beneficiada.

Los sub-productos de la plantas anaerobias son tres: El biogas, los lodos anaerobios (estabilizados) y el agua tratada. El tratamiento primario por su lado es también una fuente de subproductos potencialmente valiosos.

Resolver un problema de contaminación es generalmente un costo adicional de inversión y de operación para una industria o un municipio, sin beneficio económico alguno. Por esto es de algún modo un asunto de ricos, y a pesar de leyes nuevas y refinadas sobre el control de contaminación, las realizaciones prácticas en América Latina son escasas. Se debe en parte a la debilidad del Estado, a las prioridades de los usuarios, y en general a la falta de medios económicos en una economía abierta para soportar los costos de inversión de las plantas de tratamiento por un lado y los costos de operación por el otro.

Para poder transformar un vertimiento líquido en una fuente de negocio se requiere:

- Casi siempre el papel del Estado que multa e incentiva, actuando como un regulador del mercado (pues en la fecha los precios de mercado no incluyen componentes sociales y ambientales, razón por la cual el Estado debe intervenir).
- Plantas de tratamiento cuyos costos de operación sean bajos
- Plantas de tratamiento que generen sub-productos comercializables que pagan parcial o totalmente los costos de operación.

⁵³ www.bio-tec.net/esp/ref_extractores.html

2.39. Sub-productos de las PTAR⁵⁴

2.39.1. Los sub-productos del tratamiento primario

Una P.T.A.R. es casi siempre una combinación de tratamiento primario y secundario, y de vez en cuando terciario.

Antes del tratamiento anaerobio propiamente dicho (que de por sí combina el tratamiento primario (decantación) y secundario (estabilización)), hay casi siempre la necesidad de algún tratamiento físico-químico (decantación, flotación, tamizaje, etc.) que genera también sub-productos. En el caso de las aguas residuales industriales, suele recuperarse con este tratamiento previo parte de la materia prima del proceso desaprovechada por la fábrica: sangre, grasa, pulpa de papel, aceite, tripas, etc.

En varias industrias, la PTAR se ha rentabilizado en pocos años, o aún meses, por convertirse en un punto de vigilancia de la correcta operación de la fábrica, que se puede notar a través del gasto de agua y de la pérdida de materia prima.

2.39.2. Sub-productos del tratamiento anaerobio

2.39.2.1. El biogás:

- **PRODUCCION :**

Teórica: $0.35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ por kilo de DBO removida

Práctica: Entre 0.1 y 0.5 m^3 de biogás por kilo de DQO entrante, en función de la dilución de las aguas residuales, su biodegradabilidad, y el % de remoción logrado.

- **COMPOSICION :**

Entre el 48 % y 82 % de CH_4 en función del tipo de materia prima y del grado de acidificación del efluente.

El porcentaje de H_2S varía del 0.1 al 2 % (caso extremo) con un promedio del 0.2 %.

El resto es básicamente CO_2 y N_2 (en el caso de las ARD) que no aportan ni molestan. En consecuencia el poder calorífico inferior varía de 4.000 a 7000 Kcal. por m^3

- **USOS POTENCIALES :**

Cocina (estufas), alumbrado (lámparas de gas), motor de gasolina o diesel (para fuerza mecánica, riego, alumbrado), caldera, calentador de agua, etc.

⁵⁴ www.bio-tec.net/esp/ref_extractores.html

El uso que se le dará al biogás será función de su cantidad, calidad (% H_2S), las necesidades locales, la distancia al punto de consumo, el precio de la kilocaloría sustituida y el costo de la adaptación del equipo.

▪ **IMPLICACIONES TECNOLOGICAS DEL USO DEL BIOGAS :**

Captar el biogás, almacenarlo (opcional) y utilizarlo tiene un cierto costo, que en algunos casos se amortiza en pocos meses con las economías de combustible, pero en otros casos no tiene amortización ninguna por la baja producción de biogás, la ausencia de uso potencial, o el bajo precio del combustible sustituido (bagazo de caña, carbón, fuel-oil, etc.).

La recolección del biogás, rentable o no, es de todos modos necesaria por razones de olores (H_2S), y para evitar una contaminación atmosférica con el metano, por lo menos para producciones superiores a 50 m^3 por día.

Cabe resaltar que el gas metano es uno de los principales agentes responsables del calentamiento del planeta, razón por la cual en Europa se exige ahora que todos los rellenos sanitarios de basura recolecten y quemen en antorcha el biogás generado (con o sin aprovechamiento).

La tecnología anaerobia sin recolección de biogás es una forma de trastear la contaminación del agua al aire, y por esta razón está condenada a desaparecer. Sorprende que los Ministerios del Medio Ambiente en América Latina suelen todavía autorizar las lagunas anaerobias abiertas, particularmente las de alta producción de biogás como en el caso de las destilerías o de **las extractoras de aceite de palma**.

La captación del biogás implica tanques cubiertos (con concreto, fibra de vidrio, metal, PVC, etc.).

El almacenamiento del biogás se hace en gasómetros (campana flotante metálica o de fibra de vidrio, o “balones” de plástico). El almacenamiento del biogás se puede hacer encima de los reactores anaerobios o en unidades independientes.

La conducción del gas implica tuberías (generalmente en PVC), trampas de agua, trampas de llama (seguridad), gasómetro (opcional) para regular la presión y el caudal, medidores de caudal (contadores de gas) y medidores de presión.

Un tratamiento del biogás se realiza de vez en cuando para ciertos usos específicos:

- para alimentar un motor estacionario : eliminación del H_2S (con óxido de hierro o por sistema biológico)
- para comprimirlo a alta presión (botellas) y alimentar vehículos : eliminación del H_2S y del CO_2 (por lavado a presión o por tamiz molecular)

Cuando el biogás no puede ser aprovechado en algún quemador o motor, se quema al lado de la planta de tratamiento en una tea (antorcha).

Aun en caso de aprovechamiento del biogás, una tea sigue siendo necesaria como quemador “stand-by” en caso de parada momentánea del uso o de producción excesiva de biogás.

2.39.2.2. Lodos:

Los sistemas anaerobios presentan la enorme ventaja de generar un lodo estabilizado y de fácil deshidratación.

PRODUCCION:

aprox. 0.1 kg. S.T. por kg. S.T. entrando al reactor (y menos de la mitad cuando los sólidos del agua residual están en forma disuelta).

COMPOSICION APROX.:

- S.T. : 5 %
- S.V. : 3 %
- N : 2 % (de los S.T.)
- P_2O_5 : 1.5 %
- K_2O : 1 %

Esta composición depende por supuesto de las características del agua residual.

MERCADO/DISPOSICION :

El lodo líquido es de difícil manejo y costosa disposición (como todos los abonos orgánicos), a menos de contar con terrenos agrícolas circundantes.

En casi todos los casos es necesario incluir un sistema de deshidratación.

En caso de no poder aprovechar el lodo como abono orgánico, puede ser vertido a un relleno de basura.

2.39.3. Alternativas de procesamiento ⁵⁵

- Lechos de secado
- Filtro-banda, filtros-prensa, centrífugas, tambores rotatorios al vacío
- Secado térmico, Compostaje

Los lechos de secado son la tecnología mas común en el Trópico para la deshidratación de los lodos. Combinan 2 grandes ventajas : Bajos costos de inversión y producción de una torta (lodo seco) de muy baja humedad (15 a 20 %).

Sin embargo cuando el área disponible es limitada, o las cantidades de lodos son muy altas, o el olor generado por unos lechos pueden convertirse en factor limitante, se opta por alguno de los sistemas “mecánicos” que permiten transformar el lodo en una torta paleable fácil de almacenar y evacuar. Estas “tortas” tienen entre el 65 y el 85 % de humedad.

Cuando la planta de tratamiento es muy grande y el costo del transporte de la torta a zonas agrícolas y de aplicación al cultivo es alto, puede ser más económico proceder a un secado térmico en un tambor rotatorio. Este secado usualmente consume la totalidad de la producción de biogás.

Otra alternativa para reducir la humedad y aumentar el valor agrícola de la torta es su Compostaje. Para facilitar el Compostaje (aireación) se mezcla generalmente la torta de lodo con desechos fibrosos (viruta de madera, cascarilla, hojas, basura, etc.). En este caso se combinan planta de tratamiento de agua residual y planta de tratamiento de desechos sólidos.

2.39.4. Perspectivas de aprovechamiento ⁵⁶

Al momento de escoger el sistema de deshidratación, manejo y aprovechamiento de los lodos, debe de separarse el valor teórico del lodo y su precio de venta, que depende del valor del abono orgánico para el agricultor (se puede utilizar la gallinaza como punto de referencia), y de los costos de transporte y aplicación al cultivo.

2.39.5. El agua tratada :

El agua tratada, utilizada para riego agrícola, es a menudo el subproducto de mayor valor económico, pues contiene a la vez agua y nutrientes.

^{55, 56} www.bio-tec.net/esp/ref_extractores.html

Para calcular el valor de 1 m³ de agua tratada como fertilizante orgánico líquido, se suma el valor de cada componente.

Para determinar el valor de la materia orgánica, el método más confiable es calcular el valor del incremento de rendimiento versus una parcela vecina que recibe fertilización química y riego tradicional, y dividir este valor por el número de m³ de agua tratada aplicada.

Es claro que el valor de la materia orgánica por m³ depende de la riqueza inicial del suelo en materia orgánica, y del tipo de cultivo (y su precio de venta).

Un fertilizante orgánico no solo aporta los macronutrientes N,P,K, sino que :

- aporta también los otros macronutrientes (Ca, Mg, S) y todos los micronutrientes
- mejora las propiedades físicas del suelo (mejora la aireación, así como la retención del agua y de los nutrientes
- estimula la vida biológica de los suelos, incluyendo las bacterias de los suelos que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno del aire (azotobacteres, etc.)

Por estas propiedades, a dosis iguales de N,P,K, un fertilizante orgánico permite incrementos de rendimiento de 0 a 50 % (promedio de 7 % en cultivos industriales) versus fertilización química en función del tipo de suelo y de cultivo.

La experiencia en la fertilización orgánica permite en general estimar con bastante precisión el valor real de la materia orgánica, para un suelo y un cultivo dado, sin tener que esperar años de pruebas agronómicas.

El valor de los nutrientes presentes en el agua tratada se calcula sobre la base del precio comercial de estos nutrientes, a los cuales se debe añadir el costo de transporte hasta la finca, almacenamiento y aplicación sobre el cultivo

El agua tratada es en general el subproducto mas difícil de valorizar, pues en pocas oportunidades se dispone de tierras agrícolas aledañas, que requieran riego y tengan su sistema de riego implementado, y en pocas oportunidades se logra un acuerdo con el vecino para tal tipo de negocio.

Además no hay correlación entre la producción de efluente tratado (en general 24 h/día, 365 días por año), los requerimientos de riego del agricultor (solo en verano, 4 riegos al año, etc.) y su método de riego (el riego por inundación es poco eficiente y despilfarra agua y nutrientes).

Si la PTAR debe financiar el sistema de riego del vecino, el negocio se vuelve menos atractivo, pero sigue vigente, pues se puede implementar un sistema fijo de riego por hectárea, y una aplicación del agua tratada sobre los suelos puede ser considerada como un Post-tratamiento optimo, que resulta barato en inversión y en costos de operación comparado con los Post-tratamiento tradicionales. Y una aplicación agrícola controlada permite llegar a una descontaminación del 100 % , pues no hay vertimiento ninguno al río. Es también el único Post-tratamiento que genera ingresos netos.

En unos casos de aguas residuales industriales concentradas (que tiene un alto valor fertilizante por m³), se puede optar por su aplicación sobre los cultivos por carrotanque (esparcidor) en vez de sistema de riego. Sin embargo los costos de operación se incrementan y el margen de utilidad neta se reduce.

Usualmente con las aguas residuales industriales el componente de mayor valor es la materia orgánica, mientras para las aguas residuales domésticas son los nutrientes N y P.

2.39.6. Estudios de caso ⁵⁷

El Aprovechamiento De Los Sub-Productos De Los Biodigestores En La Industria De La Palma. Caso: Palmar Santa Elena, Tumaco, Colombia.

La industria de la palma es un caso favorable para el aprovechamiento de los 3 sub-productos del tratamiento anaerobio (biogás, lodo, efluente tratado), pues tiene requerimientos de energía para la fábrica y de fertilizante y materia orgánica para el cultivo.

En PALMAR SANTA ELENA, extractora de aceite construida en 1991 con biodigestores incluidos para el tratamiento de los efluentes (lodos) de la fábrica, se están valorizando los sub-productos de la siguiente manera :

LODOS (aprox. 2 T/semana) : Empaque en costales (bultos) y aplicación sobre la palma (aprovechando las idas y venidas de los carros que transportan la fruta).

Valor del lodo : aprox. \$ 30.000/T, o sea \$ 3.000.000 por año.

Teniendo en cuenta los costos de operación del sistema (purga, recolección del lodo seco de los lechos, empacada, cargada a los remolques, transporte y aplicación a las palmas) se

⁵⁷ **Conil P. Piedrahita Emilio:** “Experiencia de 5 años en la biodigestión y utilización de los efluentes de una extractora de aceite de palma en la región de Tumaco, Colombia”, 4° Seminario-Taller Latino-Americano de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Bucaramanga, Colombia, Nov. 1996

considera que los “ingresos” del lodo (\$ 3.000.000 anuales, obtenidos a través de una economía de fertilizantes químicos y de un incremento de rendimiento) sólo compensan los costos de operación, o sea que no hay realmente “utilidad neta” con el aprovechamiento del lodo (solo se paga la operación).

BIOABONO (= efluente tratado) : 80 m^3 por día

NOTA : la remoción de DQO y DBO está en el orden del 92 y 94 %

COMPOSICION : S.T. : 8 kg/m^3 DQO : 3 kg/m^3

N : 0.8 kg/m^3 P_2O_5 : 0.35 kg/m^3

Producción anual de nitrógeno : $0.8 \text{ kg.} \times 80 \text{ m}^3/\text{día} \times 265 \text{ día/año} = 16.500 \text{ kg./año}$

Superficie potencial para fertilización : $16.500 : 165 \text{ kilos N/ha.-año} = 100 \text{ ha.}$

PALMAR SANTA ELENA decidió instalar un sistema de riego fijo por micro-aspersión en su finca “La Italia” contigua a la fábrica, que tiene una extensión aprox. de 100 ha, suelos muy pobres y había sido sembrada con palma a finales de los años 80. La palma se había quedado atrofiada y parasitada, tanto por deficiencias de suelo como por falta de mantenimiento, y cuando empezó el riego (1993) estaba todavía raquítica e invadida por las malezas.

Con un valor de \$ $2.300/\text{m}^3$ (US\$ 2.3), el bioabono tiene para PALMAR SANTA ELENA un valor potencial de \$ 48.000.000 al año.

La inversión en el sistema de riego por micro-aspersión, sobre una extensión inicial de 20 hectáreas, fue de US\$ 16.000 (US\$ 800/ha). Dos operarios manejan el sistema, cuyo consumo de electricidad es de 7 kW (7.400 kWh/año para un riego de $80 \text{ m}^3/\text{día}$).

Entre personal y electricidad el costo de operación es de unos US\$ 6.000 al año.

El sistema es en consecuencia muy rentable, aunque :

a) Una extensión de 20 ha es demasiado limitada y no permite aprovechar el valor fertilizante del bioabono: sobre-dosificación, o sea fertilización inútil versus rendimientos.

Con la aplicación de 200 m^3 de bioabono por ha y año, se puede economizar la fertilización química (con excepción del boro (micro-nutriente)), o sea una economía de \$ 260.000 por ha,

y se logran incrementos de rendimiento de unos 30 %, o sea 2.4 T de fruta/ha (\$ 200.000 por ha y por año). Entre el uno y el otro la economía es de \$ 460.000 por ha y por año.

Con 20 hectáreas de riego, la economía es de “solo” \$ 9.200.000 al año.

PALMAR SANTA ELENA ya diseñó el ensanche del sistema de riego para cubrir 60 ha. Esta extensión estaba prevista para principios de 1996, pero los problemas de comercialización del aceite de palma en Colombia durante el año 1996 aplazaron esta inversión.

b) La implementación de un sistema de riego por micro-aspersión por etapas de 20 ha era debida al carácter innovador de tal sistema para la aplicación de efluente anaerobio.

Esta primera etapa enseñó las bases de esta tecnología, entre otros :

- las mangueras deben ser todas enterradas
- hay un desarrollo espectacular de malezas que tienden a tapar los aspersores
- los aspersores deben de estar a min. 60 cm del nivel del suelo para poder regar por encima de las malezas
- la fertilización orgánica de las malezas implica un sobre costo de limpieza de los lotes y de plateo de la palma
- tanto el tractor como los operarios que hacen limpiezas a mano con machete acostumbran a cortar las mangueras; deben ser capacitados; debe de existir un servicio de mantenimiento permanente
- los micro-aspersores tienden a taparse con grasa (aceite) y con lodo del biodigestor. Por esta razón se construyó un tanque decantador/flotador después del biodigestor, y se implementó un sistema de lavado de las mangueras y aspersores con agua fresca durante 15 a 20 minutos por día al terminar el riego con bioabono.
- se requiere de una supervisión del sistema en el campo, pues en su defecto las fallas se multiplican y no se corrigen

Teniendo en cuenta que la fertilización de un cultivo, así como su riego, son técnicas totalmente independientes del manejo de una PTAR, es aconsejable entregar este manejo a un equipo independiente, y capacitarlo al uso de estas nuevas tecnologías, razón por la cual es sano montar el sistema por etapas.

En PALMAR SANTA ELENA el sistema de riego con bioabono está en operación desde el año 1993.

BIOGAS :

Producción : 800 m³/día (34 m³/hora)

Composición : Metano 65 % CO₂ : 34 % H₂S : 0.18 %

En las extractoras de aceite de palma, no hay necesidad de fuente alterna de energía para la caldera, pues ésta es alimentada por las fibras de la palma, que es otro sub-producto del proceso, o sea que el costo del combustible para la fábrica es nulo.

Los únicos requerimientos importantes de combustible provienen de las plantas eléctricas (diesel) que suministran la electricidad requerida por el proceso (+/- 200 kW) y el alumbrado. El consumo de ACPM (combustible diesel) de la planta principal es de aprox. 10 gal./hora (80 galones por día). Para aprovechar el biogás BIOTEC decidió adaptar la planta eléctrica a gas, por sistema Dual-Fuel. Para esto se inyecta el gas al motor por la tubería de alimentación en aire. El sistema DUAL permite alimentar el motor con los dos combustibles al mismo tiempo (ACPM y gas) en una proporción escogida. La ventaja del sistema es su bajo costo de adaptación y su gran versatilidad (la planta eléctrica puede pasar del funcionamiento DUAL al funcionamiento tradicional ACPM en unos pocos segundos). Su inconveniente es la economía limitada de combustible, del orden del 50 %, para evitar todo riesgo de aceleramiento del motor en caso de pico de consumo. Existen unos dispositivos que permiten regular la entrada de gas en función de la carga del motor, y permiten economizar hasta el 85 % del combustible diesel, pero por su costo superior (+/- US\$ 5.000) se descartó en una primera etapa.

La operación de la planta eléctrica por sistema DUAL mostró ser práctica y eficiente, y no ha creado problema alguno a la planta eléctrica. La economía de ACPM es de 5 galones por hora = 40 galones por día = 10.600 galones por año = US\$ 11.000 por año.

La planta eléctrica consume solo 40 m³ de gas por hora (280 m³ por día), lo que significa que existe un gran excedente (520 m³/día) no valorizado, que se quema de noche en una tea.

Su valorización sería un buen negocio para PALMAR SANTA ELENA, pero no hay consumo de energía a 3 km. a la redonda. Se está estudiando un proyecto de distribución de este gas al caserío mas cercano (Candelillas), y de distribución a las viviendas (aprox. 250) para cocinar. Este proyecto es factible y social y económicamente atractivo, pero requiere de un cierto grado de coordinación y apoyo del sector público, que dificultan su implementación.

2.40. Marco Legal

2.40.1. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI De la Calidad Ambiental - Anexo 1 Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua ⁵⁸

- **4.2.** Criterios generales para la descarga de efluentes.
- **4.2.3.** Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina.
- **4.2.3.2** Se prohíbe todo tipo de descarga en:
 - a) Las cabeceras de las fuentes de agua.
 - b) Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y,
 - c) Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.
- **4.2.3.7** Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla No. 2.).

TABLA 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0

⁵⁸ TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria)

Tabla No. 2. : Continuación

Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0

Tabla No. 2. : Continuación

Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorado s totales	mg/l	0,05
Organofosforado s totales	Concentración de organofosfora dos totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

Tabla No. 2. : Continuación

Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.

2.40.2. Código Penal: De Los Delitos Contra El Medio Ambiente ⁵⁹

Art. 437 B.- El que infringere las normas sobre protección del ambiente, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare o pudiere causar perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, el potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad, será reprimido con prisión de uno a tres años, si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido.

Art. 437 C.- La pena será de tres a cinco años de prisión, cuando:

- a) Los actos previstos en el artículo anterior ocasionen daños a la salud de las personas o a sus bienes;
- b) El perjuicio o alteración ocasionados tengan carácter irreversible;
- c) El acto sea parte de actividades desarrolladas clandestinamente por su autor; o,
- d) Los actos contaminantes afecten gravemente recursos naturales necesarios para la actividad económica.

⁵⁹ Código Penal Ecuatoriano

Art. 437 E.- Se aplicará la pena de uno a tres años de prisión, si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido, al funcionario o empleado público que actuando por sí mismo o como miembro de un cuerpo colegiado, autorice o permita, contra derecho, que se viertan residuos contaminantes de cualquier clase por encima de los límites fijados de conformidad con la ley; así como el funcionario o empleado cuyo informe u opinión haya conducido al mismo resultado.

CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL

El agua residual industrial que se dispondrá a la PTRLI (Planta de Tratamiento para Residuos Líquidos Industriales) de la Planta extractora de aceite de palma “Atahualpa” es un fluido cuya característica principal es el gran contenido de materia orgánica.

Para la caracterización del efluente a tratar se han registrado parámetros in-situ como pH, temperatura y el caudal, los cuales son complementados con análisis en laboratorio de aceites y grasas, DQO (demanda química de oxígeno), sólidos totales, sólidos suspendidos y densidad, que servirán como base de datos principal para el diseño de los sistemas que constituyen la PTRLI

3.1. Procedimientos y métodos de ensayo

3.1.1. Plan de muestreo

A fin de obtener información general de las descargas líquidas residuales industriales de la planta extractora, se planificó el muestreo de tal manera que fuera posible realizar el muestreo en momentos de puesta en marcha de planta (muestra #1), en momentos de producción al completa (muestra #2) y la toma de muestras con la planta parada (muestra #3). Con fines de obtener datos representativos se realizó, por cada muestreo, diez muestras simples de un litro cada una y con intervalos de diez minutos, para cada muestra simple se midieron el pH, temperatura, y caudal, de tal manera que se complete una muestra compuesta de diez litros, la cual servirá para los análisis de laboratorio y posteriormente, con los datos obtenidos someterlos al análisis estadístico por el método de Hansen el cual nos indicara las condiciones de diseño a seguir sobre la base del percentil diez.

Como complemento para la presente investigación se realizaron cuatro muestreos simples en el río el Diablo, en el cual se descargan las aguas residuales industriales después de atravesar por un sistema de piscinas que se encuentran totalmente colmatadas, por lo que no cumplen ninguna función. Dos muestras fueron tomadas antes de la descarga del efluente residual industrial y dos muestras después de dicha descarga. Los parámetros medidos fueron los mismos que se tomaron en cuenta para la caracterización del efluente industrial.

3.1.1.1. Recolección de muestras

La recolección de las muestras se inicio con la ubicación del sitio de muestreo, el cual se encuentra en la desembocadura del canal que dirige el efluente hasta las piscinas de tratamiento, como se muestra en la **(fotografía No. 7.)**, allí se instalo un vertedero metálico triangular de 90° el cual nos proporciona datos de caudal y mantiene el flujo en régimen laminar como se muestra en la **(fotografía No. 8.)**

Fotografía No. 7. Ubicación del lugar de muestreo y posterior colocación de vertedero.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Fotografía No. 8. Recolección de muestras en canal de descarga con vertedero triangular de 90° y flujo en régimen laminar. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



Las muestras fueron recolectadas en un envase plástico resistente altas temperaturas y que se hallaba marcada con la medida exacta de un litro. Una vez tomada la muestra se registran parámetros in-situ como pH, temperatura y Caudal, e inmediatamente se coloca el litro de muestra en un envase con capacidad de 20 litros a fin de completar 1 muestra compuesta de 10 litros, envase que previamente fue lavado con agua limpia y enjuagado con el mismo efluente que posteriormente fue muestreado.

Para la recolección en el río el Diablo se estableció tomar dos muestras antes de la descarga del efluente residual industrial y dos muestras después de dicha descarga. Los parámetros medidos fueron los mismos que se tomaron en cuenta para la caracterización del efluente industrial.

Las muestras fueron recolectadas mediante una botella plástica previamente lavada, la muestra fue tomada a un metro de la orilla y a 20 centímetros de profundidad.

3.1.1.2. Preservación de muestras

Finalizado el muestreo, el envase en que se encuentra el agua residual industrial se la cierra fuertemente para lograr hermeticidad, evitando que el oxígeno pueda alterar la concentración de cualquiera de los parámetros a ser medidos; en todos los muestreos se intento llenar al

máximo los envases hasta que se derrame el líquido de manera que no exista aire residual en el envase.

Dado que las muestras pueden sufrir cambios en un determinado tiempo sin preservación, se tomaron las medidas necesarias para mantener la muestra en estado original, hasta ser transportadas a los laboratorios de la Universidad Internacional SEK en la ciudad de Quito en donde fueron analizadas lo antes posible.

El método utilizado para la preservación de las muestras, en las que se analizaría parámetros como DQO y aceites y grasas fue mezclar con 2 ml de H_2SO_4/L y en refrigeración. Los análisis en ninguno de los casos superaron las 48 horas de almacenamiento.

3.1.2. Métodos de análisis

3.1.2.1. Análisis de pH y temperatura

Para el análisis de pH y temperatura in-situ se utilizó un equipo marca Hatch, como se muestra en la **(fotografía No. 9.)**

Para la correcta utilización de dicho equipo es necesario seguir los siguientes pasos.

- Verificar que el equipo se encuentre con su batería cargada.
- Verificar que está correctamente calibrado.
- Conectar en su parte superior la sonda que mide pH y Temperatura.
- Prender el equipo y esperar pocos segundos hasta que entre en funcionamiento
- Introducir la sonda en el recipiente con la muestra.
- Presionar el botón “leer”
- Esperar la señal de que los datos se han estabilizado.
- Leer y tomar nota
- La sonda debe ser lavada con agua destilada después de cada medición.

Fotografía No. 9. Utilización de equipo Hatch en medición de muestras in-situ. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/01/2005)



3.1.2.2. Método para análisis de DQO (demanda química de oxígeno)

Método de reflujo abierto / método de titulación

Para niveles mayores de 50 mg/l de demanda química de oxígeno:

1. Realizar una dilución de la muestra de 1:100.
2. Transferir una muestra de 10 ml de la dilución a un balón de destilación de 250 ml.
3. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercurico (aproximadamente 0.2 g)
4. Algunas perlas de vidrio.
5. Adicionar una alícuota de 10 ml de disolución estándar de $K_2Cr_2O_7$ 0.0417 M “0.25 N” (dicromato de potasio) y mezclar mediante un movimiento circular.
6. En un matraz diluir 0.16 g de Ag_2SO_4 (sulfato de plata) en 15 ml de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado.
7. Añadir la disolución de Ag_2SO_4 y H_2SO_4 al balón, mezclando para disolver el $HgSO_4$. Enfríese mientras se mezcla para evitar la posible pérdida de materiales volátiles.
8. Conectar al balón al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.
9. Calentar el balón que contiene la mezcla y mantener en reflujo durante 2 horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Como se muestra en la **(fotografía No. 10.)**
10. Retirar el balón del equipo condensador y enfriar a temperatura ambiente.

11. Aforar con agua destilada al doble de la cantidad de la mezcla.
 12. Agregar de 2 a 3 gotas de solución indicadora Ferroina.
 13. Determinar el exceso de $K_2Cr_2O_7$ Titulando con disolución de sulfato ferroso amoniacal 2,25 M (SAF).
 14. Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Como se muestra en la (**fotografías No. 11., 12. y 13.**)
 15. Llevar simultáneamente un testigo preparado con agua destilada en la misma cantidad de la muestra, y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.
- *Se puede utilizar cantidades menores de muestra conservando la proporción de los reactivos.

Cálculos:

Los resultados de DQO deben ser expresados en $mg\ O_2 / L$, mediante la ecuación:

$$DQO = \frac{(V1-V2)M*8000}{V3}$$

Donde,

V1 = volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo.

V2 = volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.

V3 = volumen en ml de la muestra.

M = la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

Fotografía No. 10. Equipo de reflujo de 2 horas en análisis de DQO. (Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



Fotografía No. 11. Coloración inicial en proceso de titulación en análisis de DQO.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



Fotografía No. 12. Coloración intermedia en proceso de titulación en análisis de DQO.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



Fotografía No. 13. Coloración final en proceso de titulación en análisis de DQO. (Fuente:

Gustavo Viteri, 11/04/2005)



3.1.2.3. Medición de aceites y grasas

La medición de aceites y grasas de las muestras tomadas se la realizo mediante el método de extracción Soxhlet, para lo cual se han utilizado los siguientes materiales y procedimiento:

Materiales:

- ✓ Vaso de precipitación
- ✓ Aproximadamente 3 gramos de algodón
- ✓ Dedal de extracción para equipo Soxhlet
- ✓ Papel filtro
- ✓ Clips
- ✓ Equipo Soxlet
- ✓ Estufa
- ✓ Balón de fondo plano
- ✓ Balanza electrónica
- ✓ Placa de calentamiento

Procedimiento:

1. Identificar la muestra correspondiente.
2. Recubrir el interior de un vaso de precipitación con aproximadamente 3 gramos de algodón.
3. Colocar 100 ml de muestra liquida homogenizada dentro el vaso de precipitación forrado con algodón, cubriéndola con algodón. El algodón colocado evitara que la muestra liquida no se pegue en las paredes del vaso de precipitación una vez que estén secas.
4. Colocar el vaso de precipitación que contienen la muestra liquida en la estufa a 105 °C por un tiempo de 10 horas para eliminar el exceso de humedad, se debe controlar constantemente con motivo de evitar que el algodón se pegue al vaso de precipitación.
5. Retirar el algodón con la muestra casi seca del vaso de precipitación e introducirlo en un dedal de extracción. Sellar con papel filtro y asegurarlo con clips para evitar el desprendimiento de partículas de muestra seca. Como se muestra en la **(fotografía No. 14.)**
6. Introducir el dedal de extracción lleno con la muestra en el equipo Soxlet.
7. Pesar un balón de fondo plano totalmente seco. Registrar valor.

8. Colocar una cantidad aproximada de 150 ml de cloroformo en el balón de fondo plano e incorporarlo al equipo de extracción Soxlet previamente armado.
9. Prender la fuente de calor para iniciar la extracción deseada, durante 2 horas, hasta que el cloroformo de reflujo contenga el aceite extraído. Como se muestra en la **(fotografía No. 15.)**
10. Terminada la extracción se retira el dedal y se desarma el equipo Soxlet; en el mismo balón se arma el equipo de destilación, para recuperar de esta manera el cloroformo que ha extraído el aceite de la muestra.
11. Una vez que en el balón solo queda una pequeña costra, que es el aceite contenido en la muestra, se lo introduce en la estufa a 105 °C por 5 horas, mínimo, a fin de eliminar todo rastro de humedad y cloroformo sobrante.
12. Enfriar el balón a temperatura ambiente dentro de la campana de enfriamiento.
13. Pesar el balón con la muestra seca. Registrar valor.

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

Fotografía No. 14. Dedal listo para extracción de aceites y grasas en equipo Soxlet.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



Fotografía No.15. Sistema de extracción de aceites y grasas en equipo Soxlet.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



3.1.2.4. Método para análisis de sólidos totales

Materiales:

- ✓ Crisol de porcelana
- ✓ Muestra líquida homogenizada
- ✓ Estufa a 105 °C
- ✓ Balanza eléctrica
- ✓ Campana de enfriamiento

Procedimiento:

1. Colocar un crisol en la estufa a 105 °C a fin de eliminar por completo la humedad del mismo por aproximadamente 1 hora. Como se muestra en la **(fotografía No. 16.)**
2. Enfriar el crisol a temperatura ambiente dentro de un desecador.
3. Pesar el crisol vacío, seco y a temperatura ambiente. Registrar el valor.
4. Colocar 25 ml de muestra homogenizada en el crisol.
5. Colocar el crisol con la muestra en la estufa por 24 horas con el fin de evaporar todo el contenido de agua de la muestra y dejar únicamente los sólidos secos.
6. Enfriar el crisol con el residuo seco en la campana de enfriamiento.

7. Pesar el crisol con el residuo seco. Registrar el valor.
8. Restar los valores registrados.

La diferencia de peso entre el crisol vacío y el crisol con el residuo seco es la cantidad de sólidos totales en 25 ml de muestra, por lo que el resultado será expresado en unidades de concentración como partes por millón (ppm o mg/L) de sólidos totales.

Fotografía No. 16. Crisoles en estufa a 105 °C para determinación de Sólidos Totales.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



3.1.2.5. Método para análisis de sólidos suspendidos:

Para dichos análisis se utilizó el método gravimétrico (diferencia de pesos).

Materiales:

- ✓ Papel filtro cualitativo
- ✓ Embudo de vidrio
- ✓ Muestra líquida homogenizada
- ✓ Estufa a 105 °C
- ✓ Balanza eléctrica
- ✓ Campana de enfriamiento

Procedimiento:

1. Pesar el papel filtro vacío y seco a temperatura ambiente. Registrar el valor.
2. Filtrar 25 ml de muestra homogenizada. Como se muestra en la **(fotografía No.17.)**
3. Colocar el papel filtro con los residuos filtrados en la estufa a 105 °C por 24 horas con el fin de evaporar todo el contenido de agua de la muestra y dejar únicamente los sólidos secos.

4. Enfriar el papel filtro con los residuos secos en un desecador.
5. Pesar el papel filtro con los residuos secos. Registrar el valor.
6. Restar los valores registrados.

La diferencia de peso entre el papel filtro vacío y el papel filtro con los residuos secos es la cantidad de sólidos suspendidos en 25 ml de muestra, por lo que el resultado será expresado en unidades de concentración como partes por millón (ppm o mg/L) de sólidos suspendidos.

Fotografía No. 17. Papel para determinación de Sólidos Suspendidos.

(Fuente: Gustavo Viteri, 11/04/2005)



3.1.2.6. Método para análisis de densidad

Materiales:

- ✓ Balón de 250 ml
- ✓ Muestra homogenizada
- ✓ Balanza electrónica

Procedimiento:

1. Pesar el balón vacío y seco. Registrar el valor.
2. Colocar 100 ml de muestra homogenizada.
3. Pesar el balón con la muestra. Registrar el valor.

La diferencia de peso entre el balón vacío y el balón con la muestra, y esto dividido para el volumen de muestra da como resultado la densidad de la muestra.

3.2. Datos experimentales

3.2.1. Caracterización físico-química del efluente

Las tablas presentadas a continuación, muestran de los datos recogidos en campo como pH, temperatura y caudal, así como los datos obtenidos a través de análisis y cálculos de laboratorio que incluyen parámetros como la concentración de aceites y grasas, DQO (demanda química de oxígeno), sólidos totales, sólidos suspendidos y densidad. Para dicha caracterización fueron tomadas 3 muestras compuestas en la desembocadura del canal a la piscina de tratamiento biológico. De igual manera se tomaron dos muestras simples antes de la descarga del efluente y dos después del mismo.

3.2.1.1. Primer muestreo

Cuadro No. 1. Caudal, pH y Temperatura

FECHA: 11/01/2005					
LUGAR: Extractora Atahualpa "desembocadura a laguna de oxidación"					
PERIODO ENTRE MUESTRA: (10 min.)					
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)	Nivel Efluente (m)	Caudal en (l/s)
1	1:50 p.m.	6,23	51,60	0,07	1,83
2	2:00 p.m.	6,24	52,00	0,05	0,80
3	2:10 p.m.	6,26	51,30	0,05	0,88
4	2:20 p.m.	6,21	52,20	0,05	0,72
5	2:30 p.m.	6,15	53,30	0,05	0,80
6	2:40 p.m.	6,10	51,20	0,06	1,15
7	2:50 p.m.	6,11	57,00	0,05	0,80
8	3:00 p.m.	6,10	55,10	0,05	0,61
9	3:10 p.m.	6,11	53,00	0,05	0,72
10	3:20 p.m.	6,12	52,20	0,04	0,46
Promedio		6,16	52,89	0,05	0,84
Observaciones: las muestras fueron tomadas en arranque normal de planta					

Cuadro No. 2. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	112.5107	112.7780	0.2673	2673
2	114.4748	114.7330	0.2582	2582
3	123.3900	123.6500	0.2600	2600
4	125.5000	125.6900	0.1900	1900
5	140.2500	140.5500	0.3000	3000
			Promedio	2551

Cuadro No. 3. DQO (demanda química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	2.15	85000
2	1.45	99000
3	2.9	70000
5	0.7	114000
Promedio		92000

Cuadro No. 4. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	27.3029	28.4205	1.1176	44704
2	31.2670	32.3745	1.1075	44300
3	29.5007	30.6153	1.1146	44584
4	24.0424	25.1547	1.1123	44492
5	22.8389	23.9798	1.1409	45636
Promedio				44743

Cuadro No. 5. Sólidos Suspendedos

Filtro #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	0.9713	1.6828	0.7115	28460
2	0.9878	1.6982	0.7104	28416
3	0.9698	1.6972	0.7274	29096
4	0.9931	1.7112	0.7181	28724
5	0.9761	1.695	0.7189	28756
Promedio				28690

Cuadro No. 6. Densidad del Efluente

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
52.67	154.00	101.33	1.01

3.2.1.2. Segundo muestreo

Cuadro No. 7. Caudal, pH y Temperatura

FECHA: 15/04/2005					
LUGAR: Extractora Atahualpa "desembocadura a laguna de oxidación"					
PERIODO ENTRE MUESTRA: (10 min.)					
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)	Nivel Efluente (m)	Caudal en (l/s)
1	9:55 a.m.	8,90	62,20	0,085	2,97
2	10:05 a.m.	8,89	64,60	0,081	2,63
3	10:15 a.m.	8,97	63,60	0,082	2,71
4	10:25 a.m.	8,97	62,60	0,080	2,55
5	10:35 a.m.	8,98	64,20	0,078	2,40
6	10:45 a.m.	8,98	63,80	0,078	2,40
7	10:55 a.m.	9,02	66,20	0,075	2,17
8	11:05 a.m.	9,03	65,50	0,070	1,83
9	11:15 a.m.	9,08	65,20	0,068	1,71
10	11:25 a.m.	9,10	65,80	0,072	1,96
Promedio		8,99	64,37	0,08	2,31
Observaciones: las muestras fueron tomadas al 100% de funcionamiento de la planta y fue mezclado detergente utilizado para la limpieza del nuevo caldero					

Cuadro No. 8. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	114.4765	114.6100	0.1335	1335
2	123.8800	124.3500	0.4700	4700
3	114.4770	114.9115	0.4345	4345
4	114.4774	114.9160	0.4386	4386
5	140.2537	140.7120	0.4583	4583
			Promedio	3869

Cuadro No. 9. DQO (demanda química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	3.85	106000
2	3.85	106000
3	2.7	129000
4	2.3	137000
Promedio		119500

Cuadro No. 10. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	22.8262	23.6449	0.8187	32748
2	31.2661	32.0887	0.8226	32904
3	29.4995	30.3225	0.823	32920
4	27.2992	28.1183	0.8191	32764
5	24.0358	24.8748	0.839	33560
			Promedio	32979

Cuadro No. 11. Sólidos Suspendidos

Muestra #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	0.9509	1.4401	0.4892	19568
2	0.9628	1.4443	0.4815	19260
3	0.9810	1.4593	0.4783	19132
4	0.9688	1.4591	0.4903	19612
5	0.9777	1.4735	0.4958	19832
			Promedio	19480

Cuadro No. 12. Densidad de efluente

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
66.65	166.10	99.45	0.99

3.2.1.3. Tercer muestreo

Cuadro No. 13. Caudal, pH y Temperatura

FECHA: 04/05/2005					
LUGAR: Extractora Atahualpa "desembocadura a laguna de oxidación"					
PERIODO ENTRE MUESTRA: (10 min.)					
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)	Nivel Efluente (m)	Caudal en (l/s)
1	1:00 p.m.	6,33	64,20	0,0780	2,40
2	1:10 p.m.	6,35	74,50	0,0820	2,71
3	1:20 p.m.	6,48	65,30	0,1010	4,55
4	1:30 p.m.	6,55	53,50	0,1010	4,55
5	1:40 p.m.	6,50	47,00	0,0650	1,52
6	1:50 p.m.	6,38	47,30	0,0600	1,25
7	2:00 p.m.	6,71	50,80	0,0450	0,61
8	2:10 p.m.	6,24	50,50	0,0450	0,61
9	2:20 p.m.	6,15	52,00	0,0480	0,72
10	2:30 p.m.	6,39	57,20	0,0500	0,80
Promedio		6,41	56,23	0,07	1,67
Observaciones: las muestras fueron tomadas en apagado normal de la planta					

Cuadro No. 14. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	114.4749	115.5138	1.0389	10389
2	128.6500	129.8283	1.1783	11783
3	123.9000	125.0508	1.1508	11508
4	140.4980	141.4230	0.9250	9250
5	114.5213	115.6060	1.0847	10847
			Promedio	10755

Cuadro No. 15. DQO (demanda química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	6.9	45000
2	5.5	73000
3	6.2	59000
4	6.1	61000
5	6.4	55000
Promedio		58600

Cuadro No. 16. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	20.3637	21.2902	0.9265	37060
2	19.7525	20.5643	0.8118	32472
3	29.4998	30.3044	0.8046	32184
4	22.5103	23.373	0.8627	34508
5	17.0680	17.9056	0.8376	33504
			Promedio	33945

Cuadro No. 17. Sólidos Suspendidos

Muestra #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	Ppm
1	0.9618	1.4185	0.4567	18268
2	0.9613	1.4498	0.4885	19540
3	0.9462	1.432	0.4858	19432
4	0.9535	1.4785	0.525	21000
5	0.9555	1.5129	0.5574	22296
			Promedio	20107

Cuadro No. 18. Densidad de efluente

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
97.59	196.93	99.34	0.99

3.2.2. Caracterización físico-química del agua del río antes y después de la descarga

Las tablas presentadas a continuación, muestran de los datos recogidos en campo como pH, temperatura y caudal, además se incluyen los datos obtenidos a través de análisis y cálculos de laboratorio que incluyen parámetros como la concentración de aceites y grasas, DQO (demanda química de oxígeno), sólidos totales, sólidos suspendidos y densidad. Para dicha caracterización se tomo dos muestreos simples antes y después de la descarga en el río Diablo, a fin de conocer si existe contaminación proveniente de empresas aguas arriba y los niveles en que se encuentra aguas abajo después de la descarga de la extractora “Atahualpa”.

3.2.2.1. Primer muestreo

3.2.2.1.1. Antes de la descarga de aguas residuales industriales.

Cuadro No. 19. pH y Temperatura

FECHA: 15/04/2005			
LUGAR: Extractora Atahualpa "Río el Diablo"			
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)
1	11:35 a.m.	6,71	26,10
Observaciones: el caudal del río era muy elevado			

Cuadro No. 20. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	128.6100	128.6300	0.0200	200
2	140.2586	140.2770	0.0184	184
			Promedio	192

Cuadro No. 21. DQO (demanda química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	9.1	10
2	9.08	14
Promedio		12

Cuadro No. 22. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	0.9522	0.9557	0.0035	140
2	0.9520	0.9554	0.0034	136
			Promedio	138

Cuadro No. 23. Sólidos Suspendidos

Muestra #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	24.0379	24.0399	0.002	80
2	29.4995	29.5021	0.0026	104
			Promedio	92

Cuadro No. 24. Densidad

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
97.5863	192.8000	95.2137	0.95

3.2.2.1.2. Después de la descarga de aguas residuales industriales.**Cuadro No. 25. pH y Temperatura**

FECHA: 15/04/2005			
LUGAR: Extractora Atahualpa "Río el Diablo"			
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)
1	11:40 a.m.	6,16	27,50
Observaciones: el caudal del río era muy elevado			

Cuadro No. 26. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	123.4000	123.7300	0.3300	3300
2	114.4775	114.7780	0.3005	3005
			Promedio	3152

Cuadro No. 27. DQO (demando química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	8.09	212
2	8.08	214
	Promedio	213

Cuadro No. 28. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	0.9524	0.9577	0.0053	212
2	0.9533	0.9584	0.0051	204
			Promedio	208

Cuadro No. 29. Sólidos Suspendidos

Muestra #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	27.2994	27.3023	0.0029	116
2	31.2661	31.2694	0.0033	132
			Promedio	124

Cuadro No. 30. Densidad

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
97.5863	194.9500	97.3637	0.97

3.2.2.2. Segundo muestreo

3.2.2.2.1. Antes de la descarga de aguas residuales industriales.

Cuadro No. 31. pH y Temperatura

FECHA: 04/05/2005			
LUGAR: Extractora Atahualpa "Río el Diablo"			
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)
2	2:40 p.m.	7,31	28,00
Observaciones: el caudal del río era bajo			

Cuadro No. 32. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	165.3500	165.3715	0.0215	215
2	114.4745	114.4966	0.0221	221
Promedio				218

Cuadro No. 33. DQO (demanda química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	9.05	20
2	9.00	30
Promedio		25

Cuadro No. 34. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	0.9612	0.9731	0.0119	476
2	0.9662	0.9795	0.0133	532
Promedio				504

Cuadro No. 35. Sólidos Suspendidos

Muestra #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	22.8263	22.8297	0.0034	136
2	27.2993	27.3030	0.0037	148
			Promedio	142

Cuadro No. 36. Densidad

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
103.9869	202.2300	98.2431	0.98

3.2.2.2. Después de la descarga de aguas residuales industriales.**Cuadro No. 37. pH y Temperatura**

TOMA DE MUESTRAS SIMPLES DEL RÍO DESPUES #3			
FECHA: 04/05/2005			
LUGAR: Extractora Atahualpa "Río el Diablo"			
Muestra #	Hora	pH	Temperatura (°C)
2	2:45 p.m.	6,34	28,00
Observaciones: el caudal del río era bajo			

Cuadro No. 38. Aceites y Grasas

Muestra #	Balón sin muestra (g)	Balón con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	140.3000	140.8600	0.5600	5600
2	112.5113	113.0692	0.5579	5579
			Promedio	5589

Cuadro No. 39. DQO (demando química de oxígeno)

Muestra #	Volumen de SAF (ml)	DQO (ppm)
1	7.1	410
2	7.25	380
	Promedio	395

Cuadro No. 40. Sólidos Totales

Muestra #	Crisol sin muestra (g)	Crisol con muestra seca (g)	Diferencia (g)	Ppm
1	0.9553	0.9735	0.0182	728
2	0.9815	1.0009	0.0194	776
			Promedio	752

Cuadro No. 41. Sólidos Suspendidos

Muestra #	Filtro sin muestra (g)	Filtro con muestra seca (g)	Diferencia (g)	ppm
1	31.2667	31.2833	0.0166	664
2	24.0385	24.0537	0.0152	608
			Promedio	636

Cuadro No. 42. Densidad

Balón vacío (g)	Balón con muestra líquida	Diferencia	Densidad (g/ml)
105.5979	204.4300	98.8321	0.99

CAPITULO IV: CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Cálculos

4.1.1. Cálculo del caudal

Para el calculo del caudal se utilizara la formula descrita a continuación, en dicha formula el único dato necesario es la altura de la vena de agua en el vertedero triangular de 90 °, el cual fue registrado en cada muestreo simple que se realizó.

Calculo de caudal en vertedero triangular de 90° *

$$Q = 1.34 * H^{2.48} \quad (1)$$

Donde:

Q = es el caudal del efluente en metros cúbicos por segundo

H = es la altura de la vena de agua sobre el vertedero de 90° en metros

Ejemplo:

Si la altura de la vena de agua sobre el vertedero es de 0.08 metros:

$$Q = 1.34 * H^{2.48}$$

$$Q = 1.34 * 0.08^{2.48}$$

$$Q = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s} * (1000 \text{ L} / 1\text{m}^3)$$

$$Q = 2.5513 \text{ L/s}$$

* Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.

4.1.2. Cálculo de DQO (demanda química de oxígeno)

Para el cálculo de DQO se aplica la siguiente Ecuación:

Calculo de DQO

$$DQO = \frac{(V_1 - V_2) * M * 8000}{V_3} * D \quad (2)$$

Donde,

V1 = volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo.

V2 = volumen en ml de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra.

V3 = volumen en ml de la muestra.

M = la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

D = dilución a la que se realizó la muestra

Ejemplo:

V_1 (ml)	V_2 (ml)	V_3 (ml)	Moles / litro	D
9.15	3.85	100	0.24	100

Mediante la aplicación de los datos en la ecuación general, tenemos que:

$$DQO = \frac{(9.15ml - 3.85ml) * 0.25 * 8000}{10ml} * 100$$

Una vez realizadas las operaciones y simplificadas las unidades, se obtiene la concentración de DQO en el efluente, la cual es:

$$DQO = 106000 \text{ ppm}$$

4.1.3. Cálculo de aceites y grasas

La concentración de aceites y grasas se la determina por medio del siguiente cálculo:

Calculo de aceites y grasas

$$\boxed{W_{BA/G} - W_{BV} = W_{A/G}} \quad (3)$$

Donde:

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

W_{BV} = Peso del balón vacío y seco, g

$W_{A/G}$ = Peso del aceite en la muestra analizada

Ejemplo:

$W_{BA/G}$	W_{BV}
114.9115 g	114.4770 g

Mediante la resta obtenemos:

$$W_{A/G} = 114.9115 - 114.4770$$

$$W_{A/G} = 0.4345 \text{ g}$$

Para determinar la concentración de aceite en el efluente, se debe transformar los 0.4345 gramos de aceite a miligramos por litro (ppm), para ello se debe realizar la siguiente conversión:

$$W_{A/G} = 0.4345 \text{ g} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = 434.5\text{mg}$$

Tomando en cuenta que se ensayaron 100 ml de muestra de efluente para realizar el respectivo análisis, podemos decir que existen 434.5 mg de aceite por cada 100 ml de muestra y conociendo que un litro equivale a 1000 ml, la transformación sería la siguiente:

$$C_A = \frac{W_{A/G}}{V_M} * \frac{1000\text{ml}}{1\text{L}}$$

Donde:

V_M = Volumen de la muestra, ml

C_A = Concentración de aceite en el efluente, mg/l o en ppm

Una vez realizadas las operaciones y simplificadas las unidades, se obtiene la concentración de aceites y grasas en el efluente, la cual es:

$$C_A = \frac{434.5mg}{100ml} * \frac{1000ml}{1L}$$

$$C_A = 4345.00 \text{ ppm}$$

4.1.4. Cálculo de la concentración de sólidos totales

El calculo para concentración de sólidos totales se da por diferencia de pesos, se registra el peso del crisol vacío, totalmente seco y posteriormente se obtiene el peso del crisol mas el residuo seco, se resta el valor del crisol con la muestra seca menos el valor del crisol vacío y el resultado es la cantidad de sólidos totales contenidos en la muestra analizada:

Calculo de Sólidos Totales

$$P_{ST} = P_{(C+M)} - P_{(C)} \quad (4)$$

Donde:

P_{ST} = Peso de sólidos totales, g

$P_{(C+M)}$ = Peso del crisol de mas residuo seco, g

$P_{(C)}$ = Peso del crisol vacío, g

Es decir:

$$P_{(C+M)} = 30.3225 \text{ g}$$

$$P_{(C)} = 29.4995 \text{ g}$$

Entonces realizando la operación:

$$P_{ST} = 30.3225 \text{ g} - 29.4995 \text{ g}$$

$$P_{ST} = 0.823 \text{ g}$$

En la obtención de sólidos totales en el efluente se debe transformar el peso de los sólidos totales de gramos a ppm o mg/l, para lo cual primero se debe transformar los gramos a miligramos:

$$P_{ST} = 0.823 \text{ g} * \left(\frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} \right) = 823.0 \text{ mg}$$

Dado que se tomaron 25 ml de muestra entonces se puede decir que por cada 25 ml de efluente hay 823.00 mg de sólidos totales los cuales deben ser calculados en ppm, por lo que seria:

$$C_{ST} = \left(\frac{P_{ST}}{V_M} \right) * \left(\frac{1000\text{ml}}{1\text{L}} \right)$$

Donde:

V_M = Volumen de la muestra en mililitros

C_{ST} = Concentración de sólidos totales del efluente en ppm

Sustituyendo los valores de P_{ST} y del volumen de muestra en operación se obtiene la concentración de sólidos totales en el efluente:

$$C_{ST} = \left(\frac{823.0\text{mg}}{25\text{ml}} \right) * \left(\frac{1000\text{ml}}{1\text{L}} \right)$$

$$C_{ST} = 32920.00 \text{ (mg/l) o (ppm)}$$

4.1.5. Cálculo de sólidos suspendidos

El calculo para concentración de sólidos suspendidos se da por diferencia de pesos, se registra el peso del papel filtro vacío, totalmente seco y posteriormente se obtiene el peso del papel filtro mas el residuo seco, se resta el valor del papel filtro con la muestra seca menos el valor del papel filtro vacío y el resultado es la cantidad de sólidos suspendidos contenidos en la muestra analizada:

Calculo de Sólidos Suspendidos

$$P_{SS} = P_{(P+M)} - P_{(P)} \quad (5)$$

Donde:

P_{SS} = Peso de sólidos suspendidos, g

$P_{(P+M)}$ = Peso del papel filtro mas residuo seco, g

$P_{(P)}$ = Peso del papel filtro vacío, g

Es decir:

$$P_{(P+M)} = 1.6972g$$

$$P_{(P)} = 0.9698g$$

Entonces realizando la operación:

$$P_{SS} = 1.6972 \text{ g} - 0.9698g$$

$$P_{SS} = 0.7274 \text{ g}$$

En la obtención de sólidos suspendidos en el efluente se debe transformar el peso de los sólidos suspendidos en gramos a ppm o mg/l, para lo cual primero se debe transformar los gramos a miligramos:

$$P_{SS} = 0.7274 \text{ g} * \left(\frac{1000mg}{1g} \right) = 727.4 \text{ mg}$$

Dado que se tomaron 25 ml de muestra entonces se puede decir que por cada 25 ml de efluente hay 727.4 mg de sólidos suspendidos los cuales deben ser calculados en ppm, por lo que seria:

$$C_{ss} = \left(\frac{P_{ss}}{V_M} \right) * \left(\frac{1000ml}{1L} \right)$$

Donde:

V_M = Volumen de la muestra en mililitros

C_{ss} = Concentración de sólidos suspendidos del efluente en ppm

Sustituyendo los valores de P_{ss} y del volumen de muestra en operación se obtiene la concentración de sólidos suspendidos en el efluente:

$$C_{ss} = \left(\frac{727.4mg}{25ml} \right) * \left(\frac{1000ml}{1L} \right)$$

$$C_{ss} = 29096. (mg/l) \text{ o } (ppm)$$

4.1.6. Cálculo de densidad

El calculo de densidad se lo realiza restando el peso de un balón de fondo plano vacío y totalmente seco, menos el valor del mismo balón con una alícuota de 100 ml de muestra homogenizada, y e dividido para el volumen de muestra.

Calculo de Densidad

$$\delta = (P_{(B+M)} - P_B) / V \quad (6)$$

Cuando:

$$P_B = 52.67 \text{ g}$$

$$P_{(B+M)} = 154.00 \text{ g}$$

$$V = 100 \text{ ml}$$

Donde:

δ = Densidad

P_B = Peso del balón vacío en mg/L

$P_{(B+M)}$ = Peso del balón mas muestra mg/L

V = Volumen de muestra en ml

Aplicando los valores en la formula:

$$\delta = (154.00 \text{ g} - 52.67)/100$$

$$\delta = 1.0133 \text{ g/ml}$$

4.1.7. Cálculo estadístico empleado al método de Hansen

Para la correcta aplicación del método estadístico de Hansen se ha creado un cuadro con todos los valores a ser tratados. Las tablas presentadas a continuación han sido realizadas en el programa Excel 2003.

Cuadro No. 43. Resultados agrupados para todas las muestras simples.

Muestra	PARÁMETROS						
	Caudal	Temperatura	pH	Sólidos Totales	Sólidos suspendidos	Aceites y Grasas	DQO
	l/s	°C		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	1,83	52	6,23	44704	28460	2673	85000
2	0,80	52	6,24	44300	28416	2582	99000
3	0,88	51	6,26	44584	29096	2600	70000
4	0,72	52	6,21	44492	28724	1900	114000
5	0,80	53	6,15	45636	28756	3000	106000
6	1,15	51	6,10	32748	19568	1335	106000
7	0,80	57	6,11	32904	19260	4700	129000
8	0,61	55	6,10	32920	19132	4345	137000
9	0,72	53	6,11	32764	19612	4386	45000
10	0,46	52	6,12	33560	19832	4583	73000
11	2,97	62	6,33	37060	18268	10389	59000
12	2,63	65	6,35	32472	19540	11783	61000
13	2,71	64	6,48	32184	19432	11508	55000
14	2,55	63	6,55	34508	21000	9250	
15	2,40	64	6,50	33504	22296	10847	
16	2,40	64	6,38				
17	2,17	66	6,71				
18	1,83	66	6,24				
19	1,71	65	6,15				
20	1,96	66	6,39				
21	2,40	64					
22	2,71	75					
23	4,55	65					
24	4,55	54					
25	1,52	47					
26	1,25	47					
27	0,61	51					
28	0,61	51					
29	0,72	52					
30	0,80	57					

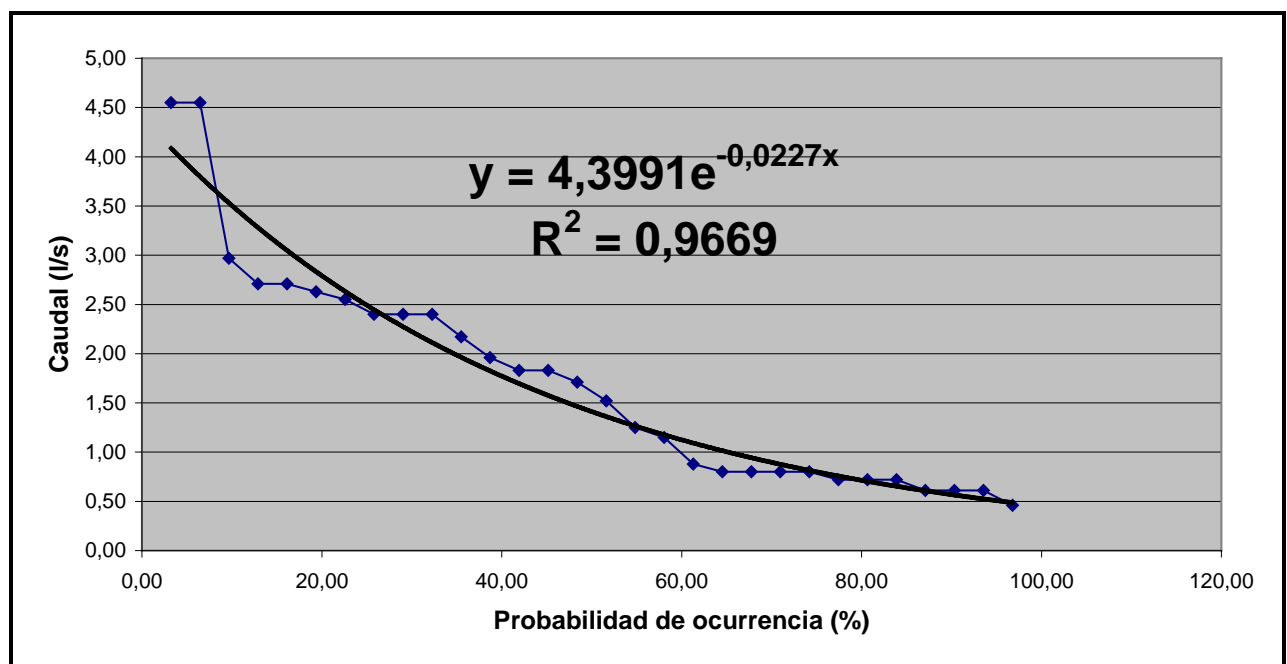
Cuadro No. 44. Análisis estadísticos de los resultados Caudal.

No. De Orden	Caudal (l/s)	Caudal en orden descendente (l/s)	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	1,83	4,55	3,23
2	0,80	4,55	6,45
3	0,88	2,97	9,68
4	0,72	2,71	12,90
5	0,80	2,71	16,13
6	1,15	2,63	19,35
7	0,80	2,55	22,58
8	0,61	2,40	25,81
9	0,72	2,40	29,03
10	0,46	2,40	32,26
11	2,97	2,17	35,48
12	2,63	1,96	38,71
13	2,71	1,83	41,94
14	2,55	1,83	45,16
15	2,40	1,71	48,39
16	2,40	1,52	51,61
17	2,17	1,25	54,84
18	1,83	1,15	58,06
19	1,71	0,88	61,29
20	1,96	0,80	64,52
21	2,40	0,80	67,74
22	2,71	0,80	70,97
23	4,55	0,80	74,19
24	4,55	0,72	77,42
25	1,52	0,72	80,65
26	1,25	0,72	83,87
27	0,61	0,61	87,10
28	0,61	0,61	90,32
29	0,72	0,61	93,55
30	0,80	0,46	96,77
$y = 4,3991e-0,0227x$			

Valores Persistentes	
10	3,50
25	2,49
50	1,41
90	0,57
Valores Notables	
Mínimo	0,46
Máximo	4,55
Promedio	1,73

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
3,5 (l/s)

Gráfico No. 1. Probabilidad de ocurrencia para los valores de caudal



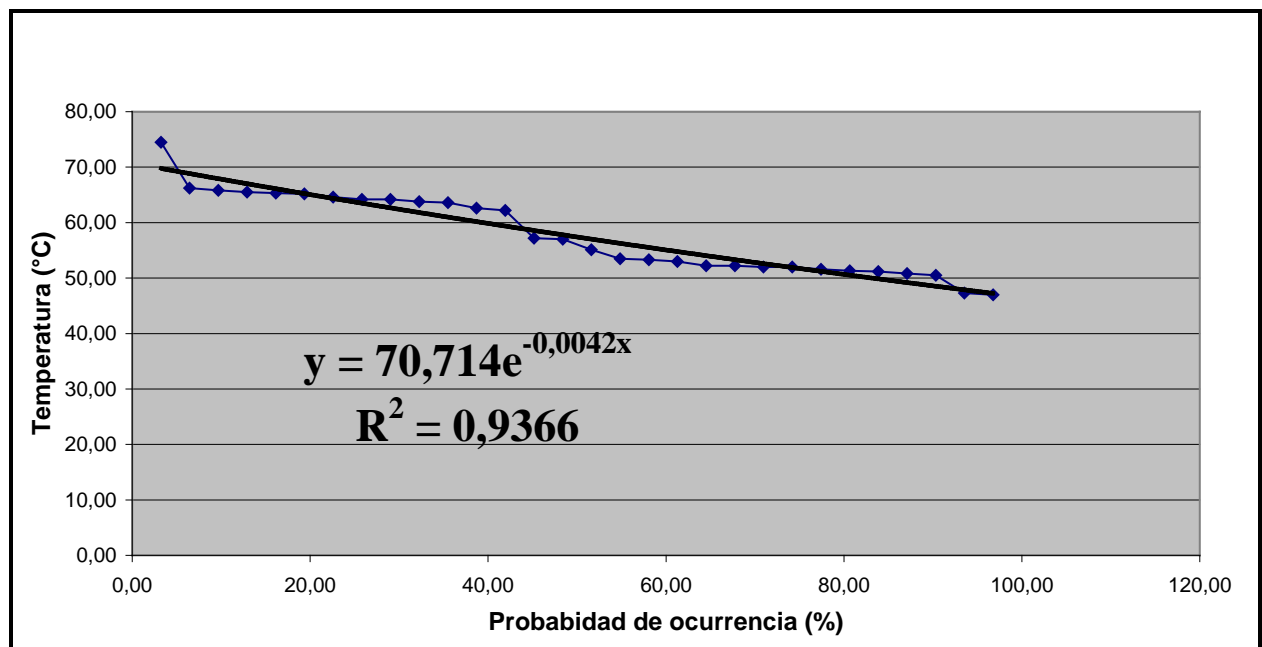
Cuadro No. 45. Tabla de resultados de valores de Temperatura.

No. De Orden	Temperatura (°C)	Temperatura en orden descendente (°C)	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	51,60	74,50	3,23
2	52,00	66,20	6,45
3	51,30	65,80	9,68
4	52,20	65,50	12,90
5	53,30	65,30	16,13
6	51,20	65,20	19,35
7	57,00	64,60	22,58
8	55,10	64,20	25,81
9	53,00	64,20	29,03
10	52,20	63,80	32,26
11	62,20	63,60	35,48
12	64,60	62,60	38,71
13	63,60	62,20	41,94
14	62,60	57,20	45,16
15	64,20	57,00	48,39
16	63,80	55,10	51,61
17	66,20	53,50	54,84
18	65,50	53,30	58,06
19	65,20	53,00	61,29
20	65,80	52,20	64,52
21	64,20	52,20	67,74
22	74,50	52,00	70,97
23	65,30	52,00	74,19
24	53,50	51,60	77,42
25	47,00	51,30	80,65
26	47,30	51,20	83,87
27	50,80	50,80	87,10
28	50,50	50,50	90,32
29	52,00	47,30	93,55
30	57,20	47,00	96,77
$y = 70,714e-0,0042x$			

Valores Persistentes	
10	67,80
25	63,66
50	57,31
90	48,45
Valores Notables	
Mínimo	47,00
Máximo	74,50
Promedio	57,83

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
67.8 °C

Gráfico No. 2. Probabilidad de ocurrencia para los valores de temperatura.



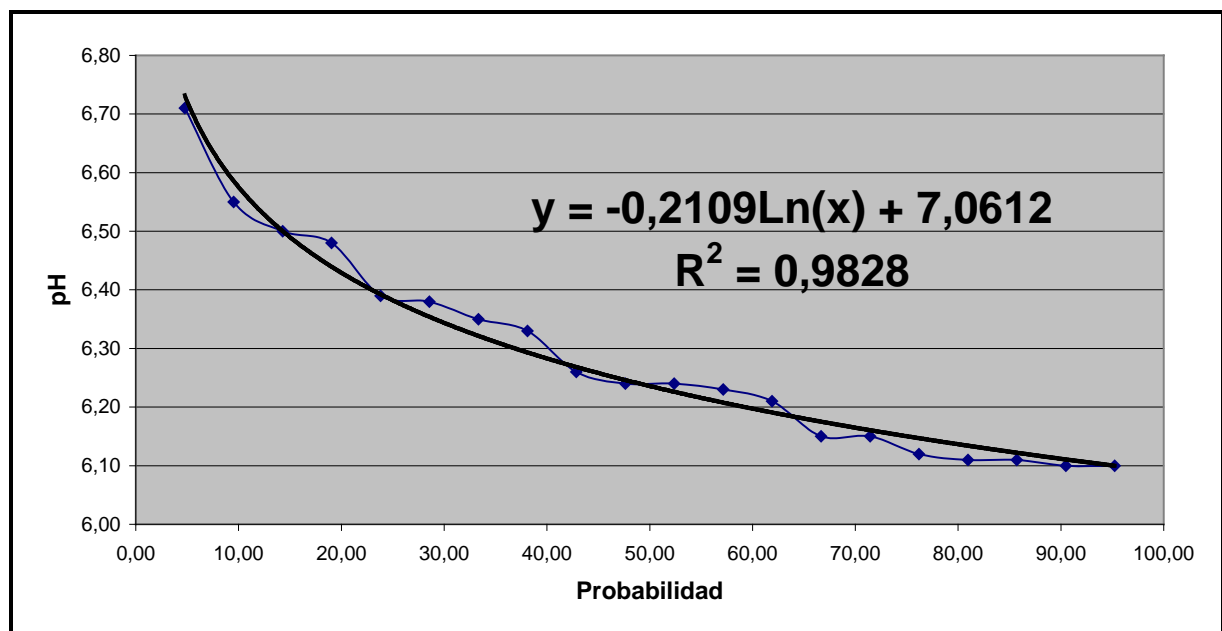
Cuadro No. 46. Tabla de resultados de valores de pH.

No. De Orden	pH	pH en orden descendente	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	6,23	6,71	4,76
2	6,24	6,55	9,52
3	6,26	6,50	14,29
4	6,21	6,48	19,05
5	6,15	6,39	23,81
6	6,10	6,38	28,57
7	6,11	6,35	33,33
8	6,10	6,33	38,10
9	6,11	6,26	42,86
10	6,12	6,24	47,62
11	6,33	6,24	52,38
12	6,35	6,23	57,14
13	6,48	6,21	61,90
14	6,55	6,15	66,67
15	6,50	6,15	71,43
16	6,38	6,12	76,19
17	6,71	6,11	80,95
18	6,24	6,11	85,71
19	6,15	6,10	90,48
20	6,39	6,10	95,24
$y = -0.2109\ln(x) + 7.0612$			

Valores Persistentes	
10	6,58
25	6,38
50	6,24
90	6,11
Valores Notables	
Mínimo	6,10
Máximo	6,71
Promedio	6,29

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
6,58

Gráfico No. 3. Probabilidad de ocurrencia para los valores de pH.



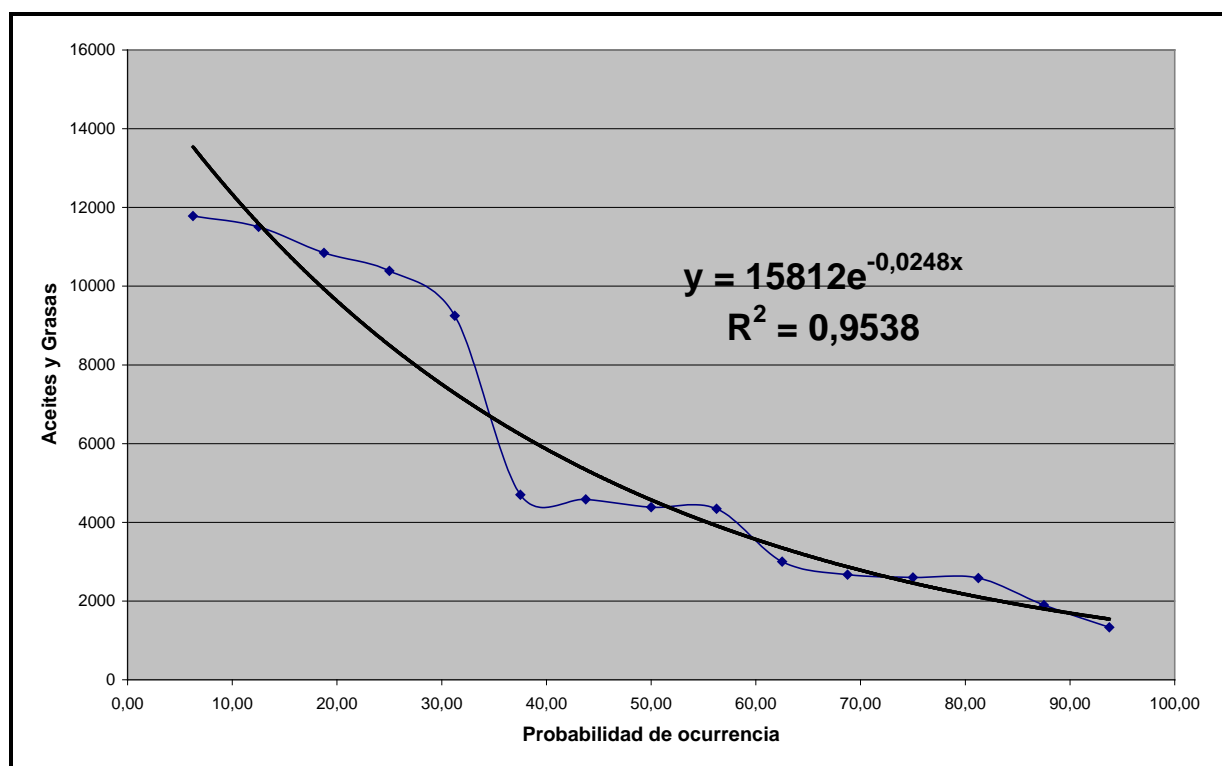
Cuadro No. 47. Tabla de resultados de valores aceites y grasas.

No. De Orden	Aceites y Grasas (ppm)	Aceites y Grasas en orden descendente (ppm)	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	2673	11783	6,25
2	2582	11508	12,50
3	2600	10847	18,75
4	1900	10389	25,00
5	3000	9250	31,25
6	1335	4700	37,50
7	4700	4583	43,75
8	4345	4386	50,00
9	4386	4345	56,25
10	4583	3000	62,50
11	10389	2673	68,75
12	11783	2600	75,00
13	11508	2582	81,25
14	9250	1900	87,50
15	10847	1335	93,75
$y = 15812e^{-0,0248x}$			

Valores Persistentes	
10	12339,10
25	8505,98
50	4575,74
90	1696,84
Valores Notables	
Mínimo	1335,00
Máximo	11783,00
Promedio	5725,40

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
12339,1 ppm

Gráfico No. 4. Probabilidad de ocurrencia para los valores de aceites y grasas



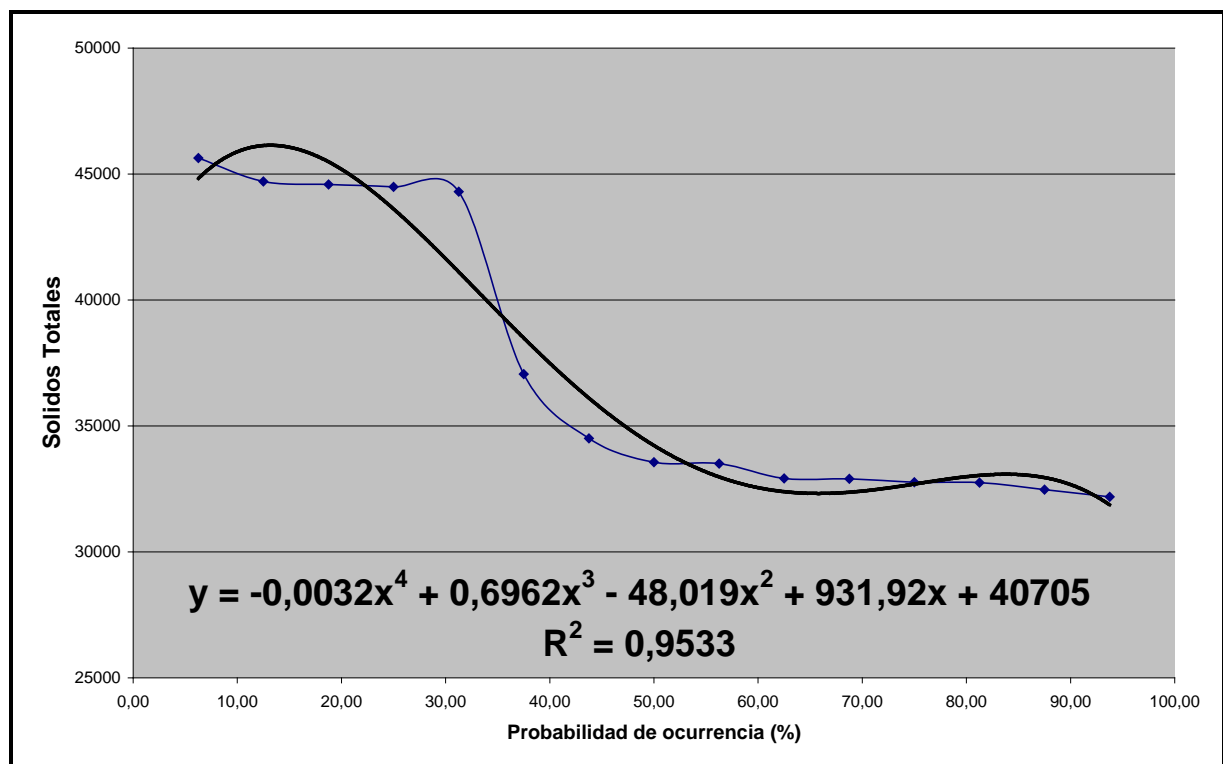
Cuadro No. 48. Tabla de resultados de valores de Sólidos Totales.

No. De Orden	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Totales en orden descendente (ppm)	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	44704	45636	6,25
2	44300	44704	12,50
3	44584	44584	18,75
4	44492	44492	25,00
5	45636	44300	31,25
6	32748	37060	37,50
7	32904	34508	43,75
8	32920	33560	50,00
9	32764	33504	56,25
10	33560	32920	62,50
11	37060	32904	68,75
12	32472	32764	75,00
13	32184	32748	81,25
14	34508	32472	87,50
15	33504	32184	93,75
$y = -0,0032x^4 + 0,6962x^3 - 48,019x^2 + 931,92x + 40705$			

Valores Persistentes	
10	45883,50
25	43502,10
50	32403,50
90	13518,70
Valores Notables	
Mínimo	32184,00
Máximo	45636,00
Promedio	37222,67

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
45883,5 ppm

Gráfico No. 5. Probabilidad de ocurrencia para los valores de sólidos totales



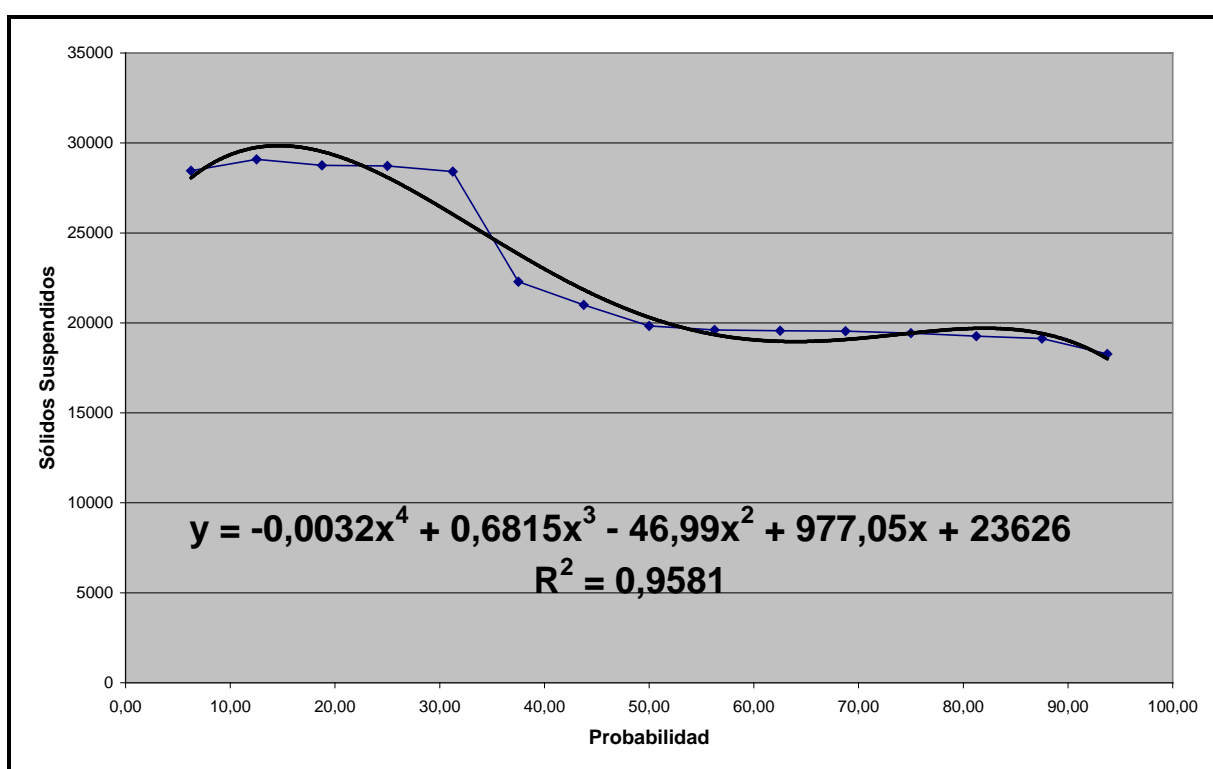
Cuadro No. 49. Tabla de resultados de valores de Sólidos Suspendidos.

No. De Orden	Sólidos Suspendidos (ppm)	Sólidos Suspendidos en orden descendente (ppm)	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	28460	28460	6,25
2	28416	29096	12,50
3	29096	28756	18,75
4	28724	28724	25,00
5	28756	28416	31,25
6	19568	22296	37,50
7	19260	21000	43,75
8	19132	19832	50,00
9	19612	19612	56,25
10	19832	19568	62,50
11	18268	19540	68,75
12	19540	19432	75,00
13	19432	19260	81,25
14	21000	19132	87,50
15	22296	18268	93,75
$y = -0,0032x^4 + 0,6815x^3 - 46,99x^2 + 977,05x + 23626$			

Valores Persistentes	
10	29347,00
25	28081,90
50	20191,00
90	17803,00
Valores Notables	
Mínimo	18268,00
Máximo	29096,00
Promedio	22759,47

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
29347 ppm

Gráfico No. 6. Probabilidad de ocurrencia para los valores de sólidos suspendidos



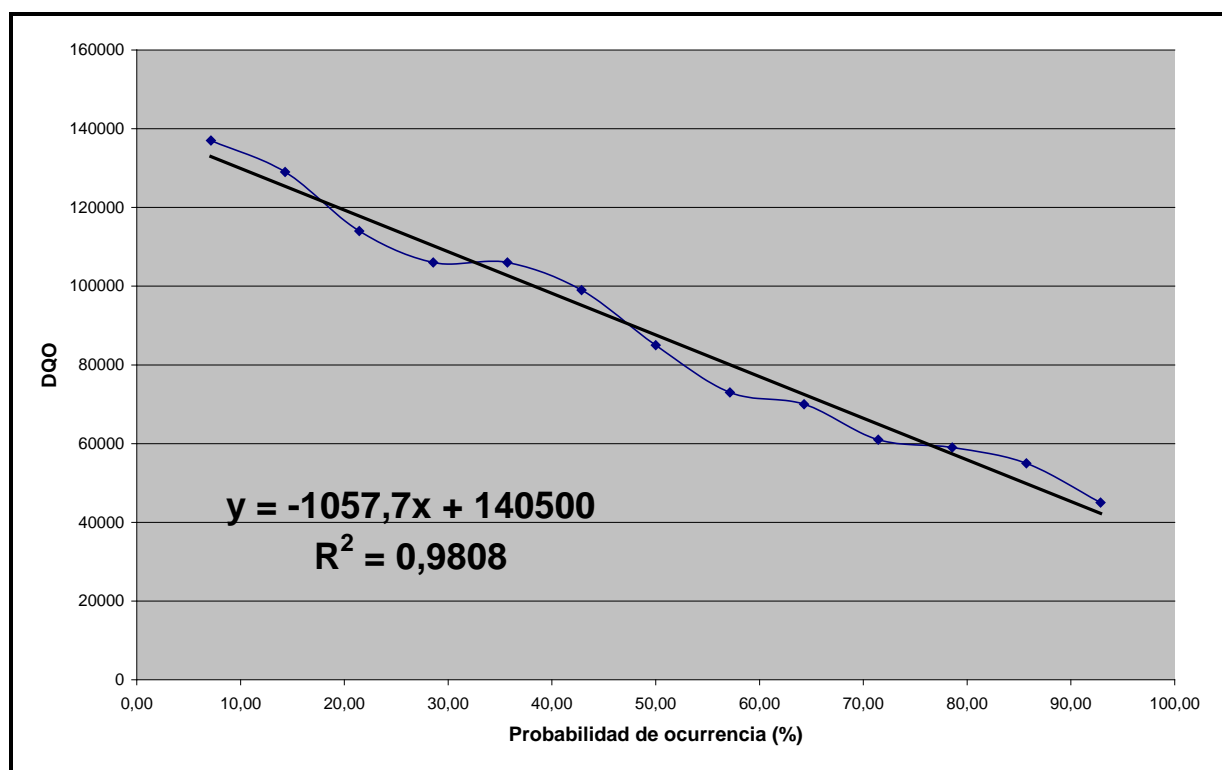
Cuadro No. 50. Tabla de resultados de valores de DQO.

No. De Orden	DQO (ppm)	DQO en orden descendente (ppm)	Probabilidad de ocurrencia (%)
1	85000	137000	7,14
2	99000	129000	14,29
3	70000	114000	21,43
4	114000	106000	28,57
5	106000	106000	35,71
6	106000	99000	42,86
7	129000	85000	50,00
8	137000	73000	57,14
9	45000	70000	64,29
10	73000	61000	71,43
11	59000	59000	78,57
12	61000	55000	85,71
13	55000	45000	92,86
$y = -1057,7x + 140500$			

Valores Persistentes	
10	129923,00
25	114057,50
50	87615,00
90	45307,00
Valores Notables	
Mínimo	45000,00
Máximo	137000,00
Promedio	87615,38

Valor seleccionado como criterio de diseño (percentil 10)
129923 ppm

Gráfico No. 7. Probabilidad de ocurrencia para los valores de DQO



4.2. Discusión de Resultados.

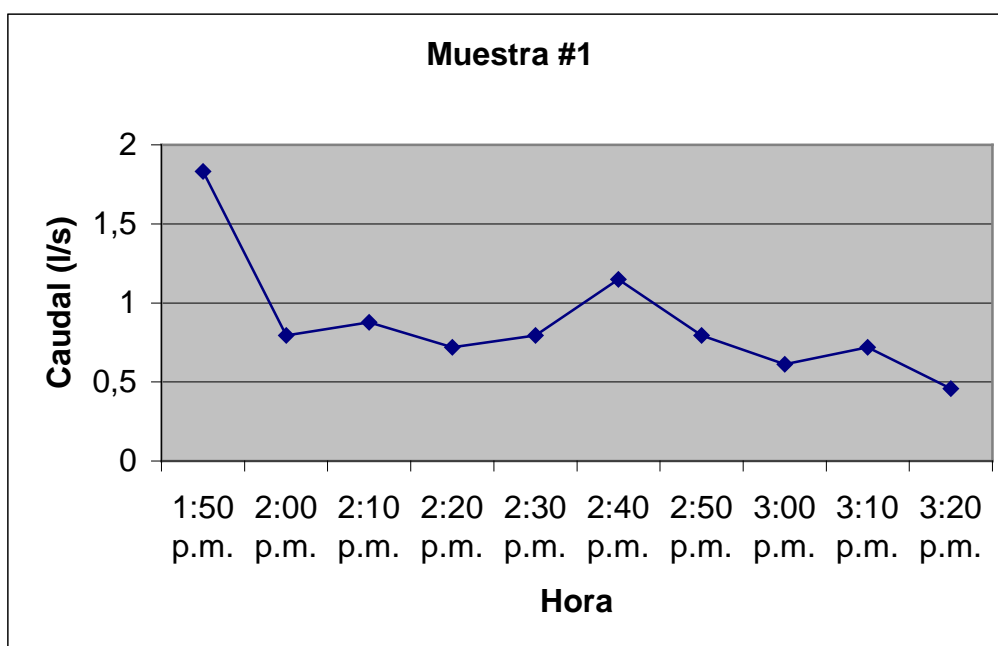
4.2.1. Resultados de la caracterización físico-química del efluente

A continuación se presentan los resultados en forma grafica de tal modo que la interpretación de los datos experimentales obtenidos a lo largo del estudio sean mucho mas claros y sencillos de entender.

4.2.1.1. Primer muestreo

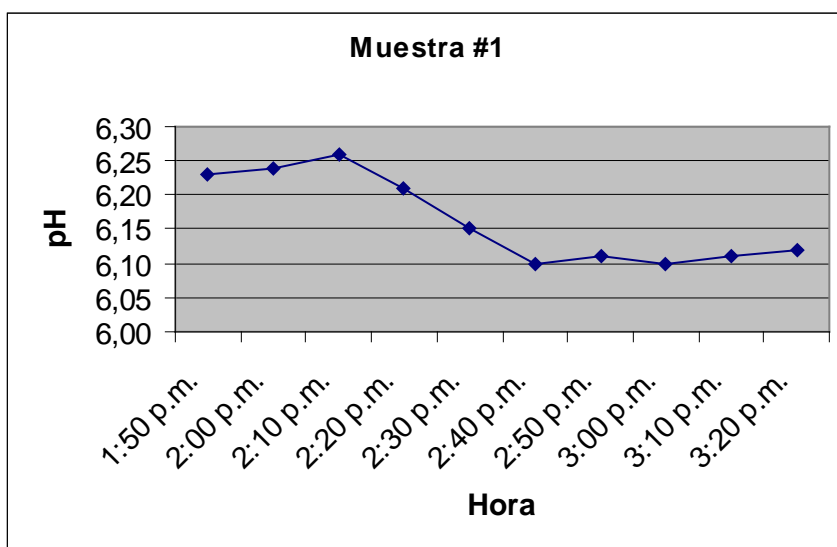
Los datos representados en los siguientes gráficos fueron tomados en el momento de arranque normal de la planta extractora.

Gráfico No. 8. Caudal de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos.



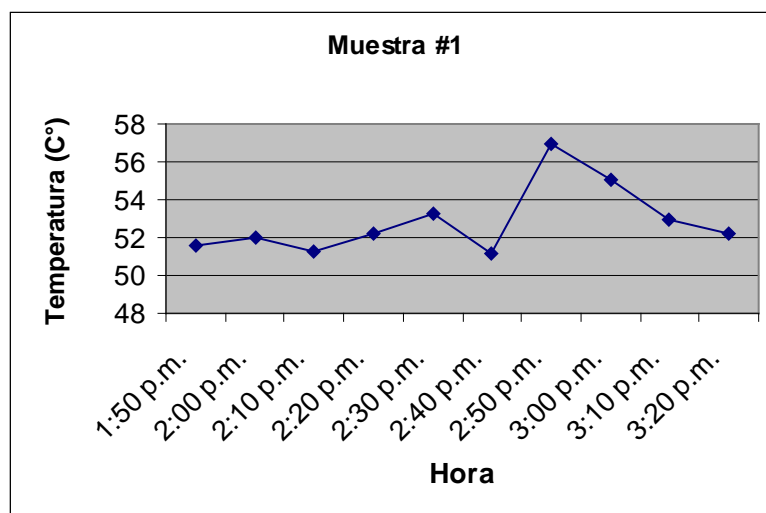
Los datos del presente gráfico indican que el caudal en el momento del arranque es de 1.83 (l/s) los mismos que en un lapso de 10 minutos disminuyen hasta estabilizarse aproximadamente en 0.80 (l/s); este caudal se mantiene hasta que se haya concluido el primer autoclavado, en donde el caudal aumenta considerablemente.

Gráfico No. 9. pH de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



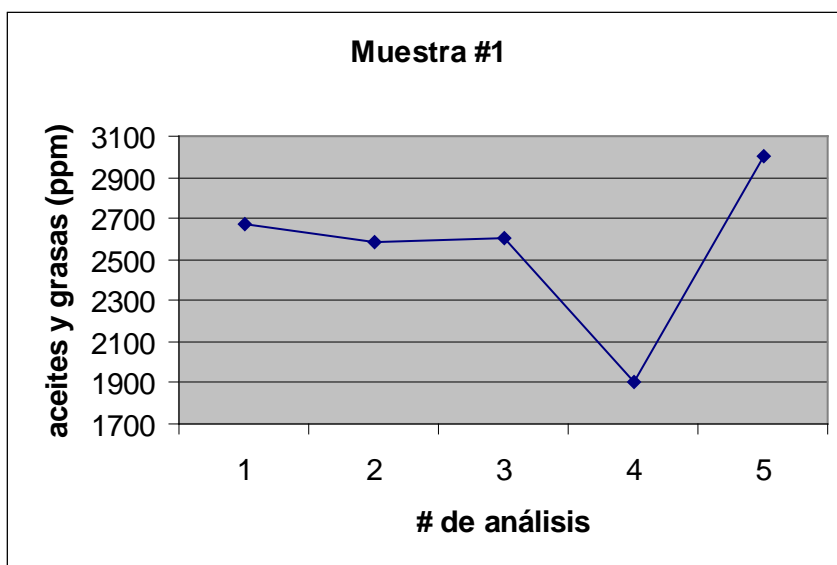
El gráfico muestra que durante los 30 primeros minutos después del arranque, el pH se mantiene al rededor de 6.25; aproximadamente después de la primera hora de funcionamiento el pH baja y se establece en un promedio de 6.10

Gráfico No. 10. Temperatura de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



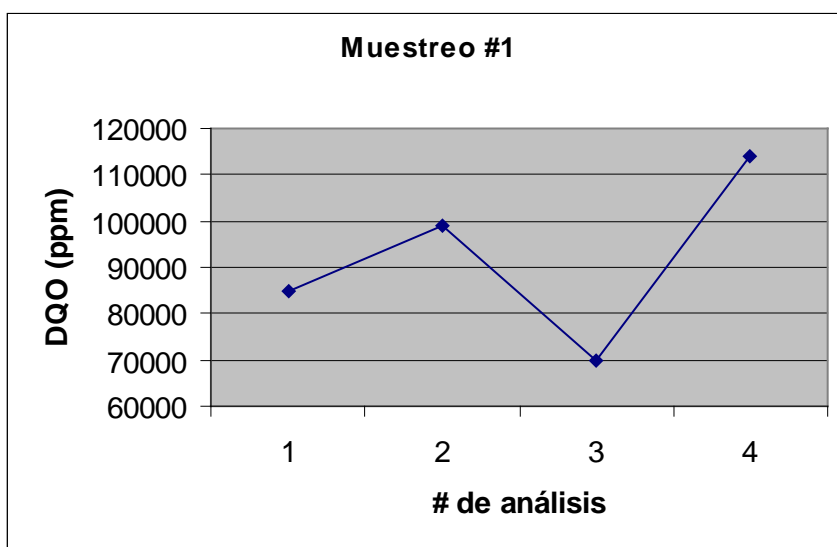
Se observa que la temperatura se mantiene en un promedio de 52 °C por un tiempo de una hora hasta el momento de finalizar el primer auto clavado, momento en el cual aumenta a 57 °C por un corto lapso de tiempo, inmediatamente disminuye a 52 °C en un tiempo de treinta minutos.

Gráfico No. 11. Aceites y grasas de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



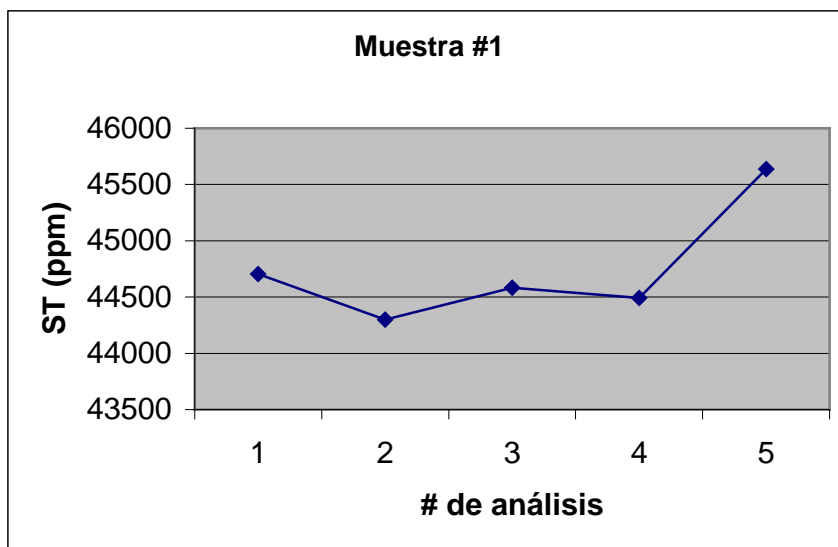
Se observa que los análisis de aceites y grasas dan un valor promedio de 2551 ppm, en el momento de arranque normal de la planta.

Gráfico No.12. DQO de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



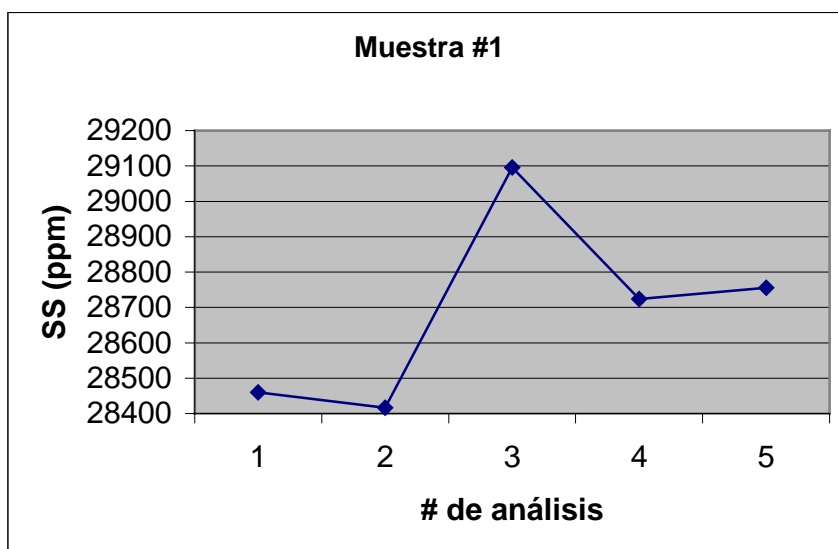
Se observa que los análisis de DQO dan un valor promedio de 92000 ppm, en el momento de arranque normal de la planta.

Gráfico No. 13. Sólidos Totales de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



Se observa que los análisis de sólidos totales dan un valor promedio de 44743 ppm, en el momento de arranque normal de la planta.

Gráfico No. 14. Sólidos Suspendidos de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos

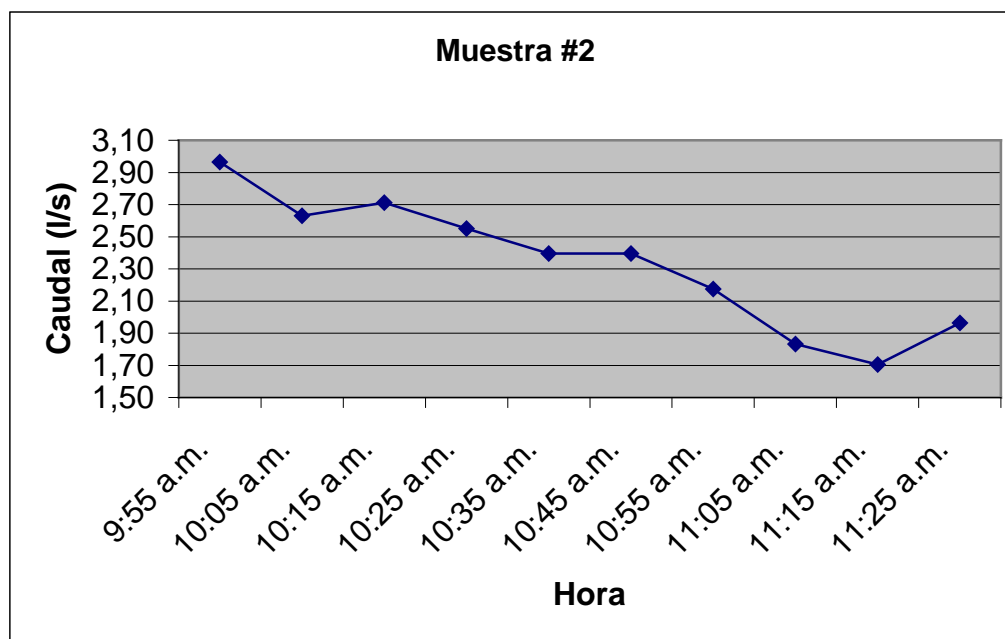


Se observa que los análisis de sólidos suspendidos dan un valor promedio de 28690 ppm, en el momento de arranque normal de la planta.

4.2.1.2. Segundo muestreo

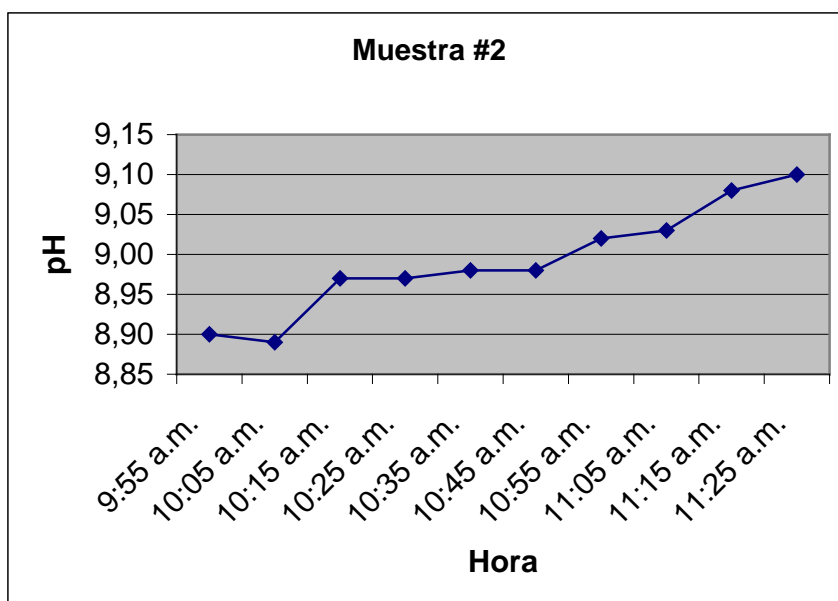
Los datos representados en los siguientes gráficos fueron tomados al 100% de funcionamiento de la planta y fue mezclado detergente utilizado para la limpieza del nuevo caldero

Gráfico No. 15. Caudal de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



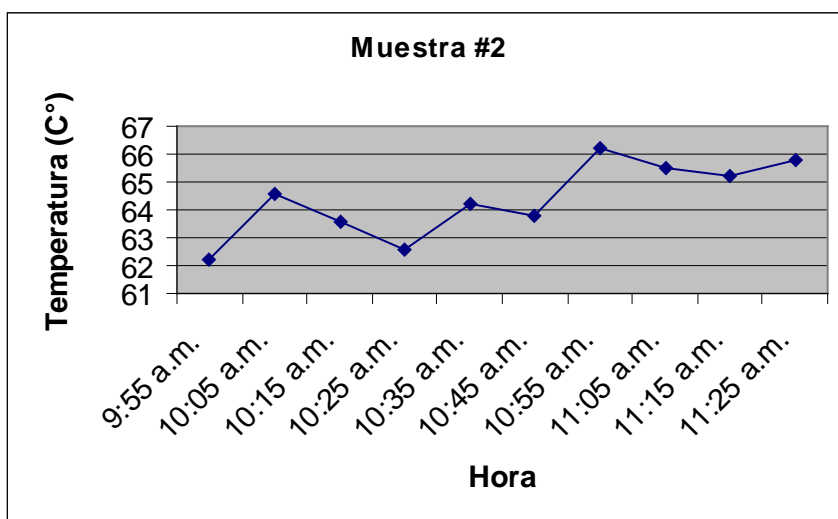
Los datos del presente gráfico indican que el caudal en el momento del 100% de funcionamiento de la planta, no es constante y que puede llegar a tener una variación de hasta 1.26 (l/s).

Gráfico No. 16. pH de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



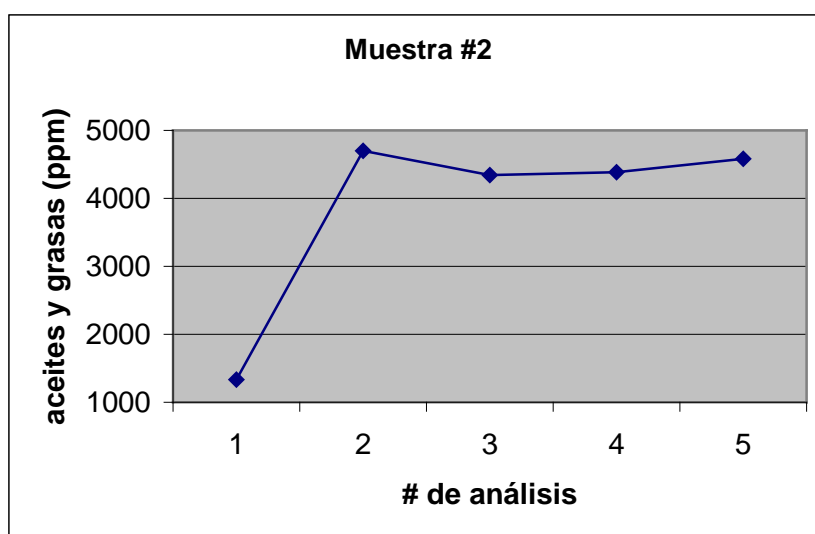
El gráfico muestra que el pH es muy elevado en comparación al resto de muestreos, esto se dio debido a que en el momento de la toma de la muestra, se utilizó detergente para lavar el caldero; el pH normal es de aproximadamente 6.25.

Gráfico No. 17. Temperatura de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



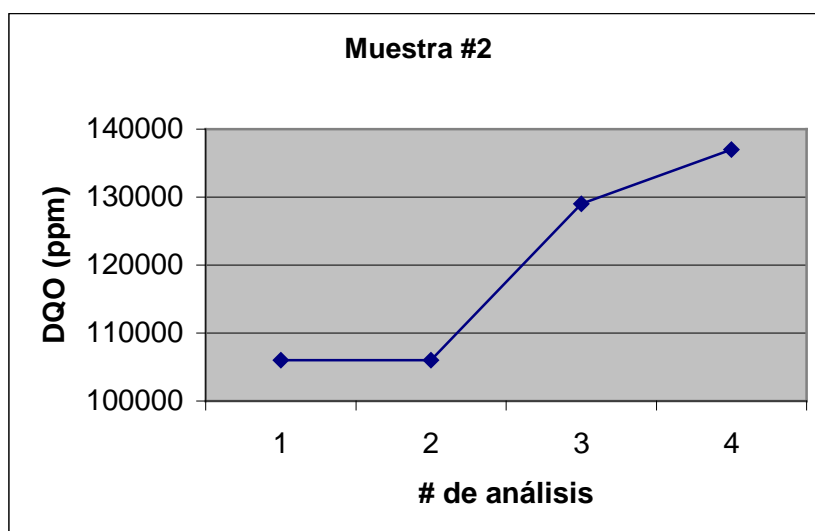
Se observa que la temperatura tiene una variación entre 62 °C a 66 °C a lo largo del proceso de extracción al 100% de funcionamiento de la planta. El promedio de temperatura es de 64 °C.

Gráfico No. 18. Aceites y grasas de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



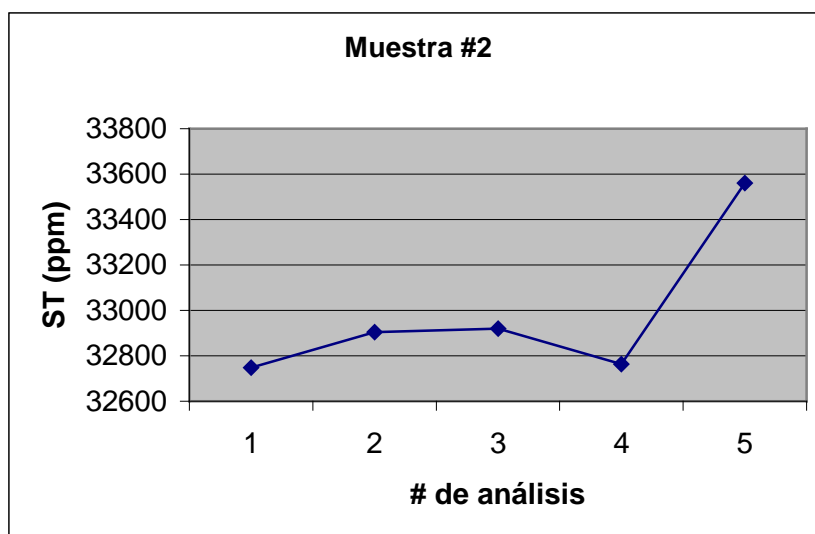
Se observa que los análisis de aceites y grasas dan un valor promedio de 3869 ppm, en el momento 100% de funcionamiento.

Gráfico No. 19. DQO de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



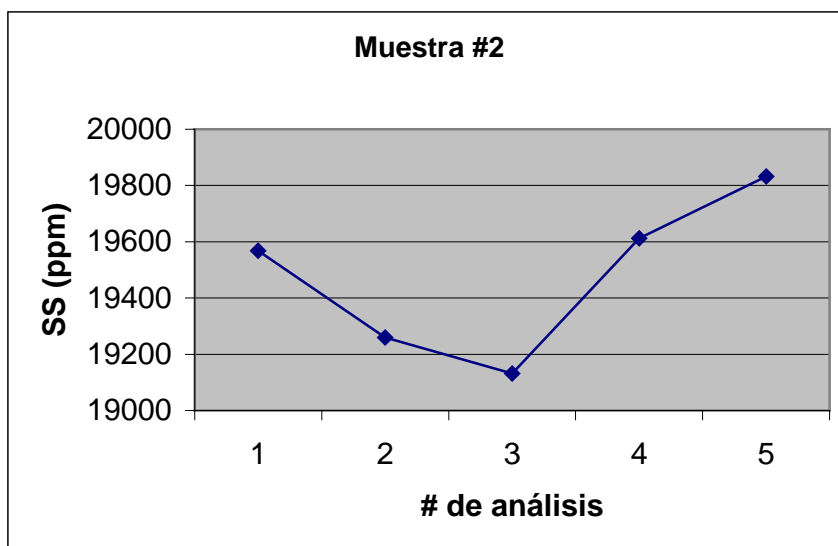
Se observa que los análisis de DQO dan un valor promedio de 119500 ppm, en el momento 100% de funcionamiento.

Gráfico No. 20. Sólidos Totales de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



Se observa que los análisis de sólidos totales dan un valor promedio de 32979 ppm, en el momento 100% de funcionamiento.

Gráfico No. 21. Sólidos Suspendidos de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos

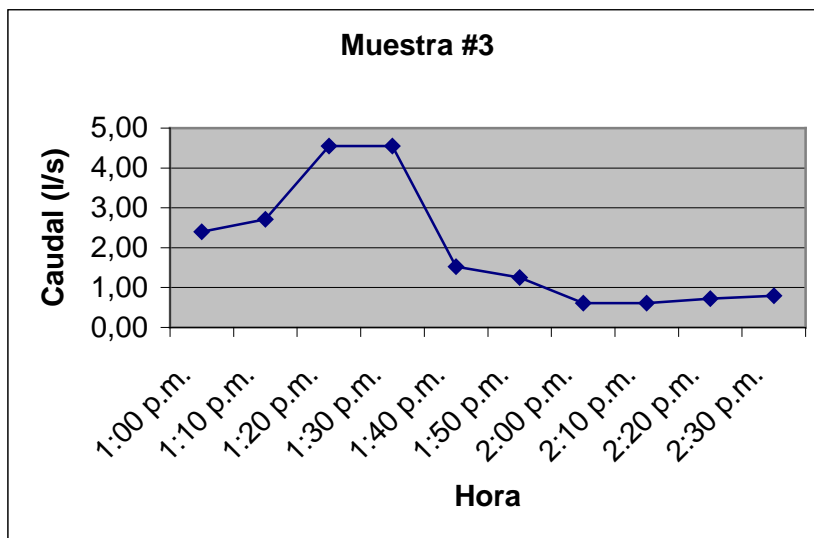


Se observa que los análisis de sólidos suspendidos dan un valor promedio de 19480 ppm, en el momento 100% de funcionamiento.

4.2.1.2.Tercer muestreo

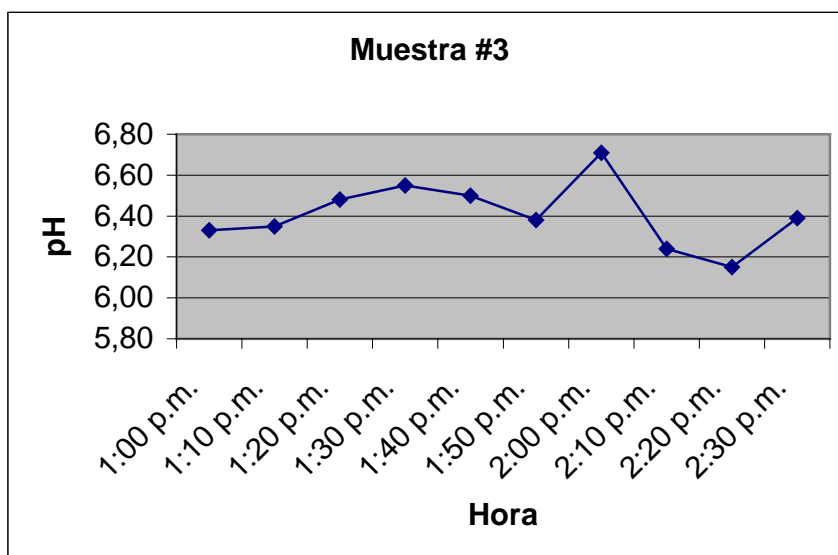
Los datos representados en los siguientes gráficos fueron en apagado normal de la planta.

Gráfico No. 22. Caudal de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



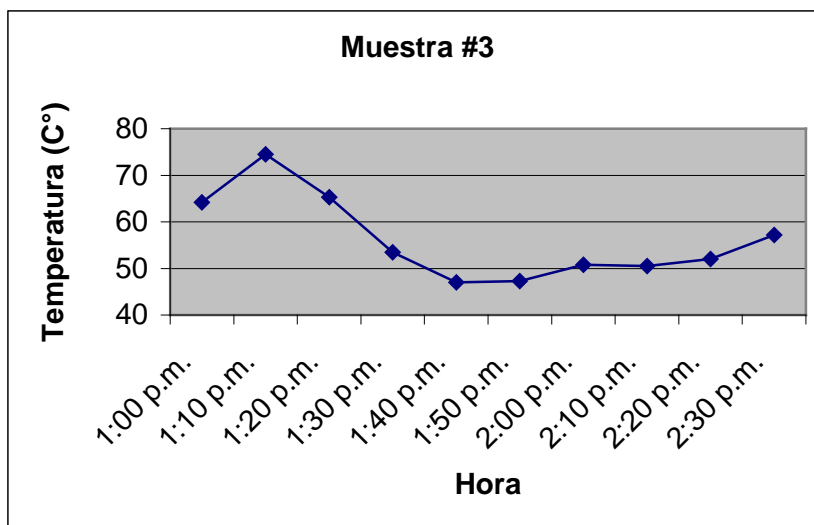
Los datos del presente gráfico indican que el caudal en el momento de apagado normal de la planta, disminuye significativamente hasta alcanzar prácticamente un nivel de 0 (l/s).

Gráfico No.23. pH de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



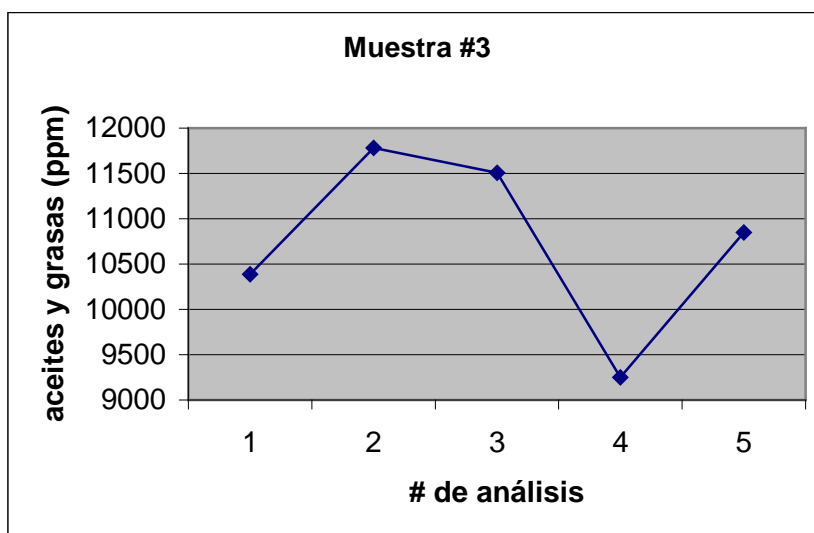
El gráfico muestra que el pH en condiciones normales de apagado de la planta, se mantiene en un promedio de pH 6.41.

Gráfico No. 24. Temperatura de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



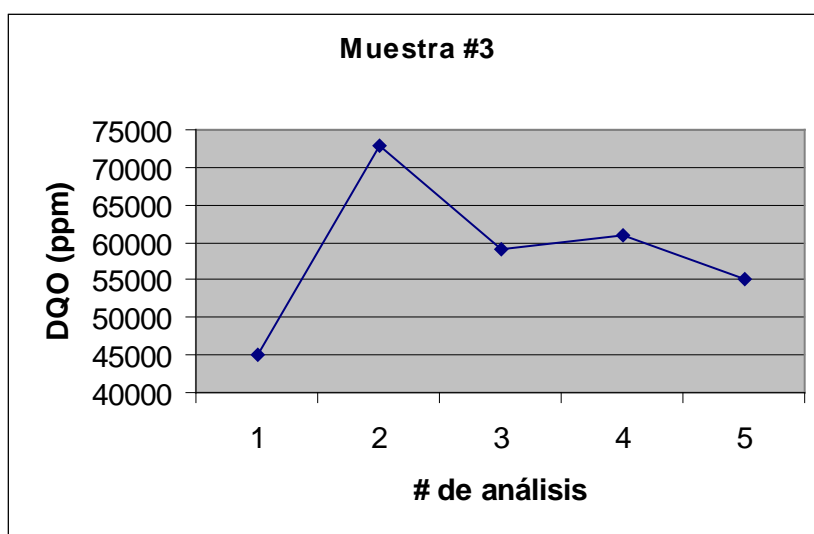
Se observa que la temperatura en momentos de apagado normal de la planta, disminuye su temperatura 47 °C, dicha disminución de temperatura se da en 35 minutos.

Gráfico No. 25. Aceites y grasas de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



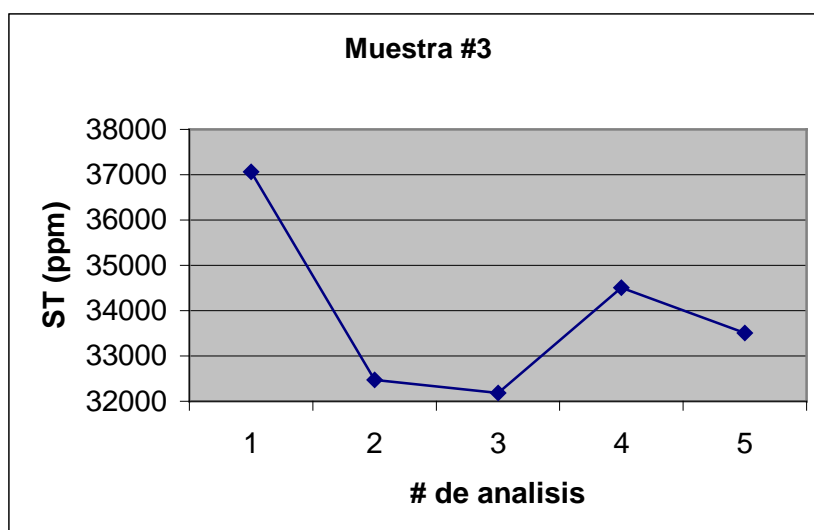
Se observa que los análisis de aceites y grasas dan un valor promedio de 10755 ppm, en el momento de apagado normal de la planta extractora.

Gráfico No. 26. DQO de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



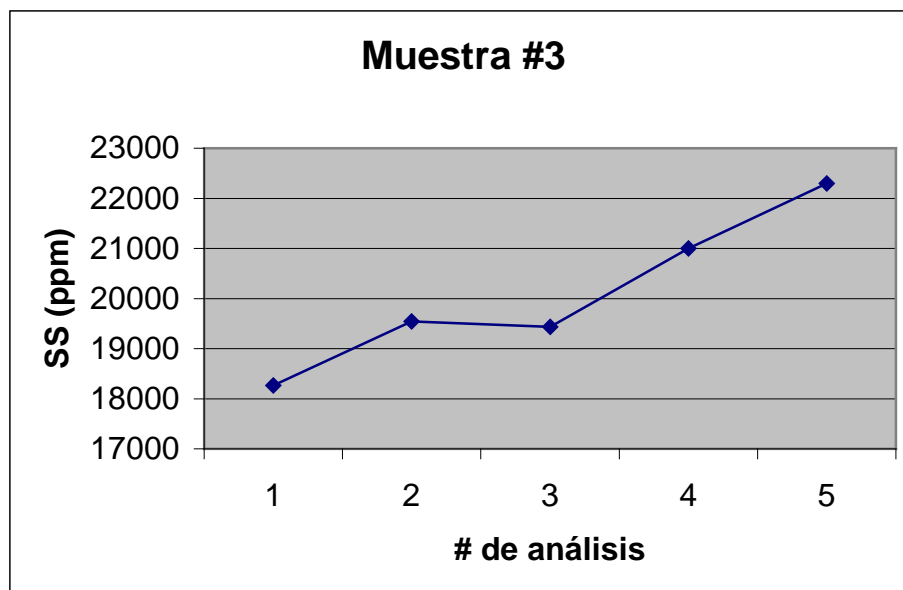
Se observa que los análisis de DQO dan un valor promedio de 58600 ppm, en el momento de apagado normal de la planta.

Gráfico No. 27. Sólidos Totales de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



Se observa que los análisis de sólidos totales dan un valor promedio de 33945 ppm, en el momento de apagado normal de la planta.

Gráfico No. 28. Sólidos Suspendedos de las aguas residuales de la planta extractora de aceite de palma Atahualpa en un turno de 1 hora con 30 minutos



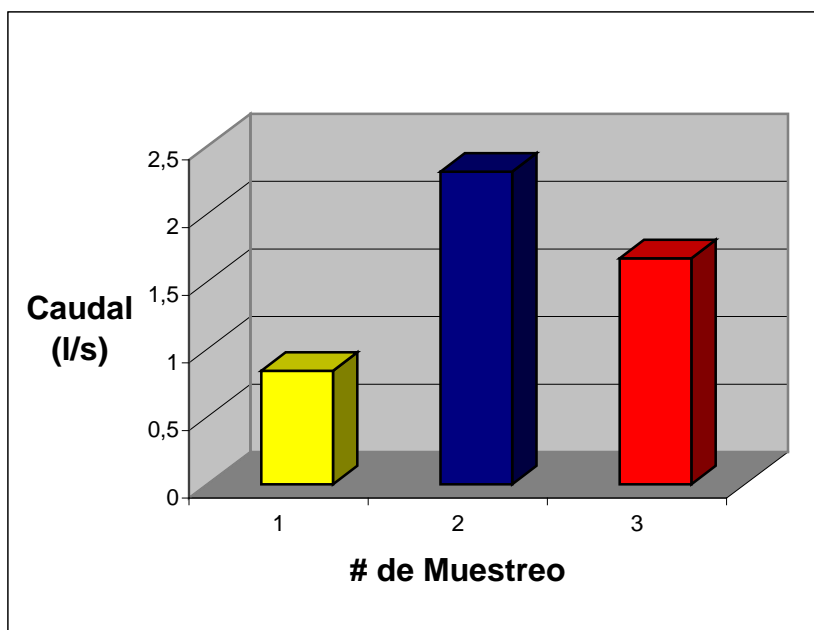
Se observa que los análisis de sólidos suspendidos dan un valor promedio de 20107 ppm, en el momento de apagado normal de la planta.

4.2.2. Comparación de datos obtenidos entre los tres muestreos realizados en el punto de descarga a la laguna.

Para la elaboración de los gráficos comparativos entre los resultados de los análisis químicos y físicos de las muestras provenientes de los tres muestreos realizados en el punto de descarga a la laguna, se tomaran los datos promedios de los distintos parámetros estudiados que son presentados a continuación. La comparación es realizada entre el primer muestreo realizado en momentos de arranque inicial de la planta extractora, el segundo muestreo realizado en momentos de 100% de funcionamiento de la planta extractora y el tercer muestreo realizado en momentos de apagado normal de la planta.

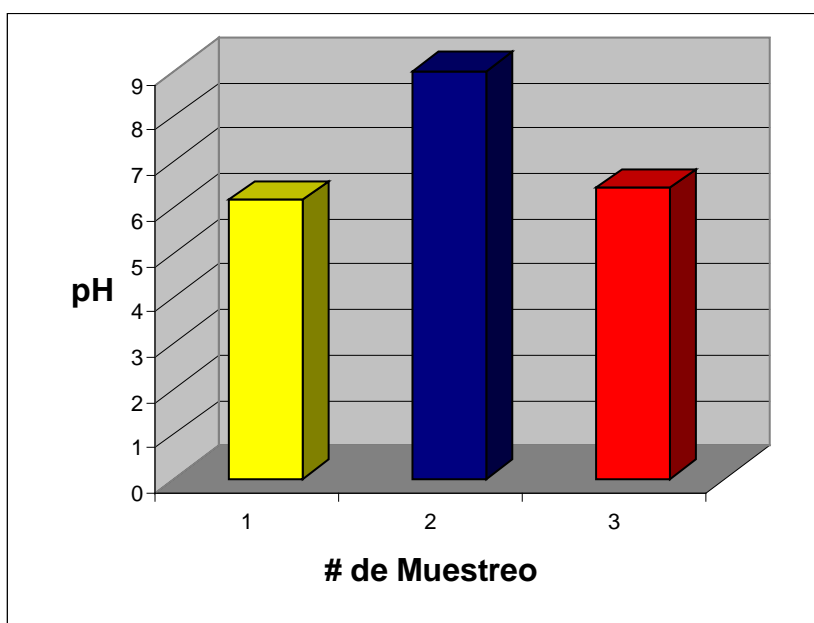
PARAMETRO	MUESTREO		
	1	2	3
Caudal (L/s)	0,84	2,31	1,67
pH	6,16	8,99	6,41
Temperatura °C	52,89	64,37	56,23
DQO (ppm)	92000	119500	58600
Aceites y Grasas (ppm)	2551	3869	10755
Sólidos Totales (ppm)	44743	32979	33945
Sólidos Suspendidos (ppm)	28690	19480	20107
Densidad	1,013	0,994	0,993

Grafico No. 29. Comparación del caudal obtenido en los tres muestreos.



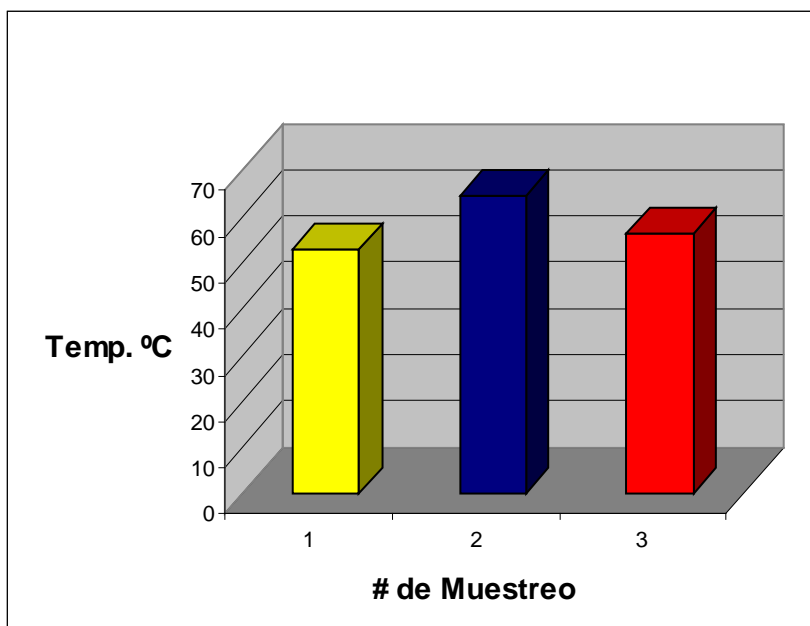
En el grafico se puede observar claramente que el caudal mas elevado se da en momentos de 100% de funcionamiento de la planta alcanzando un promedio de 2.31 (l/s).

Grafico No. 30. Comparación del pH obtenido en los tres muestreos.



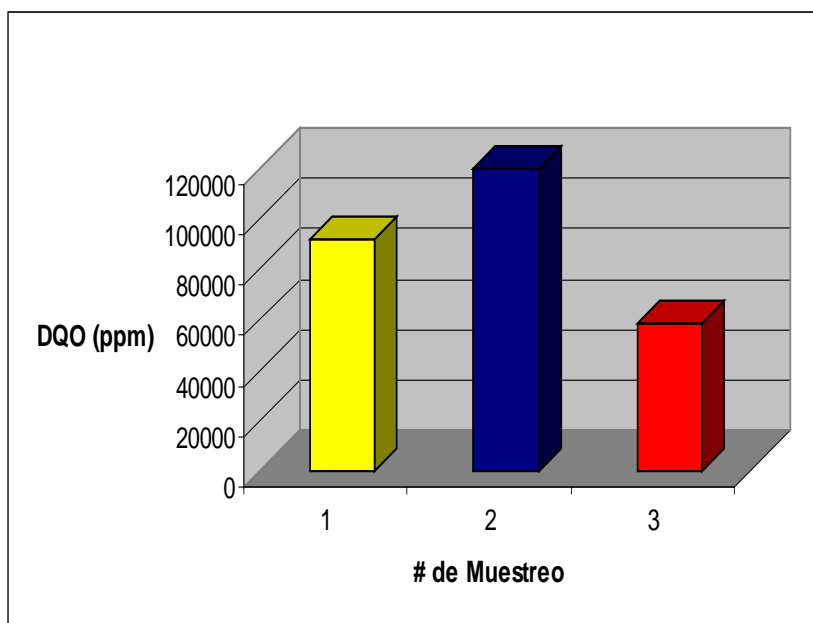
En el grafico presentado se muestra que el pH obtenido al 100% de funcionamiento de la planta (muestreo #2) es sumamente elevado, esto se da ya que en los momentos de realizar el muestreo se utilizo detergentes dentro de la planta extractora. Por lo tanto no es un dato representativo y no es tomado en cuenta para los valores de criterio de diseño.

Grafico No. 31. Comparación de la temperatura obtenida en los tres muestreos



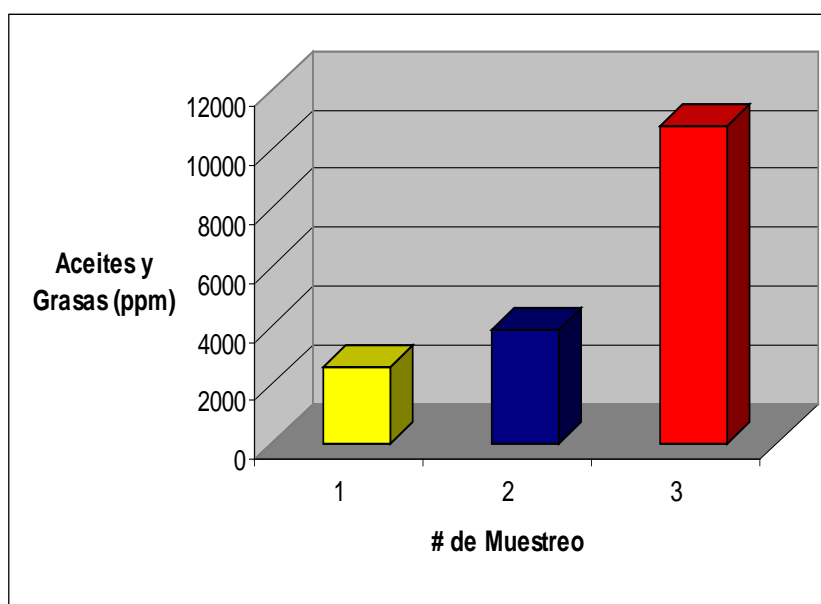
Se muestra que la temperatura más elevada se da en momentos de 100% de funcionamiento de la planta.

Grafico No. 32. Comparación de la DQO obtenido en los tres muestreos



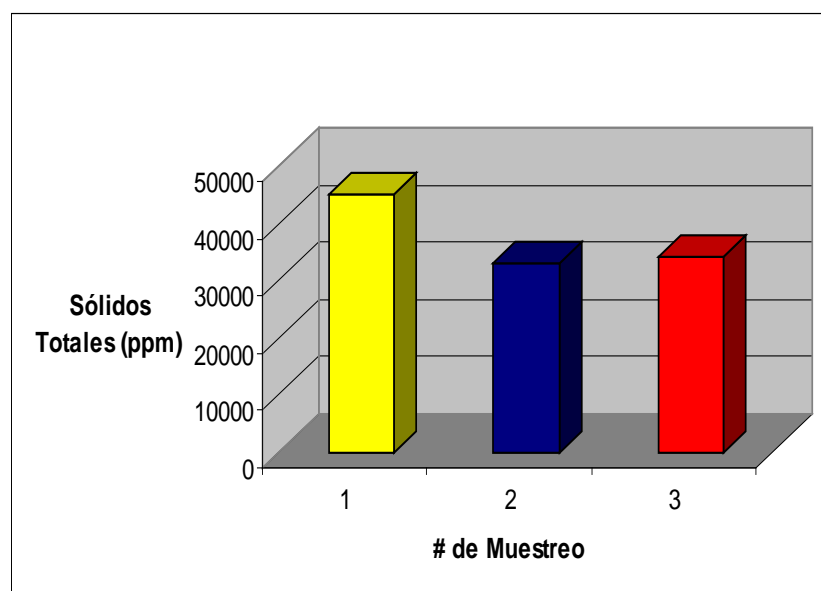
En el grafico se observa que la mayor concentración de DQO se presenta en momentos de 100% de funcionamiento de la planta.

Grafico No. 33. Comparación de los aceites y grasas obtenidos en los tres muestreos



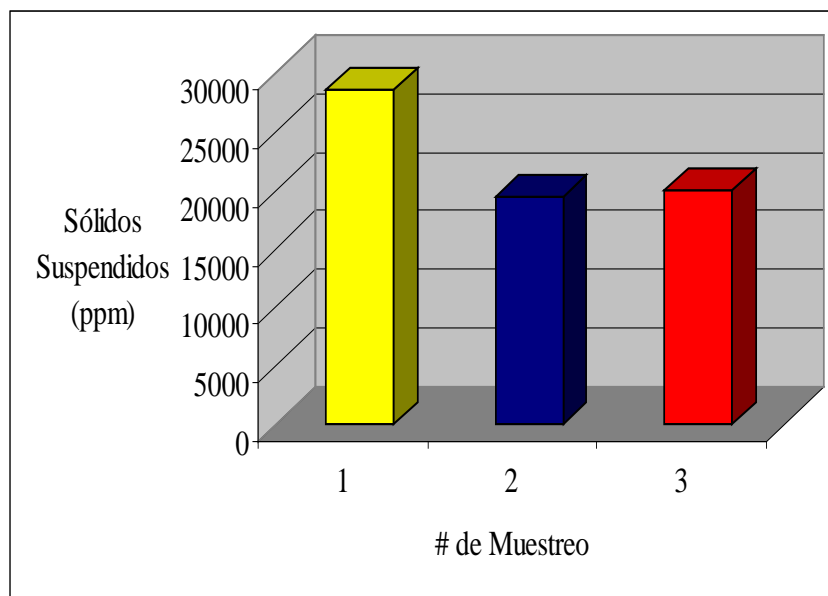
Se muestra que la concentración de aceites y grasas más elevada se presenta en momentos de apagado total de la planta; esto se da por la liberación de excedentes en todos los sistemas de la extractora.

Grafico No. 34. Comparación de los Sólidos Totales obtenido en los tres muestreos



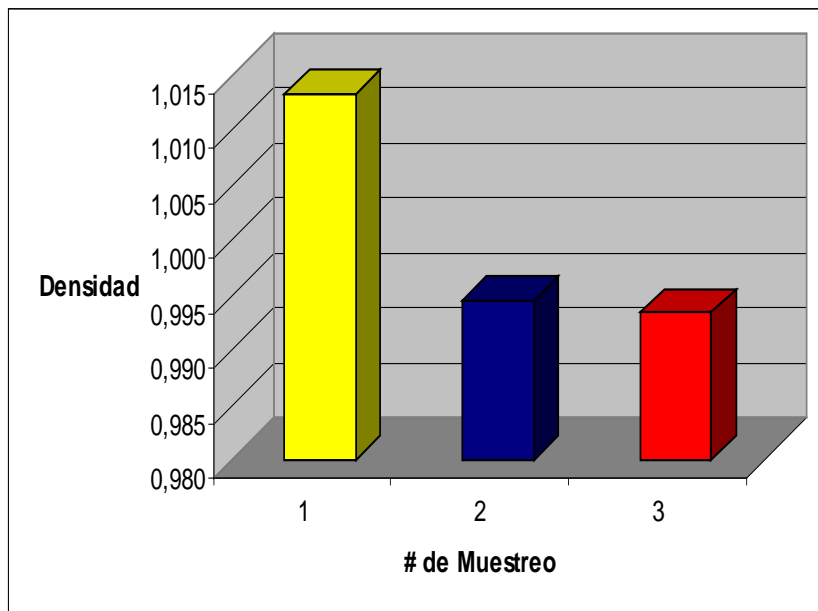
Se muestra que la concentración de sólidos totales es mayor en momentos de encendido normal de la planta; esto se da por el aumento progresivo del caudal que arrastra los sólidos acumulados del anterior proceso de extracción.

Grafico No. 35. Comparación de los Sólidos Suspendedos obtenidos en los tres muestreos



Se muestra que la concentración de sólidos suspendidos es mayor en momentos de encendido normal de la planta; esto se da por el aumento progresivo del caudal que arrastra los sólidos acumulados del anterior proceso de extracción.

Grafico No. 36. Comparación la densidad obtenida en los tres muestreos



En el gráfico mostrado se observa que la mayor densidad del residuo líquido se da en momentos de arranque normal de la planta extractora, debido a la relación entre la masa y el volumen del residuo.

4.2.3. Resultados de caracterización físico-química del río antes y después de la descarga

4.2.3.1. Primer muestreo

Es importante mencionar que en el momento de tomar los datos del primer muestreo en el río el Diablo, el nivel del agua se encontraba elevado con respecto al nivel del río en el segundo muestreo.

Gráfico No. 37. pH del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

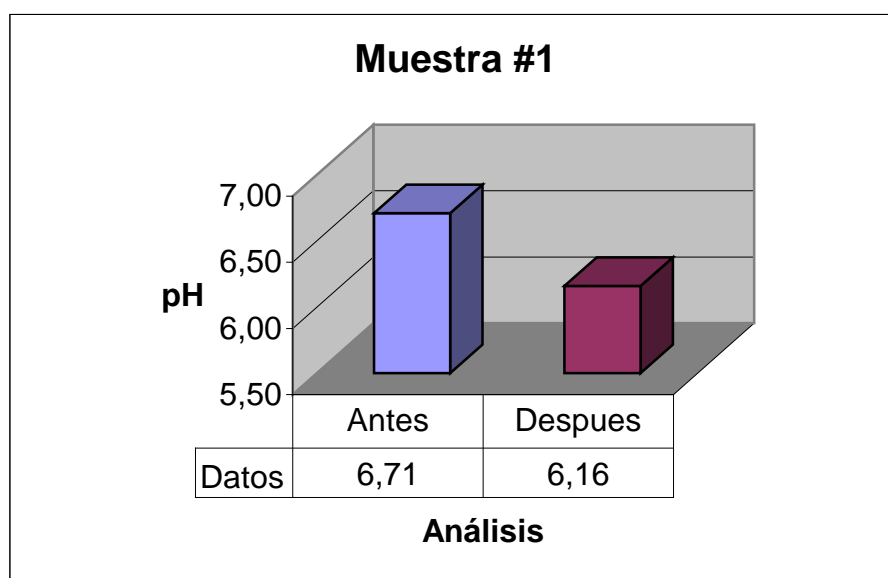


Gráfico No. 38. Temperatura del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

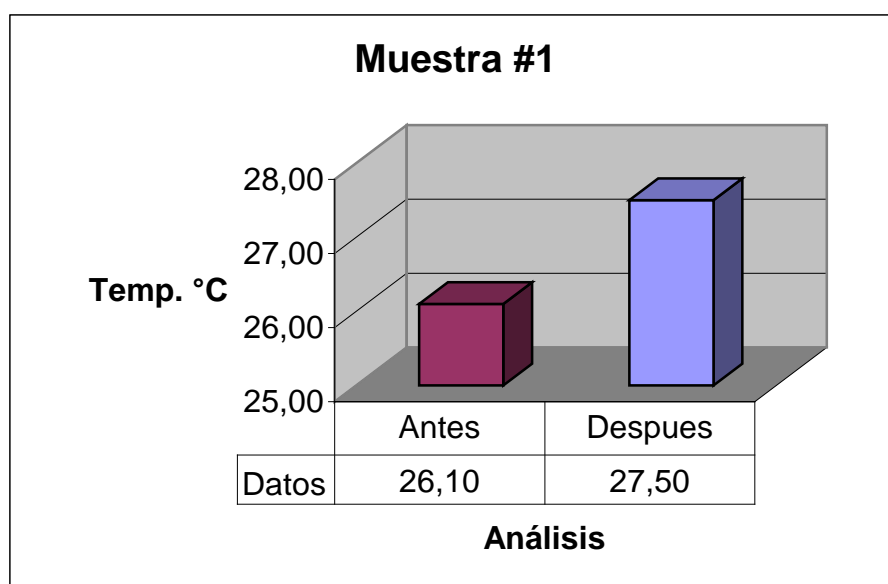


Gráfico No. 39. Aceites y Grasas del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

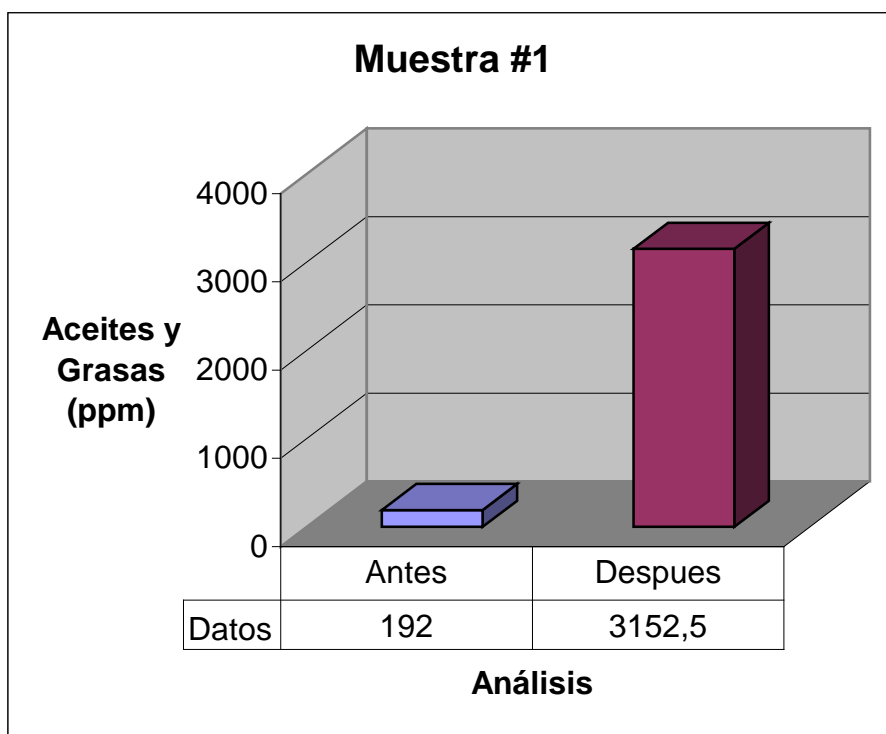


Gráfico No. 40. DQO del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

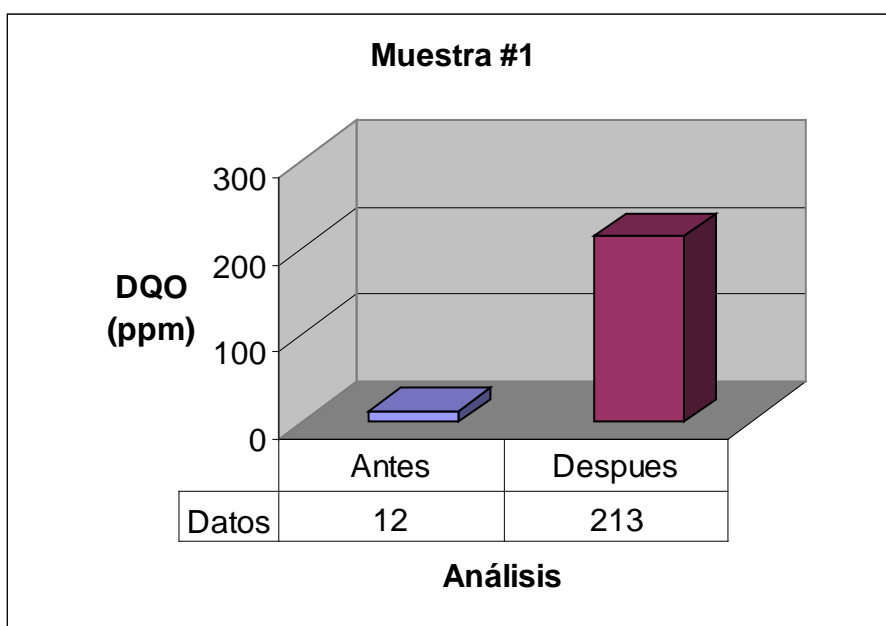


Gráfico No. 41. Sólidos Totales del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

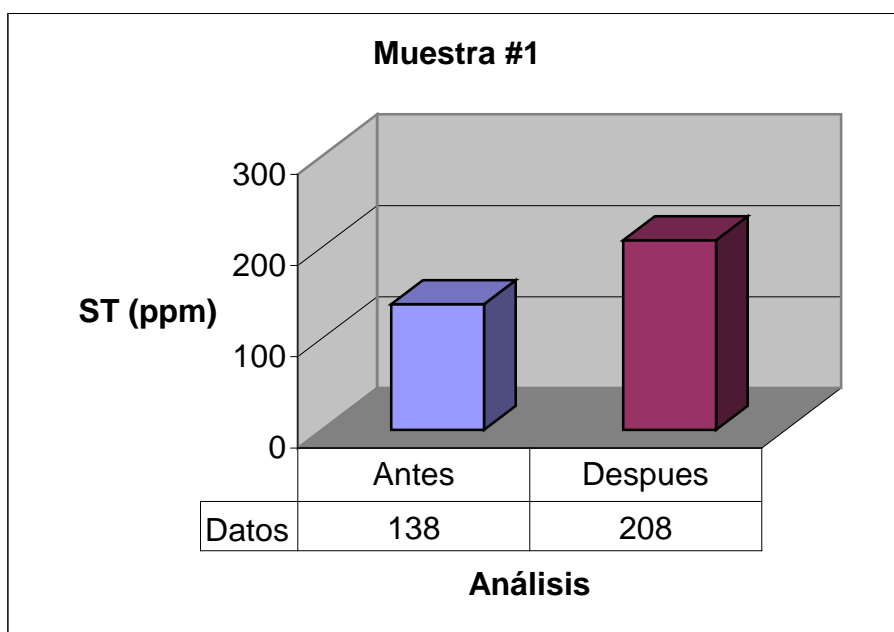


Gráfico No. 42. Sólidos Suspendidos del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

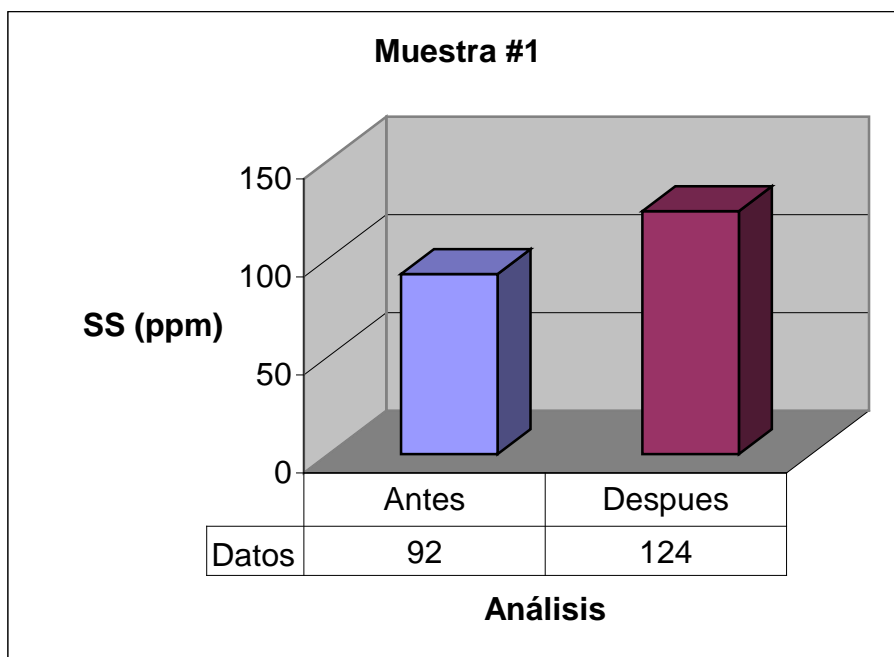
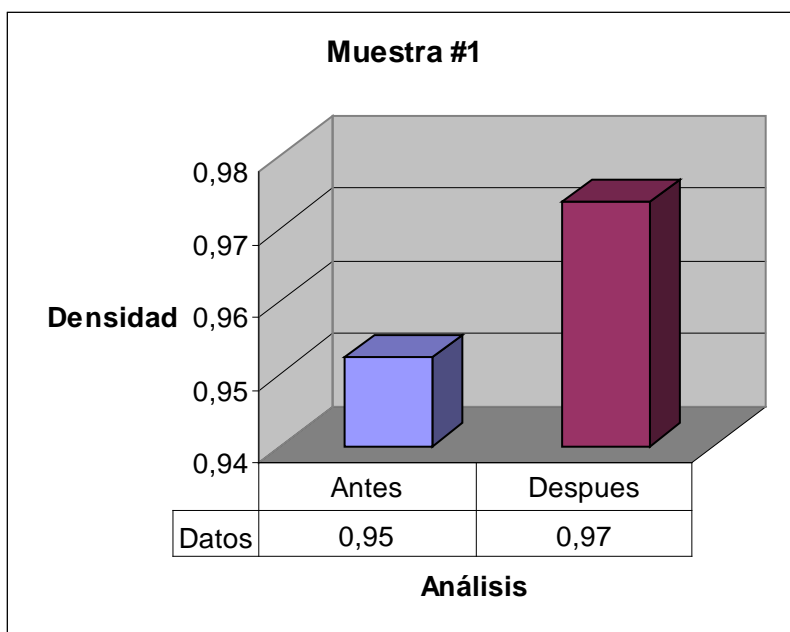


Gráfico No. 43. Densidad del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.



4.2.3.2. Segundo muestreo

Es importante mencionar que en el momento de tomar los datos del segundo muestreo en el río el Diablo, el nivel del agua se encontraba bajo con respecto al nivel del río en el primer muestreo.

Gráfico No. 44. pH del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

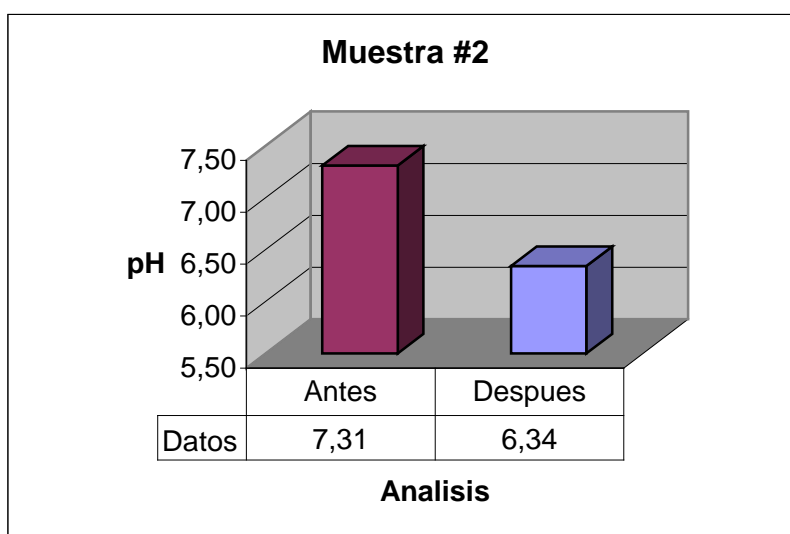


Gráfico No. 45. Temperatura del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

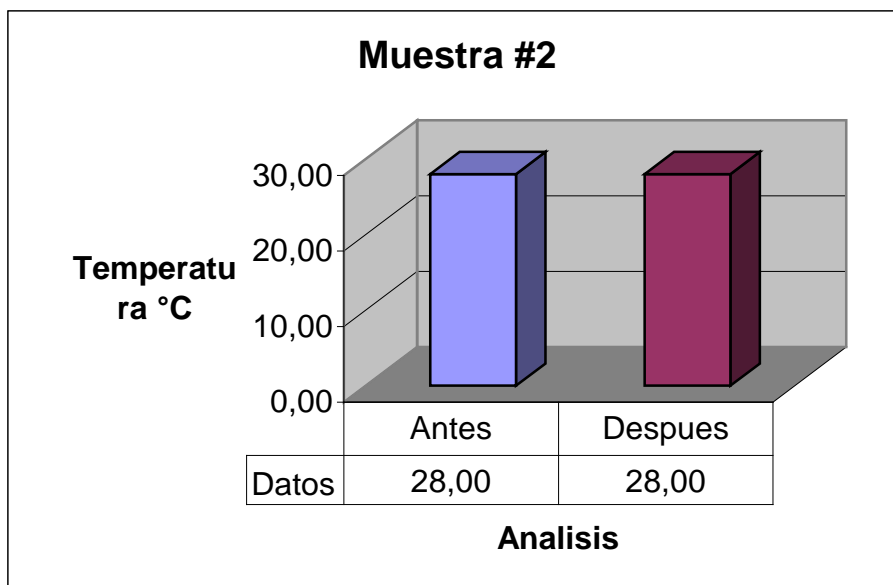


Gráfico No. 46. Aceites y Grasas del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

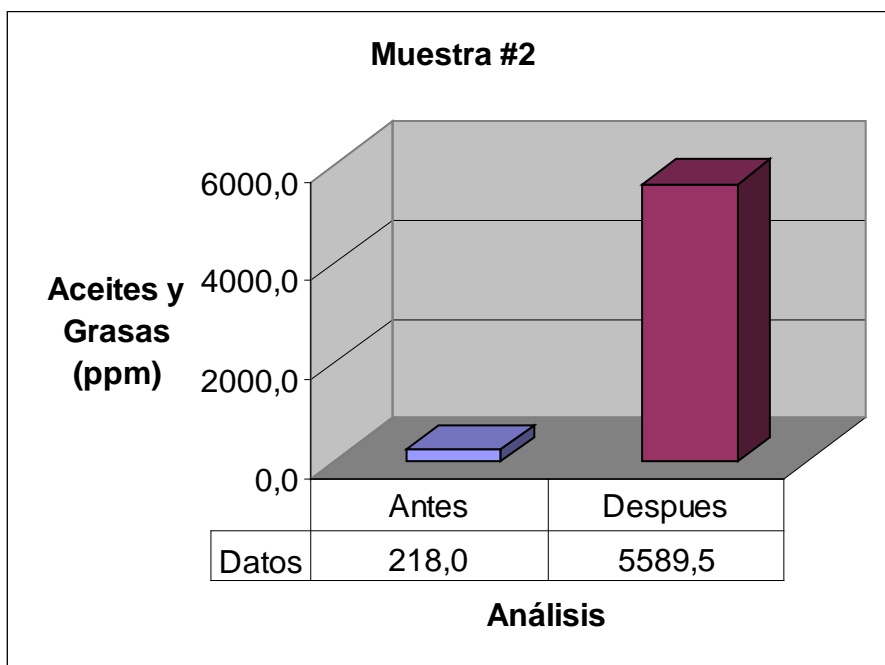


Gráfico No. 47. DQO del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

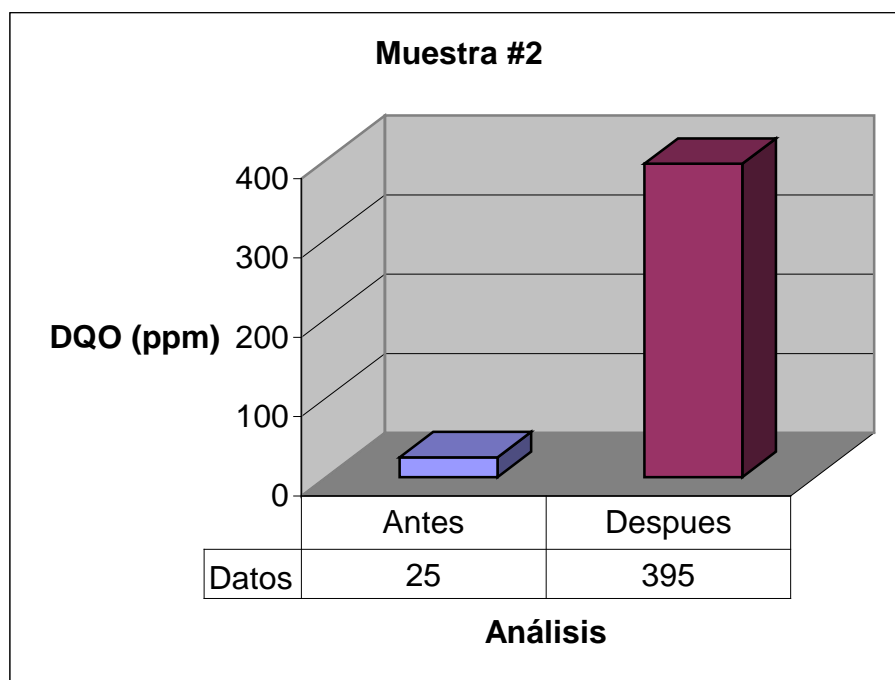


Gráfico No. 48. Sólidos del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

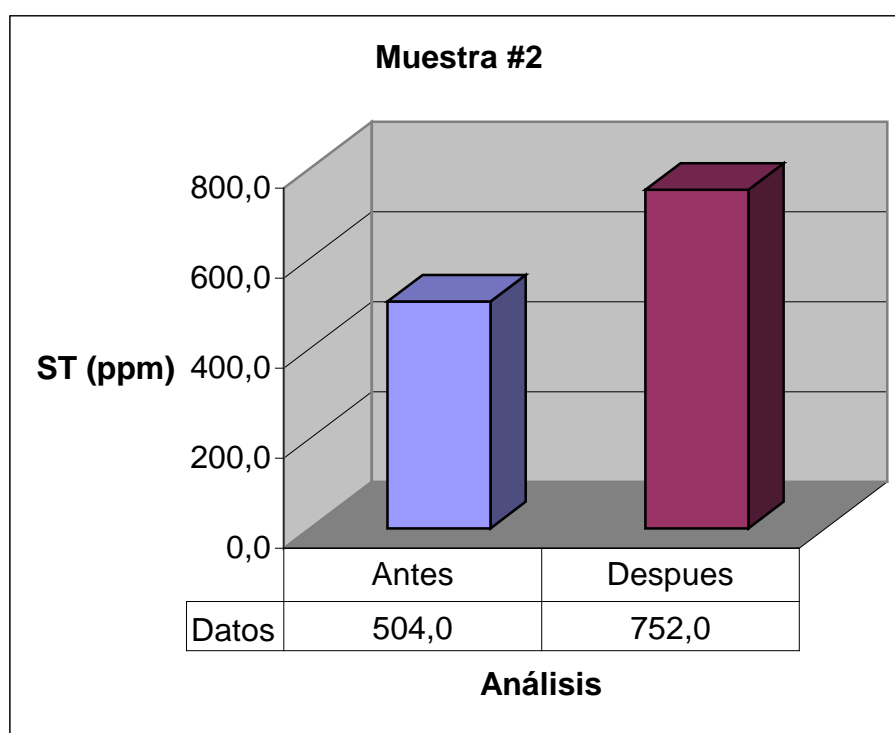


Gráfico No. 49. Sólidos Suspendidos del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.

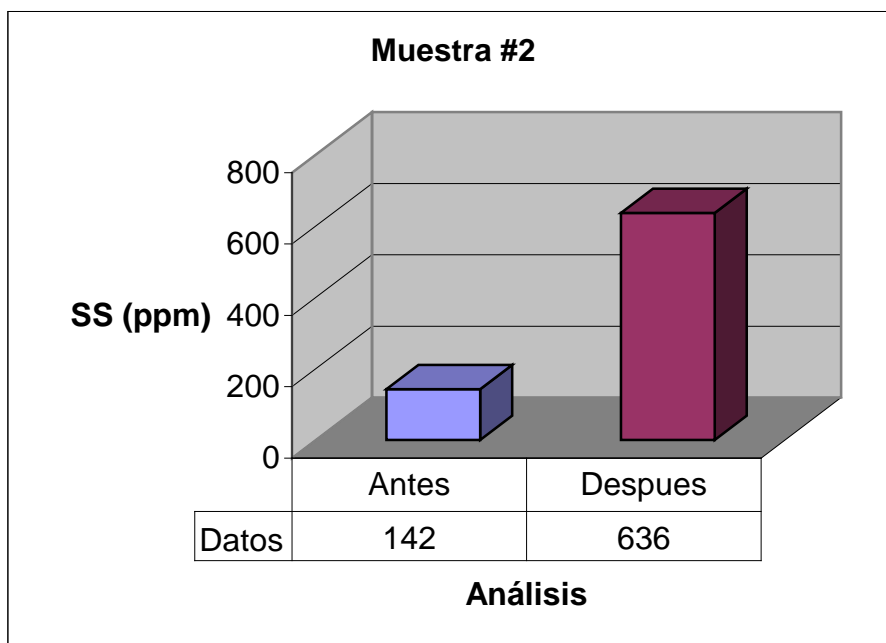
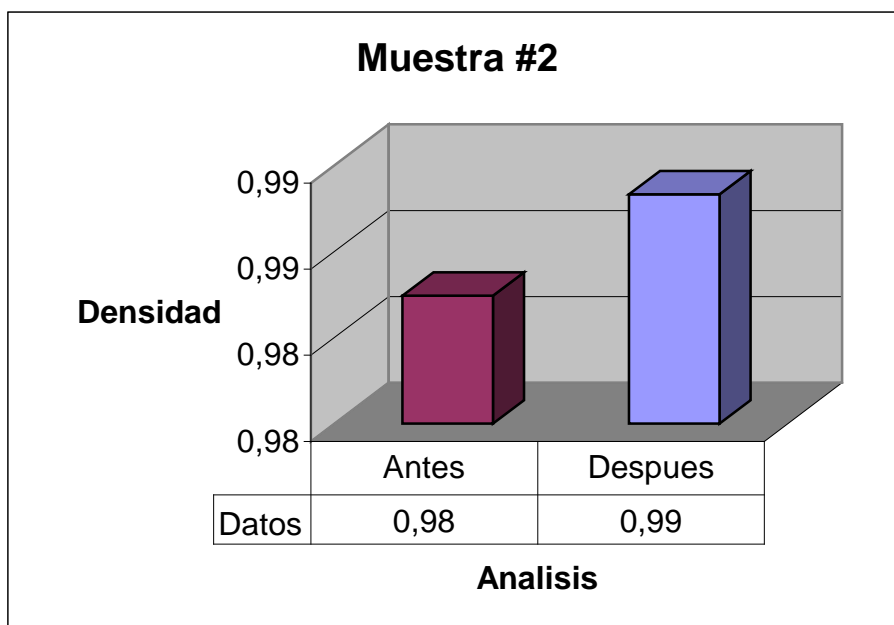


Gráfico No. 50. Densidad del río el Diablo antes y después de la descarga de las aguas residuales industriales.



CAPITULO V: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

5.1. Datos preliminares

5.1.1. Criterios de diseño

En los estudios de diseño y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas, municipales e **industriales**, es necesario aplicar una metodología que permita identificar cada problema específico, caracterizarlo, definir los criterios de tratamiento y establecer las operaciones y procesos de tratamiento optimo para los requerimientos definidos y concretar el diseño correspondiente.

Para los análisis de las dimensiones necesarias de los sistemas a diseñar, se deben tomar en cuenta los resultados de análisis de caracterización del efluente, tales como: DQO, aceites y grasas, sólidos totales y sólidos suspendidos, los cuales fueron sometidos al análisis estadístico por el método de Hansen. Este método ayuda en establecer valores máximos del comportamiento ambiental, aplicándolo en nuestro caso mediante el percentil 10, el percentil divide la distribución en cien partes; es decir, un percentil contiene el 1% de los casos. Se usa cuando se tiene un significativo número de datos.

En la siguiente tabla se presentan lo factores principales que se deben tomar en cuenta para el correcto diseño de la planta de tratamiento de líquidos residuales industriales de la extractora “ATAHUALPA”

Cuadro No. 51. Factores de diseño

Caudal (l/s)	Temperatura (°C)	PH	Aceites y grasas (ppm)	Sólidos Totales (ppm)	Sólidos Suspendidos (ppm)	DQO (ppm)
3.5	67.8	6.58	12339.1	45883.5	29347	129923

5.1.2. Sistemas existentes utilizables para la PTRLI

En la planta extractora de aceite de palma ATAHUALPA, existe una piscina de forma irregular hecha de concreto, sin divisiones y con un volumen total de 345 m³ la cual fue diseñada para funcionar como trampa de grasas, esta se encuentra abandonada y llena de escombros.

La planta extractora “ATAHUALPA” trabaja con una canaleta de recolección del efluente, que se dirige hasta las piscinas de tratamiento biológico que se encuentran colmatadas.

Existen dos piscinas de tratamiento biológico que se encuentran totalmente colmatadas. La piscina número uno mide 50 metros de largo por 40 metros en el ancho #1 y 30 metros en el de ancho #2; y la segunda piscina mide 50 metros de largo por 40 metros de ancho.

Existen varias bombas de distintas capacidades, una de las cuales será utilizada en el bombeo del efluente desde del tanque de recolección que se construirá junto a la trampa de grasas, hasta el nivel de entrada del efluente a la trampa de grasas.

5.1.3. Área disponible para la PTRLI (Planta de Tratamiento de Residuos Líquidos Industriales)

El área aproximada disponible para la construcción de la PTRLI es de 6000 metros cuadrados en los cuales ya se encuentran la trampa de grasas y las dos piscinas de tratamiento biológico; disponiéndose de un área suficiente para la construcción total de la PTRLI.

5.2. Tratamiento primario

5.2.1. Diseño del vertedero

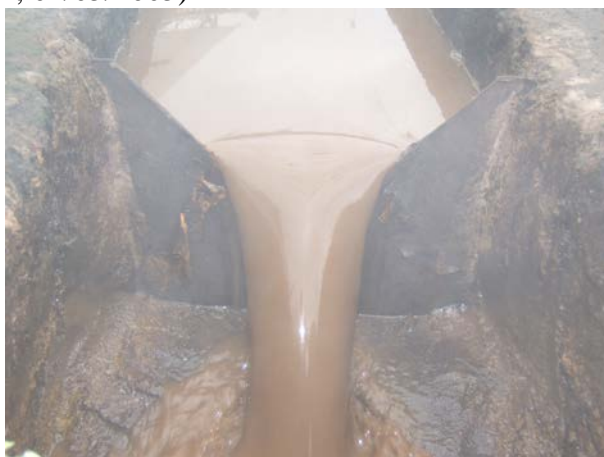
El vertedero fue implantado con el objetivo de controlar el caudal de efluente proveniente de la planta extractora, se lo diseño tomando en cuenta las dimensiones del canal por el cual fluye el residuo líquido a tratar. El vertedero seleccionado es de tipo triangular de 90°, de una lámina de metal de 1/8” de grosor. Las dimensiones del vertedero son las siguientes:

- Grosor: 1/8” de lamina de metal
- Profundidad Total: 25 cm
- Ancho Total: 34 cm

El vertedero fue colocado en la canaleta y sellado sus lados con cemento a fin de evitar que existan perdidas de caudal que puedan filtrarse entre el muro de la canaleta y el vertedero. Es importante tomar en cuenta que el ángulo del vertedero debe ser de filo agudo con pendiente en dirección del flujo del vertido, para mantener en régimen laminar el cuerpo del líquido. Esta se muestra en la **(fotografía) No. 18.**

Fotografía No.18. Vertedero triangular de 90 °

(Fuente: Gustavo Viteri, 04/05/2005)



5.2.2. Diseño de rejilla

Las rejillas diseñadas en la PTRLI de la Extractora Atahualpa, tendrá como objetivo principal el retener sólidos de hasta 1.5 cm, que pueden ser objetos acarreados por efectos del viento o arrastrada por el efluente como papeles, fundas entre otros, los cuales quedaran retenidos en las rejillas a fin de evitar el mal funcionamiento en procesos posteriores. El sistema de cribado de la PTRLI, es un sistema de rejillas de limpieza manual, el cual consiste en un canal rectangular en el cual serán colocadas las rejillas. Las dimensiones del canal son:

- Ancho: 0.34 m
- Altura: 0.25 m
- Pendiente: 2.00 %

Las características de las rejillas de limpieza manual a ser utilizadas en la PTRLI de la Extractora Atahualpa son:

- | | |
|---------------------------------|----------|
| ▪ Ancho de las barras | 1.0 cm |
| ▪ Profundidad de las barras | 32.64 cm |
| ▪ Abertura o espaciamiento | 1.50 cm |
| ▪ Pendiente con la horizontal | 45° |
| ▪ Velocidad de acercamiento | 0.30 m/s |
| ▪ Pérdida de energía permisible | 0.20 m |

El marco de las rejillas esta constituido por el mismo material.

Pérdida de energía:

La pérdida de energía de las rejillas se encuentra relacionada con la forma, altura y velocidad del flujo de entrada del efluente, es así que según Kirschmer, la pérdida de la energía está dada por la siguiente ecuación.

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} h_v \sen \theta$$

Donde:

H = pérdida de energía, m

β = factor de forma de las barras

β = 1.79 para barras circulares

W = ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección del flujo, m

B = espaciamiento o separación mínima entre las barras, m

h_v = altura o energía de velocidad del flujo de aproximación, m

θ = ángulo de la rejilla con la horizontal

De acuerdo a la formula de Kirschmer, la pérdida de energía de las rejillas de la PTRLI será:

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} h_v \sen \theta$$

Donde:

β = 1.79

W = 0.01 m

B = 0.015 m

θ = 45°

$$h_v = \left(\frac{(\text{velocidad del flujo})^2}{2g} \right)$$

$$h_v = \left(\frac{(0.30 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} \right)$$

$$h_v = 0.015 \text{ m}$$

La pérdida de energía en la rejilla limpia, según Kirschmer es:

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} h_v \text{ sen } \theta$$

$$H = 1.79 \left(\frac{0.01 \text{ m}}{0.015 \text{ m}} \right)^{4/3} 0.015 \text{ m} * \text{sen } 45^\circ$$

$$\mathbf{H = 0.24 \text{ m}}$$

En la práctica según Kirschmer, no se debe adoptar valores menores a 0.15 cm como pérdida de energía.

El caudal máximo de entrada al sistema de rejillas que es de 3.5 L/s, el área del canal es:

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

$$A = \frac{0.0035 \text{ m}^3/\text{s}}{0.30 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.011 \text{ m}^2$$

Para el ancho del canal que es de 0.44 m, la altura de la lámina de agua es:

$$h = \frac{A}{\text{ancho del canal}}$$

$$h = \frac{0.011m^2}{0.44m}$$

$$h = 0.025m$$

El número de barras (n), que se requiere en la rejilla será:

$$wn + (n-1)b = \text{ancho del canal}$$

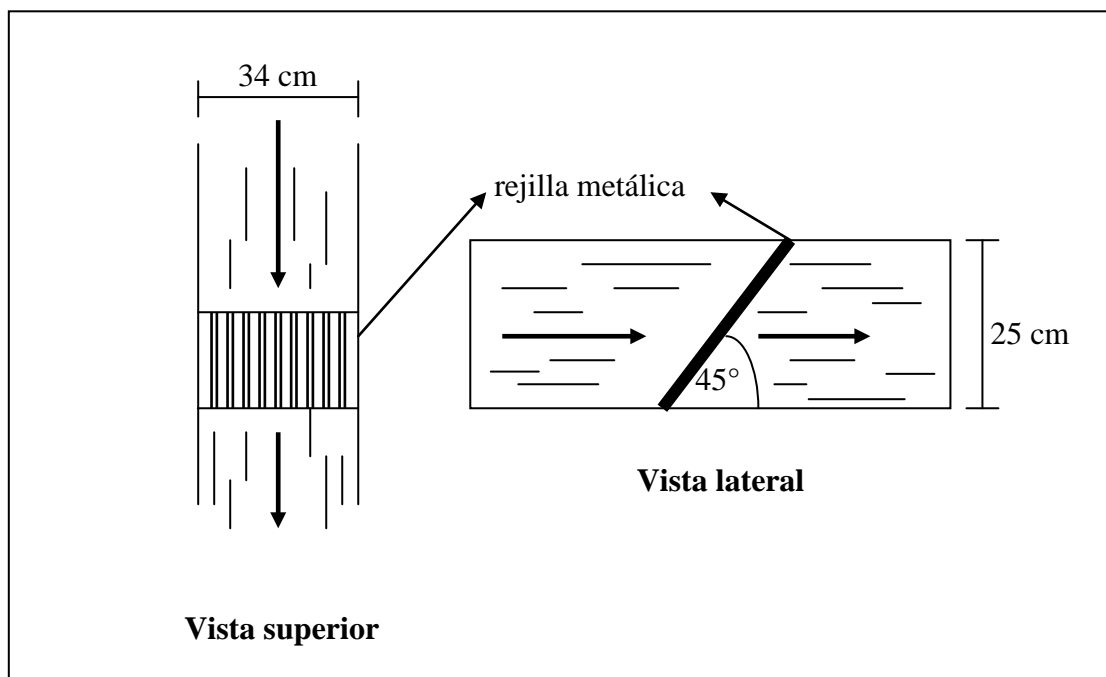
$$1n + (n-1)1.5 = 44 \text{ cm}$$

$$2.5n - 1.5 = 44$$

$$n = 18$$

n = 18 barras de 1.0 cm de diámetro

Figura 8. Esquema de rejillas



Los plano del diseño de la rejilla se detalla el (anexo No. 1)

5.2.3. Diseño de sedimentador

La planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la extractora Atahualpa constará de un sedimentador el cual retiene arenas tanto finas como gruesas que se encuentran en el residuo líquido. Dichas arenas serán retiradas del sedimentador, una vez por semana y serán dispuestas al lecho de secado de lodos.

El objetivo principal del sedimentador es la remoción de los sólidos suspendidos, demanda química y bioquímica de oxígeno, mediante el proceso físico de sedimentación con el fin de proteger las unidades que están aguas debajo de la PTRLI, contra la acumulación de arena y otros materiales inertes que pueden afectar el normal funcionamiento de equipos.

La velocidad de los sedimentadores es de 0.3 m/s, la cual esta relacionada con el caudal de ingreso a la planta de tratamiento de agua residual. El diseño del sedimentador, esta en función de la velocidad de flujo, caudal y tiempo de retención.

- V_{max} = 0.3 m/s
- Q de diseño = 12.6 m³/h
- Tiempo de retención = 7 min. = 0.116 h

Así tenemos:

$$Q = \frac{V}{\theta r}$$

$$V = Q \theta r$$

Donde:

- V volumen
- Q caudal m³/s
- θ tiempo de retención h

$$V = Q \theta$$

$$V = 12.6 \text{ m}^3/\text{h} * 0.116 \text{ h}$$

$$V = 1.46 \text{ m}^3$$

El volumen del sedimentador es de 1.46 m³, las dimensiones del sedimentador, se encuentran con relación a la altura del mismo, que por motivos de operación y mantenimiento es de 0.80 m, en base a la altura, las dimensiones restantes son:

$$V = A * h$$

$$A = \frac{V}{h}$$

$$A = \frac{1.46 \text{ m}^3}{0.80 \text{ m}}$$

$$A = 1.8 \text{ m}^2$$

En base al área A calculada y a la altura h, se toma la relación 1:1 entre el ancho y la altura, por lo que estos valores serán de 0.80 m cada una, así las dimensiones del sedimentador son:

$$V = l * a * h$$

$$l = \frac{V}{a * h}$$

$$l = \frac{1.46m^3}{0.80m * 0.80m}$$

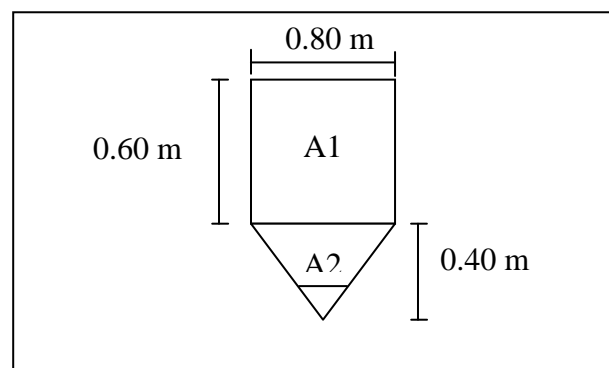
$$l = 2.28 m$$

Así:

- Ancho (a) = 0.80 m
- Altura (h) = 0.80 m
- Largo (l) = 2.28m

La base del sedimentador será en forma triangular para facilitar la sedimentación por gravedad y la recolección de lodos, como se muestra en la figura No. 9.

Figura No. 9. Vista frontal del sedimentador



Tomando en cuenta la figura No. 9. El cálculo del volumen total del sedimentador es:

$$V = V1 + V2$$

$$V1 = l * a1 * h1$$

$$V1 = 2.28m * 0.80m * 0.60m$$

$$V1 = 1.08 m^3$$

$$V2 = \frac{l2 * a2 * h2}{2}$$

$$V2 = \frac{2.28 * 0.80 * 0.40}{2}$$

$$V2 = 0.36 \text{ m}^3$$

$$V = V1 + V2$$

$$V = 1.08 \text{ m}^3 + 0.36 \text{ m}^3$$

$$V = 1.46 \text{ m}^3$$

Con los datos obtenidos, la velocidad de sedimentación (μ), esperada en el sedimentador es de:

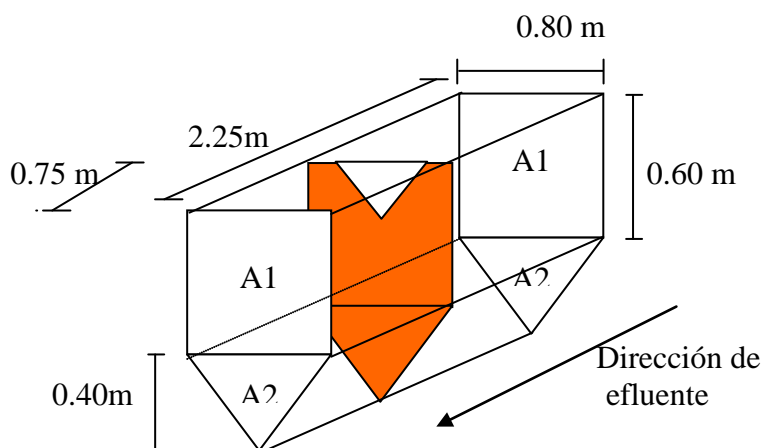
$$\mu = \frac{h}{\theta} = \frac{Q}{A}$$

$$\mu = \frac{h}{\theta} = \frac{0.80m}{0.116h} = 6.9 \text{ m/h} = 0.0019 \text{ m/s}$$

$$\mu = 0.0019 \text{ m/s}$$

El sedimentador contará con una pantalla de hormigón de 20 cm de ancho, de 210 Kg/cm² y estructurado por una malla electro soldada de 5 mm a con 10 cm de separación, que tendrá el objetivo de retener las partículas sedimentadas que pueden afectar el tratamiento, y al mismo tiempo cumplirá con las funciones de vertedero controlado de forma triangular de 90°, esta barrera estará ubicada a 0.75 m de la pared final del sedimentador; todos los muros y base del sedimentador serán estructurados con muros de 20 cm de ancho, hormigón de 210 kg/cm² y con una malla electro soldada de 5mm y a 10 cm de separación. Para una mejor ilustración del sedimentador, se muestra la figura No. 10.

Figura No. 10. Sedimentador



El plano del diseño del sedimentador se detalla en el (anexo No. 1.)

5.2.3. Diseño de trampa de grasas

Dado que en la actualidad, la planta extractora de aceite de palma “ATAHUALPA” tiene una piscina de concreto de 345 m^3 en buenas condiciones, que se lo puede disponer como trampa de grasas para el sistema de tratamiento de residuos líquidos industriales de la planta con un volumen de 343 m^3 , y una pequeña parte de 2 m^3 se la dispondrá como tanque de neutralización el cual funcionara mediante un dosificador de cal disuelta en agua; dilución que se homogenizara con el efluente por medio de un agitador mecánico .

Para lograr que dicha piscina funcione adecuadamente como trampa de grasas se deberá realizar la construcción de muros separadores que cumplan con la función de dividir la piscina en siete partes con el fin de disminuir al máximo las partículas de aceites y grasas y material particulado que contiene el efluente.

Se construirán cinco muros separadores; tres de los cuales serán sumergidos, estos serán estructurados de hormigón de 210 kg/cm^2 y con una malla electro soldada de 5 mm y a 10 cm de separación, 0.15 m de ancho, 3.45 m de largo y 0.60 m de altura medidos desde el fondo; estos cumplirán con la función de retener la mayor cantidad de sólidos; y dos superficiales que cumplirán con la función de retener los aceites y grasas; estos serán estructurados de hormigón de 210 kg/cm^2 y con una malla electro soldada de 5mm y a 10 cm de separación, 0.15 m de ancho, 3.45 m de largo y 0.60 m de altura medidos desde la superficie del tanque.

Con la construcción de los muros separadores que ocuparan un volumen de 13.92 m^3 , el volumen de la trampa de grasas disminuirá a 308.819 m^3 , es decir un tiempo de residencia de 25 horas

Los muros separadores serán de las siguientes características:

Los muros sumergidos cubrirán el ancho total de la sección de la piscina y tendrán una altura de 0.60 m y serán construidos con hormigón de 210 kg/cm^2 . con un ancho de 15 centímetros.

Los muros superficiales cubrirán el ancho total de la sección de la piscina y tendrán una profundidad de 0.60 m y serán construidos con hormigón de 210 kg/cm^2 . con un ancho de 15 centímetros. Los muros se detallan en el (**anexo No. 2.**)

Se construirán 3 fosas colectoras de la nata de aceites y grasas en lugares estratégicos de tal manera que faciliten la recuperación de las natas; las dimensiones de dichas fosas son:

- Ancho: 1.0 m
- Largo: 1.0 m
- Profundidad: 1.0 m

Las tres fosas de recolección medirán un metro de ancho por un metro de largo y por un metro de profundidad y se encontraran a los lados de la trampa de grasas conectadas entre si por compuertas de 0.60 m de ancho y 0.10 m de profundidad, estructurados con hormigón de 210 kg/cm^2 y con una malla electro soldada de 5mm y a 10 cm de separación, y un ancho de sus paredes de 0.20 m.

El efluente libre de aceites y grasas y sólidos totales pasará al tanque neutralizador por medio del 2 tubos en “T” de 4” cada uno; cada tubo será de 0.80 m de profundidad, su parte superior deberá estar a la misma altura 0.05 m mas alto del nivel superficial del tanque y el eje de su sección horizontal se ubicará a 10 cm de profundidad medidos desde la superficie. La las características de las fosas se las especifica en el (**anexo No. 4**)

5.2.4. Diseño de tanque de neutralización

El tanque de neutralización esta diseñado en el ultimo extremo de la misma piscina que se la dispondrá para trampa de grasas, dicho tanque tendrá un volumen de 2 m^3 y un tiempo de residencia de 15 minutos.

El traspaso del efluente desde la trampa de grasas hacia el tanque de neutralización se realizara a través de dos tubos en “T” de 4” cada uno; cada tubo será de 0.80 m de profundidad, su parte superior deberá estar a la misma altura 0.05 m mas alto del nivel superficial del tanque y el eje de su sección horizontal se ubicará a 10 cm de profundidad medidos desde la superficie.

La salida del efluente desde el tanque de neutralización hacia la piscina de tratamiento biológico anaerobio, se da por medio de un canal cerrado ubicando su base a 0.15m de la superficie, las medidas del canal serán las siguientes:

- Ancho: 0.34 m
- Profundidad: 0.15 m

La neutralización se dará mediante un dosificador controlado, de cal disuelta en agua y homogenizado por medio de un agitador mecánico; las concentraciones aptas a las que se debe someter la dilución de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) se definirán realizando pruebas de neutralización para obtener un rango de pH de 7,0; las pruebas se realizaran con muestras tomadas en los tubos en “T” que traspasan el efluente de la trampa de grasas, hacia el tanque de neutralización.

El plano del tanque de neutralización se lo muestra en el (**anexo No. 4.**)

5.2.5. Enfriamiento del efluente liquido

El efluente que ingresa al sistema de tratamiento primario se encuentra a una temperatura de 67.8 °C; dicha temperatura deberá disminuir como mínimo hasta los 35 °C con la que debe ingresar a las piscinas de tratamiento biológico.

Para la disminución de esta temperatura no es necesario diseñar un sistema de enfriamiento; para alcanzar la temperatura adecuada para el proceso; esta decisión se ha tomado luego de una prueba de tratabilidad en el campo, realizada en un tanque metálico de 55 Galones que fue llenado completamente con el efluente a tratar, dicho efluente fue tomado directamente de la canaleta de recolección del residuo liquido.

Una vez lleno el tanque, se registro la temperatura inicial, igualmente la temperatura durante en distintos periodos hasta completar las 25 horas de tiempo de residencia, que es el tiempo

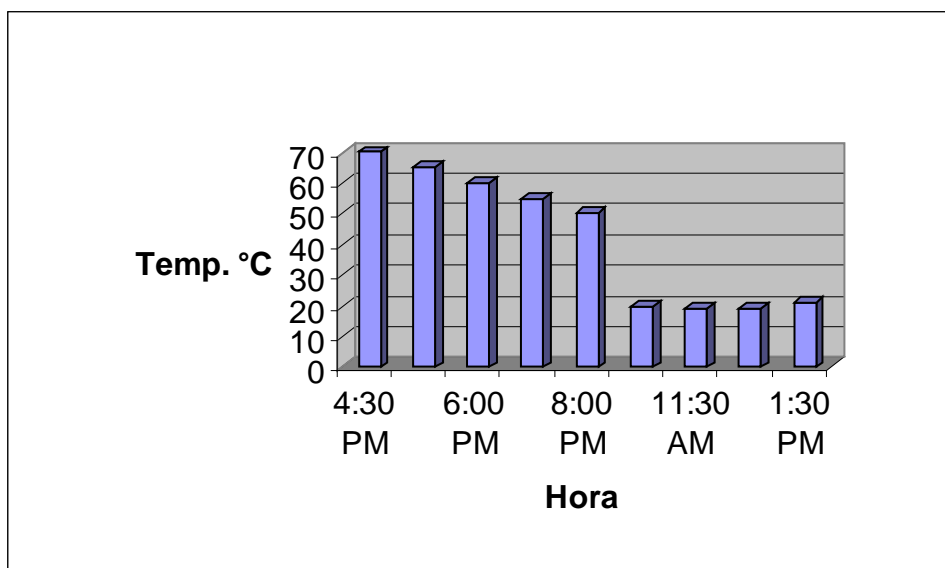
de residencia que el efluente tiene dentro del la trampa de grasas; con dichos muestreo se obtuvieron los siguientes datos:

Cuadro No. 52. Variación de la temperatura en función al tiempo de residencia dentro de la trampa de grasas.

Hora de medición	Temperatura obtenida
4:30 pm	70 °C
5:15 pm	65°C
6:00 pm	60 °C
7:00 pm	55 °C
8:00 pm	50 °C
10:30 am	20 °C
11:30 am	19 °C
12:30 pm	19°C
1:30 pm	21°C

(*)A partir de las 18 horas de residencia se nota que el efluente alcanza la temperatura ambiente.

Grafico No. 44. Variación de la temperatura en función del tiempo de residencia dentro de la trampa de grasas.



5.2.6. Diseño de las canaletas de recolección

Todas las canaletas que se deben construir para el transporte del residuo líquido a través de toda la planta de tratamiento de residuos líquidos industriales de la planta extractora de aceite de palma “Atahualpa” serán de hormigón de 210 kg/m^3 y sus paredes y fondo serán de 20 cm de espesor. Las dimensiones de las canaletas dentro de la PTRLI son:

- Ancho: 0.34 m
- Profundidad: 0.25 m
- Largo Total: 67.40 m

5.3. Tratamiento Secundario

5.3.1. Diseño de laguna de estabilización anaeróbica

Para el diseño de la piscina anaerobia se debe tomar en cuenta que el área destinada para estas, ya se encuentra delimitada, por lo que no es posible disponer de un área mayor a la ya existente; es decir, el área de la piscina de tratamiento anaerobio es de 40 m por 30 m de ancho y 50 m de largo.

La profundidad de dicha piscina de acuerdo a lo recomendado en la bibliografía, deberá ser de 4.15 metros de modo que existan 4.0 metros de profundidad desde el espejo de agua y un talud de 45° con el propósito de evitar desmoronamiento de las paredes laterales de la piscina.

El ingreso del residuo líquido se dará por la canaleta que conduce el líquido desde el tanque neutralizador; esta canaleta tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho: 0.34 m
- Profundidad: 0.15 m

Las dimensiones de la piscina anaerobia serán de:

- Ancho # 1: 40 m
- Ancho # 2: 30 m
- Largo: 50 m
- Profundidad: 4.15 m
- Talud: 45°
- Volumen: 8360 m^3
- Tiempo de residencia: 28 días

Una vez realizada la excavación se deberá compactar fuertemente el suelo con aplanadora; de acuerdo a las características arcillosas del suelo, este realizará la función de impermeabilizante, por lo que no se colocara una geomembrana, el suelo arcilloso impedirá que el residuo líquido filtre hacia aguas subterráneas, pudiendo causar contaminación de las mismas. La proliferación de microorganismos se dará de forma natural y tardaran en equilibrar la población necesaria, en alrededor de 1 mes de la puesta en marcha de la planta.

El plano de la piscina anaerobia se especifica en el **(anexo No. 5)**

5.3.2. Diseño de laguna de estabilización facultativa

Para el diseño de la piscina facultativa se debe tomar en cuenta que el área destinada para estas, ya se encuentra delimitada, es decir, el área de la piscina de tratamiento facultativo es de 50 m de largo por 40 metros de ancho.

La profundidad de dicha piscina es de 1.65 metros de modo que existan 1.50 metros de profundidad desde el espejo del agua y un talud de 45° con el propósito de evitar desmoronamiento de las paredes laterales de la piscina.

El ingreso del residuo líquido se dará por la canaleta que trae el líquido desde el tanque neutralizador; esta canaleta tiene las siguientes dimensiones:

- Ancho: 0.34 m
- Profundidad: 0.15 m

Las dimensiones de la piscina facultativa serán de:

- Ancho: 40 m
- Largo: 50 m
- Profundidad: 1.65 m
- Talud: 45°
- Volumen: 2709 m³
- Tiempo de residencia: 9 días

Una vez realizada la excavación se deberá compactar fuertemente el suelo con aplanadora; las características arcillosas del suelo realizaran la función de impermeabilizante, por lo que no se colocara una geomembrana, el suelo arcilloso impedirá que el residuo líquido filtre hacia

aguas subterráneas, pudiendo causar contaminación de las mismas. La proliferación de microorganismos y algas se dará de forma natural y tardaran en equilibrar la población necesaria, en alrededor de 1 mes de la puesta en marcha de la planta.

El plano de la piscina facultativa se especifica en el (**anexo No. 5**)

5.3.3. Diseño de lecho de secado

Dentro del proceso de eliminación de residuos es importante tomar en cuenta el lodo que se genera en el proceso de la extracción del aceite de la palma y que es retenido en los sistemas de tratamiento primario como son: el sedimentador, trampa de grasas y el tanque neutralizador.

Dichos lodos deben ser recuperados de los sistemas de tratamiento primario y dispuestos a un lecho de secado. Dentro del lecho de secado se distribuye uniformemente todos los lodos recolectados de dichos tratamientos.

El objetivo es secar o deshidratar los lodos de tal manera que el exceso de residuo líquido se reingrese al tanque de neutralización. El residuo sólido conformado en su mayoría por fibra orgánica que contiene altos contenidos de nutrientes y pueden ser dispuestos como bio-abonos.

La cámara del lecho de secado tendrá las siguientes dimensiones:

▪ Longitud:	3.0m
▪ Ancho:	2.0m
▪ Altura	1.20m
▪ Pendiente de la cámara:	2.0%
▪ Diámetro de la tubería:	0.10 m
▪ Pendiente de la tubería:	2.0%
▪ Distancia entre tuberías laterales:	1.0m
▪ Espesor de grava:	0.25 m
▪ Tamaño de grava:	0.03m
▪ Espesor de la capa de arena:	0.25m

La estructura del tanque de lecho de secado esta constituida, tanto en paredes como en su base, por 0.20 metros de espesor, hecho de hormigón de 210 Kg/cm², con una estructura en malla hecha de acero de refuerzo de 8 a 12 mm, con espaciamiento de 10 cm entre cada una.

En la base del lecho de secado se deberá armar un sistema de siete tuberías de recolección del efluente para ser transportado al tanque de neutralización. Dichas tuberías serán de PVC de 4” y cubrirán todo ancho del tanque, estas se unirán a un tubo colector de PVC de 4” que se encontrará a todo lo largo del tanque, este dirigirá el efluente hacia el tanque neutralizador.

Sobre la parte superior de la capa de arena de río, se colocara una geomalla de 0.75 mm de espesor, tres metros de largo y 2 metros de ancho; con el fin de evitar el desalojo y desgaste prematuro de las capas de arena pertenecientes al lecho de secado. Tal como se muestra en el plano desarrollado en el (anexo No. 3.)

5.4. Eficiencia de la planta de tratamiento de residuos líquidos industriales de la planta extractora “ATAHUALPA”

Cuadro No. 53. Eficiencia mínima de remoción de la PTRLI

Unidad de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción (%)			
	DQO	Aceites y Grasas	Sólidos Totales	Sólidos Suspendidos
Rejilla	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Sedimentador	30	40	60	20
Trampa de grasas	50	99.9	90	40
Neutralizador	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Piscina Anaerobia	95	80	60	95
Piscina Facultativa	95	80	60	95

Tomando en cuenta los valores de remoción de la tabla anterior, en cada una de las etapas de la PTRLI de la extractora “ATAHUALPA”, se observa a continuación los valores mínimos a los que se pretenden llegara el producto final.

Cuadro No. 54. Concentración mínima a la salida de cada unidad.

Unidad de tratamiento	Concentración mínima a la salida del cada unidad (ppm)			
	DQO	Aceites y Grasas	Sólidos Totales	Sólidos Suspendidos
Concentración de descarga original	129923	12339	45883	29347
Rejilla	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Sedimentador	90946	7403	18353	23478
Trampa de grasas	45473	7	1835	14087
Neutralizador	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Piscina Anaerobia	2274	1	734	704
Piscina Facultativa	114	0.2	294	35

Tabla No. 3. Límites de descargas que la PTRLI debe cumplir según el TULAS

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Sólidos Suspendidos Totales	SS	mg/l	100
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Temperatura	°C		< 35

De acuerdo a la eficiencia de la PTRLI mostrada en la tabla No. 54. El producto final de la PTRLI logra cumplir con todos los límites permisibles de descargas a cuerpos de agua dulce.

5.6. Operación y mantenimiento de las unidades de trabajo de la PTRLI

5.6.1. Vertedero

Dado que el vertedero es una unidad que se encuentra en constante contacto con el flujo del vertido, se debe vigilar que en ningún momento se encuentre obstruido por cualquier tipo de

objeto. De igual manera se debe verificar el buen estado de su estructura. Su operación y mantenimiento no necesita de personal técnico o calificado.

5.6.2. Rejilla

Para la operación de las rejillas se deberá tener un par de rejillas de las mismas características como repuesto, con el objetivo de poder cambiar con rapidez la que se encuentra trabajando y que podría estar obstruida o en malas condiciones por efectos abrasivos causados por la acidez del efluente que por el atraviesa. La limpieza de las rejillas se deberá realizar median chorros de agua a presión dirigidos directamente sobre las rejillas. Su operación y mantenimiento no necesita de personal técnico o calificado.

5.6.3. Sedimentador

Para el mantenimiento del sedimentador, se tomara en cuenta el periodo que la planta extractora no se encuentre en funcionamiento, de modo que la limpieza de este, se la realice en días que no existe producción.

El mantenimiento y limpieza se la deberá realizar al menos una vez por semana o al momento en que las arenas al interior del sedimentador alcancen los 0.25 metros de espesor; todo el lodo recolectado del mantenimiento de tal sistema deberá ser dispuesto en el lecho de secado.

La necesidad de realizar un adecuado mantenimiento del sistema, es de suma importancia para evitar que se de arrastre de arena a sistemas que puedan correr riesgos de daño debido a su presencia. Su operación y mantenimiento no necesita de personal técnico o calificado.

5.6.4. Trampa de grasas

Para la operación y mantenimiento de la trampa de grasas, se tomara en cuenta los días que la planta extractora no se encuentre en funcionamiento de modo que la limpieza de la trampa de grasas se la realice en momentos prolongados de por lo menos dos días de inactividad de la planta.

Las grasas flotantes serán removidas de la piscina hacia las tres fosas de recolección que se encuentran a los lados de la trampa de grasas, conectadas a esta por medio de pequeñas compuertas. Cada vez que la nata flotante alcance un grosor de 5 cm sobre la superficie del líquido se abrirán las compuertas para retirar el exceso de grasas.

La limpieza se realizara bombeando todo el residuo liquido de la piscina y una vez vaciada retirar manualmente todo el lodo sedimentado en la piscina, colocándolo en el tanque de lecho de secado.

El mantenimiento y limpieza se la deberá realizar al menos una vez cada dos meses o cuando el lodo acumulado complete los 0.40 metros de altura.

En el caso de notar desgaste o destrucción de las paredes o muros separadores, proceder a corregir el problema de inmediato.

El mantenimiento se lo realizara de igual manera para el sistema de tanques recolectores de grasas y el tanque de bombeo; tomando en cuenta que estos no deben tener mas de 0.20 m de sedimento.

El mantenimiento del sistema es vital para lograr mantener la eficacia en la remoción de aceites y grasas. Su operación y mantenimiento no necesita de personal técnico o calificado.

5.6.6. Lecho de secado

Para la operación del lecho de secado no se necesitara personal técnico o calificado, un trabajador colocara los lodos recuperados de los diversos sistemas de manera uniforme y evitando dañar la capa de arena sobre la cual se aplicara el lodo.

El lodo deberá ser retirado o removido del lecho de secado una vez que este complete un espesor de 0.30 m y se encuentre totalmente seco

Con frecuencia se deberá realizar la verificación del buen funcionamiento del drenaje, para evitar que se produzca un taponamiento.

En el caso de notar desgaste o destrucción de las paredes o muros separadores, proceder a corregir el problema de inmediato.

5.6.6.1. Utilización de la torta

La torta que se obtiene del lecho de secado podrá ser dispuesta como fuente de alto contenido de nutrientes; para procesos de elaboración de bio-fertilizantes o colocada directamente en la corona de la palma africana.

Dado que existe la posibilidad que la torta no sea necesaria para los nombrados procesos o se genere un exceso de esta, deberá ser dispuesta a los rellenos sanitarios del lugar.

5.6.6.1. Operación y mantenimiento de las piscinas de tratamiento biológico.

Tanto para la piscina anaerobia como para la facultativa, la operación y el mantenimiento deberán ser iguales.

La puesta en marcha con el rendimiento de las piscinas a su máxima capacidad de biodegradación se iniciará alrededor de un mes después que las piscinas sean llenadas hasta su nivel de funcionamiento y que la población bacteriana se estabilice en los niveles necesarios.

No se deberá colocar, mezclar o diluir ningún tipo de sustancias o materiales ajenos al sistema de residuos líquidos industriales provenientes de las fases de procesos de depuración anteriores.

Una vez al año se deberá verificar el nivel al que se encuentra el sedimento de las lagunas; dicho nivel de sedimentos no es aconsejable que supere el 1/3 de la profundidad de la laguna ya que su eficiencia disminuirá notablemente, es por ello la importancia de los tratamientos primarios.

Se deberá mantener un constante control de la estabilización de los taludes con el fin de evitar desmoronamientos del mismo y evitar mediante canales de agua la escorrentía hacia las piscinas por aguas lluvia.

Siempre se deberá mantener totalmente limpio de maleza y escombros todos los alrededores de las piscinas para evitar que exista una posible descarga de materiales o sustancias ajenas al residuo líquido contenido en las mismas.

Se deberá tomar constantemente un control del efluente líquido que sale de las piscinas y que es descargado hacia el río el Diablo. En el caso que el sistema de tratamiento no cumpla con los límites permisibles establecidos por la ley, se deberá realizar las modificaciones necesarias con el fin de cumplir con las mismas.

5.8. Presupuesto de la PTRLI de la planta extractora “ATAHUALPA”

Cuadro No. 55. Presupuesto para la construcción del sistema de canaletas

Movimiento de tierras				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Limpieza manual	m2	0.44	40.44	17.79
Replanteo y nivelación	m2	0.57	40.44	23.05
Excavación manual	m3	3.51	22.44	78.76
Desalojo del material	m3	3.01	22.44	67.54
			Sub Total	187.15
Estructura				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Hormigón en muros de 210 Kg/cm2 incluido encofrado.	m3	141.57	13.34	1888.54
Replanto H.S. 140 Kg/cm2	m3	71.89	4.99	358.73
			Subtotal	2247.27
			Total	2434.43

Cuadro No. 56. Presupuesto para la construcción del sistema de sedimentación

Movimiento de tierras				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Limpieza manual	m2	0.44	2	0.88
Replanteo y nivelación	m2	0.57	2	1.14
Excavación de zanjas a maquina	m3	3.41	2.12	7.23
Desalojo del material	m3	3.01	2.12	6.38
			Sub Total	15.63
Estructura				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Hormigón en muros de 210 Kg/cm2 incluido encofrado.	m3	141.57	1.9	268.98
Replanto H.S. 140 Kg/cm2	m3	71.89	0.36	25.88
Malla electro soldada de 5 mm	m2	3.92	30.37	119.05
			Sub Total	413.91
			Total	429.54

Cuadro No. 57. Presupuesto para la construcción del sistema de tanques de recolección

Movimiento de tierras				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Limpieza manual	m2	0.44	1.21	0.53
Replanteo y nivelación	m2	0.57	1.21	0.69
Excavación manual	m3	3.51	1.73	6.07
Desalojo del material	m3	3.01	1.73	5.21
			Sub Total	12.50

Estructura				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Hormigón en muros de 210 Kg/cm2 incluido encofrado.	m3	141.57	4.4	622.91
Replanteo H.S. 140 Kg/cm2	m3	71.89	0.15	10.78
Malla electro soldada de 5 mm	m2	3.92	5.2	20.38
			Sub Total	654.08
			Total	666.58

Cuadro No. 58. Presupuesto para la construcción de los muros separadores en la trampa de grasas

Estructura				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Hormigón en muros de 210 Kg/cm2 incluido encofrado.	m3	141.57	2.18	308.62
Malla electro soldada de 5 mm	m2	3.92	13.92	54.57
			Total	363.19

Cuadro No. 59. Presupuesto para la construcción del sistema de Lecho de secado

Movimiento de tierras				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Limpieza manual	m2	0.44	1.21	0.53
Replanteo y nivelación	m2	0.57	1.21	0.69
Excavación manual	m3	3.51	1.73	6.07
Desalojo del material	m3	3.01	1.73	5.21
			Sub Total	12.50

Estructura				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Hormigón en muros de 210 Kg/cm2 incluido encofrado.	m3	141.57	4.22	597.43
Acero de refuerzo de 8 a 12 mm	Kg	1.06	433.44	459.45
Tubería PVC 110 mm para desagüe	m	3.82	17	64.94
Grava (en cantera) 30 mm piedra #4	m3	6.01	1.5	9.02
Arena lavada de río	m3	7.00	1.5	10.50
Geomalla de 0.75 mm	m2	3.92	6	23.52
			Sub Total	1164.85
			Total	1177.35

Cuadro No. 60. Presupuesto para la construcción del sistema piscinas de tratamiento biológico

Movimiento de tierras				
Rubro	Unidad	Costo directo (\$ UD)	Cantidad	Costo Total
Replanteo y nivelación	m2	0.57	1.21	0.69
Excavación en fango	m3	3.5	11069	38741
Desalojo del material con volqueta	m3/km	1.8	11069	19924
			Total	58665.7

Cuadro No. 61. Presupuesto para la construcción general

Descripción	Costo en (\$UD)
Subtotal de canaletas	2434.43
Subtotal del sedimentador	429.54
Subtotal de tanques recolectores	666.58
Subtotal de muros separadores	363.19
Subtotal de Lecho de secado	1177.35
Subtotal de piscinas de tratamiento	58665.7
Total	63736.8

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

- Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se tomaron en cuenta varios aspectos significativos para lograr obtener los resultados deseados y al menor costo posible, diseñando sistemas de tratamiento adecuados y dimensionados exactamente a las necesidades de depuración que las características del residuo líquido a tratar exigen. Para ello se planteó un cronograma de trabajo que se adecua a los tiempos requeridos para poder realizar las salidas de campo en los cuales se reconoció, dimensionó y muestreó el área de trabajo; de igual manera el cronograma fue diseñado para coordinar los muestreos con el tiempo que tomó realizar los análisis químicos en los laboratorios de la Universidad Internacional SEK.
- La toma de muestras se la realizó en la descarga de la canaleta de transporte del residuo líquido industrial, que libera el efluente directamente a una de las piscinas de oxidación; es en este punto donde se instaló el vertedero triangular con el fin de registrar medidas de temperatura, pH, caudal y muestras para los respectivos análisis en laboratorio.
- La temperatura tomada como criterio para el diseño fue de 67.8 °C, a esta temperatura no se puede ingresar el residuo líquido a las piscinas de tratamiento biológico debido a que las bacterias que se encuentran presentes, no tienen la capacidad de mantener su equilibrio poblacional, ni desarrollarse hasta lograr su rendimiento óptimo; por lo que es importante que la temperatura disminuya alrededor de 35°C.
- Por medio de la prueba de enfriamiento realizada en el campo, se determinó que de las 25 horas de tiempo de residencia dentro de la trampa de grasas, el residuo líquido tarda en reducir su temperatura hasta los 21 °C en un tiempo de 18 horas.
- El pH tomado como criterio de diseño fue de 6.58, es decir es un pH ácido que al igual que la temperatura afecta directamente al desempeño de las bacterias establecidas naturalmente en las piscinas de tratamiento biológico, por tanto la neutralización del residuo líquido es fundamental. Dado que la acidez del medio es crítica para el sistema, se deberá realizar una neutralización y para ello se realizarán mediciones de pH a la salida de la trampa de grasas, debido a que el pH de residuo puede cambiar sustancialmente. Una vez tomada la medición del pH en la entrada al tanque neutralizador se decidirá la forma en que se neutralizará el efluente.
- El caudal de criterio para el diseño, se lo obtuvo de la misma manera que todos los parámetros medidos para esta investigación, es decir a través del método estadístico de Hansen el cual presenta los valores significativos del parámetro medido y sugiere el

criterio de diseño. El caudal usado fue de 3.5 l/s con el cual se dimensionó todos los sistemas de la Planta de tratamiento.

- Se diseño una rejilla metálica al inicio del sistema de tratamiento, con el fin se retener todo escombros mayor a 1.5 cm de diámetro ya que estos pueden causar problemas en sistemas de bombeo.
- El sedimentador fue diseñado para remover el 30% de DQO, el 40 % de Aceites y grasas, el 60 % de sólidos Totales y el 20% de sólidos suspendidos. Los niveles medidos de sólidos totales fue de 45883 ppm y 29347 ppm de sólidos suspendidos. El fin de retener todos sólidos totales y parte de los suspendidos es para evitar que estos pasen a otros sistemas como son las bombas por las que pasará el efluente. El sedimentador tiene un volumen de 1.46m^3 , es decir, tiempo de residencia de 7 minutos.
- La trampa de grasas también es necesaria en la planta de tratamiento de residuos líquidos, ya que el efluente tiene una concentración de 12339 ppm de aceites y grasas que deben ser removidos para cumplir con los límites permisibles. La trampa de grasas fue simplemente rediseñada y readecuada a partir de la estructura principal que existía anteriormente. Con el nuevo diseño se logrará reducir en el 50% la DQO, un 99.9% de aceites y grasas recuperados en tanque de recolección de 1m^3 , el 90% de sólidos totales y el 40 % de sólidos suspendidos. Con la ventaja que, mientras más se retengan los sólidos, mas será la vida útil de las piscinas de tratamiento biológico. La trampa de grasas tiene un volumen de 309m^3 , es decir, 25 horas de tiempo de residencia.
- La neutralización se realizará por medio de un dosificador de hidróxido de calcio y un agitador mecánico hasta obtener un pH de 7. Los cálculos de concentración para lograr neutralizar el efluente se los realizará tomando medidas a la salida de la trampa de grasas, es decir cuando ésta ya se encuentre en funcionamiento, la decisión del método mas adecuado para la neutralización se la lleva a cabo de esta manera ya que el efluente puede cambiar su pH en el transcurso de las 25 horas que reside en la trampa de grasas. El tanque neutralizador tiene un volumen de 2m^3 , es decir, dos horas y media de tiempo de residencia.
- Las piscinas de tratamiento biológico, fundamentalmente cumplirán con la función de reducir la DQO que presenta el efluente; dichas piscinas serán construidas en el mismo lugar de las ya existentes.
- Por tal motivo no se puede disponer de un área mayor a la señalada, en la readecuación de las piscinas. La piscina #1 (anaerobia) tiene un volumen de 8360m^3 y un tiempo de residencia de 28 días, dentro de las cuales se lograra reducir la DQO en un 95%, los

aceites y grasas en un 80 %, los sólidos totales en un 60% y los sólidos suspendidos en un 95%, rendimientos que son los mismos para la laguna #2 (facultativa) cuyo volumen es de 2709 m³ y un tiempo de residencia de 9 días.

- El diseño de toda la planta, direccionamiento del efluente y tiempos de residencia han sido concebidos rigiéndose a las estructuras actuales que posee la planta extractora, de manera que los costos de construcción y eficiencia de la planta sean los mas conveniente para conseguir el propósito de descargar el residuo liquido al río el Diablo dentro de los limites permisibles aplicados a este tipo de descarga.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La caracterización físico-química del residuo líquido industrial proveniente de los procesos de la planta extractora de aceite de palma africana “ATAHUALPA” demuestran que el residuo es sumamente contaminante al ambiente, en especial para el río El Diablo, ya que los análisis concluyen que ningún parámetro medido está dentro de los límites permisibles que la ley exige.
- La caracterización físico-química del río el Diablo demuestra que existe contaminación, por incumplir los límites permisibles en descargas a cuerpos de agua como se establece en el TULAS, anexo 1, literal 4.2.3.2. El río muestra contaminación antes y después de la descarga del efluente proveniente de la planta extractora “ATAHUALPA”
- Es de suma importancia que la planta extractora desarrolle el presente proyecto lo antes posible con el fin de parar y controlar la desmedida contaminación que se está causando.
- El área y los sistemas existentes destinados para el tratamiento del residuo líquido, son de gran utilidad para la ejecución del proyecto, ya que se encuentran en condiciones aptas para ser rediseñados y puestos en funcionamiento.
- Los rendimientos estimados en todos los sistemas de tratamiento planteados, son positivos ya que reducirán la carga contaminante, para cumplir con los límites permisibles que exige la ley.
- Todo el lodo acumulado en los sistemas de tratamiento, debe ser recogido y destinado al Lecho de secado.
- Para la operación y el mantenimiento de la PTRLI (Planta de Tratamiento de Residuos Líquidos Industriales) no es necesario personal técnico o capacitado para dicha tarea.
- El costo total de construcción de la planta es de 63736.8 dólares americanos, el mayor costo pertenece a la excavación de las piscinas y el desalojo del material retirado que suman un total de 58665.7 dólares americanos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo la ejecución del proyecto para reducir la contaminación ambiental, con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente.
- Destinar adecuadamente los residuos que genera la planta de tratamiento, ya que estos son subproductos con carga de nutrientes y que pueden generar ingresos económicos a la empresa.
- Realizar periódicamente un adecuado mantenimiento de todos los sistemas de la PTRLI (Planta de Tratamiento de Residuos Líquidos Industriales).
- La torta proveniente del lecho de secado se lo puede destinar a camas de formación de bio-abono o se lo puede colocar directamente sobre la carona de la palma africana como fuente de nutrientes.
- El efluente tratado en la PTRLI podrá ser dispuesto para regadío, debido a que este contiene nutrientes importantes para la plantación de palma africana.
- Los aceites y grasas recuperados en la PTRLI, podrán ser dispuestos como productos de segunda clase, ideales para la fabricación de jabón, cosméticos, entre otros.
- Construir un sistema adecuado de recolección de agua lluvia alrededor de todas las instalaciones de la planta extractora, incluida la PTRLI, para evitar que el agua lluvia se mezcle con el proceso de tratamiento.
- Se tiene que realizar una caracterización semestral del efluente tratado, con el fin de verificar la eficiencia del proceso.
- Adquirir una motobomba o una draga que ayude con la limpieza de los sedimentos acumulados en todos los sistemas de tratamiento.
- Controlar continuamente el correcto funcionamiento de la PTRLI.

CAPÍTULO VIII: BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, WEF (1995). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.
- Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin, 4ta edición (2001). Química para la Ingeniería Ambiental. Bogotá – Colombia: McGraw-Hill.
- Conil P. Piedrahita Emilio. “Experiencia de 5 años en la biodigestión y utilización de los efluentes de una extractora de aceite de palma en la región de Tumaco, Colombia”, 4° Seminario-Taller Latino-Americano de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales, Bucaramanga, Colombia, Nov. 1996.
- Código Penal Ecuatoriano
- HENZE, M. (1997), Basic Biological Processes. In: Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes, Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. la Cour, 2.ed.Springer, Germany.
- Hernández, A. 2da edición (2000). Manual de Diseño de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales. España Rugarte, S.L.
- JENKINS, S.R., MORGAN, J. M., SAWYER, C.L. (1983), Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration, Journal WPCF, Vol.55, N°5.
- Kemmer, F. McCallion, J. (1995). Manual del agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo I. México: McGraw-Hill.
- LEVENSPIEL, O. (1981), Ingeniería de las Reacciones Químicas, Ed. Reverté, España.
- Ministerio de Medio Ambiente de Colombia. Guía Ambiental. Colombia. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio del Ambiente. Santa Fe de Bogotá-Colombia 2002.
- Perry, R. y Green, D. 7ma edición (2001). Manual del Ingeniero Químico. Vol. III. Madrid-España: McGraw-Hill.
- Rolim, S. (2000). Sistema de Lagunas de Estabilización, Como utilizar aguas residuales tratadas en sistema de regadío, Colombia: McGraw-Hill.
- Romero, J. 1era Edición (2000). Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SAENZ, R. (1987). Predicción de la calidad del efluente en lagunas de estabilización, CEPIS/OPS/OMS.
- TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria)

www.bio-tec.net/esp/ref_extractoros.html

www.lauca.usach.cl/ima/nor-1.htm

www.farn.org.ar/arch/concl_tallerPM5.pdf

www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo

www.vulcano.lasalle.edu.co/~docencia/IngAmbiental/AR_Trat_secundarios.htm

www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Toma_De_Muestras.htm

www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm#vertederos de pared aguda.

www.fedepalma.org

www.medidasdemanejoambiental.com

www.lencotech.com

GLOSARIO DE TERMINOS

Acetogénesis. Etapa básica del proceso de descomposición anaerobia de los residuos sólidos, en la cual los productos de la acidogénesis son convertidos en ácido acético, hidrógeno y gas carbónico.

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

Acidez. Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo. Se mide cuantitativamente por titulación con una solución alcalina normalizada y se expresa usualmente en términos de mg/1 como carbonato de calcio.

Acidogénesis. Etapa básica del proceso anaerobio, de descomposición de los residuos sólidos, en la cual las moléculas pequeñas, producto de la hidrólisis, se transforman en hidrógeno, gas carbónico y ácidos orgánicos (butírico, propiónico y acético).

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

Agua residual. Agua que contiene material disuelto y en suspensión, con altas cargas de contaminantes y que no pueden ser vertidas al medio si tratamiento previo.

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

Ambiente aerobio. Proceso que se desarrolla en presencia de oxígeno.

Ambiente anaerobio Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

Análisis. Examen del agua, líquido residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

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

Bacteria. Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Biodegradación. Degradación de la materia orgánica, por acción de microorganismos unicelulares, sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores, procesos de tratamiento de líquidos residuales.

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

Concentración. Elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

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

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

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

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica del líquido residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

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

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

Descomposición anaerobia. Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

Desechos industriales Desechos sólidos o líquidos, de la manufactura de un producto específico.

Deshidratación de lodos. Proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta, por efectos de aumento de temperatura.

Digestión aerobia. Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

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

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

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

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

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

Efluente final. Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Efluente. Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

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

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

Lechos de secado. Dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

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

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

Lodo biológico. Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.

Muestra compuesta. Mezcla de varias muestras alícuotas instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos.

Muestra puntual. Muestra de agua residual tomada al azar en un momento determinado para su análisis. Algunos parámetros deben determinarse in situ y otros en el laboratorio.

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

pH. Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

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

Planta de tratamiento de agua residual. Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar los líquidos residuales.

Proceso biológico Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos.

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

Rejilla. Artefacto de barras paralelas de separación uniforme, utilizado para remover sólidos flotantes y en suspensión. Son las más empleadas en los tratamientos preliminares.

Sedimentación. Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

Tiempo de retención hidráulica. Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen.

Tratamiento biológico. Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

Tratamiento primario. Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.

Tratamiento secundario. Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.

Vertederos. Son dispositivos que permiten determinar el caudal. Poseen una ecuación general que depende de la gravedad, de su geometría, de su espesor de pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua de los diferentes caudales.

Viscosidad. Capacidad de un líquido para fluir sobre una superficie. Generalmente se expresa en poise o centipoise.

INICE GENERAL

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.1. ASPECTOS GENERALES	6
1.1.2. UBICACIÓN	10
1.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA EXTRACTORA ATAHUALPA	12
1.1.3.1. DATOS GENERALES	12
1.1.3.2. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	14
1.1.3.3. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES.....	14
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. PALMA DE ACEITE	15
2.1.1. HISTORIA.....	15
2.1.2. PROCESO AGROINDUSTRIAL	15
2.1.3. USOS COMESTIBLES	15
2.1.4. USOS NO COMESTIBLES	16
2.1.5. LA PALMA DE ACEITE UN CULTIVO VERDE.....	16
2.1.6. EL ACEITE DE PALMA EN LA SALUD HUMANA	16
2.2. GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	17
2.3. CONTAMINACIÓN Y MEDIO AMBIENTE	17
2.4. DEFINICIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE UN CURSO DE AGUA	17
2.5. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE UN CURSO DE AGUA	18
2.6. MATERIA ORGÁNICA	18
2.7. RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES.....	19
2.8. MUESTREO	19
2.8.1. TIPOS DE MUESTRAS	20
2.8.2. CONTROL Y VIGILANCIA DEL MUESTREO, PRESERVACIÓN Y ANÁLISIS	22
2.8.3. MÉTODOS DE MUESTREO	24
2.8.4. RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS	25
2.8.5. PRECAUCIONES GENERALES	25
2.8.6. CANTIDAD DE MUESTRA	28
2.8.7. PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA	28
2.9. VERTEDEROS DE PARED AGUDA	30
2.10. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO).....	31
2.11. ACEITES Y GRASAS	33
2.12. DEFINICIÓN DE ACEITES Y GRASA.....	33
2.13. EMULSIONES	34
2.14. EMULSIONES ACEITE EN AGUA	34
2.15. SEPARACIÓN DE AGUA Y ACEITE	36

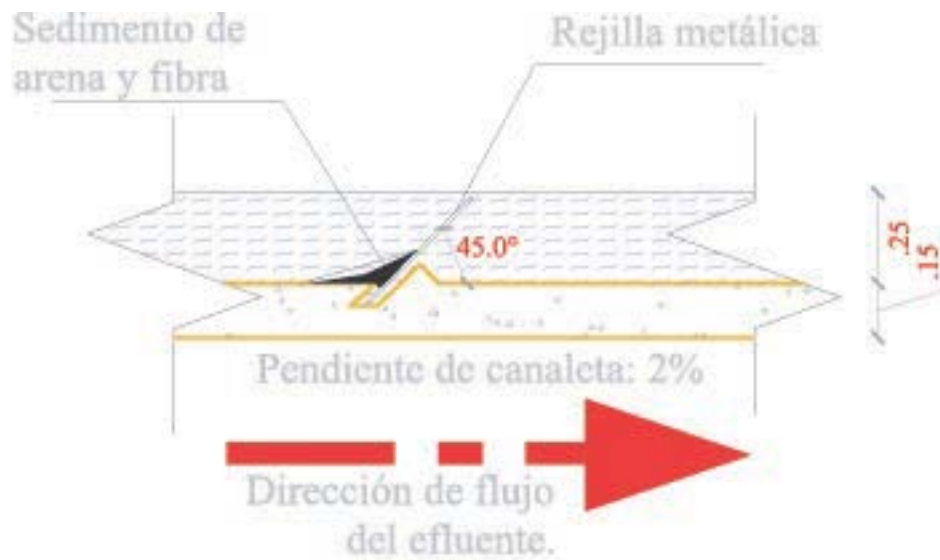
2.16. SEPARACIÓN POR GRAVEDAD	38
2.17. MEDICIÓN DE ACEITES Y GRASAS	38
2.18. MEDICIÓN DE ACEITES Y GRASAS EN AGUAS RESIDUALES	40
2.19. PH	41
3.20. SÓLIDOS.....	43
2.21. TEMPERATURA	44
2.22. ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO	44
2.23. BASES TEÓRICAS DE LA TECNOLOGÍA ACTUAL	44
2.24. CONSIDERACIONES SOBRE ACCIONES FUTURAS	46
2.24.1. TRATAMIENTO PRIMARIO	46
2.25. REJILLAS	49
2.25.1. TIPOS DE REJILLAS	49
2.25.2. CRITERIO DE INCLINACIÓN DE LA REJILLA	49
2.25.3. CRITERIO DE LA SEPARACIÓN LIBRE ENTRE BARRAS	49
2.25.4. CRITERIO DE LA LIMPIEZA DE LAS REJILLAS.....	49
2.25.5. DISEÑO DE LAS REJILLAS, RECOMENDACIONES	50
2.25.6. SEPARACIÓN ENTRE BARRAS	51
2.25.7. NÚMERO DE REJILLAS	51
2.25.8. VELOCIDAD DE PASO DEL AGUA RESIDUAL.....	51
2.26. DESARENADORES	51
2.27. TRAMPA DE GRASAS	52
2.28. LECHOS DE SECADO DE ARENA	53
2.29. NEUTRALIZACIÓN	54
2.30. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	55
2.30.1. GENERALIDADES. VENTAJAS Y DESVENTAJAS. TIPOS	55
2.31. FACTORES FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS QUE INTERVIENEN EN EL MECANISMO DE AUTO DEPENDENCIA DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	59
2.32. FENÓMENOS NATURALES NO CONTROLABLES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	60
2.32.1. ACCIÓN DE LOS VIENTOS	60
2.32.2. TEMPERATURA	60
2.32.3. PRECIPITACIONES PLUVIALES.....	64
2.32.4. RADIACIÓN SOLAR	64
2.32.5. FACTORES FÍSICOS	65
2.32.6. ÁREA SUPERFICIAL	65
2.32.7. ALTURA DE LA LÁMINA LÍQUIDA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	65
2.32.8. CORTOCIRCUITOS	66
2.32.9. MEZCLA	67
2.33. FACTORES QUÍMICOS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	67
2.33.1. VALOR DEL PH	67
2.33.2. MATERIALES TÓXICOS	68

2.33.3. OXÍGENO DISUELTO	68
2.34. FACTORES MICROBIOLÓGICOS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	69
2.34.1. NUTRIENTES.....	69
2.35. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL DISEÑO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	69
2.36. LAGUNAS ANAEROBIAS.....	70
2.37. LAGUNAS FACULTATIVAS.....	71
2.38. UTILIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	73
2.39. SUB-PRODUCTOS DE LAS PTAR	74
2.39.1. LOS SUB-PRODUCTOS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO	74
2.39.2. SUB-PRODUCTOS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO	74
2.39.2.1. EL BIOGÁS:	74
2.39.2.2. LODOS:	76
2.39.3. ALTERNATIVAS DE PROCESAMIENTO	77
2.39.4. PERSPECTIVAS DE APROVECHAMIENTO	77
2.39.5. EL AGUA TRATADA :.....	77
2.39.6. ESTUDIOS DE CASO	79
2.40. MARCO LEGAL	83
2.40.1. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA, LIBRO VI DE LA CALIDAD AMBIENTAL - ANEXO 1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA	83
2.40.2. CÓDIGO PENAL: DE LOS DELITOS CONTRA EL MEDIO AMBIENTE	86
CAPITULO III: PARTE EXPERIMENTAL.....	88
3.1. PROCEDIMIENTOS Y MÉTODOS DE ENSAYO	88
3.1.1. PLAN DE MUESTREO	88
3.1.1.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	89
3.1.1.2. PRESERVACIÓN DE MUESTRAS	90
3.1.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS	91
3.1.2.1. ANÁLISIS DE PH Y TEMPERATURA.....	91
3.1.2.2. MÉTODO PARA ANÁLISIS DE DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO).....	92
3.1.2.3. MEDICIÓN DE ACEITES Y GRASAS	95
3.1.2.4. MÉTODO PARA ANÁLISIS DE SÓLIDOS TOTALES.....	97
3.1.2.5. MÉTODO PARA ANÁLISIS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS:	98
3.1.2.6. MÉTODO PARA ANÁLISIS DE DENSIDAD	99
3.2. DATOS EXPERIMENTALES	100
3.2.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL EFLUENTE.....	100
3.2.1.1. PRIMER MUESTREO.....	100
3.2.1.2. SEGUNDO MUESTREO	102
3.2.1.3. TERCER MUESTREO	104
3.2.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA DEL RÍO ANTES Y DESPUÉS DE LA DESCARGA	105

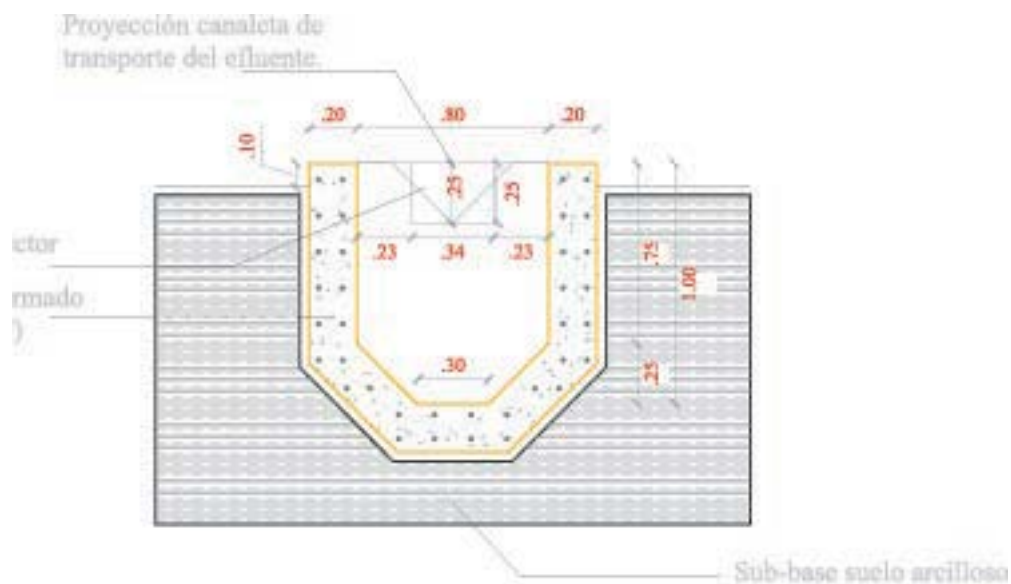
3.2.2.1. PRIMER MUESTREO	106
3.2.2.1.1. ANTES DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	106
3.2.2.1.2. DESPUÉS DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	107
3.2.2.2. SEGUNDO MUESTREO	109
3.2.2.2.1. ANTES DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	109
3.2.2.2.2. DESPUÉS DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	110
CAPITULO IV: CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	112
4.1. CÁLCULOS	112
4.1.1. CÁLCULO DEL CAUDAL	112
4.1.2. CÁLCULO DE DQO (DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO).....	113
4.1.3. CÁLCULO DE ACEITES Y GRASAS.....	114
4.1.4. CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....	115
4.1.5. CÁLCULO DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS.....	117
4.1.6. CÁLCULO DE DENSIDAD	118
4.1.7. CÁLCULO ESTADÍSTICO EMPLEADO AL MÉTODO DE HANSEN	119
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	134
4.2.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL EFLUENTE.....	134
4.2.1.1. PRIMER MUESTREO.....	134
4.2.1.2. SEGUNDO MUESTREO	138
4.2.1.2. TERCER MUESTREO	142
4.2.2. COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS ENTRE LOS TRES MUESTREOS REALIZADOS EN EL PUNTO DE DESCARGA A LA LAGUNA.	145
4.2.3. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL RÍO ANTES Y DESPUÉS DE LA DESCARGA.....	150
4.2.3.1. PRIMER MUESTREO.....	150
4.2.3.2. SEGUNDO MUESTREO	153
CAPITULO V: DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	157
5.1. DATOS PRELIMINARES	157
5.1.1. CRITERIOS DE DISEÑO	157
5.1.2. SISTEMAS EXISTENTES UTILIZABLES PARA LA PTRLI.....	157
5.1.3. ÁREA DISPONIBLE PARA LA PTRLI (PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES)	158
5.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	158
5.2.1. DISEÑO DEL VERTEDERO	158
5.2.2. DISEÑO DE REJILLA.....	159
5.2.3. DISEÑO DE SEDIMENTADOR.....	162
5.2.3. DISEÑO DE TRAMPA DE GRASAS.....	166
5.2.4. DISEÑO DE TANQUE DE NEUTRALIZACIÓN	167
5.2.5. ENFRIAMIENTO DEL EFLUENTE LÍQUIDO.....	168
5.2.6. DISEÑO DE LAS CANALETAS DE RECOLECCIÓN	170
5.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	170

5.3.1. DISEÑO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN ANAERÓBICA	170
5.3.2. DISEÑO DE LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVA	171
5.3.3. DISEÑO DE LECHO DE SECADO	172
5.4. EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES DE LA PLANTA EXTRACTORA “ATAHUALPA”.....	173
5.6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE TRABAJO DE LA PTRLI.....	174
5.6.1. VERTEDERO	174
5.6.2. REJILLA	175
5.6.3. SEDIMENTADOR.....	175
5.6.4. TRAMPA DE GRASAS	175
5.6.6. LECHO DE SECADO	176
5.6.6.1. UTILIZACIÓN DE LA TORTA	176
5.6.6.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PISCINAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO.	177
5.8. PRESUPUESTO DE LA PTRLI DE LA PLANTA EXTRACTORA “ATAHUALPA”.....	178
GLOSARIO DE TERMINOS.....	188

A N E X O S

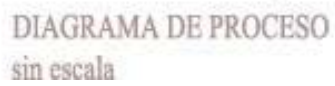


CORTE LONGITUDINAL CANALETA DE TRANSPORTE



CORTE TRANSVERSAL DEL SEDIMENTADOR







SISTEMA DE CANALETAS DE RECOLECCIÓN
sin escala

