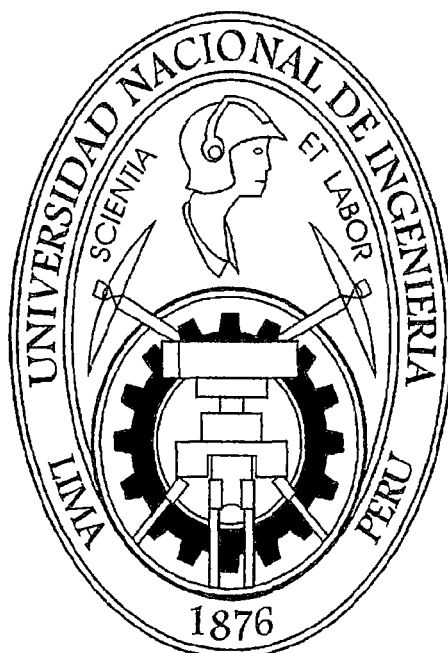


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



“ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE LOS FILTROS BIOLÓGICOS AIREADOS  
DE FLUJO VERTICAL, COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE UN  
EFLUENTE DE RAFA PARA AGUA RESIDUALES PROVENIENTES DE LA  
INDUSTRIA DE CAMAL”

## TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO SANITARIO**

PRESENTADO POR:

**JORGE ERMES GARIBAY CCOLQUE**

**BETSABE MURIEL ORELLANA COZ**

LIMA, PERU

2011

Digitalizado por:

Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse

## DEDICATORIA

*Dedico esta Tesis a mi madre Sabina, por su comprensión, aliento y paciencia incansable durante toda mi carrera. A mi abuelo Juan Escobedo, por servirme de inspiración para seguir adelante. A mi Padre por su cariño incondicional. A mi hermana Heidi por creer en mí.*

*Dedico esta Tesis a mis padres Marín y Flor, porque son mi ejemplo de lucha y perseverancia, esto es de ustedes. A Alejandro mi esposo por estar siempre a mi lado apoyándome y dándome fuerzas para alcanzar mis metas, a María Alejandra y Mateo que son mis angelitos. A mis hermanas Sandra y Charo porque siempre me apoyaron y creyeron en mí.*

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing<sup>o</sup> Otto Rosasco Gerkes, asesor de la presente tesis, por todo el tiempo y atención prestada en el desarrollo de la presente investigación, hasta su exitosa conclusión.

Al Ing<sup>o</sup> Arturo Zapata por el apoyo brindado en la concepción de la idea fundamental de este estudio.

A la Ing<sup>o</sup> Rosa Yaya, por la atención prestada a nuestras interrogantes en el transcurso de la investigación.

A las autoridades de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, por habernos dado las facilidades para usar las instalaciones de la Facultad así como el uso de algún tipo de infraestructura necesaria en el desarrollo de la investigación.

A los encargados del laboratorio 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental, la señora Margarita Andreu y el Señor Ricardo Jara, muchísimas gracias por su paciencia, y ayuda permanente.

A la Señora Nelly Arriola gracias por su confianza y apoyo incondicional.

A nuestra Alma Mater, Universidad Nacional de Ingeniería y a nuestros maestros por habernos dado las herramientas suficientes para desarrollar la presente investigación.

A todos nuestros amigos por habernos apoyado y alentado para concluir satisfactoriamente este estudio, recordándonos que si se puede.

## RESUMEN

El agua residual proveniente de la industria del camal, se caracteriza por contener alta carga orgánica. La descarga de estos efluentes a cuerpos receptores como agua, suelo o al mismo colector, ocasiona un impacto negativo. Este estudio busca optimizar el tratamiento a la salida de un RAFAML con un caudal de 1mL/s de agua residual proveniente de la industria del camal, por medio de otro tratamiento biológico como es la cama de sólidos (Tratamiento por Biopelícula) de flujo vertical a escala de laboratorio, con la finalidad de evaluar la capacidad y la eficiencia de remoción del reactor biológico con relación a los siguientes parámetros: DBO5, DQO.

Nuestro afluente fue captado a la entrada de la planta de y tratamiento del camal, antes de la coagulación, el caudal de abastecimiento fue de 1mL/s, durante la semana, cambiando por una muestra más diluida los fines de semana, durante las 17 semanas del monitoreo. Estas aguas se recolectaban por medio de una jarra y un colador de diámetro 10" y 2mm de separación entre hilos metálicos que conforman la malla, con la finalidad de atrapar los sólidos gruesos y finos.

El valor del crudo recolectado del camal, tomado durante toda la investigación, en DBO5 varía entre 3 200 mg/L y 1 266 mg/L; y DQO entre 8 810 mg/L y 3 310 mg/L.

El efluente del RAFAML es conducido a un recipiente para la homogenización del efluente.

En este proceso se obtuvieron valores de DBO5 entre 1 638 mg/L y 702 mg/L; de DQO entre 3 300.00mg/L y 2 100 mg/L

Posteriormente pasa por los dos compartimientos del reactor biológico, estos dos compartimientos de 28.8L cada uno, en el cual con el contacto del agua residual y el medio inerte, (en nuestro caso grava seleccionada de ½" y ¾"), y gracias a los difusores instalados en el fondo de estos compartimientos, generaban las condiciones para la formación y fijación de la biopelícula.

El tiempo de retención hidráulica fue de 17 horas en la primera etapa de la investigación, llegándose a reducir hasta 9 horas.

En el transcurso de la investigación se agregó un tratamiento adicional, el cual constaba de un filtro anaerobio que tenía una granulometría menor a la del reactor anterior. En esta unidad se obtuvieron valores de DBO5 entre 250 mg/L y 150 mg/L; de DQO entre 500 mg/L y 350.00 mg/L.

Con los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que el sistema FAS-Filtro Anaerobio es efectivo para el tratamiento de aguas residuales de Camal, como tratamiento complementario al RAFAML, pues su eficiencia en el tratamiento logra reducir los principales parámetros de contaminación (DBO5, DQO) a valores que se encuentran dentro de lo permitido según la normativa nacional vigente.

Adicionalmente, comparando las dos etapas de la investigación (FAS vs. FAS-Filtro Anaerobio), se encontró que en la segunda etapa (FAS-Filtro Anaerobio) los indicadores de eficiencia del sistema de tratamiento son mayores.

## INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INTRODUCCION.....   | 1  |
| 2.    | DISEÑO DE LA INVESTIGACION .....  | 2  |
| 2.1   | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....   | 2  |
| 2.2   | JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION .....   | 3  |
| 2.3   | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 4  |
| 2.4   | HIPOTESIS .....   | 5  |
| 2.5   | OBJETIVOS .....   | 5  |
| 2.5.1 | Objetivo Principal.....   | 5  |
| 2.5.2 | Objetivos Específicos.....  | 6  |
| 2.6   | VARIABLES DEL ESTUDIO .....   | 7  |
| 3.    | MARCO TEORICO .....   | 8  |
| 3.1   | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO DE GANADO EN UN CAMAL.....                 | 8  |
| 3.1.1 | Proceso de Beneficio del Ganado Vacuno .....                                    | 8  |
| 3.1.2 | Proceso de la Línea de Beneficio para Ganado Porcino .....                      | 12 |
| 3.2   | ANTECEDENTES HISTÓRICOS IMPORTANTES .....                                       | 16 |
| 3.3   | AGUAS RESIDUALES.....   | 19 |
| 3.3.1 | Principales Contaminantes en Aguas Residuales.....                              | 20 |
| 3.4   | SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN AGUAS RESDUALES INDUSTRIALES.....                    | 22 |
| 3.4.1 | Tratamientos Primarios.....   | 24 |
| 3.4.2 | Tratamientos Secundarios o Biológicos.....                                      | 26 |
| 3.4.3 | Tratamientos Terciarios .....   | 31 |
| 3.5   | TRATAMIENTO POR BIOPELÍCULA.....  | 32 |
| 3.5.1 | Biopelícula.....  | 32 |
| 3.5.2 | Formación, Estructura y Comportamiento de la Biopelícula en la Depuración.....  | 34 |
| 3.5.3 | El Sistema de Biofiltro .....   | 35 |
| 3.5.4 | El Sistema de Biodiscos.....  | 35 |
| 3.5.5 | El sistema de Biofiltro Aireado Sumergido (BAS).....                            | 35 |
| 3.5.6 | El sistema de Película Fija Sumergida (PFS) .....                               | 36 |
| 3.5.7 | Ecuación General de Diseño, para Procesos de Película Fija Sumergida (PFS)..... | 38 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.5.8   | Consideraciones Claves para el diseño de la Tecnología .....                                   | 41 |
| 3.5.9   | Sistemas de Aireación .....  | 46 |
| 3.5.9.1 | Equipos de Aireación.....  | 47 |
| 3.5.9.2 | Determinación del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno KLa.....                             | 47 |
| 3.5.9.3 | Concentración de Saturación de gases en el agua.....   | 49 |
| 3.5.9.4 | Capacidad de Oxigenación (CO).....   | 50 |
| 3.6     | PRESENCIA DE ESPUMAS EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO<br>BIOLOGICO                               | 51 |
| 3.6.1   | Estructura de la burbuja.....  | 51 |
| 3.6.2   | Unión.....   | 52 |
| 3.6.3   | Emulsionantes Surfactantes.....  | 53 |
| 3.6.3.1 | Fosfolípido.....   | 54 |
| 3.6.3.2 | Funciones de los fosfolípidos .....  | 55 |
| 3.6.3.3 | Monoglicéridos .....   | 56 |
| 3.6.3.4 | Ácido Graso.....   | 57 |
| 3.6.3.5 | Propiedades .....  | 57 |
| 3.7     | ORGANISMOS ANIMALES RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE<br>AGUAS RESIDUALES - PSYCHODIDAE ..... | 58 |
| 3.8     | MARCO LEGAL.....   | 61 |
| 3.9     | PRINCIPALES DEFINICIONES .....   | 63 |
| 4.      | METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....  | 72 |
| 4.1     | COMPONENTES DE LA INVESTIGACION.....   | 72 |
| 4.1.1   | Agua Residual de Camal .....   | 72 |
| 4.1.2   | Escenario de la Investigación.....   | 75 |
| 4.1.3   | Sedimentador .....   | 76 |
| 4.1.4   | Filtro Aireado Sumergido .....   | 77 |
| 4.1.5   | Filtro Anaerobio .....   | 78 |
| 4.2     | PROCEDIMIENTO .....  | 80 |
| 4.2.1   | Montaje del Sedimentador .....   | 80 |
| 4.2.2   | Montaje del Filtro Aireado Sumergido.....  | 84 |
| 4.2.2.1 | Medio de Contacto del Filtro Aireado Sumergido.....  | 89 |
| 4.2.2.2 | Sistema de aireación. ....   | 95 |

## VIII

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.2.2.3 | Capacidad de oxigenación de la Bomba de Aireación AP-500.....               | 104 |
| 4.2.3   | Montaje del Filtro Anaerobio .....  | 110 |
| 4.2.3.1 | Medio de Contacto del Filtro Anaerobio.....                                 | 112 |
| 4.2.3.2 | Sistema de Alimentación y Recolección.....                                  | 113 |
| 4.3     | ARRANQUE DEL SISTEMA .....  | 118 |
| 4.3.1   | Caudal de Tratamiento .....   | 118 |
| 4.3.2   | Periodo de Retención .....  | 120 |
| 4.3.3   | Caudal de Aireación y Tasa de Oxigenación .....                             | 121 |
| 4.3.4   | Mantenimiento del Sistema de Filtros Biológicos.....                        | 121 |
| 4.3.4.1 | Mantenimiento del Sedimentador.....   | 122 |
| 4.3.4.2 | Problemas presentados en el Mantenimiento del Sedimentador.....             | 123 |
| 4.3.4.3 | Mantenimiento del Filtro Aireado Sumergido .....                            | 126 |
| 4.3.4.4 | Mantenimiento del Filtro Anaerobio.....                                     | 136 |
| 4.3.5   | Caracterización del Agua Residual a Tratar.....                             | 137 |
| 4.4     | ENSAYOS O PRUEBAS REALIZADAS .....  | 143 |
| 4.4.1   | Temperatura y Ph.....   | 143 |
| 4.4.2   | Turbidez .....  | 143 |
| 4.4.3   | Oxígeno Disuelto (OD).....  | 145 |
| 4.4.4   | Sólidos .....   | 145 |
| 4.4.5   | Demanda Química de oxígeno.....   | 148 |
| 4.4.6   | Demanda Bioquímica de Oxígeno.....  | 150 |
| 4.4.7   | Coliformes Termotolerantes .....  | 152 |
| 4.4.8   | Aceites y Grasas.....   | 155 |
| 4.5     | PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA A ESCALA DE LABORATORIO.....                   | 162 |
| 4.5.1   | Sedimentador .....  | 162 |
| 4.5.2   | Filtro Aireado Sumergido .....  | 162 |
| 4.5.3   | Filtro Anaerobio .....  | 162 |
| 5.      | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                                    | 163 |
| 5.1     | FUNCIONAMIENTO EN LA PRIMERA ETAPA DEL SISTEMA A ESCALA DE LABORATORIO..... | 163 |
| 5.1.1   | Sedimentador .....  | 163 |
| 5.1.2   | Filtro Aireado Sumergido a Escala de Laboratorio.....                       | 166 |



|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 5.1.3   | Filtro Aireado Sumergido .....  | 169 |
| 5.1.4   | Filtro Anaerobio .....  | 173 |
| 5.2     | CONTROL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....  | 175 |
| 5.2.1   | Sedimentador .....  | 175 |
| 5.2.2   | Filtro Sumergido Aireado .....  | 177 |
| 5.2.3   | Filtro Anaerobio .....  | 181 |
| 5.3     | EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPLETO.....   | 183 |
| 5.4     | RESULTADOS ADICIONALES DEL SISTEMA .....  | 187 |
| 5.4.1   | Análisis de Aceites y Grasas .....  | 187 |
| 5.4.2   | Análisis de Sólidos.....  | 188 |
| 5.4.2.1 | Sólidos Totales en el Filtro Aireado Sumergido .....  | 188 |
| 5.4.2.2 | Sólidos Totales en el Filtro Anaerobio .....  | 189 |
| 5.4.2.3 | Sólidos Totales en el Sistema Completo .....  | 189 |
| 5.5     | CUADROS DE RESULTADOS OBTENIDOS .....   | 190 |
| 5.5.1   | Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno.....  | 190 |
| 5.5.1.1 | En el sedimentador.....   | 191 |
| 5.5.1.2 | En el Filtro Aireado Sumergido.....   | 192 |
| 5.5.1.3 | En el Filtro Anaerobio .....  | 193 |
| 5.5.1.4 | En el sistema Completo .....  | 193 |
| 5.5.2   | Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....   | 195 |
| 5.5.2.1 | En el sedimentador.....   | 195 |
| 5.5.2.2 | En el Filtro Aireado Sumergido.....   | 196 |
| 5.5.2.3 | En el Filtro Anaerobio .....  | 197 |
| 5.5.2.4 | En el sistema Completo .....  | 197 |
| 5.5.3   | Evaluación de Temperatura, Oxígeno Disuelto, y PH .....   | 199 |
| 5.5.4   | Medición de Sólidos Sedimentables en el Sedimentador.....   | 204 |
| 5.6     | CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE TRATADO .....  | 205 |
| 5.7     | OBSERVACIONES DURANTE LA OPERACIÓN .....  | 206 |
| 5.8     | APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DISEÑO PARA PROCESOS<br>DE PELÍCULA FIJA SUMERGIDA (PFS) ..... | 211 |
| 6.      | CONCLUSIONES .....  | 217 |
| 7.      | RECOMENDACIONES .....   | 225 |

|     |                                  |     |
|-----|----------------------------------|-----|
| 8.  | BIBLIOGRAFÍA.....                | 230 |
| 8.1 | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS ..... | 230 |
| 8.2 | REFERENCIAS EN LA WEB .....      | 231 |
| 9.  | INDICE DE IMÁGENES.....          | 232 |
| 10. | INDICE DE TABLAS.....            | 237 |
| 11. | INDICE DE ILUSTRACIONES .....    | 238 |

## 1. INTRODUCCION

En la actualidad uno de los principales problemas ambientales que tiene nuestro país y que no es ajeno a nuestra ciudad es la gran cantidad de aguas residuales que se vierten a los colectores, suelos y que terminan en cuerpos de agua, sin tratamiento, aunque nuestro país dio el primer paso normando estos vertimientos no se tiene información sobre las alternativas de tratamiento para minimizar el impacto de estas, por eso es de gran importancia que se traten adecuadamente y para que esto se logre se recurre a muchos métodos, de los cuales los más utilizados y poco difundidos en nuestro país, son los que involucran microorganismos (biológicos) debido a lo económico, eficiente, y a la simplicidad de su operación y mantenimiento.

Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, que no es muy común en nuestro país, es el empleo de sistemas biológicos de Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente seguido a un filtro aireado sumergido (RAFAML-FAS), ya que el RAFAML posee una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica presente en el agua residual, este sistema anaerobio se ve favorecido, al anexarle un sistema aerobio en serie mejorando la calidad del agua residual (efluente), para el uso de estos reactores se proveen en cada uno las condiciones necesarias para la degradación de la materia orgánica.

Este proceso adicional de Filtros Aireados Sumergidos tiene como objetivo mejorar la remoción de materia orgánica en términos de DBO y DQO, de las aguas residuales tratadas por el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.

Por lo señalado anteriormente, se busco en el presente trabajo evaluar la capacidad y eficiencia de un Filtro Sumergido Aireado como tratamiento secundario de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFAML), para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria del camal, mediante un sistema de **RAFAML-Filtros Aireado Sumergido de flujo vertical**, a escala de laboratorio.

## **2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

A continuación se detallan los estudios que han servido de base para la presente investigación.

#### **Tesis Para Optar el Título de Ingeniero Sanitario N° 853 “Tratamiento de Aguas Residuales por Proceso de Biopelícula”.**

Este estudio de investigación estuvo referido al tratamiento de aguas residuales domesticas, por el proceso de biopelícula. La investigación se realizo en la planta de tratamiento de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNITRAR-PERU), allí se le dio tratamiento a las aguas residuales provenientes de los AAHH Esperanza y El Ángel respectivamente. Como resultado del estudio se obtuvieron valores favorables.

Teniéndose entonces que para una tasa de oxigenación de  $0.054 \text{ gO}_2/\text{h}$  se obtuvieron valores de eficiencia de remoción de DBO entre 69.66% y 49.66 %; así como para la tasa oxigenación de  $0.062 \text{ g O}_2/\text{h}$  se obtuvo valores entre 84.7 % y 86.35 % respectivamente para la remoción del mismo parámetro.

Por otra parte en el estudio se encontró deficiencias en la remoción de Coliformes Termotolerantes, llegando a remover solo una unidad logarítmica sin ser este valor un resultado considerable de remoción. Una conclusión importante fue mostrar la simplicidad de la operación de este proceso en comparación con el proceso de lodos activados, por la formación de Bulking y por qué no requiere la recirculación de la biomasa.

#### **Evaluación de un sistema de Reactor UASB y Filtro Biológico Aireado Inmerso (FBAI) para el tratamiento de Aguas Residuales.**

Este trabajo realizado por el Instituto de Saneamiento Ambiental (ISAM) de la Pontificia Universidad Católica de Paraná-Brasil, en esta investigación se obtuvieron resultados de operación de un sistema piloto en conjunto de UASB + FBAI, para el tratamiento de aguas residuales domesticas.

En esta investigación se comprobó el rendimiento efectivo de este sistema en conjunto compuesto de UASB + FBAI para 250 L/h en el tratamiento de aguas residuales domesticas. Para lo cual se examinó a temperatura ambiente el afluente final, presentando una concentración de  $105 \pm 58$  mg/L en términos de DQO, este valor representó una eficiencia de 78.1% para el afluente de agua residual (bruto), con una DQO de  $479 \pm 160$  mg/L. Mientras que la eficiencia observada para los Sólidos Sedimentables Totales fue de 75.9%.

Por otra parte presento fallas en el proceso de aireación, debido a la discontinuidad en las condiciones del filtro.

## 2.2 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Se sabe que las aguas residuales industriales son altamente más contaminantes que las domésticas, en la actualidad en nuestro país no existen estadísticas del manejo de las mismas, aun cuando para el sistema de alcantarillado de la ciudad, el contaminar las aguas residuales con este tipo de efluente genera riesgos para la salud del entorno y dificulta su tratamiento.

El presente estudio de investigación pretende atender la problemática específica del tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria de camales, implementando una solución eficaz con un tratamiento efectivo que disminuya los niveles de contaminación que se generan por el alto contenido de carga orgánica en estos desagües.

La presente investigación también nos permitirá determinar las capacidades de esta alternativa de tratamiento biológico, basados en un estudio anterior (sustentado en la tesis N° 853 "Tratamiento de Aguas Residuales por Proceso de Biopelícula") el cual obtuvo como conclusión de la investigación que dicho tratamiento es una buena alternativa para el tratamiento primario de aguas residuales domesticas.

Por tanto el presente estudio estará referido el tratamiento secundario que representa el Sistema de Filtros Aireados Sumergidos de Flujo Vertical para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria de camales, este

sistema en conjunto complementa un tratamiento primario compuesto por un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente. Con este sistema en conjunto se espera mejorar las características del efluente para su disposición final o reutilización buscando disminuir el impacto ambiental que ocasiona la emisión inescrupulosa de este tipo de efluente a los cuerpos receptores y/o a los sistemas de alcantarillado, así mismo se buscará que a la salida del tratamiento el efluente final cumpla con la normativa vigente en medición de límites máximos permisibles.

Finalmente se busca determinar con la investigación los parámetros de diseño óptimos del modelo a escala, para poder ser replicado en forma efectiva en el tratamiento de aguas residuales en la industria de camales con valores guía, que se obtendrán con la presente investigación.

### **2.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente en nuestro país existe un mínimo tratamiento a los efluentes de las industrias, ya sea por parte de la industria propiamente dicha o por parte de la empresa administradora de las aguas. Particularmente los efluentes finales de las industrias de camales son vertidos a la red de desagües públicos, inescrupulosamente en su mayoría sin el mínimo tratamiento, esta situación hace que sea un problema considerable ya que el vertimiento como tal altera las características de las aguas residuales de la ciudad, en términos de niveles de contaminación. Así mismo genera una gran contaminación al cuerpo receptor como ríos o el mar, debido a la alta carga orgánica de éste efluente.

Los parámetros de medición de calidad de las aguas como DQO, DBO, OD, Nitratos, son alterados en gran medida por el vertimiento de este tipo de desagües industriales sin un mínimo de tratamiento.

Tomando en cuenta que estos desagües son vertidos directamente a un cuerpo receptor de agua y/o suelo, o por medio de los colectores domiciliarios, sin previo o con un deficiente tratamiento; se puede afirmar entonces que, a mediano plazo

aparece un creciente problema, por la procedencia de estos desagües y sus altos niveles de contaminantes generando la presencia de vectores, olores, esto a su vez ocasiona serios problemas de salubridad a largo plazo.

### **Problema General**

¿El tratamiento de los desagües provenientes de la Industria del Camal mediante un Sistema de Filtros Aireados Sumergidos de Flujo Vertical, como un tratamiento secundario a la salida de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, será capaz de remover la alta carga orgánica contaminante que tiene este efluente, principalmente en la remoción de los parámetros: DBO, DQO.

## **2.4 HIPOTESIS**

“La Aplicación de Filtros Aireados Sumergidos de Flujo Vertical como Tratamiento Secundario de un efluente de RAFAML para aguas residuales provenientes de la industria del camal, permite reducir la carga orgánica a niveles que permiten su disposición final y/o reutilización, así mismo después del tratamiento se obtiene un efluente dentro de los límites máximos permisibles en su emisión, por cuanto se estaría cumpliendo con la normatividad existente.

## **2.5 OBJETIVOS**

### **2.5.1 Objetivo Principal**

Evaluar la capacidad de reducción de contenido de carga orgánica en el sistema de Filtros Aireados Sumergidos de Flujo Vertical como un tratamiento secundario de un efluente de RAFAML para agua residual proveniente de la industria de camales.

### **2.5.2 Objetivos Específicos**

Evaluar la eficiencia en la remoción de parámetros de medición de niveles de contaminación del sistema de filtros en conjunto, así como la eficiencia para cada proceso independiente.

Para el primer filtro del sistema, Filtro Biológico Aireado, se evaluará capacidad de tratamiento de la unidad, tomando en cuenta que el diseño planteado para la presente investigación considera la colocación de una pantalla vertical intermedia que permitirá el paso del agua por un aparente sistema de dos filtros que actuarían uno seguido del otro con la variación del diámetro de sus partículas.

Seguido de un segundo Filtro Biológico – Filtro Anaerobio, a su salida se espera superar el nivel de tratamiento mejorando con el sistema en conjunto el proceso de remoción de los siguientes parámetros: DQO, DBO en los filtros.

Se evaluará la capacidad del sistema en conjunto variando las condiciones de trabajo del sistema, disminuyendo el tiempo de retención siendo el mismo efluente y el mismo caudal. Se espera obtener resultados que estén dentro de la normatividad existente para límites permisibles en aguas residuales y así el efluente final pueda ingresar al sistema de alcantarillado sin ser un elemento altamente contaminante, o pueda ser un agua residual apta para ser reusada como parte de los procesos de la industria de camales propiamente dicha, (enjuague de equipos, lavado de pisos, etc).



## 2.6 VARIABLES DEL ESTUDIO

Para la investigación se han considerado en el monitoreo del funcionamiento del sistema las siguientes variables:

- Temperatura ( $^{\circ}$  C)
- PH
- Tiempo Retención Hidráulico THR
- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/lt )
- Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/lt)
- Oxígeno Disuelto OD (mg/lt)

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE BENEFICIO DE GANADO EN UN CAMAL

A continuación se hará una descripción detallada de las operaciones que se realizan en el proceso de beneficio del ganado vacuno y porcino, para conocer la naturaleza característica del efluente que se investigó:

##### 3.1.1 Proceso de Beneficio del Ganado Vacuno

Zona de Recepción.- es el área destinada para la estancia de los animales, los animales que están en esta zona han sido clasificados y se encuentran aptos para ser faenados.

Zona de Reposo.- En esta zona se encuentran los animales antes de ser beneficiados están bien hidratados, se les da un descanso y ayuno mínimo de 12 horas, con la finalidad de relajar a los animales y eliminar sólidos del aparato digestivo.



*Imagen 1: Zonas de Recepción y Reposo*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"

Baño.- Esta zona es necesaria para la higiene del animal, logrando minimizar la tensión del animal y así conseguir un buen proceso de sangrado.

Aturdimiento.-Para este proceso se usa una pistola neumática, la cual produce la pérdida de conciencia del animal, y se facilita el proceso siguiente.

Suspensión.- Después que el animal es aturdido, se suspende al animal por medio de un sistema de ganchos y cadenas para facilitar el siguiente proceso.

Sangría.- En este proceso se busca evacuar la mayor cantidad de sangre del animal, producto de un corte en la región pectoral.

Degüello.- En esta zona se realiza el seccionamiento de la cabeza, para extracción de orejas cuernos lengua y poder iniciar el desollé del animal, después de este proceso se lava la carcasa con la finalidad de eliminar restos de sangre u otros que hayan quedado.

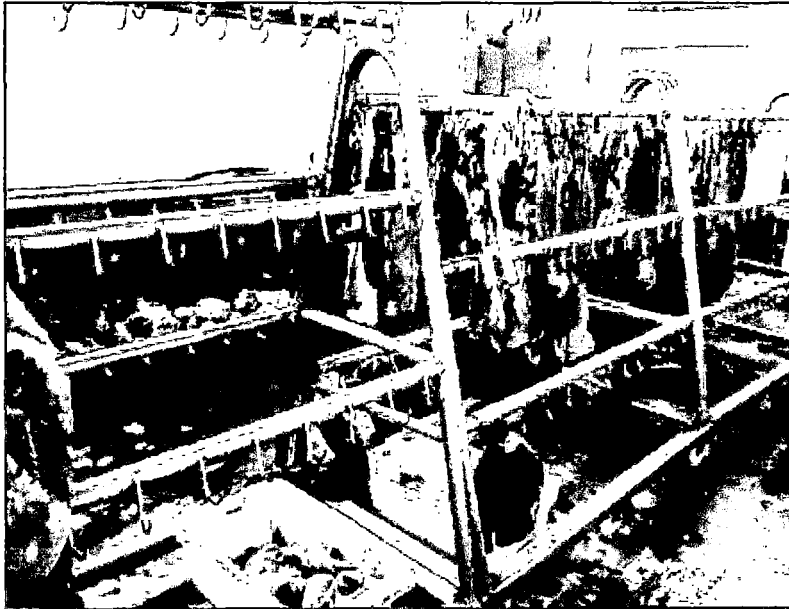


*Imagen 2: Desollé del animal y Degüello <sup>2</sup>*

---

<sup>2</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"

**Eviscerado**.- En este proceso consiste en la extracción de las vísceras mediante un corte ventral extrayendo de la parte torácica (corazón, pulmones) y luego las abdominales (hígado, estómagos, intestinos, bazo, riñones), en este proceso también se tiene una limpieza con abundante agua para evacuar los residuos que contienen el estomago, pulmones etc.



*Imagen 3: Eviscerado*<sup>3</sup>

**Corte Longitudinal**.- En este proceso se corta la carcasa del animal por la mitad con una sierra eléctrica, obteniéndose dos medias reses.

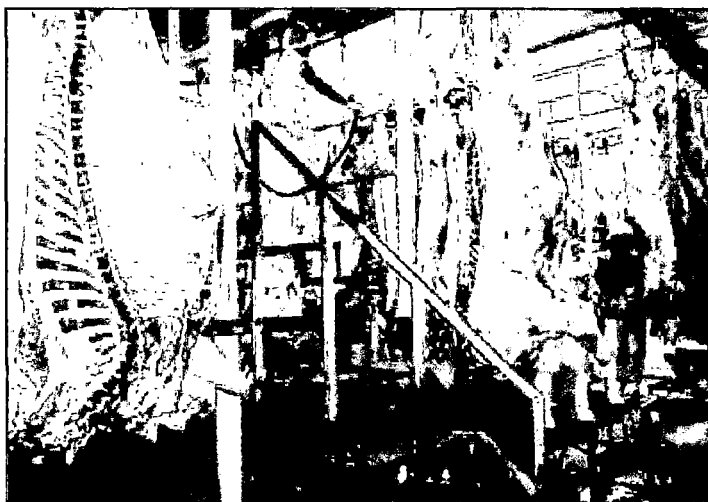
---

<sup>3</sup> Fuente: Tesis "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"



*Imagen 4: Corte Medial* <sup>4</sup>

Limpieza.- Después del corte también se procede a la limpieza del producto para la eliminación de los residuos producidos por el corte buscando la presentación final de la carcasa para su venta.



*Imagen 5: Limpieza y Desgrase* <sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"

<sup>5</sup> Idem al anterior

Control de peso de la carcasa.- En esta zona cada pieza de la carcasa es pesada y registrada para el control de la producción.

Cámaras de refrigeración.- Las carcasas después de ser procesadas ingresan a una cámara de refrigeración a temperaturas muy bajas (de 0 °C a 5°C) para que sean almacenadas por el tiempo requerido, cabe mencionar que el proceso de beneficiado del ganado ovino es similar a la descrita anteriormente.

### **3.1.2 Proceso de la Línea de Beneficio para Ganado Porcino**

Los procesos del faenado, para el ganado porcino se describen a continuación:

Selección.- Se selecciona a los animales que están listos para ser beneficiados, y luego son restringidos de alimento entre 8 a 12 horas como mínimo. Ver Imagen 6.

Recepción y descanso.- en esta zona los animales seleccionados son sometidos a ayunas entre 8 a 12 horas, verificando su procedencia, procediendo al descanso en los corrales.



**Imagen 6: Selección para la recepción y descanso<sup>6</sup>**

---

<sup>6</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO<sup>6</sup>

Aturdimiento.- Se produce por medio de una descarga eléctrica cerebral, hasta que el animal pierda el conocimiento, facilitando el siguiente proceso.



*Imagen 7: Aturdimiento<sup>7</sup>*

Sangría.- En este proceso se le da al animal un punzón directo al corazón, para lograr la evacuación de la mayor cantidad de sangre posible.



*Imagen 8: Sangría<sup>8</sup>*

---

<sup>7</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"

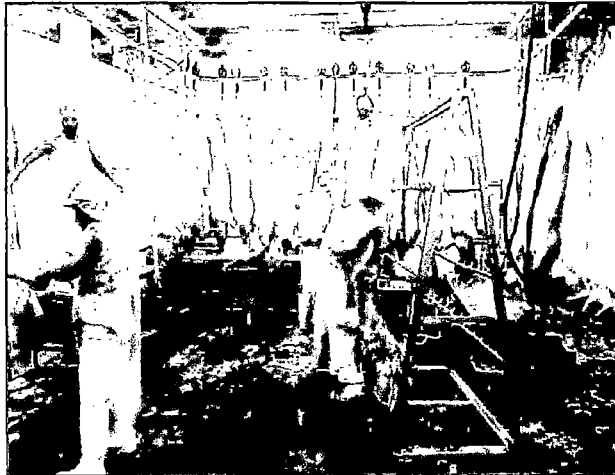
<sup>8</sup> Idem al anterior

**Escaldado.**- Se introduce al animal en agua a 65 °C para facilitar la extracción de las cerdas durante el pelado.



*Imagen 9: Escaldado*<sup>9</sup>

**Pelado.** Es una operación mecánica y manual para extraer restos de piel y cerdas.



*Imagen 10: Pelado*<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"

<sup>10</sup> Idem al anterior



Flameado.- En esta zona se emplea fuego en forma directa sobre el cuero del animal para eliminar todo resto de las cerdas.

Eviscerado.- Es la extracción de vísceras blancas (estómago, intestino delgado y grueso, etc.). Seguido del corte del esternón para extraer las vísceras rojas.



Imagen 11: Eviscerado <sup>11</sup>

Lavado.- Se hace la limpieza de la carcasa y las vísceras extraídas con abundante agua fría.

Control del Pesado.- en esta zona se procede al pesado individual de las carcasas y al registro de las mismas.

Cámara de Refrigeración.- Las carcasas de los animales beneficiados ingresan a la cámara de refrigeración (de 0 a 5°C) para su almacenamiento y posterior reparto.

---

<sup>11</sup> Fuente: Tesis TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO"

### 3.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS IMPORTANTES

Hace diez años, en el 2002 según el Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producían 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas residuales de las ciudades recibían tratamiento<sup>12</sup>.

De 1950 a 1995, la población de Latinoamérica aumentó de 179 millones a 481 millones de habitantes, lo cual correspondió a una carga mayor para la infraestructura existente y un aumento en la producción de residuos domésticos. De la misma manera, la tendencia de aumento en la población siguió en las décadas siguientes. La mayor parte de las aguas negras no habían recibido tratamiento.

Aun en las grandes ciudades como la Ciudad de México y São Paulo-Santos estaban altamente contaminadas y carecían de una adecuada infraestructura de saneamiento para tratar los Residuos Industriales así como residuos peligrosos. Así como hoy en día era difícil generalizar acerca de cualquier condición en Latinoamérica, debido a la diversidad económica, social y ambiental de cada región, tanto entre país y país como dentro de una misma nación. Un gran problema que se mantiene en el tiempo para toda la región es la condición en la que vive la gente pobre, la cual vive en áreas urbanas y habita en Asentamientos Humanos los cuales geográficamente no son adecuados para el desarrollo (como laderas empinadas de cerros, pantanos, y planicies propensas a inundaciones). En Latinoamérica, existe una división marcada entre las poblaciones de escasos recursos y las de altos ingresos, con respecto al acceso a los servicios de saneamiento. Las personas de escasos recursos están permanentemente más susceptibles a las enfermedades y potencialmente están menos conscientes de cómo mantener las condiciones salubres, lo cual lleva a una mayor propagación de enfermedades en la población general.

---

<sup>12</sup> <http://vb0018.worldbank.org/external/lac/lac.nsf>

Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías de desarrollo, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. Sin embargo, dichos esfuerzos requieren siempre inversiones sustanciales de capital. Se necesitan miles de millones de dólares para servir a la región latinoamericana.

En 1995, el Banco Mundial estimó que se requeriría una inversión de US\$12,000 millones anuales durante los siguientes diez años para elevar los estándares de abastecimiento de agua y de tratamiento de aguas residuales a niveles razonables.

Aproximadamente US\$7,000 millones serían para aguas residuales, con US\$4,400 millones para la recolección de aguas de alcantarillado US\$1,200 millones para tratamiento y US\$1,200 millones para rehabilitación de las instalaciones existentes, y el resto para el saneamiento rural. Se consideró además los residuos industriales, los cuales pueden ser altamente tóxicos y en muchos casos no pueden ser eliminados usando tratamientos convencionales para aguas residuales. Los requisitos ambientales cada vez más estrictos en los países desarrollados han resultado en la transferencia de residuos peligrosos (o la fabricación que los involucra) a otros países. Se consideró además en esos años que como promedio, solamente 10% de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica estaban siendo tratadas, aun cuando se sabía que el tratamiento de aguas residuales era ya necesario en la prevención de la contaminación ambiental y del agua.

Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento están dentro del presupuesto. En aquellas áreas donde no es factible construir plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, podrían emplearse muchas otras opciones naturales de tratamiento. El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente.

La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales. Muchas opciones de tratamiento pueden ayudar a reducir los efectos de contaminación ambiental. La eficacia del tratamiento debe ser balanceada con el costo, la aplicación práctica y el cumplimiento con los métodos que han sido escogidos para la implementación. Para algunos ambientalistas, la opción más segura para deshacerse de los residuos puede ser la descarga costera, pero a mayor distancia para minimizar el impacto sobre los nadadores. Aún así, uno debe estar al tanto de la alteración natural del ecosistema marino.

El reuso de aguas residuales es una opción válida para el desecho, donde el medio ambiente puede filtrar efectivamente las corrientes de residuos moderadamente tratados. La minimización del ingreso de residuos peligrosos generados por procesos industriales (como, metales pesados) a las plantas municipales de tratamiento, es algo clave para reducir los efectos tóxicos de estos efluentes, muchos de los cuales no pueden ser eliminados a través de procesos convencionales de tratamiento.

Aunque existe la tecnología para producir un producto de agua potable de los efluentes de aguas residuales tratadas, los efluentes de aguas residuales son utilizados de manera más eficiente como aguas de enfriamiento en aplicaciones industriales, riego (como campos de golf o jardines ornamentales públicos), y uso doméstico no potable (como el inodoro). El efluente de aguas residuales parcialmente tratadas también puede utilizarse para recargar los acuíferos subterráneos, donde el suelo actúa como filtro natural, eliminando los contaminantes.

El lodo es un producto derivado del tratamiento de aguas residuales y del cual uno no puede deshacerse tan fácilmente. Los rellenos sanitarios, las desembocaduras a corta distancia de la costa y lagunas han servido de depósitos para deshacerse del lodo. El lodo puede ser tratado y utilizado para una variedad de propósitos. La digestión de lodo de alcantarillado puede

producir gas metano, el cual es útil para la producción de calor y energía. El lodo también ha sido utilizado en los cultivos agrícolas y en terrenos forestales, añadiendo sustancias nutritivas a los suelos deficientes. La presencia de contaminantes incluyendo patógenos y metales pesados, son una preocupación en la elección del tratamiento adecuado para minimizar su presencia. El lodo también puede usarse como abono para producir fertilizantes o puede ser horneado para fabricar ladrillos para construcción.

Finalmente mientras los costos de tratamiento de aguas residuales iban variando en el tiempo se fueron tomando los pasos necesarios para mejorar el estado actual. Muchos factores contribuyen al manejo adecuado de las aguas residuales entre ellos los gubernamentales, políticos, ambientalistas, y los sectores privados y público sobre tener claro la necesidad de tratar las aguas residuales. Los analistas predicen que la cooperación entre los sectores público y privado tendrá un mayor éxito en mejorar la entrega de servicios de saneamiento en la región latinoamericana.

### **3.3 AGUAS RESIDUALES**

El agua tiene una composición precisa  $H_2O$  y, por lo tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, la definición de cuáles son los contaminantes es difícil. Es un hecho que el agua rara vez está en forma pura, para fines prácticos afortunadamente no se la requiere así, o no importa que contenga otros compuestos; todo depende del uso que se le dé.

Se considera como contaminante al exceso de materia o energía que provoque daños a los humanos, animales, plantas y bienes, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua. De esta forma, no hay una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas; calificativo se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y el grado de avance de la ciencia y tecnología para determinar los efectos y medir los contaminantes. A pesar de la dificultad para definir la contaminación, es claro que esta provoca el daño o muerte de la flora y fauna,

impide el uso del agua en industrias o ciudades y deteriora el medio ambiente inclusive el paisaje.

El origen de la contaminación es variado pero se puede citar como causante importante los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas (accidentales o intencionales), los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los procesos de depuración, la ruptura de drenajes y el lavado de la atmósfera, entre otros. No hay duda que el "solvente universal" no solo disuelve sino además arrastra y emulsiona un gran número de compuestos con los que entra en contacto a lo largo de su ciclo y que modifican su calidad.

### **3.3.1 Principales Contaminantes en Aguas Residuales**

Las aguas residuales son las aguas servidas procedentes de usos domésticos, comerciales, industriales etc. o una combinación de ellas. Que son eliminadas de cualquiera de estas actividades en forma directa a los sistemas de alcantarillado, o al medio ambiente (suelo y/o aguas de ríos o mares) inescrupulosamente sin tratamiento alguno.

Los diversos tipos de aguas residuales reciben sus nombres según su procedencia, una de las características más comunes de estas aguas es la gran presencia de material orgánico, los cuales al ser degradados por los microorganismos ocasionan la ausencia del oxígeno disuelto en el agua.

En la Tabla se puede observar los contaminantes presentes en el agua residual.

Tabla 1: Contaminantes en el Agua Residual<sup>13</sup>

| CONTAMINANTES  | PROCEDENCIA <sup>14</sup>  | RAZON DE LA IMPORTANCIA  |
|--|--|--|
| <b>MO biodegradable</b>  | ARD y ARI (proteínas, carbohidratos, grasas aceites)   | Agotamiento de oxígeno, condiciones sépticas   |
| <b>Sólidos Suspendidos</b>   | ARD y ARI; erosión del suelo   | Desarrollo de depósito de fango; desarrollo de condiciones anaeróbicas                   |
| <b>Nutrientes:<br/>nitrógeno<br/>fosforo</b>                               | ARD y ARI y ARA<br>ARD y ARI; descarga natural   | Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas<br>contaminación de agua subterránea |
| <b>Patógenos</b>   | ARD  | Transmisión de enfermedades  |
| <b>Materia toxica<br/>Metales pesados<br/>Compuestos orgánicos tóxicos</b> | ARI<br>ARA y ARI   | Deterioro del ecosistema; envenenamiento de los alimentos en caso de acumulación         |
| <b>MO refractaria (difícil de degradar biológicamente)</b>                 | ARI (fenoles, surfactantes), surfactantes) y ARA (pesticidas, nutrientes); materia resultante del decaimiento de la MO | Contaminantes difíciles de eliminar presentan resistencia al tratamiento convencional.   |
| <b>Cloruros<br/>sulfuros<br/>Ph</b>  | Abastecimiento agua, uso agua, infiltración<br>ARD y ARI<br>ARI  | Incremento de contenido de sal   |
| <b>Gases:<br/>Sulfuro de Hidrogeno<br/>Metano<br/>Oxigeno</b>              | descomposición de ARD  | Intoxicación, malos olores, molestia en la población.                                    |

<sup>13</sup> Fuente: Melfalf and Eddy Ingeniería de Aguas Residuales V-II

<sup>14</sup> a/. MO: Materia orgánica b/. ARD: Aguas residuales domésticas c/. ARI: Aguas residuales industriales d/. ARA: Aguas residuales agrícolas.

### 3.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe de ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y como parte del proceso de producción. En este sentido, se deben tener en cuenta dos tipos posibles de costos:

- costo de producción: proceso de tratamiento y
- costo de seguridad: eliminación de problemas de seguridad e higiene y de penalizaciones por contaminar el medio ambiente.

Al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, para el tratamiento de las aguas residuales industriales podemos hablar de los mismos procesos generales: tratamientos primarios, secundarios y terciarios, utilizándose sólo los que sean de aplicación al proceso industrial concreto. Los principales tratamientos en cada una de las categorías son:

- **Pre-tratamientos y tratamientos primarios:** cribado, neutralización, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, floculación, desarenado y desaceitado. Tienen por objeto la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, metales pesados y aceites y grasas.

- **Tratamientos secundarios:** lodos activados, filtros percoladores, lagunaje, etc. Se elimina materia orgánica biodegradable.

- **Tratamientos terciarios:** - procesos de oxidación (destrucción o transformación de materia orgánica y compuestos inorgánicos oxidables) y de reducción.

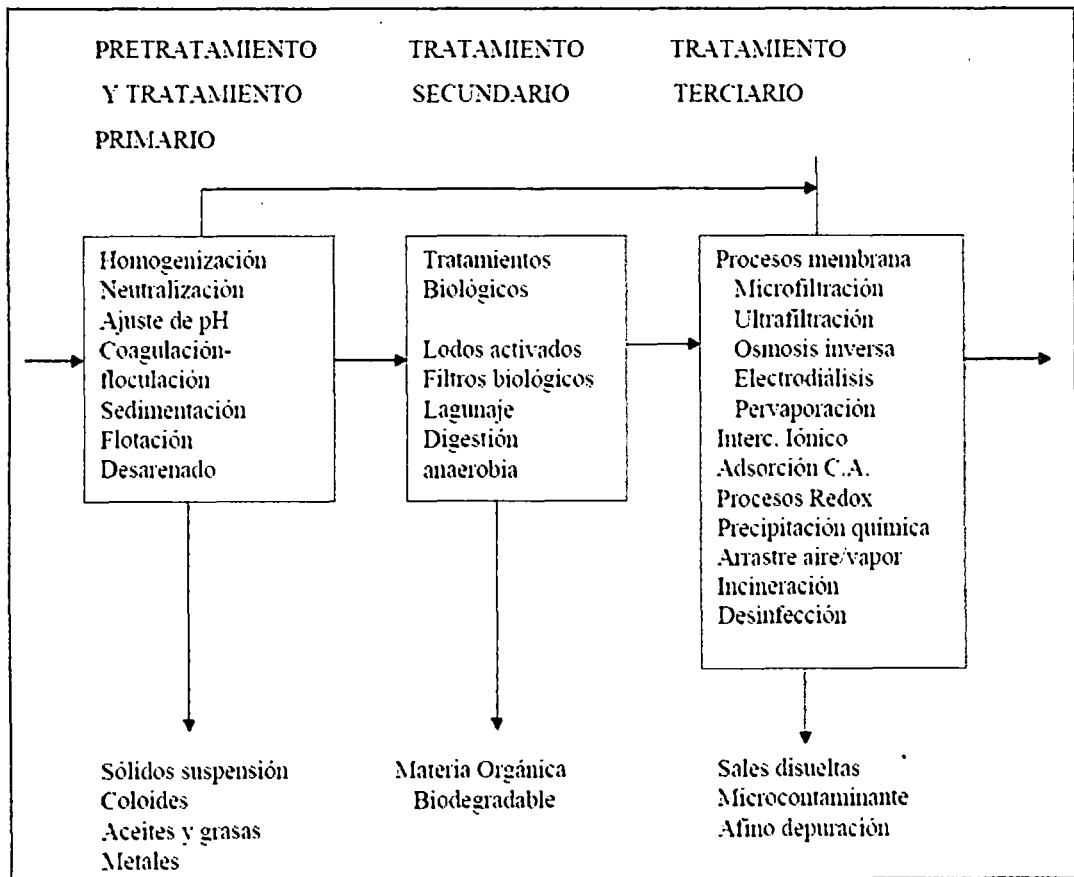
Se pueden considerar como tratamientos terciarios los siguientes procesos:



- Procesos de membrana (ósmosis inversa, ultrafiltración, electrodiálisis) y de intercambio iónico: eliminación de especies disueltas y coloides en su caso.
- Procesos de adsorción con carbón activo. Referidos a la eliminación de compuestos orgánicos.
- Procesos de incineración. Eliminación de compuestos orgánicos.
- Procesos electroquímicos: electrolisis y electromembranas. Eliminación o transformación de especies disueltas.

El siguiente esquema resume el diagrama general de tratamiento:

*Ilustración 1: Diagrama General de Tratamiento de Aguas Residuales*



### 3.4.1 Tratamientos Primarios

#### Homogenización de efluentes.

Con el mezclado y homogenización de los distintos efluentes generados en el proceso productivo se consigue disminuir las fluctuaciones de caudal de los diferentes vertidos, consiguiendo una única corriente de caudal y concentración más constante. Se suelen realizar en tanques agitados.

#### Cribado

Al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, esta etapa sirve para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual. Se suelen realizar mediante rejillas, con aberturas entre 5-90 mm.

#### Neutralización

La neutralización (tratamiento ácido-base del agua residual) puede utilizarse para los siguientes fines:

- Ajuste final del pH del efluente último antes de la descarga al medio receptor: con valores de PH oscilantes entre 5.5 - 9.
- Antes del tratamiento biológico: pH entre 6.5 - 8.5 para una actividad biológica óptima.
- Precipitación de metales pesados: es la aplicación más importante.

#### Coagulación-floculación.

Para eliminar sólidos en suspensión y material coloidal. La Coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos químicos (coagulantes) que neutralizan la carga eléctrica de los coloides; la Floculación consiste en la agrupación de las partículas coloidales desestabilizadas, formando agregados de mayor tamaño denominados "flóculos", los cuales sedimentan por gravedad. Para favorecer la formación de flóculos más voluminosos y su sedimentación, se suelen utilizar determinados productos químicos (floculantes), generalmente de naturaleza polimérica. Estos floculantes establecen puentes de unión entre los flóculos inicialmente formados.

Los principales compuestos químicos usados como coagulantes son:

- sales de aluminio: sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, policloruro de aluminio (polímero inorgánico de aluminio).
- Sales de hierro: cloruro de hierro (III), sulfato de hierro (III).

### Decantación.

Se utiliza para la eliminación de materia en suspensión que pueda llevar el agua residual, eliminación de los flóculos precipitados en el proceso de coagulación-floculación o separación de contaminantes en un proceso de precipitación química.

### Filtración

La filtración es una operación que consiste en hacer pasar un líquido que contiene materias en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso del líquido pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante. De este modo, las partículas que no han sedimentado en el decantador son retenidas en los filtros.

### Separación de fases.

- Separación sólido-líquido: separación de sólidos en suspensión. Se suelen emplear la sedimentación, la flotación (para sólidos de baja densidad) y la filtración.
- Separación líquido-líquido: la separación de aceites y grasas es la aplicación más frecuente.

En el cuadro siguiente se resumen los tratamientos primarios comentados:

**Tabla 2: Tratamientos Primarios**

|                              |   |  |
|------------------------------|---|--|
| Cribado                      |   | Elimina materias flotantes > 5 mm  |
| Homogeneización de efluentes |   | Neutraliza unos con otros.<br>Caudales y concentraciones más homogéneas. |
| Neutralización               |   | Precipitar metales pesados.<br>PH apto para tratamientos biológicos.     |
| Coagulación-Floculación      |   | Elimina coloides y aglomera partículas.                                  |
| Separación de fases          | Sólido-líquido:<br>Sedimentación<br>Flotación<br>Filtración | Proceso de clarificación.  |
|                              | Líquido-líquido:<br>flotación                               | Separación de grasas y aceites.  |

### 3.4.2 Tratamientos Secundarios o Biológicos

Los tratamientos secundarios son procesos biológicos, en los que la depuración de la materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa por la actuación de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que se mantienen en suspensión en el agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.

Los efluentes industriales con carga orgánica depurable por métodos biológicos, corresponden principalmente a industrias de carácter agroalimentario, aunque otras industrias como papeleras, farmacéuticas, etc., también producen vertidos que pueden ser sometidos a estos tratamientos secundarios.

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios (en ausencia de aire); en general, para aguas con alta carga orgánica (industrias agroalimentarias, residuos ganaderos, etc.) se emplean sistemas anaerobios y para aguas no muy cargadas, sistemas aerobios. En la práctica pueden ser empleadas ambas técnicas de forma complementaria.

Los tratamientos biológicos engloban tanto el proceso de reacciones biológicas comentado, como la posterior separación de los fangos por decantación. Entre las variables a controlar en estos procesos se encuentran la temperatura (en anaerobios esencialmente), oxígeno disuelto, el pH, nutrientes, sales y la presencia de inhibidores de las reacciones.

El tratamiento biológico es la solución efectiva para la remoción de materia orgánica del agua residual, mediante actividad biológica, este material orgánico se encuentra disuelto en el agua propiamente dicha en forma de sólidos sedimentables, flóculos disueltos etc. Existen cuatro grupos principales de proceso biológico: proceso aerobio, proceso anóxico, proceso anaerobio y proceso combinado, aerobios con anóxicos o con anaerobios.

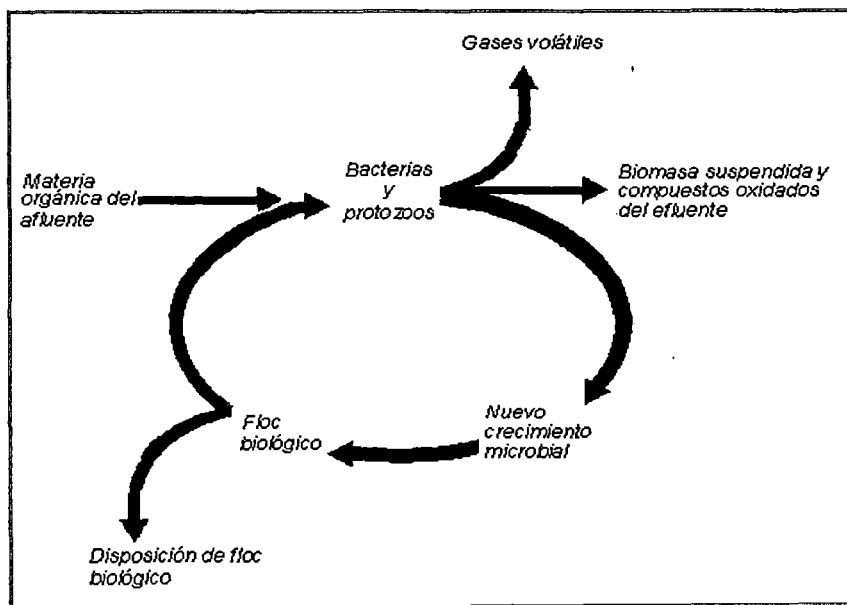


Ilustración 2: Descomposición Microbial de la Materia Orgánica<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Fuente: Jairo Romero Rojas "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"

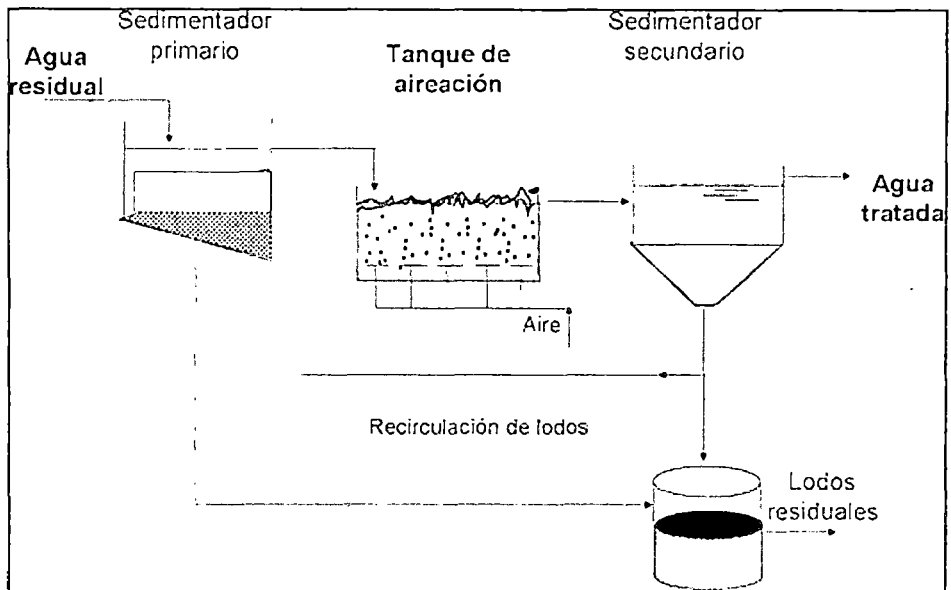
En cada grupo se toma en cuenta la descomposición microbial como base para el desarrollo de los procesos, dependiendo si el proceso es de crecimiento biológico suspendido, crecimiento biológico adherido o una combinación de ellos. También, depende del régimen de flujo predominante; flujo continuo o intermitente y si es flujo en pistón o flujo arbitrario.

En los procesos de tratamiento aerobio el tratamiento se efectúa en presencia de oxígeno. Los procesos anaerobios son aquellos en los cuales el tratamiento biológico ocurre en ausencia de oxígeno. En el proceso anóxico se remueve nitrógeno, mediante conversión de nitrato en nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno. El proceso anóxico se conoce como desnitrificación anaerobia, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias, sino una modificación de las vías aerobias, se considera más apropiado denominarlo proceso anóxico en vez de anaerobio.<sup>16</sup>

- a) Tratamientos aerobios.- Los más empleados son el de lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, biocilindros, lechos de turba, filtros verdes y lagunaje (este sistema se puede considerar como "mixto", ya que se dan tanto en procesos aerobios como anaerobios, dependiendo de la profundidad). En todos estos procesos, la materia orgánica se descompone convirtiéndose en dióxido de carbono, y en especies minerales oxidadas.

---

<sup>16</sup> Jairo Romero Rojas "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"



*Ilustración 3: Diagrama de un sistema de Lodos Activados*

b) Tratamientos anaerobios.- La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados; en un proceso anaerobio, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano. Los productos finales de la digestión anaerobia son el biogás (mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno), que se puede aprovechar para la producción energética, y los lodos de digestión (compuestos no biodegradables y biomasa). Estos tratamientos tienen tres aplicaciones principales:

- Residuos ganaderos.
- Aguas residuales industriales con alta carga orgánica.
- Lodos de depuradora.

c) Tratamientos mixtos: en algunos casos se utilizan tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma consecutiva, alternante o produciéndose ambos a la vez. Esto último es lo que sucede en las denominadas lagunas facultativas, con zonas de depuración aerobia (zona más superficial) y anaerobia (zonas más profundas).

En la Tabla siguiente se presenta el resumen los principales procesos de tratamiento biológico.

Tabla 3: Principales Procesos de Tratamiento Biológico<sup>17</sup>

| TIPO                                      | CRECIMIENTO         | PROCESO                          | USO PRINCIPAL                    |
|---|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <b>AEROBIOS</b>                           | <b>SUSPENDIDO</b>   | lodos activados                  | Remoción de DBO y nitrificación  |
|   |                     | -convencional                    |                                  |
|   |                     | -mezcla completa                 |                                  |
|   |                     | -aireación escalonado            |                                  |
|   |                     | -estabilización y contacto       |                                  |
|   |                     | -oxígeno puro                    |                                  |
|   |                     | -tasa alta                       |                                  |
|   |                     | -aireación prolongada            |                                  |
|   |                     | -proceso Krauss                  |                                  |
|   |                     | -zanjón de oxidación             |                                  |
|   | Lagunas aireadas    | Remoción de DBO y nitrificación  |                                  |
|   | Digestión anaerobia | Remoción de DBO - estabilización |                                  |
|   | Lagunas aerobias    | Remoción de DBO y nitrificación  |                                  |
|   | <b>ADHERIDO</b>     | Filtros Percoladores             | Remoción de DBO y nitrificación  |
|   |                     | -tasa baja                       |                                  |
| -tasa alta                                |                     |                                  |                                  |
| Torres biológicas                         |                     | Remoción de DBO y nitrificación  |                                  |
| Unidades Rotatorias de contacto biológico |                     | Remoción de DBO y nitrificación  |                                  |
| Reactores de lecho fijo                   |                     | Remoción de DBO y nitrificación  |                                  |
| <b>ANÓXICO</b>                            | <b>SUSPENDIDO</b>   | Bardenpho                        | Remoción de DBO, N y P           |
|   |                     | Desnitrificación                 | Remoción de nitrógeno            |
|   | <b>ADHERIDO</b>     | Desnitrificación                 | Remoción de nitrógeno            |
| <b>ANAEROBIOS</b>                         | <b>SUSPENDIDO</b>   | Digestión anaerobia              | Remoción de DBO - estabilización |
|   |                     | Anaerobio de contacto            | Remoción de DBO                  |
|   | <b>HIBRIDO</b>      | Lagunas anaerobias               | Remoción de DBO - estabilización |
|   |                     | Manto de lodos-flujo             | Remoción de DBO y SS             |
|   |                     | Ascensional (PAMLA) o UASB       |                                  |
|   | <b>ADHERIDO</b>     | Filtro anaerobio                 | Remoción de DBO - estabilización |
| Lecho Expandido                           |                     | Remoción de DBO - estabilización |                                  |

<sup>17</sup> Fuente: Jairo Romero Rojas "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"



### 3.4.3 Tratamientos Terciarios

El objetivo principal de los tratamientos terciarios es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario; son tratamientos específicos y costosos, que se usan cuando se requiere un efluente final de mayor calidad que la obtenida con los tratamientos convencionales. Las principales técnicas son:

#### Procesos de membrana

En estos procesos el agua residual pasa a través de una membrana porosa, mediante la adición de una fuerza impulsora, consiguiendo una separación en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente y del tamaño de poro de la membrana.

#### Intercambio iónico

Sirve para eliminar sales minerales, las cuales son eliminadas del agua residual que atraviesa una resina, por intercambio con otros iones ( $H^+$  en las resinas de intercambio catiónico y  $OH^-$  en las de intercambio aniónico) contenidos en la misma.

#### Adsorción con carbón activo

Para eliminar compuestos orgánicos. Se puede utilizar en forma granular (columnas de carbón activado granular o en polvo).

#### Procesos de oxidación

Sirven para eliminar o transformar materia orgánica y materia inorgánica oxidable. Los principales procesos de oxidación se pueden clasificar en:

- Procesos convencionales de oxidación: se usan como oxidantes ozono, peróxido de hidrógeno, permanganato de potasio, hipoclorito de sodio, cloro y oxígeno.
- Procesos a alta temperatura y presión: oxidación con aire húmedo (WAO), oxidación en condiciones críticas, etc.

### Procesos de reducción

Para reducir elementos metálicos en alto estado de oxidación (reducción de  $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$  mediante sulfito de sodio, tiosulfato de sodio, sulfato ferroso, etc).

### Precipitación química

Se basa en la utilización de reacciones químicas para la obtención de productos de muy baja solubilidad. La especie contaminante a eliminar pasa a formar parte de esa sustancia insoluble, que precipita y puede ser separada por sedimentación y filtración.

## **3.5 TRATAMIENTO POR BIOPELÍCULA**

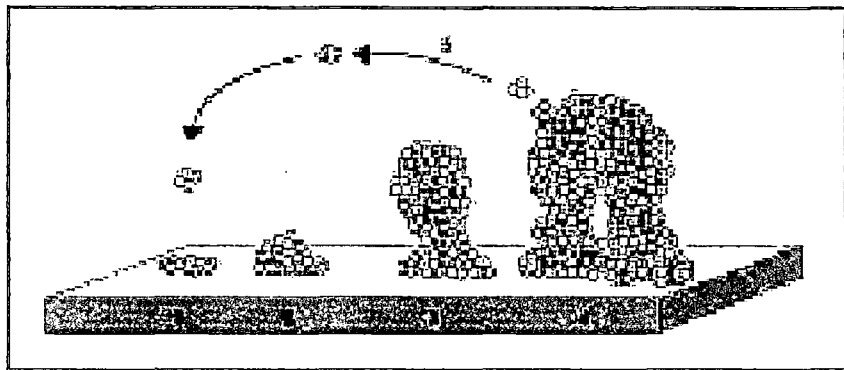
Es un proceso de síntesis biológica utilizada para el tratamiento de aguas residuales tiene como característica esencial que, utiliza un medio de soporte inerte, en el cual se adhieren los microorganismos para su desarrollo los cuales se alimentan captando para ellos sustancias nutritivas del agua residual que discurre por el medio. El crecimiento que aparece de esta capa adherida de microorganismos en el material inerte es denominado película biológica.

### **3.5.1 Biopelícula**

Las biopelículas también llamadas "biofilm", son comunidades de microorganismos que crecen embebidos en una matriz, adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo. Todos los microorganismos son capaces de formar biofilms, ya que aparentemente la formación de ésta, no parece estar restringida a ningún grupo específico de microorganismos. Aunque la composición del biofilm es variable en función del sistema en estudio, en general, el componente mayoritario es el agua, que puede representar hasta un 97% del contenido total. Además de agua y de las células bacterianas, la matriz del biofilm es un complejo formado principalmente por exopolisacáridos, y en menor cantidad se encuentran otras macromoléculas como proteínas, ADN y productos diversos procedentes de la lisis de las bacterias.

En relación a la estructura del biofilm una de las preguntas que surgía era ¿cómo las bacterias del interior del biofilm podían tener acceso a los nutrientes o al oxígeno?

Estudios realizados utilizando microscopía confocal han mostrado que la arquitectura de la matriz del biofilm no es sólida y presenta canales que permiten el flujo de agua, nutrientes y oxígeno incluso hasta en las zonas más profundas del biofilm. La existencia de estos canales no evita sin embargo, que dentro del biofilm se puedan encontrar ambientes diferentes en los que la concentración de nutrientes, PH u oxígeno es diferente. Esta circunstancia aumenta la heterogeneidad sobre el estado fisiológico en el que se encuentra la bacteria dentro del biofilm y dificulta su estudio.



*Ilustración 4: Etapas en el Proceso de Formación de la Biopelícula<sup>18</sup>*

La etapa inicial del proceso de formación del biofilm es la adherencia sobre la superficie, luego comienza a dividirse y las células hijas se extienden alrededor del sitio de unión, formando una micro-colonia similar a como ocurre durante el proceso de formación de colonias en placas de agar. En una etapa posterior la bacteria comienza a secretar un exopolisacárido que constituye la matriz del biofilm y forma unas estructuras similares a setas entre las cuales se observa la presencia de canales.

---

<sup>18</sup> Fuente: Biofilms Bacterianos e Infección Instituto de Agrobiotecnología Universidad Pública de Navarra

### 3.5.2 Formación, Estructura y Comportamiento de la Biopelícula en la Depuración

En todos los reactores con biopelícula fija, los procesos metabólicos de conversión ocurren en el interior de la biopelícula. El transporte de los sustratos se realiza a través de procesos de difusión, inicialmente a través de la película líquida en la interface líquido / biopelícula y en seguida a través de la propia biopelícula. Los productos de las reacciones de oxido reducción son transportados en sentido inverso, al exterior de la biopelícula. Tanto el sustrato donador y el receptor de electrones deben penetrar la biopelícula para que la reacción bioquímica se procese.

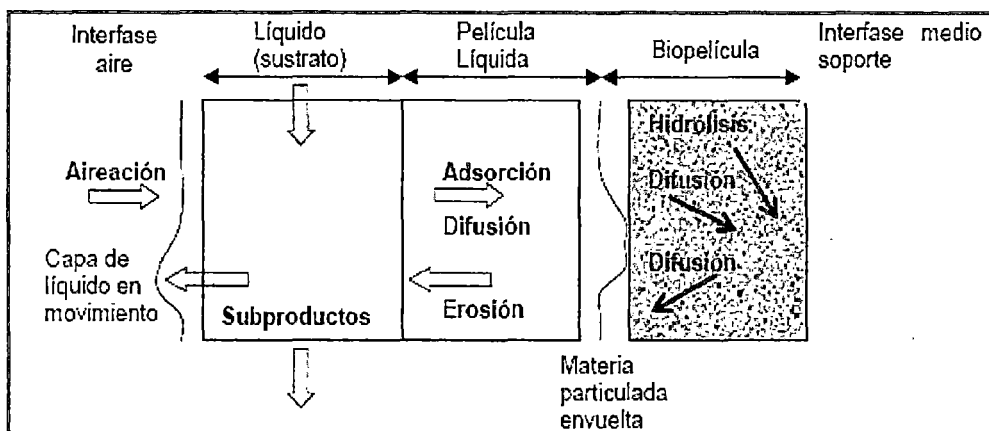


Ilustración 5: Mecanismos y Procesos envueltos en el transporte y degradación de sustratos en la biopelícula<sup>19</sup>

En muchos sistemas aerobios, la velocidad de transferencia de oxígeno para las células es un factor limitante, que determina la velocidad de conversión biológica. La disponibilidad de oxígeno para los microorganismos depende de la solubilidad y de la transferencia de masa, también con la velocidad con la que el oxígeno disuelto es utilizado.

<sup>19</sup> Fuente: Pos Tratamiento de Efluentes de Reactores Anaerobios-PROSAB

Retomando a los procesos de tratamiento mediante biopelícula, es necesario indicar que los sistemas aerobios de Biopelícula más conocidos son: Biofiltros, Biodiscos, Biofiltros Aireados Sumergidos (BAS) y Película Fija Sumergida (PFS), los cuales se detallan a continuación.

### **3.5.3 El Sistema de Biofiltro**

Es un sistema que consiste en hacer circular el agua residual en un medio inerte (plástico, grava etc.) ubicado sobre un dren elevado, por lo que todo el medio se encuentra totalmente ventilado. El agua residual se descarga sobre el Sistema de Biofiltro por medio de un sistema de aspersión que rocían en la superficie superior del lecho empacado, todas las gotas escurren por gravedad sobre el medio inerte y caen libremente después por el dren mencionado.

### **3.5.4 El Sistema de Biodiscos**

Está integrado por un conjunto de discos de plástico que se sostienen mediante un eje que va en el centro de dichos discos. Una parte de los discos está sumergida en un tanque por el que fluye agua residual, estos pueden fluir en forma paralela o perpendicular al agua residual, y la otra parte se encuentra en contacto con el aire de la atmósfera, favoreciendo el crecimiento de los microorganismos adheridos a los discos. En este proceso la biopelícula está en constante rotación dentro del agua residual y de la atmosfera para la provisión de oxígeno a los microorganismos, logrando que todas las partes de los discos estén contacto con el agua y con el aire.

### **3.5.5 El sistema de Biofiltro Aireado Sumergido (BAS)**

Es un Biofiltro que se encuentra sumergido en un tanque por el que fluye agua residual, por lo que todo el medio se encuentra totalmente dentro del agua y se inyecta aire al tanque para que se desarrolle el proceso aerobio. El aire que se suministra por el fondo del tanque, abajo del medio plástico, asciende entre las separaciones del medio plástico y entra en contacto con los microorganismos

que forman la película biológica. El aire proporciona el oxígeno requerido para la respiración endógena de los microorganismos y para la oxidación de la materia orgánica que toman como alimento.<sup>20</sup>

El medio poroso es mantenido en una inmersión total por el flujo hidráulico, caracterizándolos como reactores trifásicos compuestos por:

- Fase sólida: constituida por el medio soporte y por las microorganismos que en ella se desenvuelven, bajo la forma de una película biológica (biopelícula o biofilm)
- Fase líquida: compuesta por el líquido en permanente escurrimiento a través del medio poroso.
- Fase gaseosa: formada por la aireación artificial y, en reducida escala, por los gases subproductos de la actividad biológica.

Los Biofiltros Aireados Sumergidos (BAS) son también conocidos como sistemas aireados de contacto y se han utilizado por más de 50 años, para niveles de remoción de 50% a 70 % de DBO [Pos Tratamiento de Efluentes de Reactores Anaerobios-PROSAB].

### **3.5.6 El sistema de Película Fija Sumergida (PFS)**

Es un proceso que consiste en un lecho empacado sumergido en un tanque por el que fluye agua residual y se encuentra sometido a una aireación intensa, que evita existan superficies "ociosas", es decir no existen zonas con bajas tasas de crecimiento de Biopelícula, se considera un proceso similar al BAS. Las burbujas de aire difundido provocan un movimiento de convección forzada, que favorece el número de choques entre el sustrato (alimento), la película biológica (microorganismos) y el oxígeno contenido en el aire. En otras palabras, el mezclado y suministro de oxígeno son más intensos a los que existe en el

---

<sup>20</sup> Diseño de sistemas de biopelículas para el tratamiento de agua residual-Gomez Salas D

sistema BAS; a su vez existe un mayor contacto de la superficie plástica con el agua residual y el aire inyectado.<sup>21</sup>

En todos los procesos de Biopelícula, los microorganismos producidos por la oxidación de la materia orgánica se van adhiriendo inicialmente a las paredes del medio plástico y posteriormente se forman varias capas biológicas sobrepuestas (biopelícula). Esto ocasiona que los microorganismos de la última capa (la exterior) tengan mayor contacto con el alimento y con el oxígeno del aire; en cambio, la capa adherida a la superficie plástica (la interior) cada vez tiene menos contacto con el sustrato y el oxígeno, por lo que en esta zona se dificulta la alimentación y respiración; hasta que muere y se desprende del plástico; en este sistema de tratamiento el agua que escurre por gravedad arrastra la biopelícula parcialmente muerta.

En el caso del Biodisco, la fuerza de fricción que se produce al girar los discos dentro del agua hace más eficiente el desprendimiento de la Biopelícula parcialmente muerta. En el caso de BAS y PFS, el aire al ascender por el medio plástico, favorece el desprendimiento y arrastre de la biopelícula parcialmente muerta. A mayor turbulencia mayor fuerza de arrastre. En todos los casos, en la superficie del medio de contacto que queda libre al desprenderse la película envejecida, se inicia el crecimiento de una nueva película. Es un proceso dinámico repetitivo.

El efluente de los sistemas de Biopelícula, que contiene flóculos de biopelícula parcialmente muerta, se conduce a un tanque de sedimentación, en donde, por la fuerza de gravedad, los flóculos caen al fondo, y el agua clarificada se obtiene por la parte superior. Las diferencias entre las variantes de los procesos de biopelícula radican en el concepto de "superficie activa", que es la superficie en donde crece la película biológica y se renueva continuamente; cuando tarda en renovarse, la velocidad de asimilación del sustrato disminuye.<sup>22</sup>

*Procesos Biológicos que se aplican y determinadas ecuaciones:*

---

<sup>21</sup> Diseño de sistemas de biopelícula para el tratamiento de agua residual-Gómez Salas D

<sup>22</sup> Diseño de sistemas de biopelículas para el tratamiento de agua residual-Gomez Salas D

- Biofiltros (Germaín),
- Biodiscos (Kinkanon y Popel),
- BAS (Stencel y Rusten)
- PFS (Gómez).

De acuerdo a las investigaciones realizadas por el investigador mexicano Ing. David Gómez Salas la ecuación de PFS es aplicable a los procesos de biopelícula en general, por lo cual se empleara como referencia en la presente investigación.

### 3.5.7 Ecuación General de Diseño, para Procesos de Película Fija Sumergida (PFS)

El investigador M. I. David Gómez Salas, dedujo una ecuación aplicable a los procesos de película fija la cual se muestra a continuación:

Ecuación 1 <sup>23</sup>

$$\frac{V_r}{Q} = \frac{1}{kS_o(PD/S_o-1)} \ln \left[ \frac{1-X_a S_o/PD}{1-X_a} \right]$$

Donde:

*Q*, es el caudal del afluente ( $m^3/d$ )

*V<sub>r</sub>*, es el volumen del reactor ( $m^3$ ).

*D*, es la densidad del medio ( $m^2/m^3$ )

*k*, es la constante cinética.  $k = 0.016 \text{ d}^{-1} \cdot (\text{mg/L})^{-1}$  para PFS a 20° C

*P*, es constante de proporcionalidad  $P = 2.3 \text{ mg} / \text{cm}^2$  para PFS a 20°C.

*S<sub>o</sub>*, es la concentración de DBO inicial

*X<sub>a</sub>*, es la fracción del reactante A convertida en producto.

<sup>23</sup> Fuente: Gomez D Ecuación de diseño para película fija sumergida



La ecuación general de diseño, deducida originalmente para el sistema de Película Fija Sumergida (PFS), puede aplicarse para el diseño de Biofiltros, Biodiscos y Biofiltro Aireado Sumergido (BAS), aplicando valores de los parámetros  $P$  y  $k$ , que reflejen las características de estos sistemas.<sup>24</sup>

Teóricamente el valor del parámetro  $P$  será menor para los sistemas que tienen menos superficie plástica activa, cuando hay menor contacto entre la biopelícula y la materia orgánica disuelta en el agua residual; cuando hay menor contacto de la biopelícula con el oxígeno; y cuando son más débiles las fuerzas que remueven la biopelícula envejecida, parcialmente muerta. Mientras que, teóricamente el valor del parámetro  $k$  será menor en los sistemas en que se desarrollen microorganismos con menor capacidad para oxidar la materia orgánica disuelta en el agua residual, donde  $k$ , es la constante cinética, cuyo valor determinado experimentalmente para PFS a temperatura de 20 °C corresponde a 0.016 días<sup>-1</sup>. ( $\text{mg/L.}$ )<sup>-1</sup>.  $P$ , es proporcional a la concentración de microorganismos en la superficie de medio plástico y depende del espesor de la biopelícula y su peso específico.

El valor determinado experimentalmente para PFS a temperatura de 20 °C,  $P = 2.3 \text{ mg / cm}^2$ <sup>25</sup>

El investigador comparó la ecuación mostrada con las ecuaciones de diseño para cada uno de los procesos de biopelícula antes descritos, aplicando valores de influente unitario de 1l/s con DBO de 200 mg/L, determinando así los requerimientos de área en los diferentes procesos de biopelícula; de donde obtuvo las áreas de contacto para niveles de remoción de 0% a 90 % (véase ilustración 6), donde se puede observar que las ecuaciones tienen la misma tendencia mientras que la ecuación para BAS al alcanzar eficiencias de 70% requiere de mayor área de contacto que en las demás.

---

<sup>24</sup> Idem al anterior

<sup>25</sup> Gomez D. Ecuacion de Diseño para Película Fija Sumergida

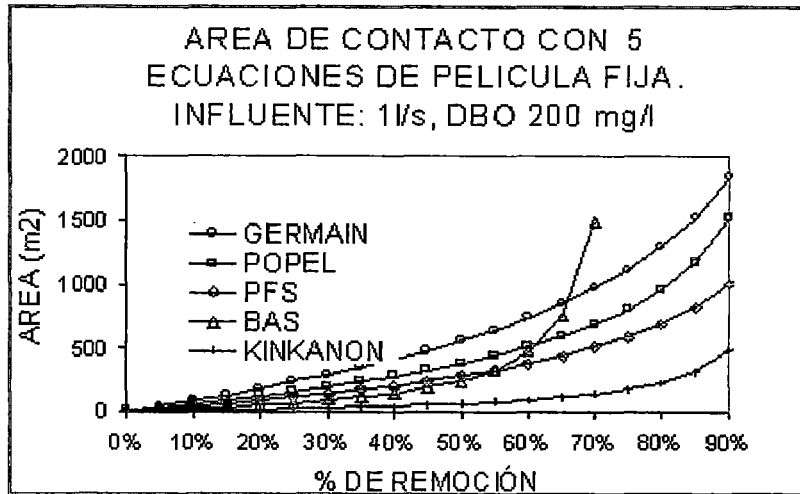


Ilustración 6: Comparación de Requerimientos de Área de Contacto<sup>26</sup>

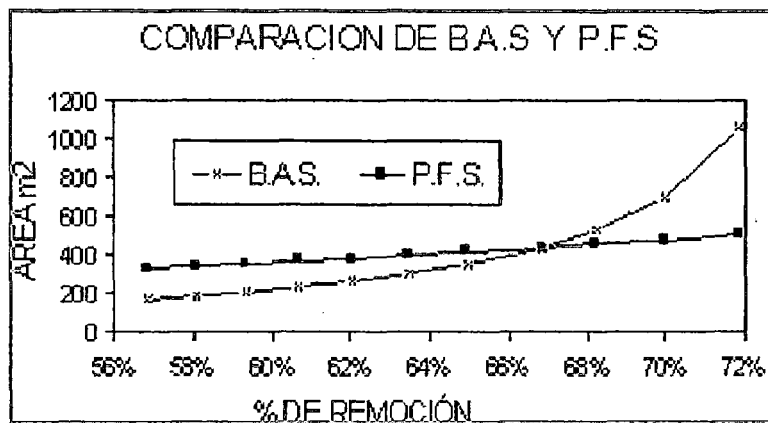


Ilustración 7: Áreas de Contacto para los procesos BAS y PFS. Ambos procesos con igual nivel de remoción y carga orgánica (g/m<sup>2</sup>/d)<sup>27</sup>

Debido a la posible aplicación para diversos procesos de biopelícula se tomó en consideración la ecuación de diseño, como referencia para los resultados obtenidos en la presente investigación.

<sup>26</sup> Idem al anterior

<sup>27</sup> Fuente: Gomez D Ecuación de diseño para película fija sumergida

### 3.5.8 Consideraciones Claves para el diseño de la Tecnología

A continuación se detallaran ciertas consideraciones a tener en general en los procesos de Biopelícula.

#### A. SENTIDO DE FLUJO HIDRAULICO (Aire y Agua)

El sentido del flujo hidráulico (aire y agua) determina las principales características operacionales de un Biofiltro, influenciando en la retención de sólidos suspendidos (SS), transferencia gas – líquido de oxígeno, evolución de la pérdida de carga hidráulica, tipo de lavado, gastos energéticos y producción de olores. Las diferentes opciones para el sentido del flujo hidráulico son presentadas en la ilustración 8. El flujo de aire en los BAS y PFS sólo es viable en el sentido ascendente, debido al estado de permanente inmersión del medio soporte. La corriente de aire sólo es posible en medio granulares que no se encuentren sumergidos (caso de los filtros biológicos percoladores), lo que limita las opciones para el flujo hidráulico en los BAS y PFS a dos posibilidades:

- Con la corriente: con flujos de aire y líquido ascendentes,
- Contra corriente: con flujo de líquido descendente y aire ascendente.

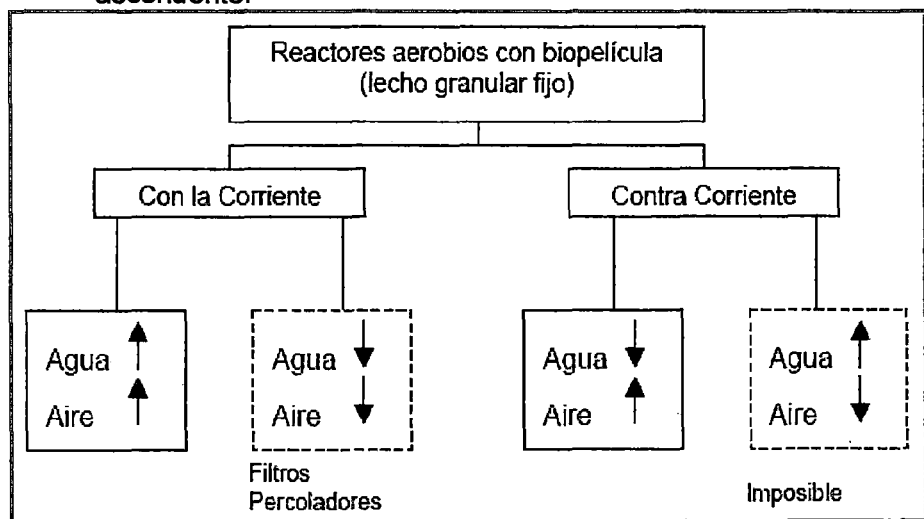


Ilustración 8: Sentidos de flujo hidráulico (Aire / Líquido) en reactores aerobios con biopelícula -

RICHARD & CYR, 1990<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Fuente: Pos Tratamiento de Efluentes de Reactores Anaerobios-PROSAB

Los diferentes procesos son generalmente caracterizados con base en el sentido del flujo hidráulico: ascendente o descendente. Las principales ventajas y desventajas de cada una de estas opciones son las siguientes:

- Capacidad de retención de sólidos: la capacidad de retención de sólidos suspendidos (SS) es mayor en los procesos descendentes con un medio granular pesado (diámetro  $d > 1$ ) o ascendentes con medio variable ( $d < 1$ ). En este caso, el flujo de líquido se da en el sentido de la compresión del medio filtrante, brindándole gran capacidad de filtración.
  - Por otra parte, en los procesos ascendentes con medio soporte pesado, el flujo con la corriente produce una expansión del lecho filtrante, permitiendo una retención de SS mejor distribuida a lo largo de la altura del biofiltro. Aquellos reactores con soporte estructurado (tipo colmena) necesitan de una decantación secundaria, pues poseen pequeña capacidad de retención de SS;
  - Evolución de la pérdida de carga: debido a la elevada eficiencia en la retención de SS, la pérdida de carga evoluciona más rápido en los procesos descendentes con lecho granular pesado y en los ascendentes con medio fluctuante. Mientras que, los procesos ascendentes con material pesado presentan una evolución de la pérdida de carga relativamente menor, pudiendo llegar hasta 3 m. La evolución de la pérdida de carga es extremadamente reducida en los medios soportes estructurados (colmenas), con carreras de filtración que pueden durar varios días.
  - Comportamiento hidráulico: los procesos descendentes (contra corriente) pueden favorecer la formación de burbujas de aire atrapadas en el seno del medio granular. La desventaja de los procesos ascendentes está en la posibilidad de existir una mala distribución del afluente en el medio
-

granular, generando cortos circuitos y caída del rendimiento de depuración;

- **Demanda de aireación:** los fabricantes indican que los procesos descendentes requieren menos aire y que la pérdida de carga es menor, debido a una altura relativamente pequeña del medio de soporte. Los fabricantes de procesos ascendentes indican que, debido a una mayor altura del lecho la eficiencia de transferencia de oxígeno es altísima – de 23 a 30%; sin embargo, datos experimentales obtenidos en plantas de tratamiento reales indican que esta eficiencia alcanza, como máximo, 10% en los dos tipos de proceso;
- **Detalles constructivos:** en los procesos descendentes, la tubería de aireación solo entra en contacto con el agua residual tratada, siendo menos expuesta a atascos por sólidos presentes en el desagüe decantado. Ahora en el caso de los procesos ascendentes, solamente el desagüe tratado entra en contacto con la atmósfera, eliminando problemas de olores. Los biofiltros ascendentes todavía pueden ser auto-limpiantes, cuando el lavado es realizado en sentido contrario a la corriente.

## **B. MATERIAL SOPORTE**

El medio soporte debe cumplir dos funciones en los biofiltros aireados, servir de soporte para la fijación de los microorganismos y retener físicamente los SS presentes en el agua residuales.

Cuando menor sea la superficie específica disponible para la fijación de las colonias de microorganismos, menor será también la capacidad de retención de SS por filtración, en aquellos casos en donde se presente.

Por otro lado, los materiales con alta superficie específica originan la rápida evolución de la pérdida de carga, requiriendo mayor frecuencia en el lavado.

Se debe tener en cuenta que la elección del medio de soporte depende de la relación entre la calidad del efluente tratado, la frecuencia de lavado del soporte y el costo que implica. Los soportes más utilizados son compuestos por material granular con las siguientes características principales:

- Granulometrías entre 2 y 6 mm, en el caso de tratamiento de aguas residuales domésticas con biofiltros aireados descendentes.
- Granos con diámetro efectivo entre 1 y 2 mm son adecuados para nitrificación terciaria en biofiltros aireados ascendentes. Si se desea promover la oxidación carbonácea el diámetro debe ser mayor que 2.5 mm. Entre los materiales granulares más utilizados poseen superficies específicas variables entre 200 y 600 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> de material; cabe mencionar que los filtros biológicos percoladores emplean materiales con superficie específica del orden de 20 a 50 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (piedras) o 100 a 200 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (plástico);
- Se busca que la granulometría sea homogénea para evitar la colmatación de los intersticios por partículas menores.
- El material debe ser inerte, no biodegradable ni indeformable para que el medio soporte conserve las características y granulometría durante varios años de operación; también debe ser resistente a la abrasión para resistir la turbulencia producida por el lavado del medio granular.
- La densidad puede ser del orden 1.5 para el caso de los materiales granulares aplicados al tratamiento secundario, densidades diferentes serían aplicadas a materiales diferentes a los granulares. Materiales más densos como en el caso de grava, pueden ser utilizados en el caso de post- tratamiento de efluentes anaerobios, cuando la superficie específica media del lecho no exceda a 300 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.
- La forma de los granos del medio soporte no influyen significativamente en el desempeño de los procesos, siendo más importante las

características de la superficie, que faciliten la adhesión de la biomasa (cabe considerar principalmente la superficie específica y la rugosidad);

- Deben ser duraderas y fáciles de sustituir;
- El área donde crece la biopelícula debe estar en constante renovación, por ello el espacio de drenado de la biopelícula desprendida es importante, sino la biomasa formada se queda en el medio plástico o piedras en forma de tapón y puede ocasionar condiciones anaerobias y afectar la eficiencia del proceso. Es preferible tener menos área de contacto que sufrir taponamientos en el medio de contacto.

### **C. SISTEMAS DE AIREACIÓN – DEMANDA DE OXIGENO**

La mayoría de los biofiltros aireados sumergidos y de película fija sumergida tienen un sistema directo de aireación artificial, compuesto por sopladores y tuberías para el transporte del aire. En los biofiltros más antiguos con medio granular pesado, la distribución de aireación se sitúa en la base del lecho filtrante apoyado sobre losas con difusores. En los procesos ascendentes, la distribución puede ser introducida en el seno del medio granular, permitiendo el ingreso de una fracción no aireada en el inicio del lecho filtrante.

### **D. LAVADO DEL MEDIO FILTRANTE**

Un lavado periódico del medio filtrante es una etapa obligatoria en la operación de los biofiltros, para controlar la colmatación progresiva del lecho por el crecimiento de biopelícula (microorganismos y SS retenidos).

La duración de estos ciclos depende de: granulometría del material, carga aplicada, características del agua residual y naturaleza de la biomasa fija. La cantidad de agua tratada utilizada y el consumo de energía (bombas de aire) son factores a considerar en la configuración del procedimiento de lavado. De acuerdo a STROHMEIER (1993), el volumen de agua de lavado empleado en

biofiltros ascendentes de lecho granular fijo fue estimado en 3 a 8 % del volumen tratado y, de 5 a 10%, en los descendentes según UPTON & STEPHENSON (1993). Según PUJOL et al. (1992), el volumen de agua para lavado puede ser 3 veces el volumen del lecho filtrante. En el caso de sistemas UASB con Biofiltros, el lavado puede ser realizado cada 3 días, empleando menos del 2% del volumen de agua residual tratada, en el periodo de tiempo entre 2 lavados.

La operación comprende la interrupción total del funcionamiento de la unidad a lavar, en horarios de bajo caudal de ingreso, luego se aplican fuertes descargas hidráulicas secuenciales de aire y agua de lavado; generalmente, varias descargas hidráulicas son realizadas en sentido contrario al flujo de ingreso.

### **E. CONSUMO DE ENERGÍA**

El consumo de energía corresponde a la aireación aplicada, dotación de aire para el lavado y bombeo de agua de lavado. De acuerdo a experiencias realizadas se indica que el 87% de la energía corresponde a la aireación.<sup>29</sup>

#### **3.5.9 Sistemas de Aireación**

La aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ellas. Su función principal, en el tratamiento de aguas residuales, consiste en proporcionar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobio. Las funciones más importantes de un sistema de aireación son:

- Transferencia de Oxígeno Disuelto.
- Remoción de Sustancias Volátiles productoras de olores y sabores.
- Remoción de dióxido de carbono.
- Remoción de H<sub>2</sub>S.
- Remoción de Hierro y Manganeseo.

---

<sup>29</sup> Pos Tratamiento de Efluentes de Reactores Anaerobios-PROSAB.



- Remoción de compuestos orgánicos volátiles.

Los procesos de tratamiento biológico aerobio, como los procesos de lodos activados, requieren de oxígeno disuelto generalmente de 0.2 a 2 mg/L con el fin de asegurar un suministro apropiado de oxígeno para el consumo de los microorganismos responsables del tratamiento. Sin embargo los requerimientos de mezcla generalmente determinan la potencia requerida de los equipos de aireación.<sup>30</sup>

### **3.5.9.1 Equipos de Aireación**

Los equipos de aireación empleados en el tratamiento de aguas residuales son de tres tipos:

- Equipos de aireación difusa o de aire comprimido, en los que el aire se rompe en burbujas y se dispersa a través del tanque.
- Sistema de turbinas, en los cuales se dosifica aire debajo de las paletas de rotación de un impulsor sumergido.
- Sistemas de aireación superficial, en los cuales un equipo colocado en la superficie del agua ejecuta la transferencia de oxígeno mediante turbulencia superficial y aspersion del agua.

•

### **3.5.9.2 Determinación del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno KLa**

En la determinación del coeficiente de transferencia de oxígeno de equipos de aireación se utilizan diferentes métodos. A escala de laboratorio el procedimiento es el siguiente:

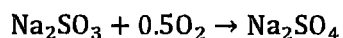
- Se coloca agua potable en un recipiente de 2 - 200 litros, y se determina la temperatura.

---

<sup>30</sup> Jairo Romero Rojas "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"

- Se desoxigena el agua con sulfito de sodio y un catalizador de cloruro de cobalto. La dosis de cloruro de cobalto no debe de ser mayor de 0.05 mg/L , La reacción de sulfito de sodio y el oxígeno es la siguiente:

**Ecuación 2**



- Según la ecuación se requieren 7.9 mg/L de sulfito de sodio por cada mg/L de oxígeno existente. En la práctica se agregan 12 mg/L de sulfito de sodio por mg/L de OD para asegurar una desoxigenación completa. [6]
- Se instala el equipo de aireación y se airea el agua hasta que la concentración de OD sea constante. Para diferentes intervalos de tiempo se determina la concentración de OD.
- Se tabula las concentraciones de OD y se calculan los déficit de OD ( $C_s - C_t$ ,  $C_s$  viene a ser la concentración de saturación y  $C_t$  la concentración de oxígeno en el tiempo  $t$ ) para los diferentes periodos de aireación.
- El coeficiente de transferencia de oxígeno se determina mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 3**

$$\ln \left( \frac{C_s - C_0}{C_s - C_t} \right) = K_{La}xt$$

- Se realiza el gráfico de  $\ln \left( \frac{C_s - C_0}{C_s - C_t} \right)$  versus el tiempo de aireación, se realiza la regresión lineal por mínimos cuadrados y la pendiente de la recta viene a ser el coeficiente de transferencia de oxígeno  $K_{La}$ .

Para determinar el factor de corrección por las características del agua residual, el cual se ve influenciado debido a la concentración de materia

orgánica y detergentes, en relación con el agua potable, es necesario determinar el coeficiente de transferencia de oxígeno en el agua limpia y en la residual.

**Ecuación 4**

$$\beta = \frac{K_{La}(\text{agua residual})}{K_{La}(\text{agua limpia})}$$

En donde  $\alpha$  representa la relación de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual a la del agua potable, a la misma temperatura.

El factor de corrección de la concentración de saturación de OD en aguas residuales se calcula por la siguiente relación:

**Ecuación 5**

$$\beta = \frac{C_s(\text{agua residual})}{C_s(\text{agua limpia})} = \frac{C_w}{C_s}$$

En donde  $\beta$  es la relación de concentración de saturación de OD en el agua residual a la del agua potable o destilada (generalmente en 0.8 a 1.0).<sup>31</sup>

### 3.5.9.3 Concentración de Saturación de gases en el agua

La concentración de saturación de un gas disuelto en el agua se calcula por la ley de Henry:

**Ecuación 6**

$$P = H \times X$$

y

$$X = \frac{n_g}{(n_g + n_w)}$$

Donde:

$P$  = presión parcial del gas en atm.

$H$  = Constante de la ley de Henry para el gas a la temperatura de cálculo.

<sup>31</sup> [Jairo Romero Rojas "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"]

$X$  = fracción molar de equilibrio del gas disuelto.

$n_g$  = moles del gas

$n_w$  = moles de agua.

**Tabla 4 Constantes de la Ley de Henry para el oxígeno en el agua a diferentes Temperaturas <sup>32</sup>**

| TEMPERATURA | CONSTANTE<br>HX104 ATM/FRACCIÓN MOL |
|-------------|-------------------------------------|
| 0           | 2.55                                |
| 10          | 3.27                                |
| 20          | 4.01                                |
| 30          | 4.75                                |
| 40          | 5.35                                |
| 50          | 5.88                                |
| 60          | 6.29                                |

Siendo la concentración de saturación de oxígeno ( $C_s$ ):

**Ecuación 7**

$$C_s = n_g \times O_2$$

Donde:

$n_g$  = moles del Oxígeno

$O_2$  = Peso molecular del oxígeno en mg/L

### 3.5.9.4 Capacidad de Oxigenación (CO)

Se define la capacidad de Oxigenación como la velocidad de un aireador en la transferencia de oxígeno o también como el grado que las aguas son capaces de saturarse de oxígeno en un tiempo de aireación, se rige por la siguiente ecuación:

**Ecuación 8**

$$CO = K_{La} + C_s + V$$

<sup>32</sup> Fuente: Jairo Romero Rojas "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"

Donde:

$KLa$  = *Coefficiente de Transferencia de Oxígeno.*

$Cs$  = *Concentración de Saturación.*

$V$  = *Volumen del reactor.*

### **3.6 PRESENCIA DE ESPUMAS EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

Las espumas son dispersiones aire-líquido, constituidas por un conjunto de burbujas gaseosas separadas por películas delgadas de líquido.

Las causas físicas de la formación de una espuma son varias: una agitación energética de líquido con el aire, la caída de un líquido desde cierta altura, el borboteo de aire u otro gas en el seno de un líquido etc.

#### **3.6.1 Estructura de la burbuja**

La superficie de la burbuja consiste en una fina capa de agua atrapada entre dos capas de moléculas tensoactivas. Estos elementos tensoactivos tienen cabezas hidrófilas y colas hidrófobas. Las cabezas hidrófilas son atraídas por la capa fina de agua y mantienen intacta a la pompa.

Una pompa puede existir porque la capa superficial de un líquido (normalmente agua) tiene cierta tensión superficial, lo que hace que la capa se comporte parecido a una hoja elástica. Sin embargo, una pompa hecha solo con líquido puro no es estable y se necesita un tensoactivo disuelto, para estabilizarla.

El agente tensoactivo disminuye la tensión superficial, este no refuerza las pompas, sino que las estabiliza. Al estirarse la película de este agente tensoactivo, la concentración de este disminuye, lo que hace que aumente la tensión superficial. Así, este refuerza selectivamente las partes más débiles de la pompa y evita que se estiren más. Además también reduce la evaporación haciendo que las pompas duren más, aunque este efecto es relativamente pequeño.

Su forma esférica también está causada por la tensión superficial. La tensión hace que la pompa forme una esfera porque la esfera tiene, la menor área superficial para un volumen dado.

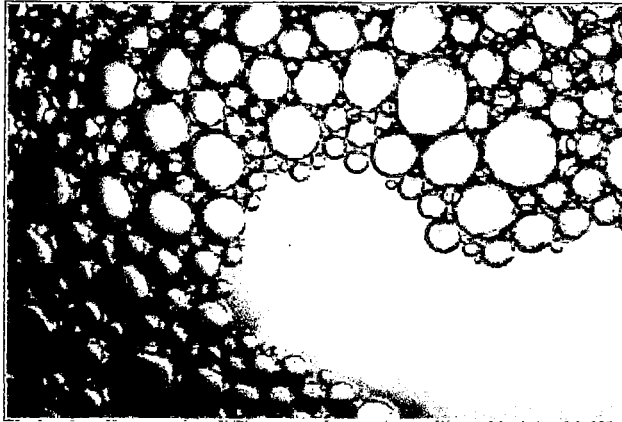


*Imagen 12: Forma física de las burbujas*

### **3.6.2 Unión**

Cuando dos pompas se unen, se aplican los mismos principios físicos, y las pompas adoptarán una sola forma con la menor área posible. Su pared común se desplazará e integrará con la pompa de mayor tamaño, ya que las pompas más pequeñas tienen una presión interna mayor. Si las pompas son de igual tamaño, la pared será plana.

Si se encuentran dos o más pompas, se colocan de manera que sólo se tocan tres paredes en una misma línea, separadas por ángulos de  $120^\circ$ . Esta es, de nuevo, la elección más eficiente, y es la razón por la que las celdas de un panal usan ángulos de  $120^\circ$ , formando hexágonos. Sólo cuatro paredes de pompas se pueden encontrar en un mismo punto, en el que las líneas donde se encuentran los triplete de paredes están separadas por  $109.47^\circ$ .



*Imagen 13: Conglomerado en formación de espumas*

### **3.6.3 Emulsionantes Surfactantes**

Los emulsionantes forman un vasto grupo de sustancias cuya función es la de estabilizar las mezclas de dos líquidos inmiscibles. En el contexto de alimentación, los líquidos inmiscibles son normalmente el aceite (grasa) y el agua, y se comprenderá que el efecto de cualquier tipo de emulsionante variará según la proporción de aceite y agua así como que estén implicados otros ingredientes tales como almidón, proteína y aire. Algunos de los compuestos que funcionan como emulsionantes en alimentación, tienen también propiedades de adhesión sobre el almidón y las proteínas. Por eso, el término emulsionante no es el más adecuado, y quizás describan mejor las propiedades de estos compuestos los términos surfactantes o "agentes tensoactivos". Todos estos surfactantes actúan a niveles muy bajos (menos de 2 % en peso del producto) y por esto se clasifican como ingredientes menores o aditivos de alimentación.

Según sea el tipo de fase intermedia del agente tensoactivo se le denomina:

Tabla 5: Agente Tensoactivo

| Fase dispersa | Fase continua | Ejemplo    |
|---------------|---------------|------------|
| gas           | líquido       | espuma     |
| líquido       | líquido       | emulsión   |
| sólido        | líquido       | suspensión |

De acuerdo a lo descrito en el proceso de beneficio del ganado los agentes tensoactivos presentes solo serán los naturales, como los monoglicéridos de glicerol especialmente preparado, o compuestos relacionados, y otros compuestos, cada uno con sus características particulares tensoactivas y acomplejantes en la industria de alimentación.

A continuación se describirá los relacionados con el proceso:

### 3.6.3.1 Fosfolípido

Los fosfolípidos son moléculas anfipáticas, es decir, tienen una región apolar hidrófoba que repele el agua y una región polar hidrófila que tienen afinidad por la misma. La región apolar de los fosfolípidos corresponde a las largas cadenas alquílicas de los ácidos grasos, que se denominan por ello "colas apolares"; la región polar corresponde al grupo fosfato, cargado negativamente, y a la molécula unida a él, que puede estar cargada positivamente o poseer grupos hidroxilo (-OH) polares; en conjunto forman la "cabeza" polar de la molécula.



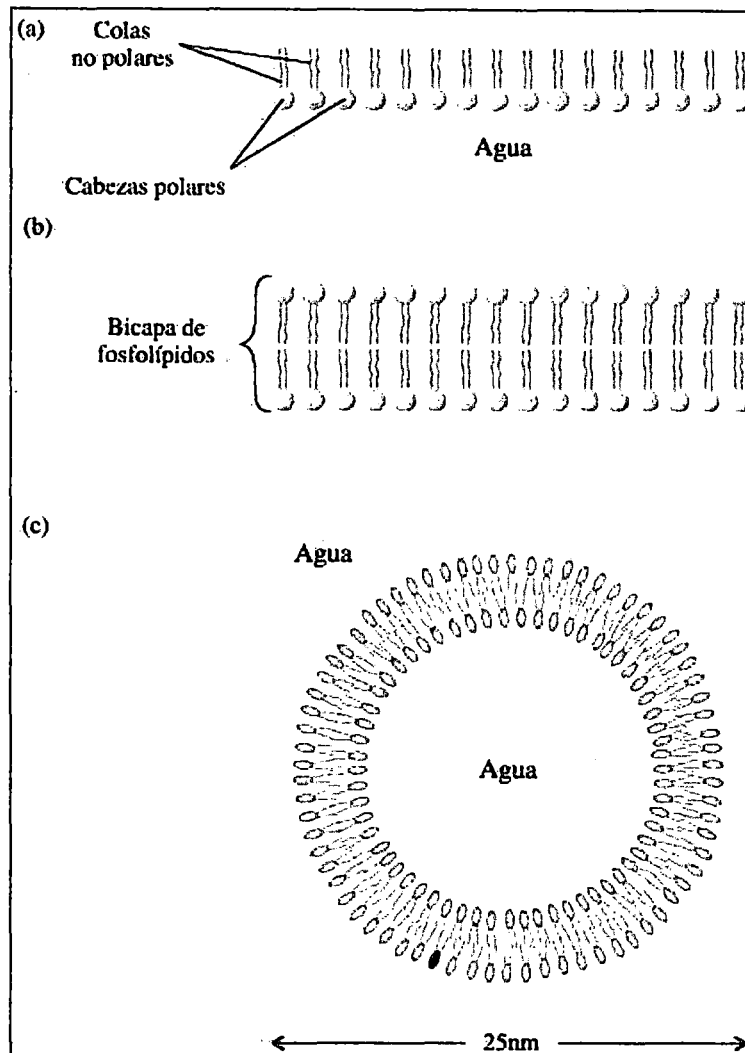


Ilustración 9: ESTRUCTURA DE LOS FOSFOLÍPIDOS

### 3.6.3.2 Funciones de los fosfolípidos

- **Componente estructural de la membrana celular:** El carácter anfipático de los fosfolípidos les permite su autoasociación a través de interacciones hidrofóbicas entre las porciones de ácido graso de cadena larga de moléculas adyacentes de tal forma que las cabezas polares se proyectan fuera, hacia el agua donde pueden interactuar con las moléculas proteicas y la cola apolar se proyecta hacia el interior de la bicapa lipídica.

- **Activación de enzimas:** Los fosfolípidos participan como segundos mensajeros en la transmisión de señales al interior de la célula como el diacilglicerol o la fosfatidilcolina que activa a la betahidroxiacetil-CoA deshidrogenasa que es una enzima mitocondrial.
- **Componentes del surfactante pulmonar:** El funcionamiento normal del pulmón requiere del aporte constante de un fosfolípido poco común denominado dipalmitoilfosfatidilcolina. Este fosfolípido tensoactivo es producido por las células epiteliales del tipo II e impide la atelectasia al final de la fase de espiración de la respiración.
- **Componente detergente de la bilis:** Los fosfolípidos, y sobre todo la fosfatidilcolina de la bilis, solubilizan el colesterol. Una disminución en la producción de fosfolípido y de su secreción a la bilis provoca la formación de cálculos biliares de colesterol y pigmentos biliares.
- **Síntesis de sustancias de señalización celular:** El fosfatidíol y la fosfatidilcolina actúan como donadores de ácido araquidónico para la síntesis de prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos y compuestos relacionados.

### 3.6.3.3 Monoglicéridos

Los **monoglicéridos**, más comúnmente conocidos como monoacilgliceroles, están compuestos por un glicérido unido covalentemente a una cadena de ácidos grasos a través de un enlace éster.

El cuerpo los metaboliza como cualquier otra grasa. Los componentes individuales también son producidos normalmente en el cuerpo durante la digestión normal de la grasa. Los monoacilgliceroles se pueden dividir en: 1-monoacilgliceroles y 2-monoacilgliceroles, dependiendo de la posición del enlace éster en la molécula de glicerol. Monoglicéridos y diglicéridos son comúnmente añadidos a los productos comerciales de alimentos en pequeñas cantidades.

Actúan como emulsionantes, ayudando a mezclar los ingredientes insolubles que de otro modo no se mezclarían.

La fuente natural de extracción puede ser animal (derivados vacunos o porcinos) o vegetal y también pueden ser sintetizados sintéticamente. A menudo se encuentran en productos de panadería, bebidas, helado, chicles, margarina, etc.

#### **3.6.3.4 Ácido Graso**

Un ácido graso es una biomolécula orgánica de naturaleza lipídica formada por una larga cadena hidrocarbonada lineal. Los ácidos grasos forman parte de los fosfolípidos y glucolípidos, moléculas que constituyen la bicapa lipídica de todas las membranas celulares. En los mamíferos, incluido el ser humano, la mayoría de los ácidos grasos se encuentran en forma de triglicéridos, moléculas donde los extremos carboxílico (-COOH) de tres ácidos grasos se esterifican con cada uno de los grupos hidroxilos (-OH) del glicerol (glicerina, propanotriol); los triglicéridos se almacenan en el tejido adiposo (grasa).

#### **3.6.3.5 Propiedades**

Los ácidos grasos son moléculas anfipáticas, es decir, tienen una región apolar hidrófoba (la cadena hidrocarbonada) que repele el agua y una región polar hidrófila (el extremo carboxílico) que interactúan con el agua. Los ácidos grasos de cadena corta son más solubles que los ácidos grasos de cadena larga porque la región hidrófoba es más corta.

### 3.7 ORGANISMOS ANIMALES RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - PSYCHODIDAE

A mediados de quincena de enero se encontró a la entrada del Filtro Anaerobio una proliferación de larvas de moscas identificadas como PSYCHODA SPP; estos mosquitos son dípteros primitivos del sub-orden nematócera. Estas son más conocidas como mosca palomilla, Mosca de los Baños, mosca de los drenajes, mosca de las letrinas, mosca de las alcantarillas, mosca de los filtros.

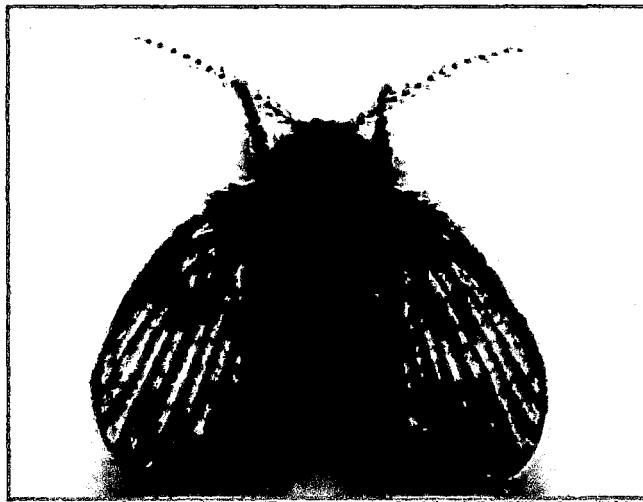


Imagen 14: PSYCHODA SPP



Imagen 15: LARVA DE PSYCHODA SPP

Los adultos llegan a medir de 2 a 4 mm de longitud y tienen una envergadura de alas de 10 a 12 mm. Son de color marrón grisáceo y sus alas están cubiertas de escamas, al igual que todo su cuerpo, dándole a esta mosca la apariencia de una polilla pequeña.

No tienen venas cruzadas en las alas, solamente unas 8 venas, 2 de ellas bifurcadas, que van casi en paralelo a la parte anterior de las alas. Las antenas también son de apariencia pilosa y tienen pelos largos que salen de las uniones entre los segmentos.

Las hembras encuentran un medio apropiado para poner sus huevos, típicamente en la materia orgánica húmeda que se encuentra en los desagües, etc. Las larvas salen de los huevos normalmente en 48 horas y se alimentan de materia orgánica en descomposición durante 14 - 15 días. Permanecen en el estado de pupa pocos días y luego emergen los adultos. Estos solo viven de 2 a 5 días.

Son comunes en instalaciones de tratamiento de efluentes, sobre todo en salas o cámaras de filtros. A menudo suelen verse en grandes cantidades asentadas en las partes secas de las paredes de las salas de filtros.

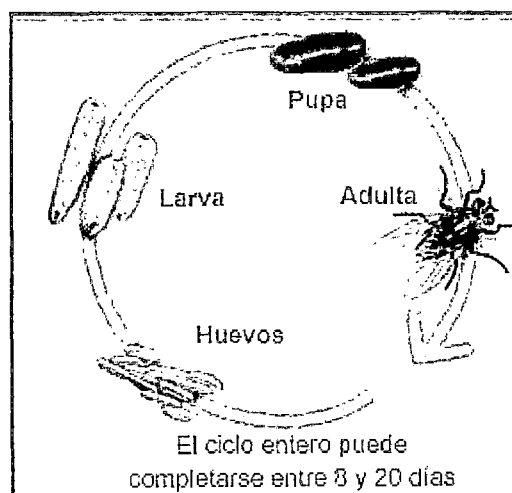


Ilustración 10: CICLO DE VIDA DE PSYCHODA SPP

También se desarrollan en drenajes, rejillas de baños, patios o lavaderos, tubos de descarga de bañaderas y lavaderos, zanjas, redes cloacales o donde se acumulan barros de aguas servidas.

A continuación mostramos un cuadro de un estudio que nos darán alguna referencia del hábitat de esta mosca:

**Tabla 6: Referencia del Hábitat de la mosca PSYCHODIDAE**

| Organismo (genero) | Posición taxonómica   | Tipo de adaptación  | Sitio y fecha de colecta                                     | Valor del parámetro relacionado a la carga orgánica. Oxígeno Disuelto (ppm) |
|--------------------|---|---|--|---|
| Psychoda           | Phylum<br>Arthropoda<br>Clase Insecta<br>Orden Diptera<br>Familia<br>Psychodidae<br>(Larva de<br>mosca)<br>(Gusano) | Abertura terminal posterior para incorporar aire atmosférico. | Río Agua Caliente (Beneficio Ahuachapan) 13-12-77            | 2.0   |
|                    |   |   | Río Las Calles (puente Viejo Destileria Salvadoreña) 28-3-79 | 4.2   |

### 3.8 MARCO LEGAL

La presente investigación se encuentra enmarcada dentro de la siguiente legislación:

- **Constitución Política del Perú. 1993**

Expresada en el artículo Nro.2, inciso Nro.22 de la Constitución Política del Perú, donde se establece: "Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida".

- **Ministerio del Ambiente, 30.07.08, mediante D.S. N° 002-2008**

El Ministerio del Ambiente es el organismo del Poder Ejecutivo rector del sector ambiental, que desarrolla, dirige, supervisa y ejecuta la política nacional del ambiente. Así mismo, cumple la función de establecer los niveles de concentración o grado de nivel contaminante que causen impacto en el agua o cuerpo receptor, que no represente riesgo significativo para las personas ni para el ambiente, por medio de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

- **Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338 del 31.03.09 Artículo I.- Título V, Artículo 79°.**

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

Corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado.

• **Valores Máximos Admisibles de las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas al Sistema de Alcantarillado Sanitario DS N°021-2009-Vivienda**

La presente norma regula mediante los valores máximos admisibles (VMA) a las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con el propósito de evitar el deterioro de instalaciones, infraestructura sanitaria, máquinas, equipos así como asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

**Tabla 7: Límites máximos Permitidos en las descargas<sup>33</sup>**

| PARÁMETRO                           | UNIDAD | EXPRESIÓN        | VMA para las descargas       |
|-------------------------------------|--------|------------------|------------------------------|
|                                     |        |                  | Al sistema de alcantarillado |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) | mg/L   | DBO <sub>5</sub> | 500                          |
| DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)    | mg/L   | DQO              | 1000                         |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES         | mg/L   | SST              | 500                          |
| ACEITES Y GRASAS                    | mg/L   | AyG              | 100                          |

**Tabla 8 Resumen de las Normas Peruanas para Aguas Receptoras<sup>34</sup>**

| PARAMETROS                            | CLASE I | CLASE II | CLASE III | CLASE IV | CLASE V | CLASE VI   |
|---------------------------------------|---------|----------|-----------|----------|---------|------------|
| Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml | 0       | 4000     | 1000      | 1000     | 200     | 4000       |
| Coliformes Totales NMP/100 ml         | 8.8     | 20000    | 5000      | 5000     | 1000    | 20000      |
| Oxígeno Disuelto mg/l                 | 3       | 3        | 3         | 3        | 5       | 4          |
| DBO mg/l                              | 5       | 5        | 15        | 10       | 10      | 10         |
| Metales mg/l                          |         |          |           |          |         |            |
| Cromo 6.                              | 0.05    | 0.05     | 1         | n/d      | 0.05    | 0.05       |
| Mercurio                              | 0.002   | 0.002    | 0.01      | n/d      | 0.0001  | 0.0002     |
| Cobre                                 | 1       | 1        | 0.5       | n/d      | 0.01    | 96LC50x0.1 |
| Plomo                                 | 0.05    | 0.05     | 0.1       | n/d      | 0.01    | 0.03       |

<sup>33</sup> Fuente: Diario El Peruano Normas Legales 20 noviembre 2009

Ley Nro. 17752 L.G.A. 1969- DS Nro. 261 - 69 - AP y Nro. 007 - 83 - SA



|         |        |       |      |     |        |             |
|---------|--------|-------|------|-----|--------|-------------|
| Cadmio  | 0.01   | 0.01  | 0.05 | n/d | 0.0002 | 0.004       |
| Niquel  | 0.002  | 0.002 | 1+   | n/d | 0.002  | 96LC50x0.02 |
| Cianuro | 0.08   | 0.08  | 0.1  | n/d | 0.022  | 0.022       |
| Fenoles | 0.0005 | 0.001 | 1+   | n/d | 0.001  | 0.1         |

### 3.9 PRINCIPALES DEFINICIONES

**Aceites:** Numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y presentan menor densidad que la misma. Pueden ser de origen vegetal, animal o componentes del petróleo.

**Adsorción:** Este fenómeno fisicoquímico consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.

**Aguas residuales:** Son las aguas eliminadas por la población ya sea como producto de un uso doméstico, comercial e industrial etc. Las cuales contienen material orgánico, inorgánico disuelto y en suspensión.

**Agua residual doméstica:** Aguas de composición variable, proveniente de las descargas de usos domésticos, comercial o institucional.

**Aire:** Se denomina aire a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, uno de los componentes importantes del aire es la presencia del gas oxígeno el cual se presenta en un 21% aproximadamente.

**Aireación:** Es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella, en nuestro caso el oxígeno disuelto.

**Aireación difusa:** Inyección de gas, aire u oxígeno, comprimido, por la parte inferior de la superficie en los que el aire se rompe a través de burbujas.

**Alcantarillado:** Sistema de estructuras y tuberías usados para el transporte de aguas servidas desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten ya sea un cuerpo receptor o una planta de tratamiento.

**Bacterias:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares que presentan un tamaño de algunos micrómetros de largo (entre 0.5 y 5  $\mu\text{m}$ ), con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica. Las bacterias son procariontes y, por lo tanto, a diferencia de las células eucariotas (de animales, plantas, etc.), no tienen núcleo.

**Bilis:** Es una sustancia líquida amarilla producida por el hígado de muchos vertebrados. Interviene en los procesos de digestión funcionando como emulsionante (parecido a los catalizadores) de los ácidos grasos (es decir, las convierten en gotitas muy pequeñas que pueden ser atacadas con más facilidad por los jugos digestivos). Contiene sales biliares, proteínas, colesterol y hormonas.

Su secreción es continua gracias al hígado; y en los periodos digestivos se almacena en la vesícula biliar.

**Biopelícula:** Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

**Bomba Peristáltica:** Artefacto para mover fluidos en nuestro caso el agua residual.

**Carbohidratos:** Son moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Son solubles en agua y se clasifican de acuerdo a la cantidad de carbonos o por el grupo funcional que tienen adherido. Son la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía.

**Carga orgánica:** Cantidad de materia orgánica, generalmente medida como DBO<sub>5</sub>, aplicada a un proceso de tratamiento dado; expresada como peso por unidad de tiempo, por unidad de superficie o por unidad de peso.

**Caudal:** Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

**Cieno:** Lodo blando que forma depósito en ríos, en lagunas o en sitios bajos y húmedos.

**Coagulación:** Proceso en la cual se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión, coloidales (<0.001mm) y dispersas (0.001 a 0.01mm). Hace que estas partículas, que tienen como características la repulsión entre ellas, unas de otras, sean atraídas formando un conglomerado, que precipita por gravedad como resultado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación.

**Coliformes termotolerantes o fecales:** Bacterias que producen gas a 44.5 °C; en 24 horas, como indicador de contaminación, los cuales son los mejores indicadores de la presencia posibles de patógenos.

**Coliformes totales:** Son un grupo de bacterias que incluyen los géneros Escherichia y Aerobacter. Por constituir un grupo muy numeroso,  $2 \times 10^{11}$  organismos por persona por día.

**Cono de Imhoff:** Son los conos así denominados en honor de Karl Imhoff (1876 – 1965), ingeniero alemán especializado en aguas, que concibió un tipo de tanque de doble función -recepción y procesamiento- para aguas residuales.

**Contaminantes:** Cualquier sustancia que provoca daño o desequilibrio, reversible o irreversible, en el medio que se vierta esta sustancia.

**Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO:** Es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica

de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en generales residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Demanda Química de Oxígeno DQO: Es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro.

Desnitrificación: Es un proceso que realizan ciertas bacterias durante la respiración usando el nitrato como aceptor de electrones en condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno).

Densidad: Es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.

Desoxigenación: Es un proceso en el cual se procede a remover el oxígeno del líquido.

Detergentes: Son las sustancias que tienen la propiedad físico-química de separar la suciedad o las impurezas de un objeto, disminuyendo la tensión superficial del agua.

Difusor: Es un material poroso, como una placa porosa, de forma tubular, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

Dióxido de carbono: También denominado gas carbónico y anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO<sub>2</sub>.

Efluente: Es el flujo saliente de cualquier sistema que despacha flujos de una unidad a otra, como por ejemplo a un tanque de oxidación, a un tanque para un

proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

Espumas: Es una capa de líquido globular enclaustrando vapor o gas. Las espumas son como las emulsiones en que capas de adsorción rodean la fase dispersa en ambos sistemas.

Ester: Son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico (simbolizado por R') reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado.

Floculación: Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Fosfatidilcolina: La fosfatidilcolina o polienilfosfatidilcolina (también llamada lecitina) es un fosfolípido que, junto con las sales biliares, ayuda a la solubilización de los ácidos biliares en la bilis.

Grasas: Es un término que designa varias clases de lípidos, aunque generalmente se refiere a los acilglicéridos, ésteres en los que uno, dos o tres ácidos grasos se unen a una molécula de glicerina, formando monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos respectivamente. Las grasas están presentes en muchos organismos, y tienen funciones tanto estructurales como metabólicas.

Herbario: Conocido vulgarmente como panza o rumen del ganado vacuno, es un órgano musculoso, rugoso y ovoide que se extiende desde el diafragma a la pelvis llenando casi por completo el lado izquierdo de la cavidad abdominal del animal.

Hidrófilo: Son sustancias que absorbe el agua con gran facilidad.

Hidrófobo: Son sustancias que repelen el agua.

Hongos: Son eucarióticos, aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. La mayoría son saprofitos, pues obtienen su alimento de materia orgánica muerta

Materia orgánica: Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos.

Metabolismo: Es el conjunto de reacciones y procesos físico-químicos que ocurren en una célula y en el organismo.

Metano: En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Puede constituir hasta el 97% del gas natural.

Microorganismos: En su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

Nitrificación: La nitrificación es la oxidación biológica de amonio con oxígeno en nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos.

Nitrógeno total: En una muestra orgánica, el contenido en nitrógeno medido como la diferencia entre el nitrógeno Kjeldahl y el nitrógeno amoniacal.

Nutrientes: Los nutrientes son cualquier sustancia necesaria para el metabolismo de un ser vivo, ya que promueve su crecimiento.

Lama: Cieno propio de los fondos de mares ríos y lugares con agua estancada

Larva: Las larvas son las fases juveniles de los animales con desarrollo indirecto (con metamorfosis) y que tienen una anatomía, fisiología y ecología diferente del adulto.

Oxígeno disuelto: Es uno de los elementos más importantes de la química orgánica y participa de forma muy importante en el ciclo energético de los seres vivos, esencial en la respiración celular de los organismos aeróbicos.

Oxidación: La oxidación es una reacción química donde un compuesto cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.

Oxigenación: Se refiere a la cantidad de oxígeno en un medio.

pH: Medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en determinada sustancia, expresadas en moles por litro.

Proceso aerobio: Proceso de tratamiento biológico que ocurre en presencia de oxígeno.

Proceso anaerobio: Procesos de tratamiento biológico que ocurre en ausencia de oxígeno.

Proceso anóxico: Proceso en el cual el nitrógeno del nitrato es convertido biológicamente a nitrógeno gas en la ausencia de oxígeno. Este proceso también se conoce como desnitrificación.

Proteínas: Son macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.

Protozoos: También llamados protozoarios, son organismos microscópicos, unicelulares eucarióticos; heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, a veces mixótrofos (parcialmente autótrofos); que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, ya sean aguas saladas o aguas dulces; la reproducción puede ser asexual por bipartición y también sexual por isogametos o por conjugación intercambiando material genético.

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFAML): Es un proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula en forma

ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la estabilización parcial de la materia orgánica. El desecho fluye del proceso por la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto.

Reactor biológico: Conocido como bio-reactor, es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un bio-reactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.

Rotíferos: Constituyen un filo de animales pseudocelomados microscópicos (entre 0.1 y 0.5 mm) con unas 1.800 especies que habitan en aguas dulces, tierra húmeda, musgos, líquenes, hongos, e incluso agua salada.

Sedimentación: La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, canal, o recipiente construido para este fin por acción de la gravedad.

Sólidos: La presencia de sólidos en el agua no se refiere sólo a elementos de gran tamaño visibles a simple vista y susceptible de flotar o depositarse, sino que incluye a los sólidos microscópicos que permanecen en suspensión en el agua y a los sólidos disueltos –de tamaño iónico- que están presentes en ella.

Temperatura: Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.

Tratamiento biológico: Es el proceso de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Tratamiento de aguas residuales: Es un proceso de tratamiento de aguas que a su vez incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano.



Tratamiento primario: Es la remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal o disuelta.

Tratamiento secundario: Es el nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

Tratamiento terciario: Es el tratamiento que proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente requerido antes de que éste sea vertido a un cuerpo receptor.

Turbidez: Se entiende por turbidez a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.

## 4. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

### 4.1 COMPONENTES DE LA INVESTIGACION

#### 4.1.1 Agua Residual de Camal

Se define a estas aguas residuales como aquellas que han sido usadas en el proceso o en el conjunto de operaciones mecánicas, físicas y químicas que sirvieron para transformar la naturaleza animal en productos comestibles aptas para consumo humano, estas aguas contienen gran material orgánico disuelto o material en suspensión. Algunos de estos materiales han sido generados al desalojar los desechos fisiológicos como pedazos de carne, sangre, grasa, estiércol, vísceras, y demás usos del agua relacionados con la subsistencia e higiene de estos animales, su lugar de procesamiento, almacenamiento etc.

Cabe mencionar un posible contenido de microorganismos patógenos, debido a las descargas conjuntas de los desagües del personal, riesgo que también aparecerá en el desagüe de la industria dependiendo lógicamente del estado de los animales sacrificados.

Según Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario "MATADEROS, RECUPERACIÓN, REUTILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS-Caso Camal Moderno" los constituyentes más importantes de los residuos líquidos le confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas altamente contaminantes.

Por lo general en esta industria se dan una diversidad de desechos como:

Líquidos: Los residuos líquidos de este tipo son variados, una de las características de estos es su contenido de sangre proveniente del beneficio o de alguno de los procesos de la faena. La sangre descargada en el desagüe contribuye con una fuerte carga orgánica líquida muy concentrada que se diluye y que le da su coloración roja característica, después de la matanza sigue el pelado obteniéndose como resultados cerdas pelos y algunas veces pequeñas cantidades de grasa, el animal antes de ser beneficiado es bañado con el fin de

retirar el polvo y las excretas provenientes de los corrales donde se encierran a los animales:

Los líquidos provenientes de la limpieza de las vísceras de allí resultan aguas contaminadas con residuos de excremento (estiércol).

Sólidos: Los residuos sólidos proceden del estiércol de los animales, fueron eliminados durante la estancia del animal en la planta, pelos en el proceso de pelado, barro proveniente del procesamiento del intestino.

Las aguas residuales provenientes del camal consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión como se muestra a continuación:

**Tabla 9: CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA SANGRE DEL GANADO <sup>35</sup>**

| CARACTERÍSTICAS | SANGRE FRESCA DE GANADO | DES. ESTÁNDAR | Nº DE DETERMINACIONES |
|-----------------|-------------------------|---------------|-----------------------|
| Ph              | 7.34                    | 0.14          | 37                    |
| DQO             | 218300                  | 35700         | 70                    |
| DBO             | 156500                  | 58000         | 35                    |

**Tabla 10: CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL HERBARIO DEL GANADO <sup>36</sup>**

| CARACTERÍSTICAS       | HERBARIO DE GANADO | DES. ESTÁNDAR | Nº DE DETERMINACIONES |
|-----------------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| Ph                    | 6.54               | 0.56          | 57                    |
| DQO (mg/L)            |                    |               |                       |
| DQO (porción líquida) | 51940              | 12860         | 88                    |
| DQO (porción sólida)  | 1138               | 82000         | 40                    |
| DQO total             | 177300             | 38500         |                       |
| DBO (mg/L)            |                    |               |                       |
| DBO                   | 2824               | 11410         | 88                    |

<sup>35</sup> Fuente: Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario "MATADEROS, RECUPERACIÓN, REUTILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS-Caso Camal Moderno"

<sup>36</sup> Idem al anterior

|                         |        |       |    |
|-------------------------|--------|-------|----|
| (porción líquida)       |        |       |    |
| DBO<br>(porción sólida) | 151900 | 40800 | 40 |
| DBO total               | 50200  | 13400 |    |

Tabla 11: Concentraciones del Agua Residual del Camal.<sup>37</sup>

| PARAMETRO           | UNIDAD    | RESULTADOS       | FECHA      |
|---------------------|-----------|------------------|------------|
| Ph                  | mg/L      | 7.2              | 04/02/2009 |
| DQO                 | mg/L      | 8810             | 04/02/2009 |
| DBO                 | mg/L      | 3266             | 04/02/2009 |
| SST                 | mg/L      | 2795             | 04/02/2009 |
| SDT                 | mg/L      | 4795             | 04/02/2009 |
| ST, ST=SDT-SST      | mg/L      | 2000             | 04/02/2009 |
| SSV                 | mg/L      | 145              | 04/02/2009 |
| Aceites y grasas    | mg/L      | 0.4              | 04/02/2009 |
| Nitrógeno Total     | mg/L      | 2.59             | 04/02/2009 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L      | 24.88            | 04/02/2009 |
| Nitrógeno Orgánico  | mg/L      | 2.41             | 04/02/2009 |
| Fosforo Total       | mg/L      | 51.25            | 04/02/2009 |
| Coliformes Fecales  | NMP/100mL | $7.0 \cdot 10^9$ | 04/02/2009 |
| Coliformes Totales  | NMP/100mL | $9.0 \cdot 10^9$ | 04/02/2009 |
| Alcalinidad Total   | mg/L      | 640.8            | 04/02/2009 |

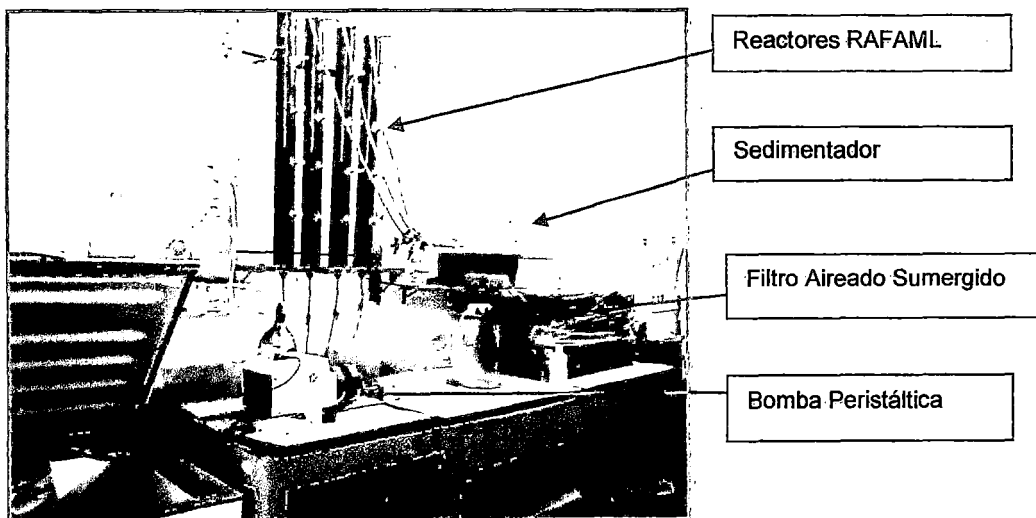
<sup>37</sup> Fuente: Tesis Para optar el título de ingeniero sanitario "TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO" Esta caracterización fue del mismo lugar donde se extrajo al agua residual.

#### 4.1.2 Escenario de la Investigación

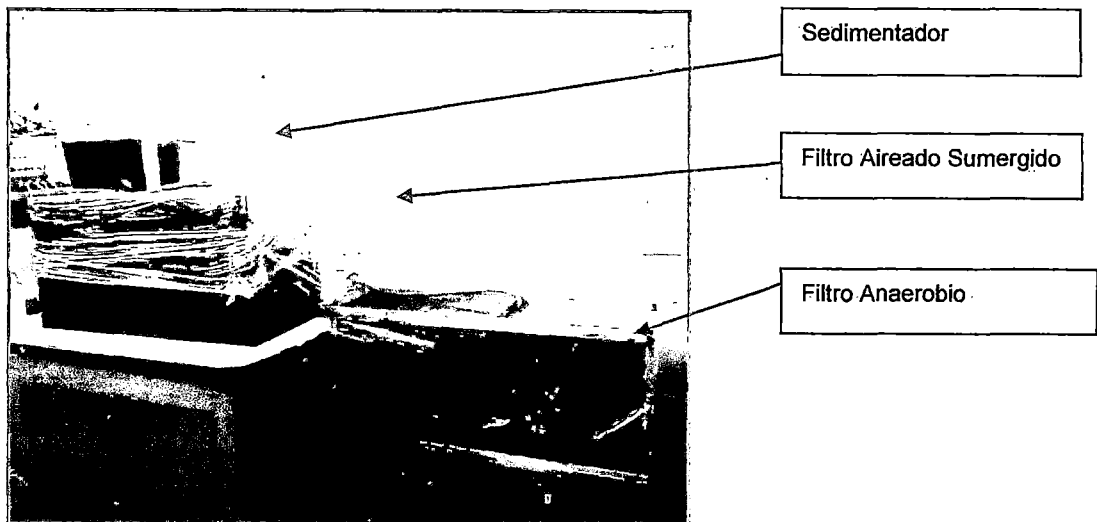
La ubicación del sistema en conjunto se estableció dentro del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Ambiental, en función a la ubicación inicial de los reactores del RAFAML, considerando que este sistema es la primera parte del proceso; se debía continuar entonces con la secuencia del tratamiento en la misma ubicación.

Puesto que, la toma de crudo se hacía según un cronograma establecido, dos veces por semana, la muestra era depositada en galoneras dentro del congelador para su conservación, el cual se ubicó a lado inicial izquierdo. En esta parte se conservaba las muestras de agua residual en espera de ser usadas. Cuando se debía usar la muestra en mención era necesaria su extracción haciendo uso de una bomba peristáltica que logre impulsar el efluente hasta el RAFAML.

Cabe resaltar que, como parte del tratamiento que se le dio a las aguas residuales provenientes del camal, es la integración al sistema en conjunto de un tratamiento secundario adicional consistente en un sedimentador. Esta unidad de apoyo se en el tratamiento se ubicó a la salida del RAFAML y antes del ingreso a los Filtros.



*Imagen 16: Ubicación del RAFAML, FAS y FA a Escala Laboratorio*



*Imagen 17: Ubicación del RAFAML, FAS y FA a Escala Laboratorio*

Para el funcionamiento del sistema de tratamiento planteado en conjunto, como base de este trabajo de investigación, se implementó un sistema de unidades de tratamiento en serie, el cual estaba conformado por un sedimentador inicial, seguido por el sistema de Filtros Biológicos ubicados uno seguido del otro. Cada cual con la función de mejorar la calidad de las aguas residuales que estaban tratando en su momento.

#### **4.1.3 Sedimentador**

Es la unidad de tratamiento adicional que se le agregó al sistema planteado, el cual cumplió dos funciones indispensables; una de disminuir la cantidad de sólidos sedimentables presentes en el agua residual tratada, y la otra de servir como un Tanque de Homogenización de las aguas residuales que provenían del efluente del RAFAML, ya que este proceso anaeróbico presentó problemas hidráulicos en el efluente, por la evacuación inesperada de los lodos en la marcha del sistema.

Motivo por el cual se debía garantizar el ingreso relativo de un caudal homogéneo en términos cualitativos, sin la entrada de lodo al filtro para no alterar las condiciones del medio biológico. Esta unidad se ubicó

estratégicamente en una cota intermedia entre la cota del RAFAML y la cota de ubicación del Filtro Aireado Sumergido.

#### **4.1.4 Filtro Aireado Sumergido**

Esta unidad estuvo conformada por dos aparentes compartimientos, los cuales estaban separados por una pantalla vertical. Toda esta unidad era suministrada de aire de forma artificial por medio de un sistema de inyección de aire, a través de difusores que estaban sumergidos dentro del sistema, con una ubicación que permita oxigenar homogéneamente toda la unidad. Se ubicaron puntos específicos tras varias pruebas de medición de OD dentro del módulo, determinándose la mejor ubicación en la parte central inferior de cada aparente módulo.

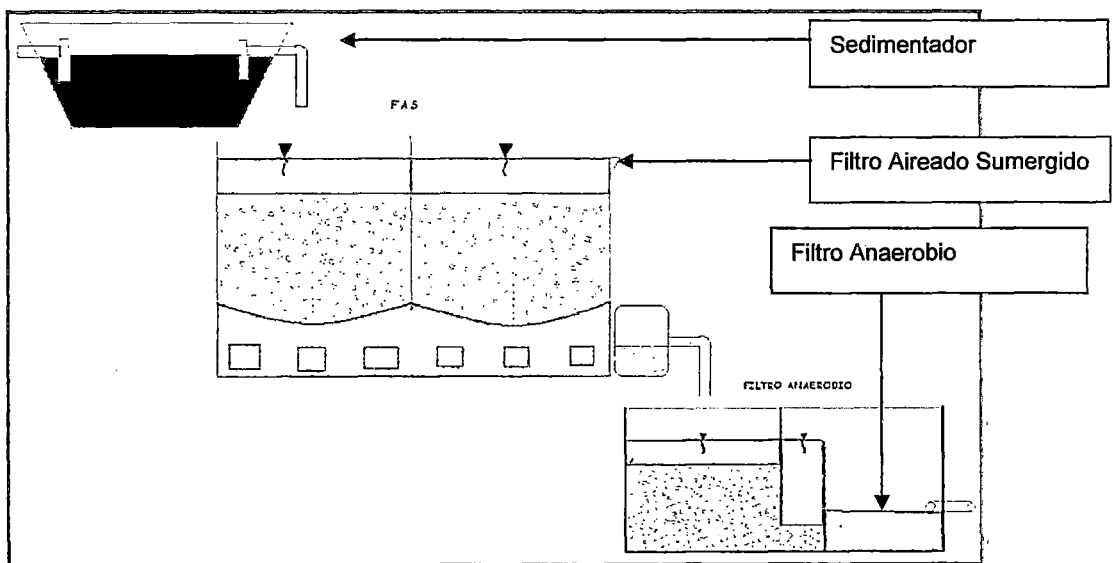
Con éste sistema de aireación se permitía la respiración endógena de los microorganismos así como la oxidación y consumo de nutrientes por parte de la materia orgánica, en consecuencia se favoreció el crecimiento de microorganismos adheridos a la superficie del medio, formando una película biológica (biofilms); que se alimenta de la materia orgánica contenida en las aguas residuales que ingresan al reactor.

Por esta unidad pasa un caudal constante de agua residual, que ingresa por la parte superior y sale también por la parte superior utilizando el principio de vasos comunicantes; el sistema es similar al utilizado en el proceso de lodos activados con un sistema de difusión de aire en el fondo del tanque.

En esta unidad se tuvo como medio de contacto, una Cama de Sólidos, que estuvo sumergida permanentemente en el agua residual para el paso constante del flujo de Agua residual. Cabe resaltar que la cama de Sólidos del Filtro es alimentado en forma constante y homogénea por el sedimentador, esto se aseguró por que este medio era sumergido permanentemente y por la configuración planteada reducimos los espacios muertos. A esta primera parte de los filtros se denominó "**Filtro Aireado Sumergido (FAS)**"

#### 4.1.5 Filtro Anaerobio

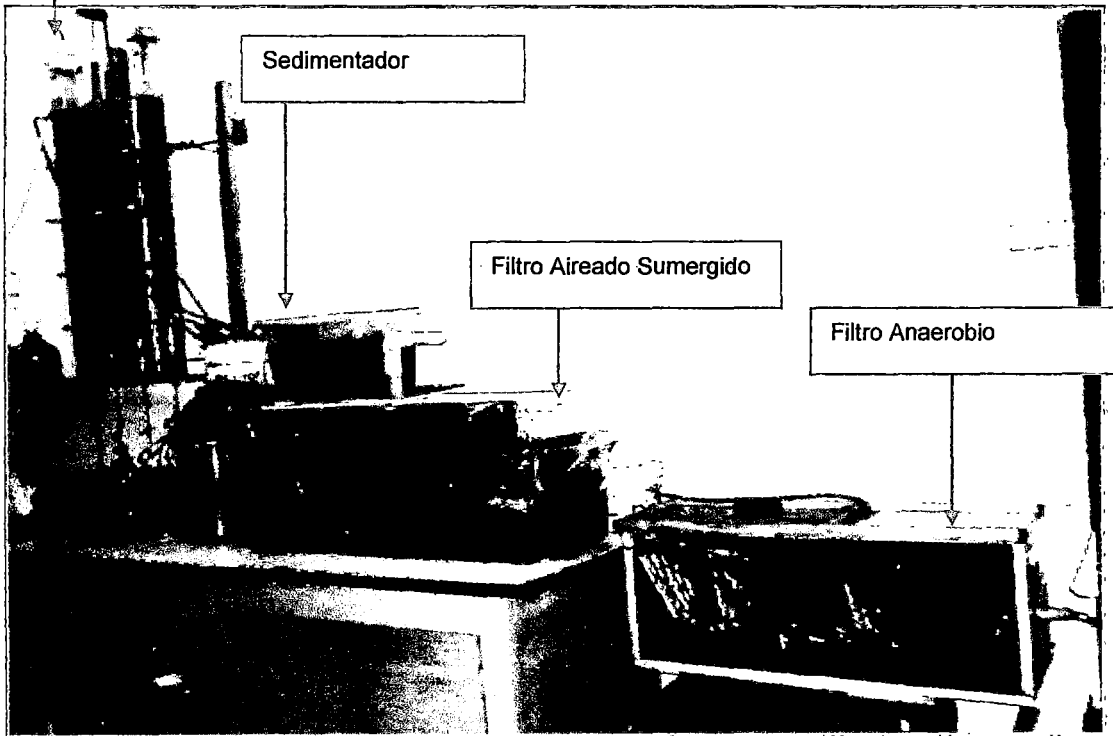
Este sistema fue ubicado en serie respecto al primer filtro. Esta unidad estaba conformada en su interior por un Medio de Contacto (grava seleccionada) que se mantuvo sumergida permanentemente en el agua residual, el cual por sus condiciones del tipo de agua residual tratante con alta cantidad de nutrientes para los microorganismos presentará también la formación de una biopelícula luego de un período de retención el agua residual pasa hacia el clarificador secundario para posteriormente tener un efluente de mejores condiciones. A ésta unidad se denominó “Filtro Anaerobio (FA)”.



*Ilustración 11 Esquema del Sistema de Tratamiento Planteado*



Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente de Manto de lodos



*Imagen 18 Sistema de Tratamiento Planteado*

## 4.2 PROCEDIMIENTO

### 4.2.1 Montaje del Sedimentador

Se acondicionó un recipiente de plástico con 12.9 L de volumen útil con 25 cm de ancho y 34.5 de largo, el cual nos aseguró un efluente de RAFAML homogéneo, ya que estos reactores presentaron problemas durante toda la investigación, como fuga de los lodos, atoros etc. Este envase fue elegido con tapa para atenuar los problemas de olores y moscas propios del manejo de este efluente.

A su vez que sirvió como una trampa de grasa que ayudó en el manejo del agua residual ya que la misma tenía aparente presencia de altos contenidos de grasa en su estructura. Los materiales usados para la implementación de este sedimentador fueron:

- Recipiente de Plástico de 12.9 L de capacidad útil incluido tapa hermética.
- Tubería de PVC de Ø 1.5".
- Tee de PVC de Ø 1.5".

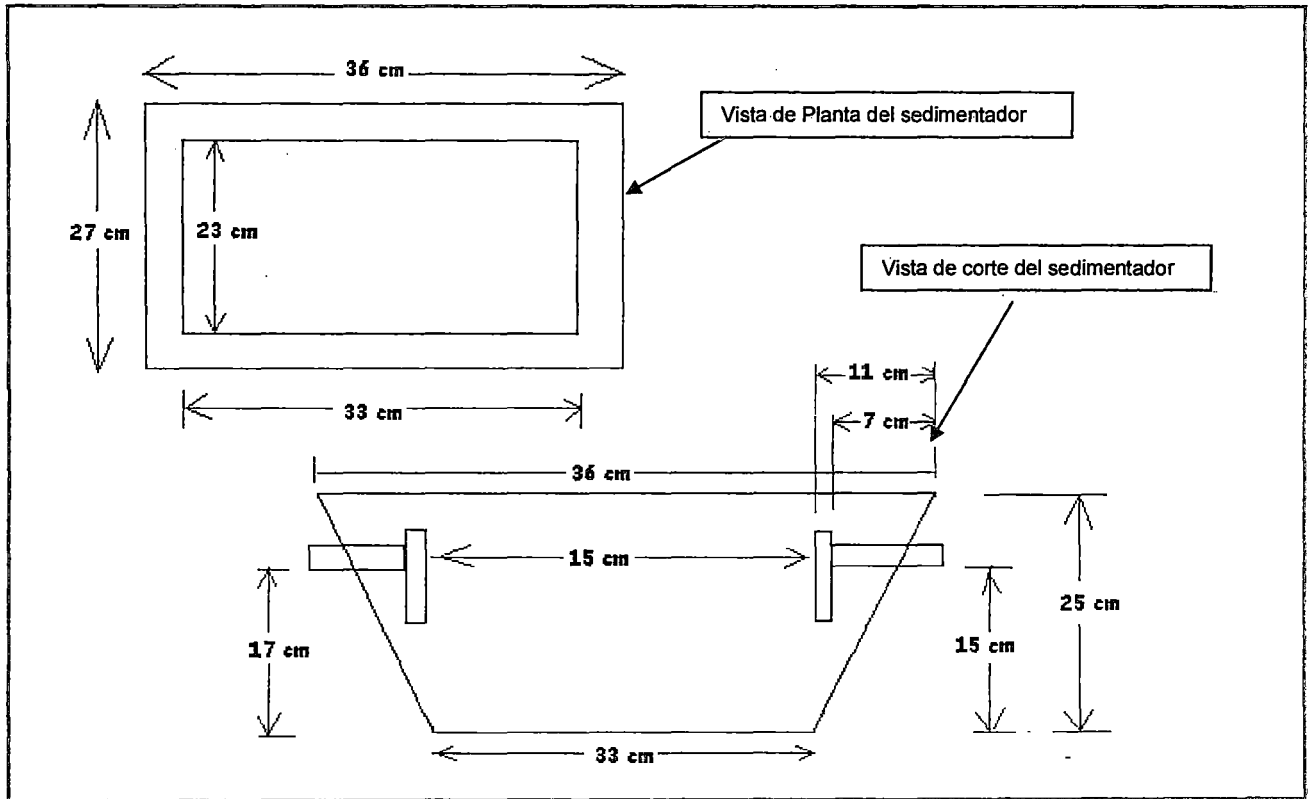


Ilustración 12. Ilustración de la geometría del Sedimentador.

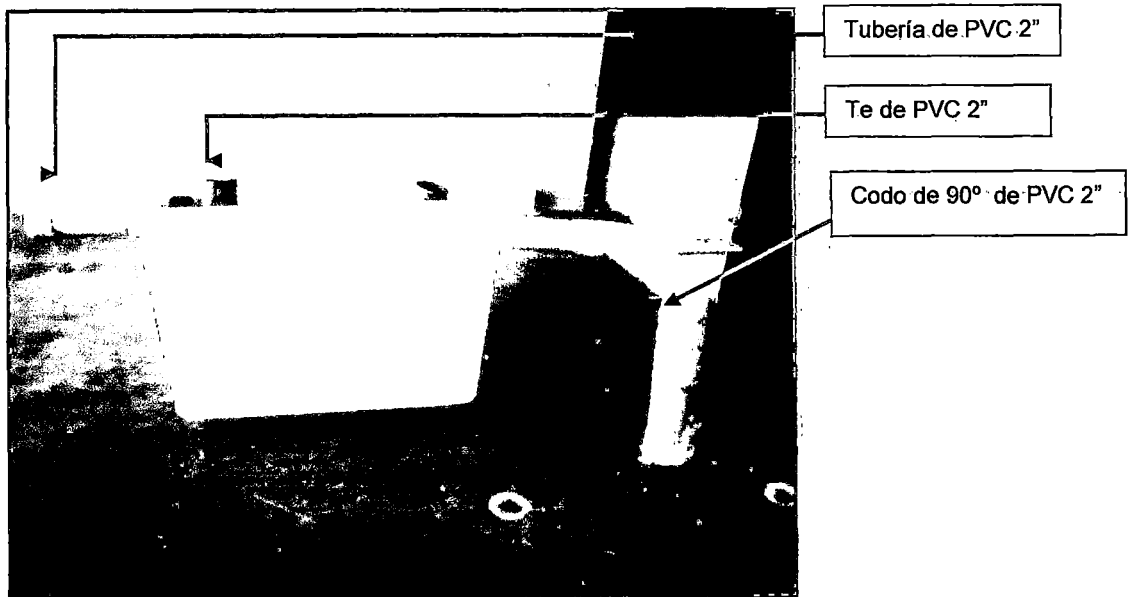
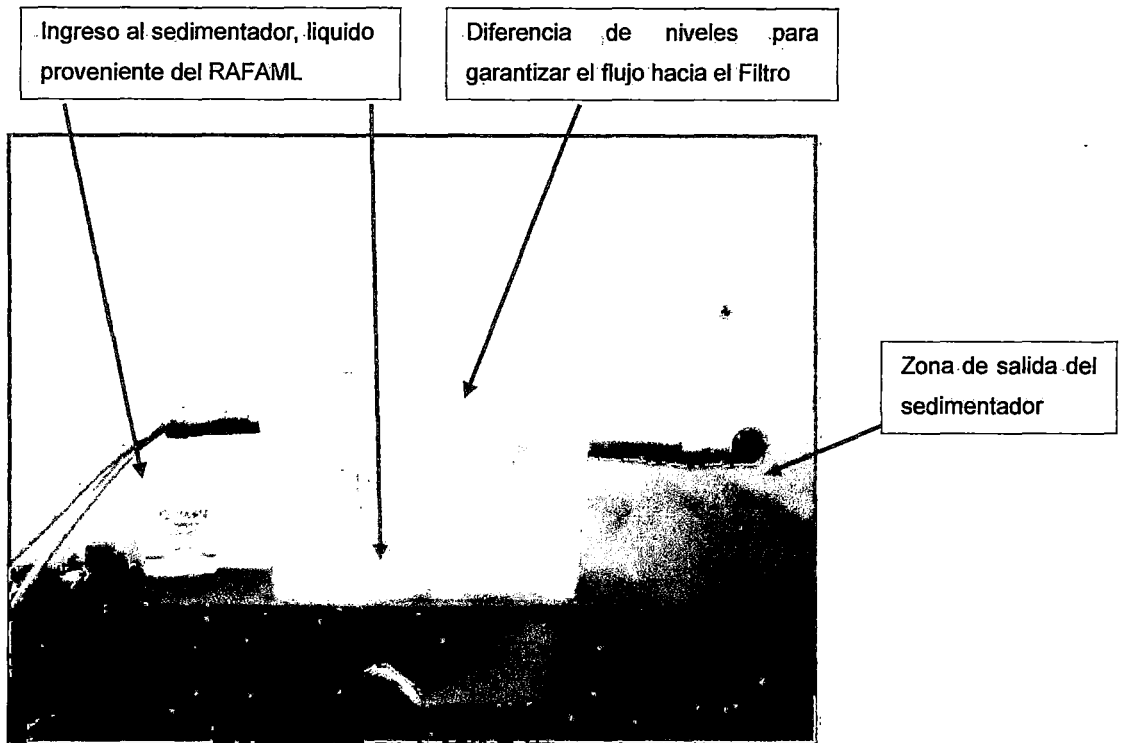
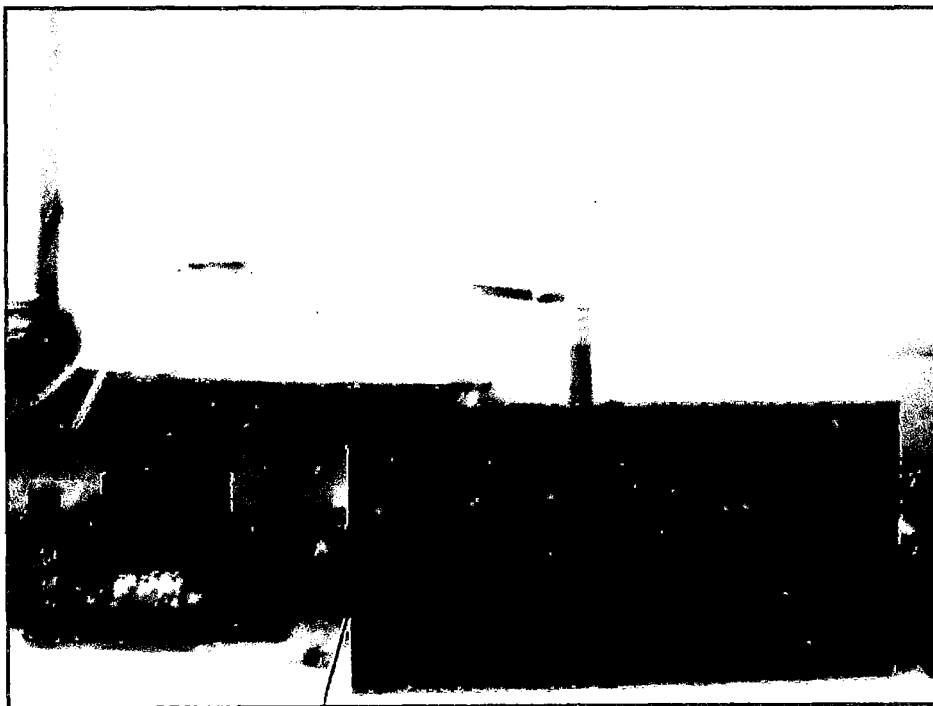


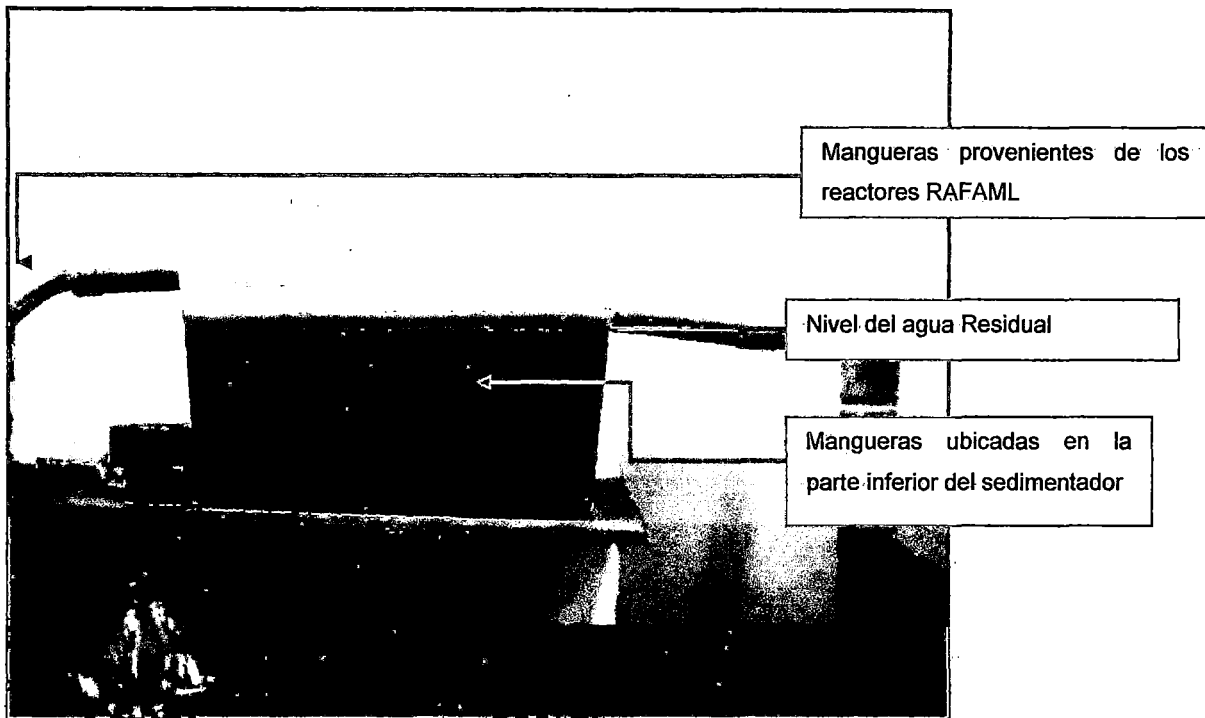
Imagen 19 Elaboración del Sedimentador



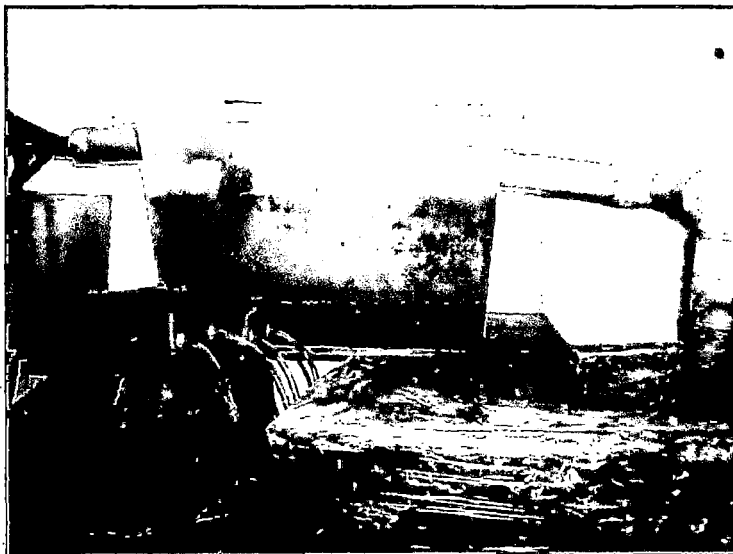
*Imagen 20 Instalación del sistema de mangueras en el Sedimentador*



*Imagen 21 Colocación del sedimentador en serie con el Filtro Aireado*



*Imagen 22 Sedimentador iniciando su funcionamiento*



*Imagen 23 La instalación de las mangueras de salida de los reactores RAFAML fue ahogado para evitar las fugas del gas propio de este tratamiento.*

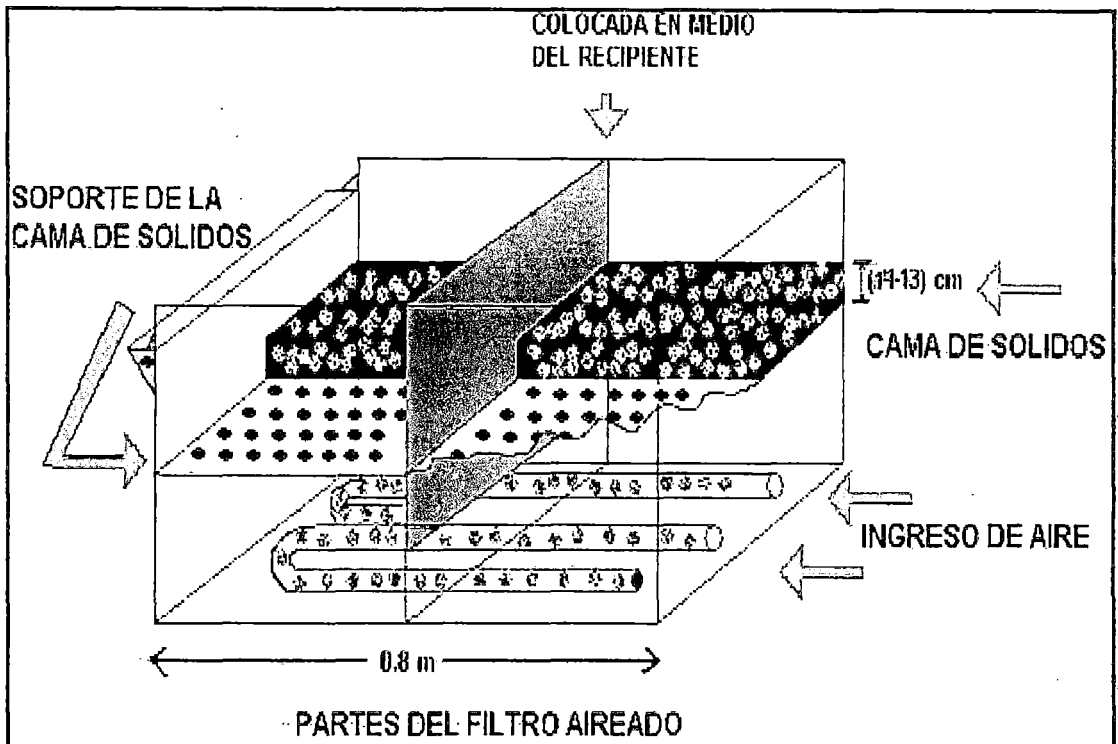
#### **4.2.2 Montaje del Filtro Aireado Sumergido**

Se construyó un reactor en vidrio, de 0.80 m de largo, 0.40 m de ancho y 0.30 m de alto, con una pantalla vertical intermedia ubicada a 10 centímetros de la base de la unidad, dejando un ingreso lineal al agua, y por ende se generaba el flujo vertical dentro de la unidad, en la primera parte hacia abajo, y en la segunda parte hacia arriba.

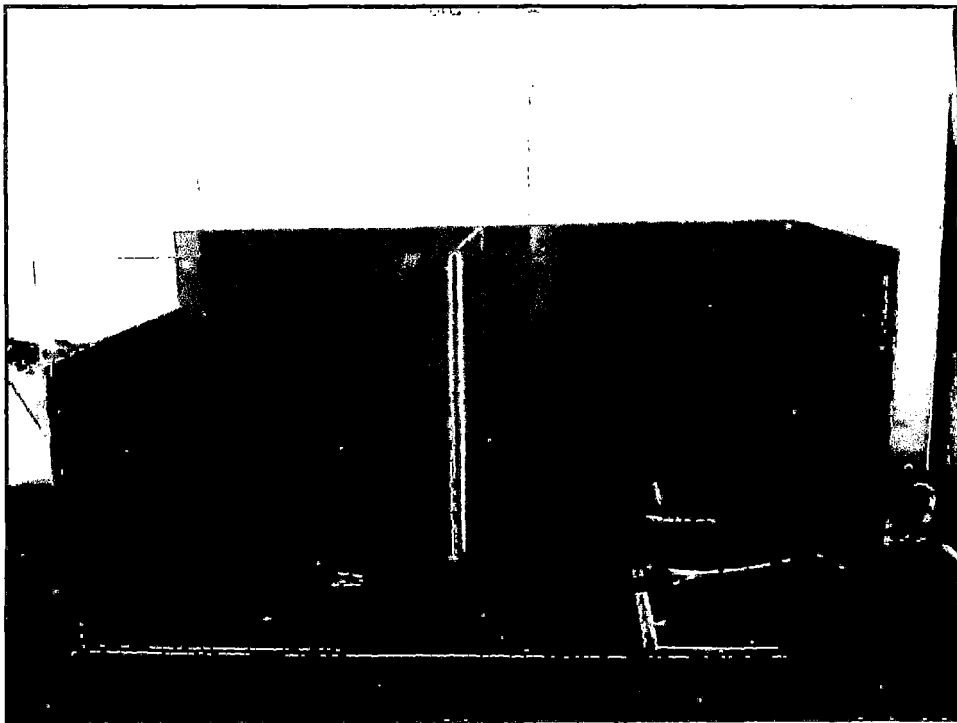
Se acondicionó un falso fondo, pegando unos perfiles horizontales a la altura del límite del extremo de la pantalla intermedia, colocándose unas planchas de PVC perforadas que servirían de soporte a toda la grava. A la salida de este reactor se implementó un canal de recolección lateral que permitía la recolección del agua tratada en un solo conducto hacia la siguiente unidad.

Los materiales usados para la implementación de este reactor fueron:

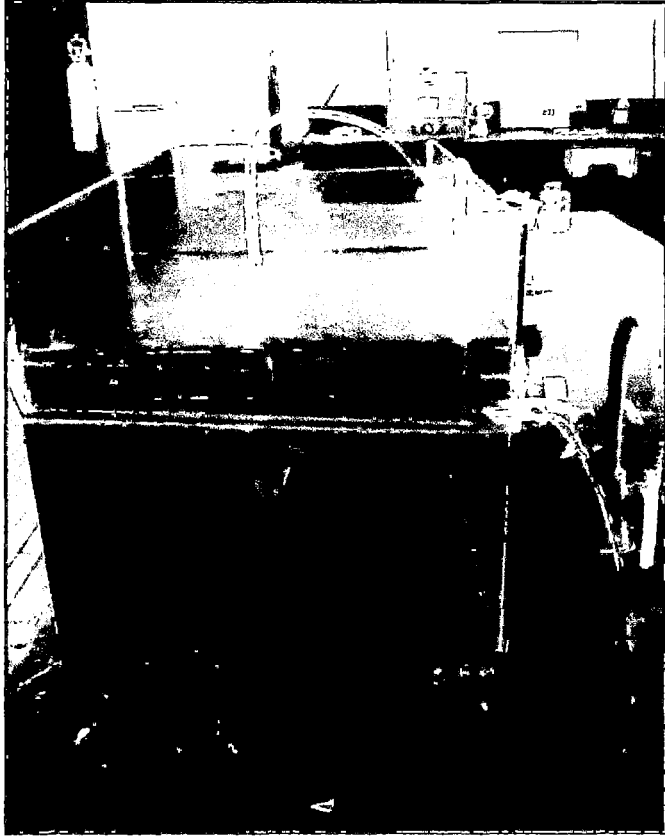
- Recipiente de Vidrio de 57.6 L de capacidad útil incluido pantalla intermedia.
- Perfiles de Aluminio de 40 cm.
- Dos Planchas de perforadas de PVC de 40cmx40cm.



*Ilustración 13 Diseño del Filtro Aireado Sumergido*

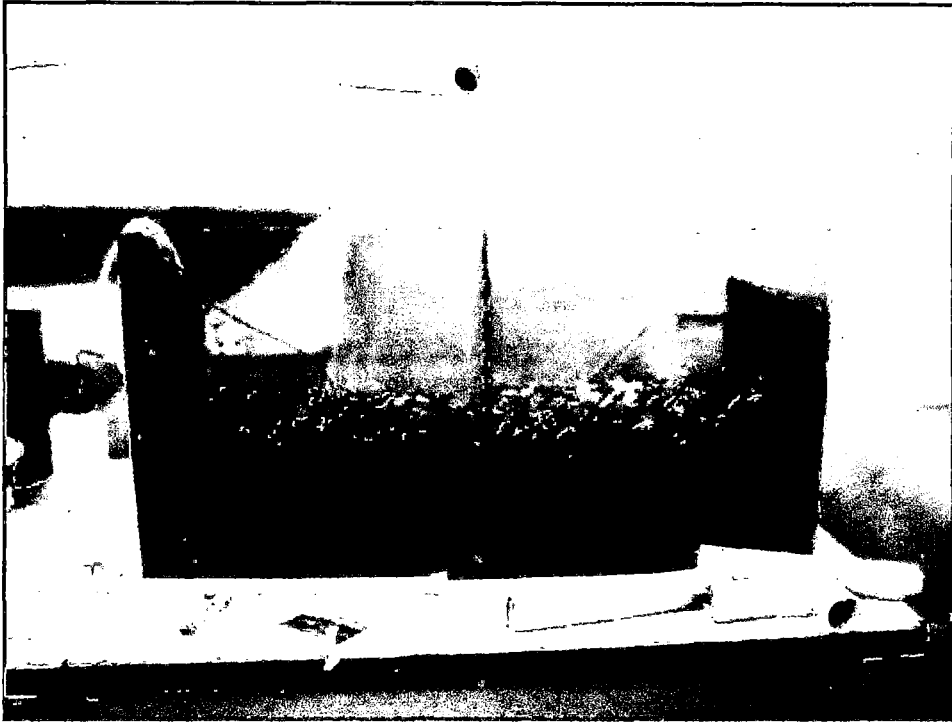


*Imagen 24 Estructura del Filtro Aireado en construcción*

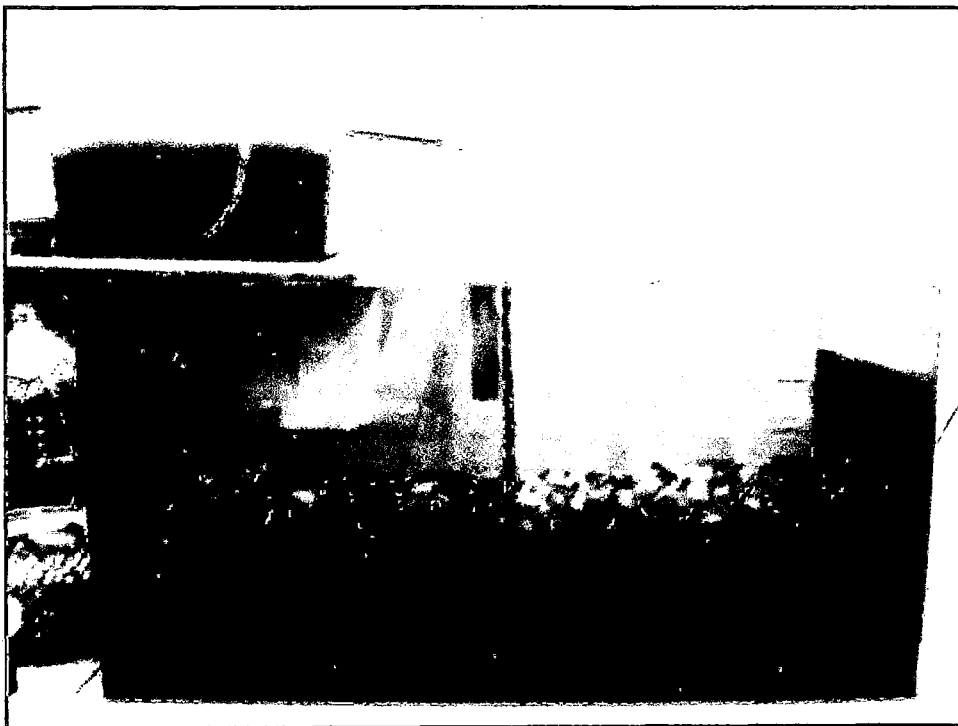


*Imagen 25 Prueba hidráulica del Modulo del Filtro Aireado*





*Imagen 26 Colocación de material de soporte en el filtro*



*Imagen 27 Colocando el sistema en serie*

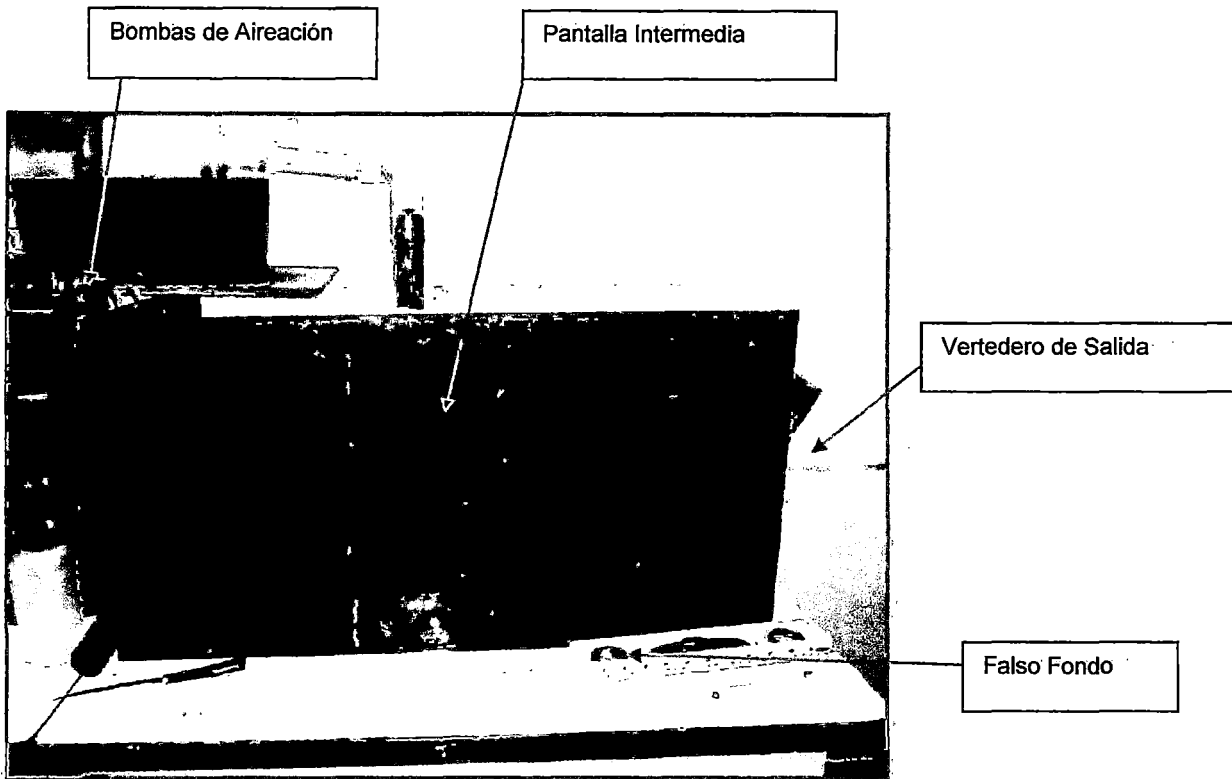


Imagen 28. Instalación y ubicación del modulo en conjunto.

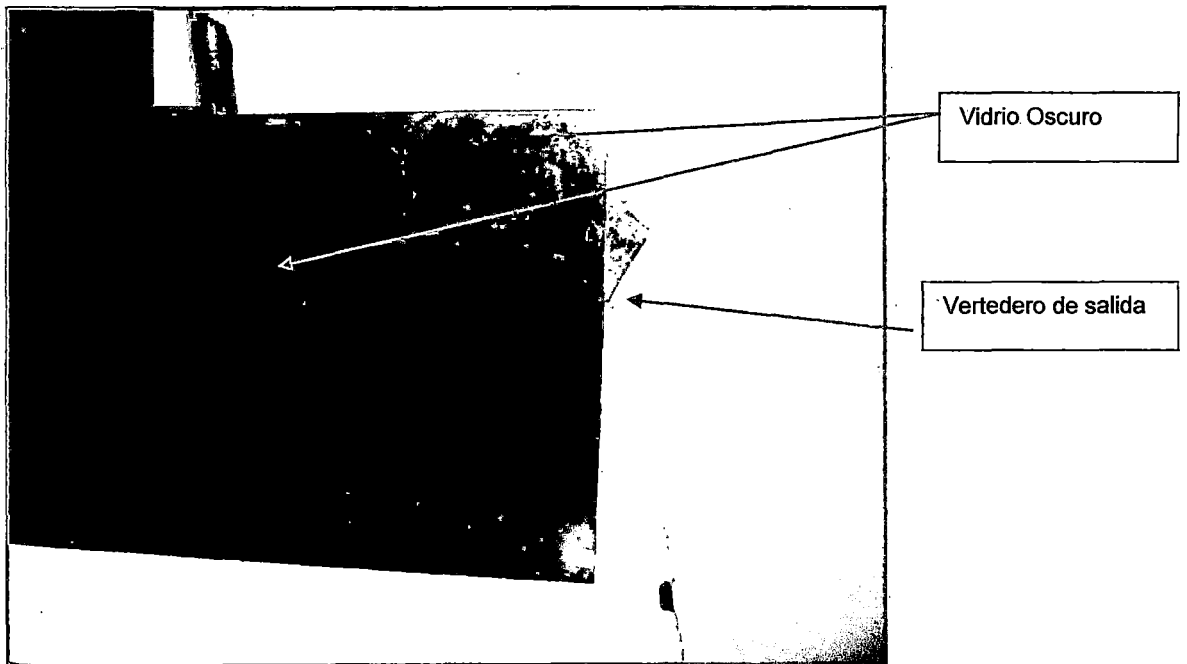
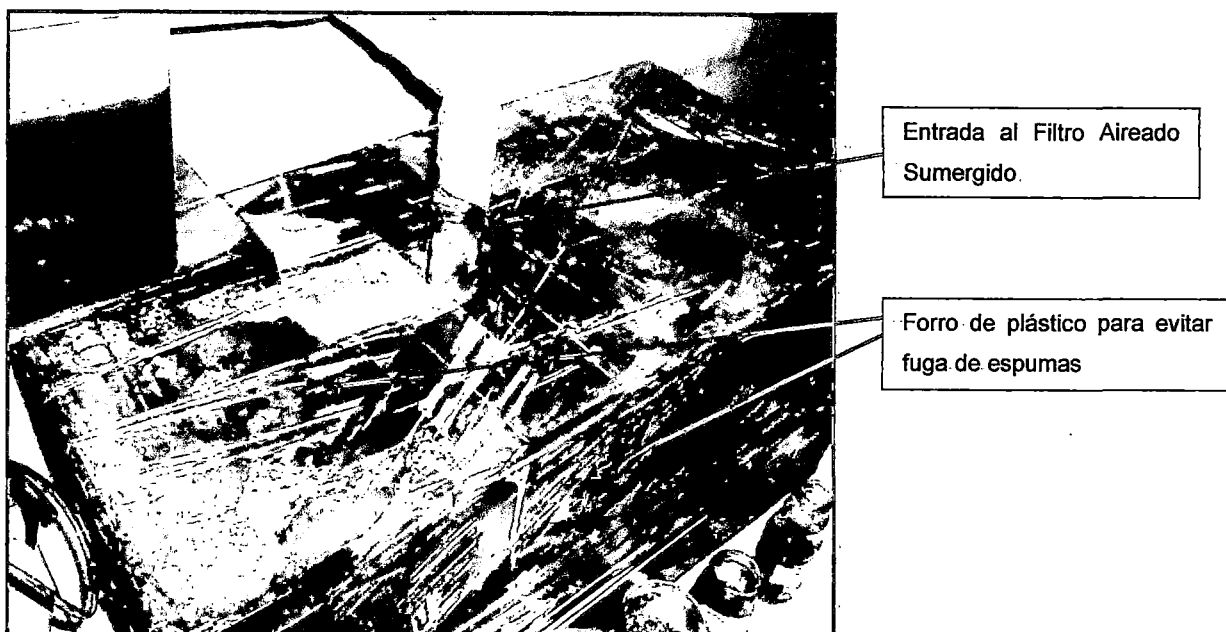


Imagen 29 Características de la estructura

Cabe resaltar que se utilizó en este módulo un vidrio oscuro para la construcción de la estructura, con el propósito de evitar la aparición de algas por el poco ingreso de luz al agua tratada, lo cual fue positivo ya que nunca se encontró el color verde característico de este organismo a lo largo del tratamiento.



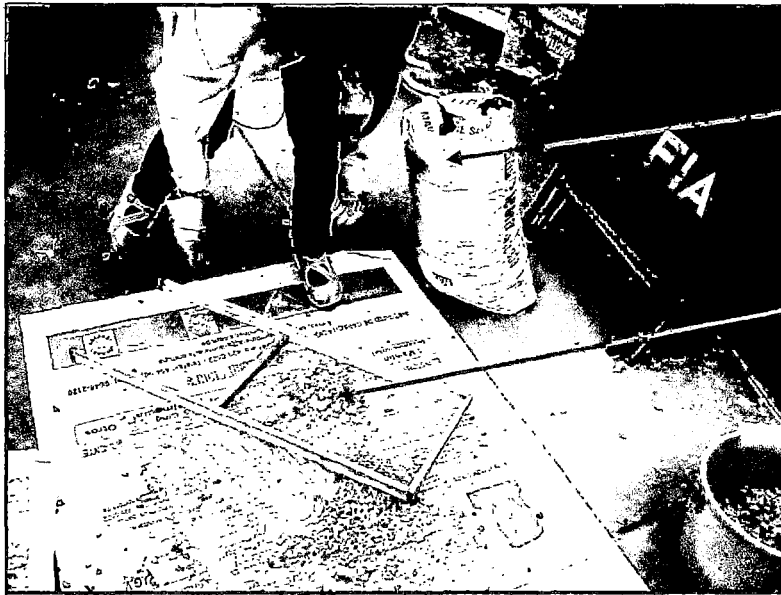
*Imagen 30 Forrado del modulo para evitar el problema de fuga de las espumas.*

#### **4.2.2.1 Medio de Contacto del Filtro Aireado Sumergido**

Para el óptimo funcionamiento de este sistema de tratamiento es necesario que el medio de contacto sea instalado estratégicamente para favorecer la presencia y permanencia de la biopelícula a su vez que, por la misma naturaleza de la estructura, pueda adherirse y desarrollarse en las mejores condiciones. De manera tal que al ser aireado se pueda distribuir el oxígeno en la mayor parte de la estructura superficial de cada una de las gravillas.

En esta experiencia se tomó como medio de contacto un material inerte, grava seleccionada de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{8}$ " pulgada respectivamente. En función a esta selección del material se colocaron las gravas en el Filtro Biológico Aireado, formando un lecho de contacto de 0.13 m de alto; que posteriormente se cambiaría por 0.17 m de alto.

Esta grava seleccionada fue separada manualmente para tener los medios de contacto de características más semejantes lo cual se logró zarandeando repetidas veces el material con una malla para poder separar los tamaños a usar en forma más adecuada.



Grava a granel

Malla utilizada para la clasificación del material.

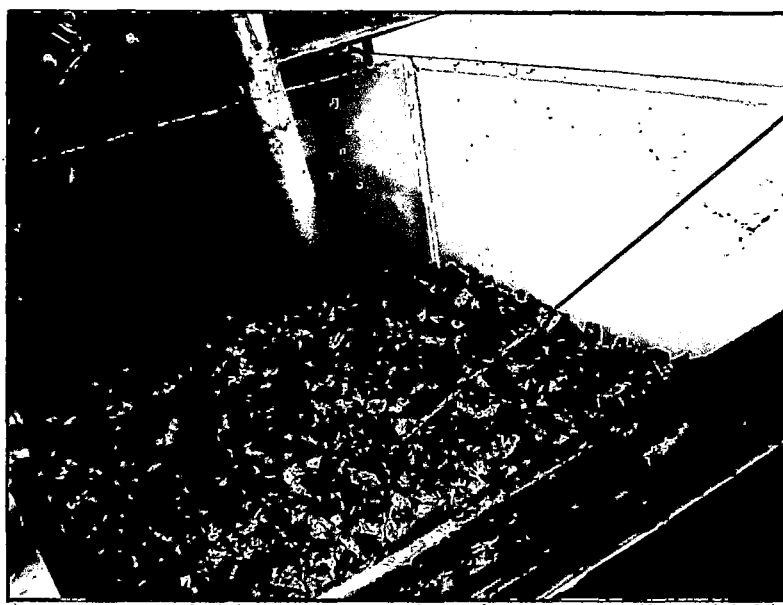
Imagen 31 Selección de material



Zarandeado de la grava, para la selección

Imagen 32: Zarandeo

Con ayuda de una malla se procedió a seleccionar la grava para una mejor clasificación del material.



Colocación del material en el módulo

Imagen 33 Instalación del material seleccionado.

Características del medio contacto.- El medio de contacto fue un material inerte seleccionado conocido con grava, de estructura irregular, áspera superficialmente. Estas características resultaron favorables para la investigación, la primera porque al ser irregular dejaría el paso libre del agua tratada, haciendo la función de un filtro, y la naturaleza áspera favorecería la permanencia de la película biológica en la superficie de la grava.

Considerando los factores de forma equivalente de las esferas, según la tabla:

Tabla 12: Factor de Forma <sup>38</sup>

| FORMA DEL GRANO | FACTOR |
|-----------------|--------|
| Esférico        | 1      |
| Casi Esférico   | 0.95   |
| Redondeado      | 0.9    |
| Alargado        | 0.85   |

<sup>38</sup> FUENTE: Filtración lenta. Cánepa de Vargas, Lidia

|           |      |
|-----------|------|
| Angular   | 0.75 |
| Triturado | 0.65 |

Se puede determinar entonces los siguientes cálculos efectuados:

Cálculo de Superficie Específica:

Diámetro de piedras (d) : d x Factor de Forma :

Diámetro de piedras de  $\frac{3}{8}$ " (d1):  $0.0095 \times 0.75 = 0.00713 \text{ m}$

Diámetro de piedras de  $\frac{1}{2}$ " (d2):  $0.0127 \times 0.75 = 0.00953 \text{ m}$

Área proporcionada por d1 (piedra)  $4 \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0.000160 \text{ m}^2$

Área proporcionada por d2 (piedra)  $4 \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0.000285 \text{ m}^2$

Volumen proporcionado por d1  $d^3 = 0.00713^3 = 3.6E^{-7} \text{ m}^3$

Volumen proporcionado por d2  $d^3 = 0.00953^3 = 8.6E^{-7} \text{ m}^3$

Debido a la irregularidad del material asumiremos un área según la figura:

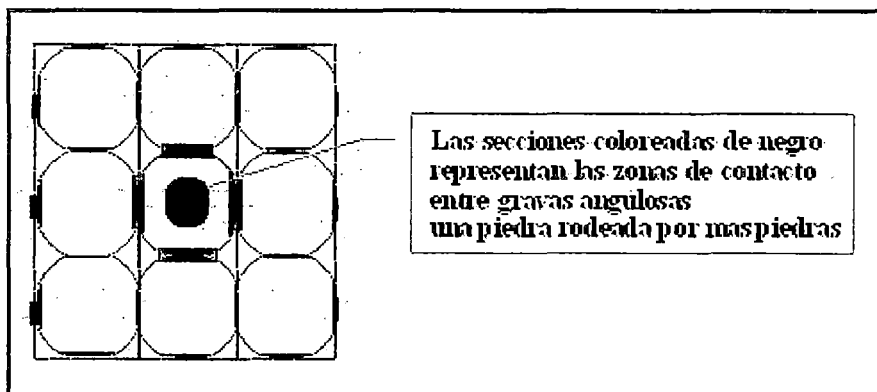


Ilustración 14: Cálculo de la superficie específica

Notamos en la figura que se tienen entre sí, seis sub áreas de contacto. Esta figura se configura como si fuera un poliedro regular de dieciséis caras, de donde se deduce el porcentaje en contacto:

**Para d1:**

Área sin condición de crecimiento  $\frac{6}{16} \times (0.00016 \text{ m}^2) = 6E^{-5} \text{ m}^2$

Área útil de la grava  $0.00016 - 6E^{-5} = 0.0001 \text{ m}^2$

**Para d2:**

$$\text{Área sin condición de crecimiento } \frac{6}{16} \times (0.000285 \text{ m}^2) = 0.000107 \text{ m}^2$$

$$\text{Área útil de la grava } 0.000285 - 0.000107 = 0.000178 \text{ m}^2$$

Cálculo de Densidad e Índice de porosidad: Ambos cálculos se realizaron en el laboratorio.

Densidad kg/m<sup>3</sup> : 2750.4 kg/m<sup>3</sup>

Índice de porosidad d1: 37.0%

Índice de porosidad d2: 26.0%

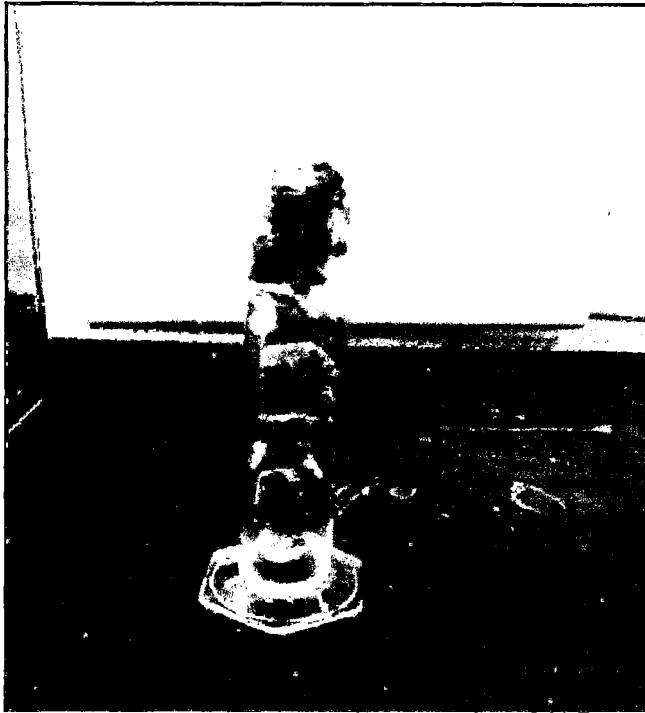
Con los cuales se puede obtener los siguientes resultados:

**Superficie Específica (d1) m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>**

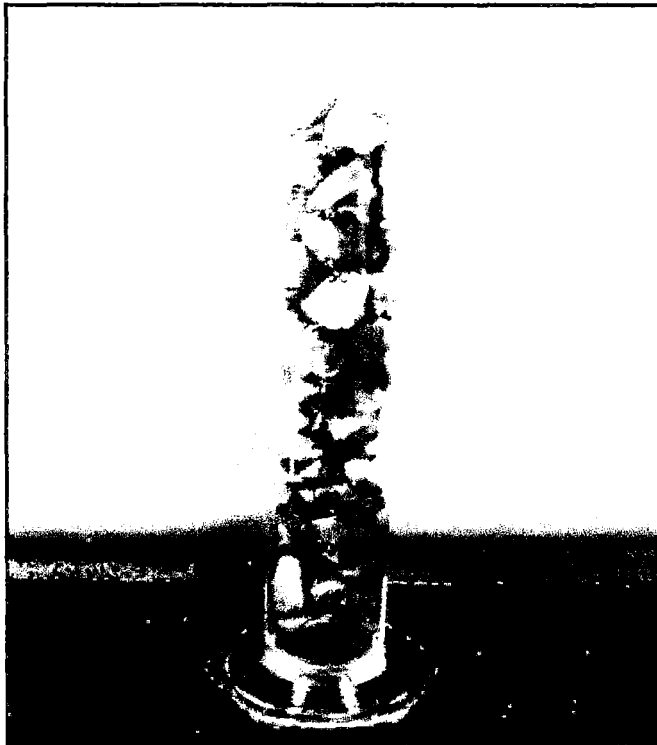
$$\frac{A_u}{V} = \frac{0.0001 \text{ m}^2}{3.6 \text{ E}^{-7} \text{ m}^3} = 277.78 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

**Superficie Específica (d2) m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>**

$$\frac{A_u}{V} = \frac{0.000178 \text{ m}^2}{8.6 \text{ E}^{-7} \text{ m}^3} = 206.98 \text{ m}^2/\text{m}^3$$



*Imagen 34 Determinación del índice de porosidad*



*Imagen 35 Determinación del índice de porosidad*



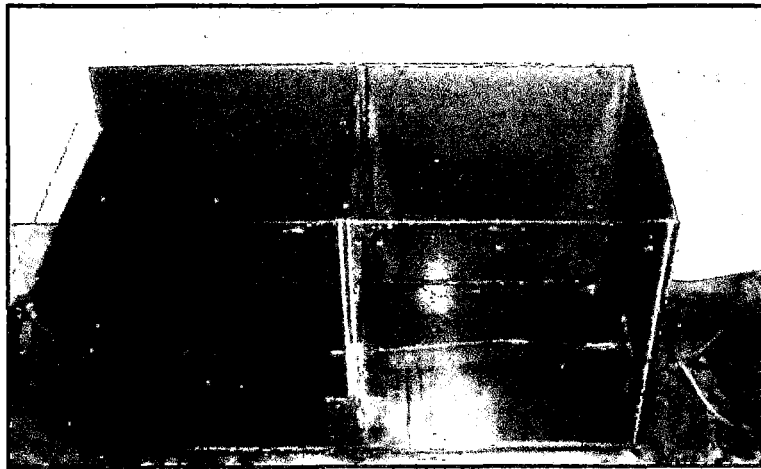
#### 4.2.2.2 Sistema de aireación.

Se implementó un sistema de aireación conformado por dos bombas de aire para pecera y dos difusores ubicados en el fondo de cada aparente compartimiento, buscando generar las condiciones más óptimas para el crecimiento de la biopelícula.

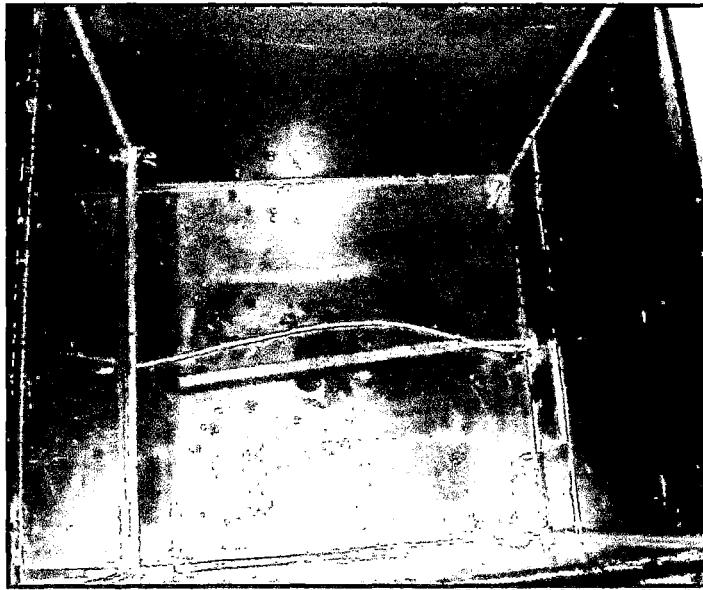
Lo más importante para esta parte de la investigación fue asegurar que se mantengan las condiciones aerobias permanentemente, para lo cual se realizó un control diario de Oxígeno Disuelto OD.

Los materiales usados para la implementación de este Sistema fueron:

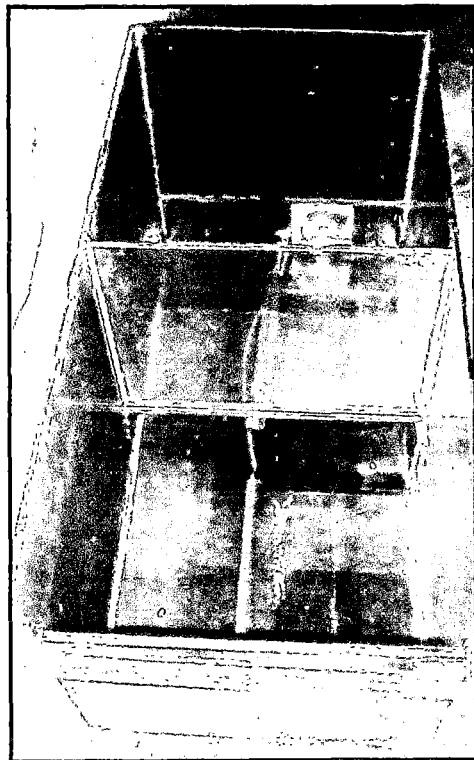
- Dos bombas de pecera marca ASIAN STAR – Modelo AP-500
- Equipo de venoclisis.
- Dos Difusores porosos largos 30 centímetros, con perfil triangular.
- Dos válvulas de control para evitar la fuga del agua residual al sistema de aireación.



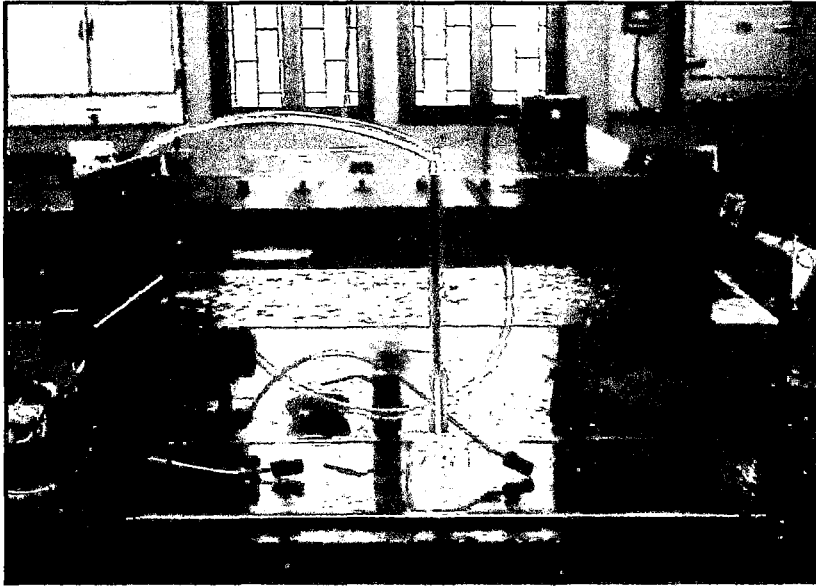
*Imagen 36 Instalación del sistema de aireación*



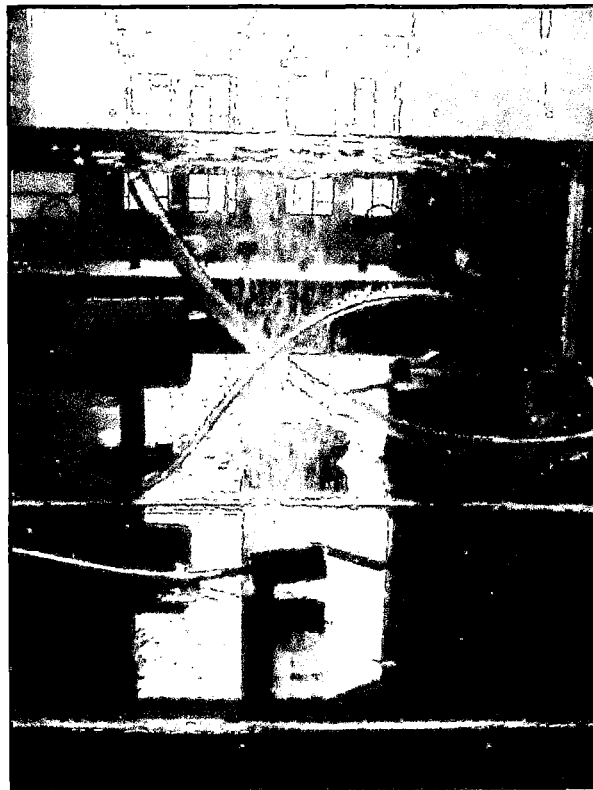
*Imagen 37 Ubicación de difusor*



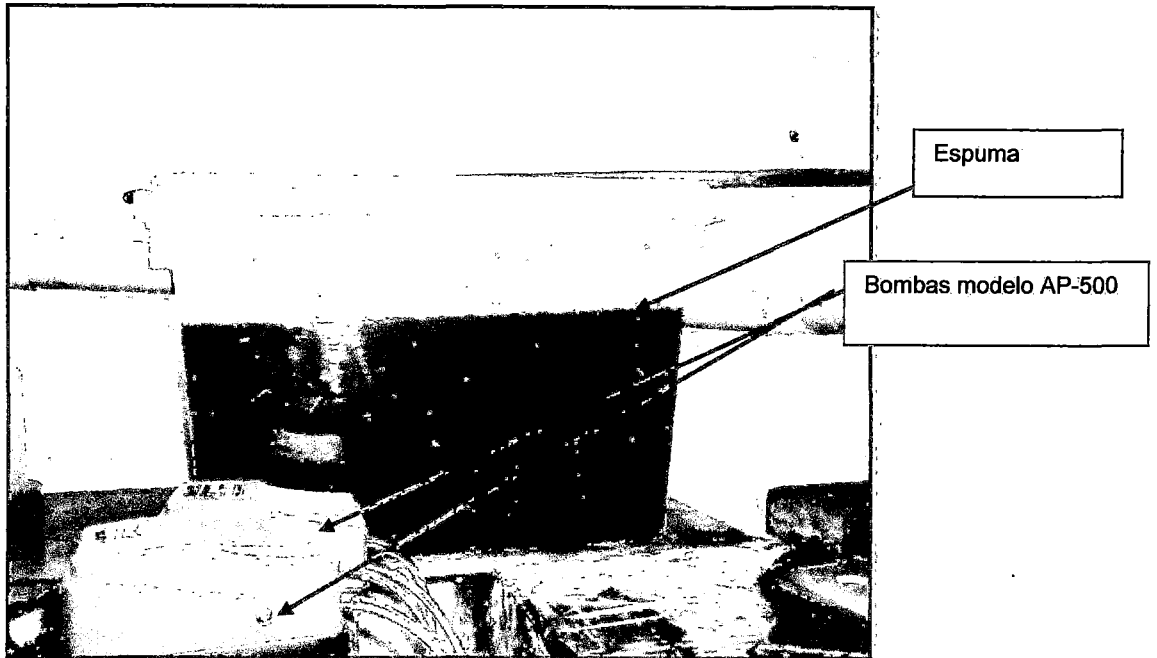
*Imagen 38 Ubicación de difusor*



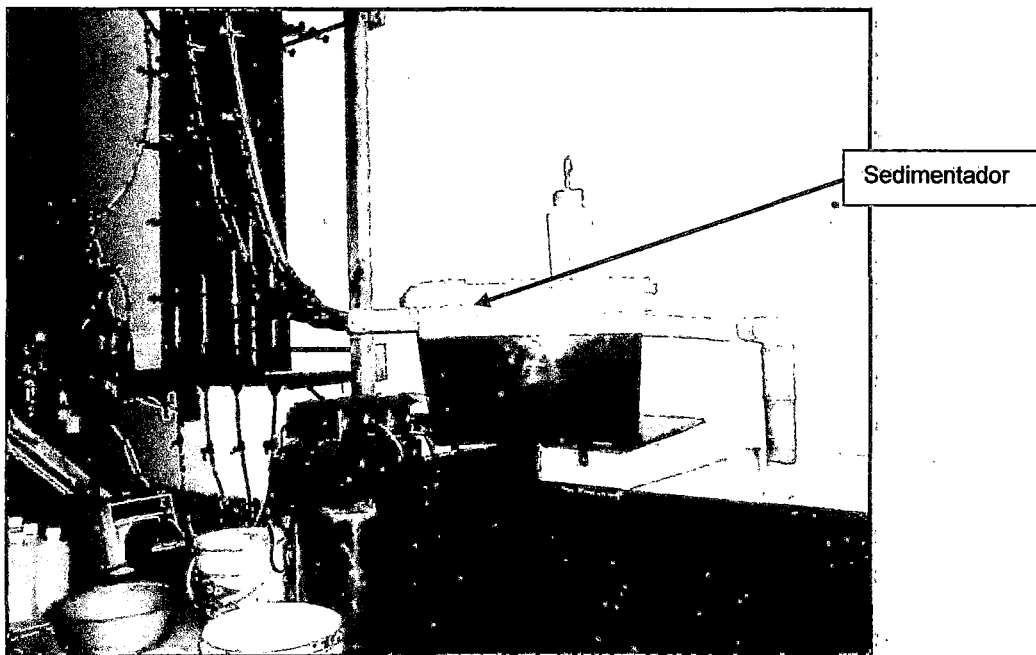
*Imagen 39 Evaluación de la distribución homogénea de la burbuja*



*Imagen 40 Distribución de burbujas de aire dentro del recipiente.*

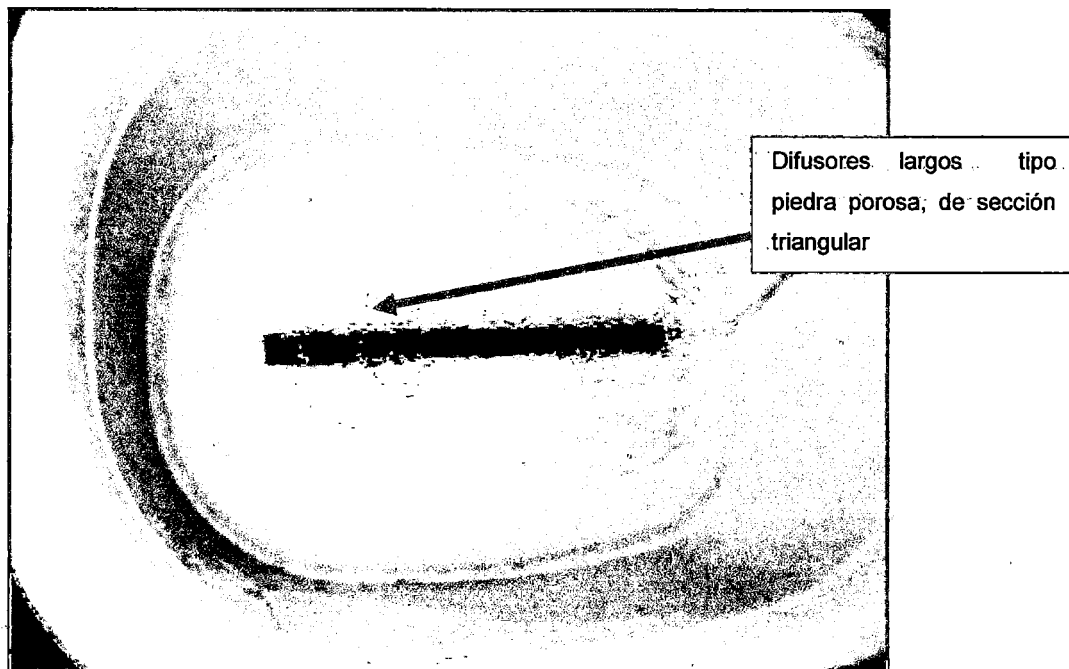


*Imagen 41 Bombas utilizadas para brindar las condiciones de OD al Filtro aireado sumergido.*

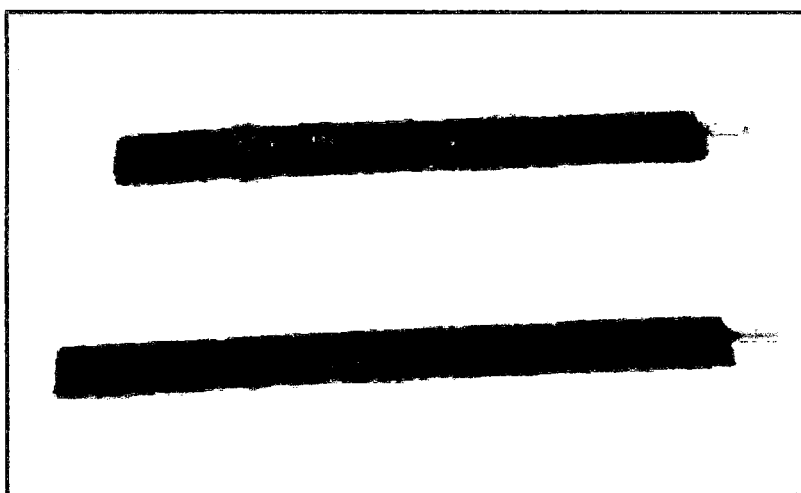


*Imagen 42: Sedimentador*

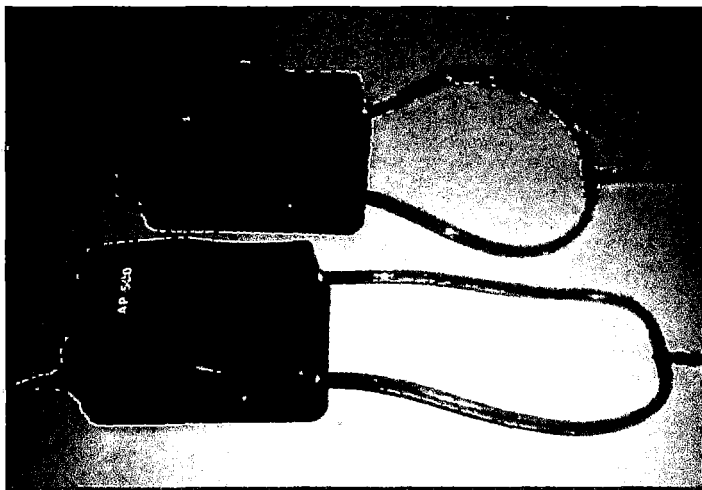
Ubicación de las bombas, en la parte superior del reactor para evitar reducir el esfuerzo de las bombas y prevenir una posible falla si es que el sistema se detiene, previniendo también fugas por estos ductos.



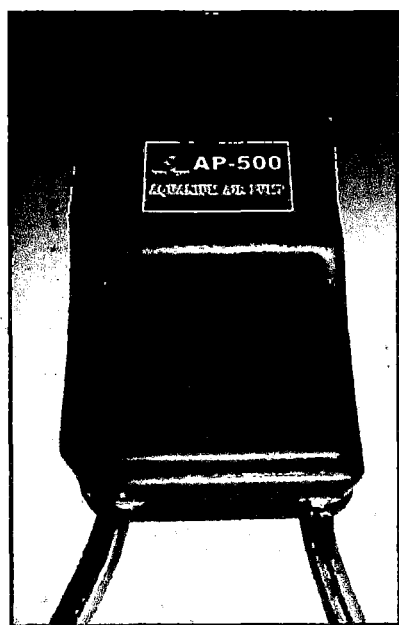
*Imagen 43 Prueba del difusor para ver su funcionamiento*



*Imagen 44 En el mantenimiento se quebró uno de los difusores fue reparado para su posterior funcionamiento*



*Imagen 45 Bombas de aireación usadas*



*Imagen 46 Bomba de aireación AP – 500 Marca ASIAN STAR*

Tabla 13 Características de las Bombas de Aire

| DESCRIPCIÓN       | CONDICIÓN  |
|-------------------|------------|
| MARCA             | ASIAN STAR |
| MODELO            | AP-500     |
| PROCEDENCIA       | China      |
| CAPACIDAD         | 2x4L/min   |
| NÚMERO DE SALIDAS | 2          |
| FRECUENCIA        | 60Hz       |
| POTENCIA          | 5W         |

ELABORACIÓN: Propia (datos del fabricante)

Determinación de la Capacidad de oxigenación del aireador.- Para determinar la capacidad de oxigenación de los equipos de aireación fue necesario determinar la Concentración de saturación ( $C_s$ ), así como el coeficiente de transferencia de oxígeno ( $K_{La}$ ), ambos valores fueron determinados en agua potable y agua residual pre-tratada.

Determinación de la concentración de saturación ( $C_s$ ).- Concentración de saturación de un gas disuelto por la ley de Henry:

#### Ecuación 9

$$P = H \times X \text{ y } X = \frac{n_g}{n_g + n_w}$$

Donde:

P = presión parcial del gas en atmosferas

H = Constante de la ley de Henry para el gas a la temperatura de cálculo.

X = fracción molar de equilibrio del gas disuelto.

$n_g$  = moles del gas

$n_w$  = moles de agua.

**Tabla 14: Constantes de la Ley de Henry para el oxígeno en el agua a diferentes temperaturas**

| Temperatura | Constante $H \times 10^4 \text{ atm/fracción mol}$ |
|-------------|--|
| 0           | 2.55   |
| 10          | 3.27   |
| 20          | 4.01   |
| 30          | 4.75   |

Cálculo de la concentración de saturación.- se tomaron los siguientes datos:

Altitud de la UNI = 105 msnm

Presión atmosférica = 750.55 mmHg = 0.9876 atm

% O<sub>2</sub> en el aire = 21%

Temperatura del agua potable = 23.7 °C.

Temperatura del agua residual pre-tratada = 24.6 °C

Peso molecular del O<sub>2</sub> = 32 g/mol

Peso molecular del H<sub>2</sub>O = 18 g/mol

Las temperaturas del agua potable y agua residual fueron tomadas en el momento de realizar las pruebas de laboratorio para la determinación de KLa.

**I. Concentración de Saturación de Oxígeno en el Agua Potable (C<sub>s</sub>H<sub>2</sub>O):**

- a) Con los datos de la Tabla anterior se determinó la constante de la ley de Henry a la Temperatura del agua potable (23.9°C).

$$H_{23.7} = \frac{(23.7 - 20) \times (4.75 - 4.01)}{(30 - 20)} + 4.01 = 4.28 \times 10^4$$

- b) Calculando la fracción molar de equilibrio del oxígeno disuelto (X):

$$X = \frac{P}{H} = \frac{0.9876 \times 21\%}{4.28 \times 10^4} = 4.84 \times 10^{-6}$$

- c) Calculando los moles de O<sub>2</sub> por litro (n<sub>g</sub>):



$$n_w = \frac{\rho_{H_2O}}{\text{mol}_{H_2O}} = \frac{1000g/L}{18g/mol} = 55.56\text{mol/L}$$

$$n_g = \frac{n_w \times X}{1 - X} = \frac{55.56 \times 4.84 \times 10^{-6}}{1 - 4.84 \times 10^{-6}} = 2.69 \times 10^{-4}\text{mol/L}$$

d) Concentración de saturación del Oxígeno:

$$C_{S_{H_2O}} = n_g \times \bar{O}_2 = 2.69 \times 10^{-4} \times 32 \times 10^3 = 8.61\text{mgO}_2/\text{L}$$

## II. Concentración de Saturación de Oxígeno en el Agua Residual pre-tratada:

- Con los datos de la Tabla anterior se determinó la constante de la ley de Henry a la Temperatura del agua potable (23.9°C):

$$H_{24.6} = \frac{(24.6 - 20) \times (4.75 - 4.01)}{(30 - 20)} + 4.01 = 4.35 \times 10^4$$

- Calculando la fracción molar de equilibrio del oxígeno disuelto (X):

$$X = \frac{P}{H} = \frac{0.9876 \times 21\%}{4.35 \times 10^4} = 4.77 \times 10^{-6}$$

- Calculando los moles de O2 por litro (n<sub>g</sub>):

$$n_w = \frac{\rho_{H_2O}}{\text{mol}_{H_2O}} = \frac{1000g/L}{18g/mol} = 55.56\text{mol/L}$$

$$n_g = \frac{n_w \times X}{1 - X} = \frac{55.56 \times 4.77 \times 10^{-6}}{1 - 4.77 \times 10^{-6}} = 2.65 \times 10^{-4}\text{mol/L}$$

- Concentración de saturación del Oxígeno:

$$C_{S_{H_2O}} = n_g \times \bar{O}_2 = 2.65 \times 10^{-4} \times 32 \times 10^3 = 8.47 \text{ mg } O_2 / L$$

#### **4.2.2.3 Capacidad de oxigenación de la Bomba de Aireación AP-500**

- Para determinar la capacidad de oxigenación de la bomba ASIAN STAR – Modelo AP-500, se determinó el coeficiente de transferencia de oxígeno ( $K_{La}$ ) en agua potable y en agua residual pre-tratada, ambos valores fueron determinados en el laboratorio siguiendo el procedimiento indicado en el ítem (3.5.9.2),  
Así mismo la variación de la concentración de oxígeno en las muestra de agua fue determinado por el método Winkler.

#### **I. Determinación de $K_{La}$ en el Agua potable:**

Se midió las concentraciones de OD vs tiempo:

**Tabla 15 Variación de la Concentración de OD en el ensayo para la Determinación del  $K_{La}$  en el Agua Potable – Bomba AP-500.**

| tiempo (min) | OD "Ct"<br>(mg/L) |
|--------------|-------------------|
| 0            | 0                 |
| 5.1          | 1.9               |
| 11           | 2.8               |
| 17           | 3.9               |
| 20.2         | 6                 |
| 25.4         | 6.3               |
| 32           | 6.8               |
| 36.5         | 7.1               |
| 42.3         | 7.5               |
| 53           | 7.8               |
| 61.4         | 8                 |
| 75.5         | 8.2               |

Cálculo de los Valores de Déficit de Oxígeno Disuelto OD y las Concentraciones Cs-Ct

Cs : Concentración de saturación en el agua potable igual a 8.61mg/L

Ct : Concentración de OD a diferentes intervalos de tiempo

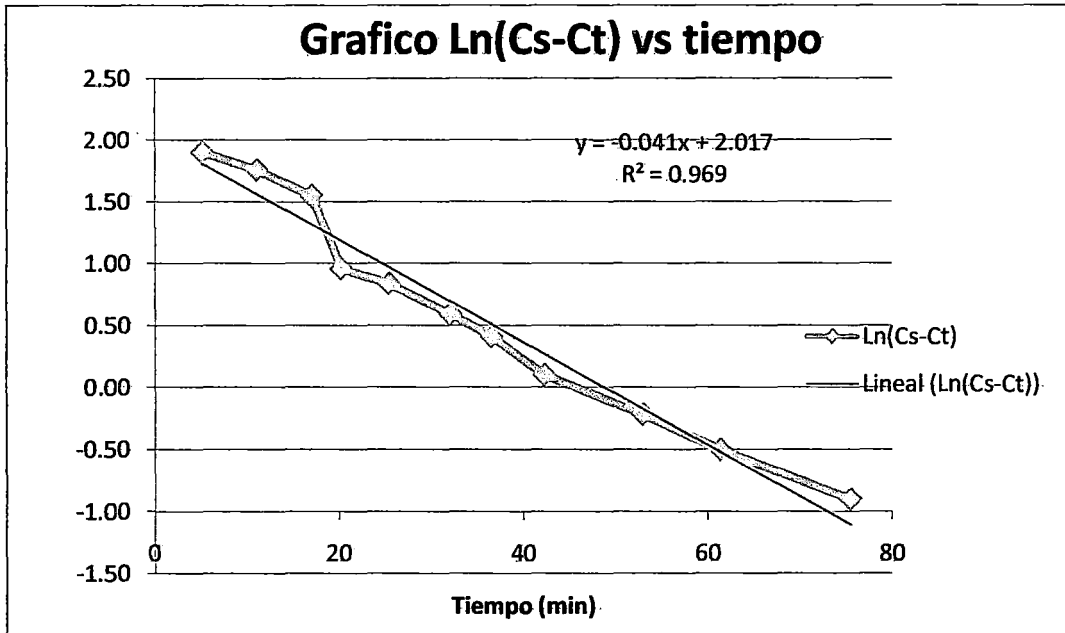
**Tabla 16 Déficit de OD para la Determinación de KLa en Agua Potable – Bomba AP-500**

| tiempo (min) | "Cs-Ct" (mg/L) | Ln(Cs-Ct) |
|--------------|----------------|-----------|
| 5.1          | 6.70668129     | 1.90      |
| 11           | 5.80668129     | 1.76      |
| 17           | 4.70668129     | 1.55      |
| 20.2         | 2.60668129     | 0.96      |
| 25.4         | 2.30668129     | 0.84      |
| 32           | 1.80668129     | 0.59      |
| 36.5         | 1.50668129     | 0.41      |
| 42.3         | 1.10668129     | 0.10      |
| 53           | 0.80668129     | -0.21     |
| 61.4         | 0.60668129     | -0.50     |
| 75.5         | 0.40668129     | -0.90     |

Gráfica

La variación de Ln (Cs-Ct) respecto al paso del tiempo tomando en cuenta el ajuste de datos obtenidos aproximando a una línea recta por el método de los mínimos cuadrados.

**Gráfica 1 Determinación del KLa en el Agua Potable – Bomba AP-500.**



De la figura tenemos la pendiente de la regresión lineal  $K_{La}$ :

$$K_{La_{H_2O}} = 0.0414 \text{ min}^{-1} = 2.48 \text{ h}^{-1}$$

Capacidad de Oxigenación en el Agua Potable (gramos de Oxígeno.- transferidos por hora):

$$CO_{H_2O} \text{ gr } O_2 / h = C_s \times K_{La_{A:R}} \times V \dots\dots\dots 1$$

$$C_s = \frac{8.61 \text{ mg } O_2}{L} \times \frac{10^{-3} \text{ gr } O_2}{\text{kg } H_2O} \dots\dots\dots 2$$

$$V = 57.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \dots\dots\dots 3$$

Luego, (2) y (3) en (1):

$$CO_{H_2O} \text{ gr } O_2 / h = \frac{8.61 \text{ mg } O_2}{L} \times \frac{10^{-3} \text{ gr } O_2}{\text{kg } H_2O} \times 2.48 \text{ h}^{-1} \times 57.6 \times 10^{-3} \times 1000 \text{ kg } H_2O / \text{m}^3$$

$$CO_{H_2O} = 1.23 \text{ gr } O_2 / h'$$

**II. Determinación de  $K_{La}$  en el Agua Residual Pre-tratada.-**

De la misma manera, se midió el Oxígeno Disuelto en el agua residual vs tiempo:

**Tabla 17 Variación de la concentración del OD en el ensayo, para la Determinación del KLa en el Agua Residual Pre-Tratada – Bomba AP-500.**

| tiempo (min) | OD "Ct"<br>(mg/L) |
|--------------|-------------------|
| 0            | 0.16              |
| 2            | 0.9               |
| 3            | 1.1               |
| 5            | 1.3               |
| 12           | 1.5               |
| 15           | 2.3               |
| 18           | 2.7               |
| 20           | 3                 |
| 22           | 3.2               |
| 25           | 3.5               |
| 29           | 3.8               |
| 35           | 4.1               |
| 40           | 4.2               |
| 46           | 4.5               |
| 50           | 5.1               |
| 56           | 5.4               |
| 65           | 5.5               |
| 70           | 5.7               |
| 84           | 5.9               |
| 100          | 5.9               |
| 105          | 5.9               |
| 120          | 6                 |

Cálculo de los Valores de Déficit de OD, Cs-Ct

Cs: Concentración de saturación en el agua pre-tratada igual a 8.47mg/L.

C: Concentración de OD a diferentes intervalos de tiempo

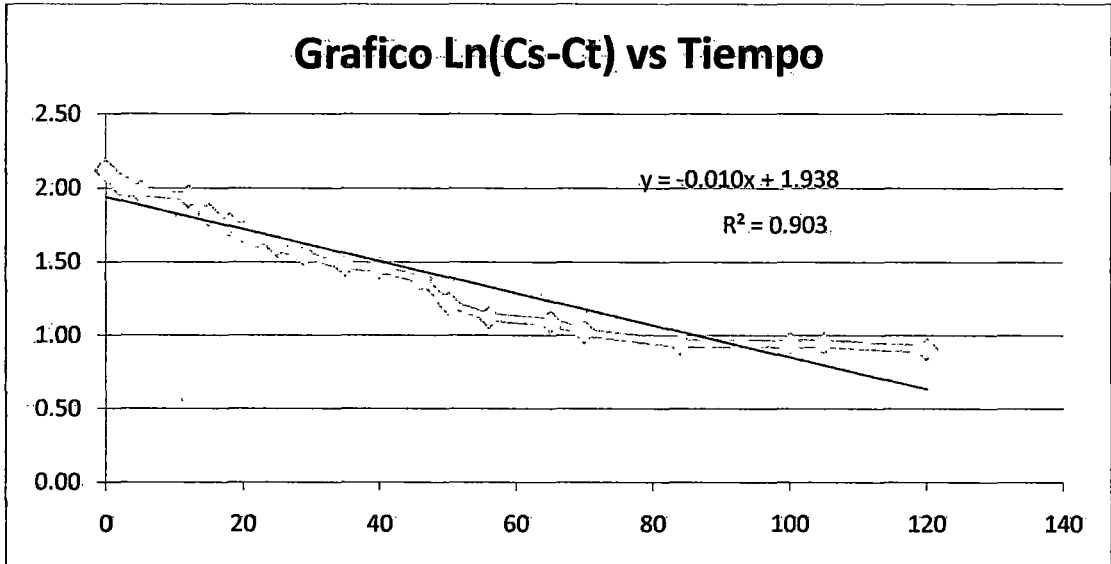
**Tabla 18 Déficit de OD en el ensayo para la Determinación del KLa en el Agua Pre-tratada – Bomba AP-500.**

| tiempo<br>(min) | "Cs-Ct"<br>(mg/L) | Ln(Cs-Ct) |
|-----------------|-------------------|-----------|
| 0               | 8.31              | 2.12      |
| 2               | 7.57              | 2.02      |
| 3               | 7.37              | 2.00      |
| 5               | 7.17              | 1.97      |
| 12              | 6.97              | 1.94      |
| 15              | 6.17              | 1.82      |
| 18              | 5.77              | 1.75      |
| 20              | 5.47              | 1.70      |
| 22              | 5.27              | 1.66      |
| 25              | 4.97              | 1.60      |
| 29              | 4.67              | 1.54      |
| 35              | 4.37              | 1.48      |
| 40              | 4.27              | 1.45      |
| 46              | 3.97              | 1.38      |
| 50              | 3.37              | 1.22      |
| 56              | 3.07              | 1.12      |
| 65              | 2.97              | 1.09      |
| 70              | 2.77              | 1.02      |
| 84              | 2.57              | 0.95      |
| 100             | 2.57              | 0.95      |
| 105             | 2.57              | 0.95      |
| 120             | 2.47              | 0.91      |

Gráfica

La variación de Ln (Cs-Ct) respecto al paso del tiempo, tomando en cuenta el ajuste de los datos obtenidos a una línea recta por el método de los mínimos cuadrados:

Gráfica 2 Determinación del KLa en el Agua Pre-tratada – Bomba AP-500.



De la gráfica se tiene que la pendiente de la regresión lineal viene a ser la constante KLa de las Aguas Residuales

$$K_{La_{H_2O}} = 0.0109 \text{ min}^{-1} = 0.65 \text{ h}^{-1}$$

Capacidad de Oxigenación en el Agua Residual (gramos de Oxígeno transferidos por hora):

$$CO_{AR} \text{ grO}_2/\text{h} = C_s \times K_{La_{AR}} \times V \dots\dots\dots 1$$

$$C_s = \frac{8.47 \text{ mgO}_2}{L} \times \frac{10^{-3} \text{ grO}_2}{\text{kgH}_2\text{O}} \dots\dots\dots 2$$

$$V = 57.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \dots\dots\dots 3$$

(2) y (3) en (1):

$$CO_{AR} \text{ grO}_2/\text{h} = \frac{8.47 \text{ mgO}_2}{L} \times \frac{10^{-3} \text{ grO}_2}{\text{kgH}_2\text{O}} \times 0.65 \text{ h}^{-1} \times 57.6 \times 10^{-3} \times 1000 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{m}^3$$

$$CO_{AR} = 0.0318 \text{ grO}_2/\text{h}$$

**Tabla 19 Resumen de las Características del equipo de Aireación-Bomba AP-500**

| Parámetro  | Valor | Unidad               |
|--|-------|----------------------|
| Caudal de aireación  | 4.5   | L/min                |
| coeficiente de transferencia de masa de agua potable $Kla_{H2O}$   | 2.48  | $h^{-1}$             |
| coeficiente de transferencia de masa de agua residual $Kla_{AR}$   | 0.65  | $h^{-1}$             |
| Capacidad de oxigenación de agua potable $CO_{H2O}$  | 1.231 | grO <sub>2</sub> /h  |
| Capacidad de oxigenación de agua residual $CO_{AR}$  | 0.318 | grO <sub>2</sub> /h  |
| Factor de Correlación de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual a la del agua potable ( $\alpha$ ) | 0.262 | $Kla_{AR}/Kla_{H2O}$ |
| Relación de la concentración de Saturación de OD en agua residual a la del Agua Potable ( $\beta$ )              | 0.985 | $Cs_{AR}/Cs_{H2O}$   |

#### 4.2.3 Montaje del Filtro Anaerobio

Sobre el funcionamiento del Filtro Aireado Sumergido, se construyó un sistema complementario al sistema inicialmente planteado, el cual tenía objetivo mejorar las características del efluente, con un tratamiento complementario al primero. Así mismo se consideraba que, el efluente a la salida de esta unidad debía presentar características cuantitativas y cualitativas superiores a las del primer filtro, buscando estar dentro de los límites máximos permisibles para el vertimiento al sistema de alcantarillado.

Para tal fin se construyó un segundo reactor de vidrio, de 0.85 m de largo; 0.30 m de ancho y 0.32 m de tirante útil, el cual presentaba en su estructura interna un sedimentador secundario de 0.26 m de largo, 0.30 m de ancho y 0.165 m de alto. Que nos iba permitir mejorar las condiciones en el efluente tratado, y así mejorar el proceso de tratamiento planteado.

Por otra parte el planteamiento inicial de esta nueva unidad era garantizar que exista contacto entre la grava y el efluente, a su vez que este contacto tenía que ser homogéneo, buscando minimizar los espacios muertos, por tanto se acondicionó al sistema para ser sumergido en todo su volumen.



Este sistema recolectaba el efluente hacia una salida adaptada a una manguera y de ahí finalmente era evacuado al sistema de alcantarillado. Para la toma de las muestras en esta unidad se adaptó una válvula que permitía la recolección de la muestra a la salida del sistema con mayor facilidad. Este sistema estaba ubicado en serie con el primero y comenzó a funcionar después de los dos primeros meses de funcionamiento del primer filtro solo.

Los materiales usados para la implementación de este reactor fueron:

- Recipiente de Vidrio de 17.67 L de capacidad útil, incluyendo pantalla intermedia.
- Tubería de PVC de 2".
- Una Pantalla de vidrio de 26cm.
- Una pantalla de vidrio de 32cm.

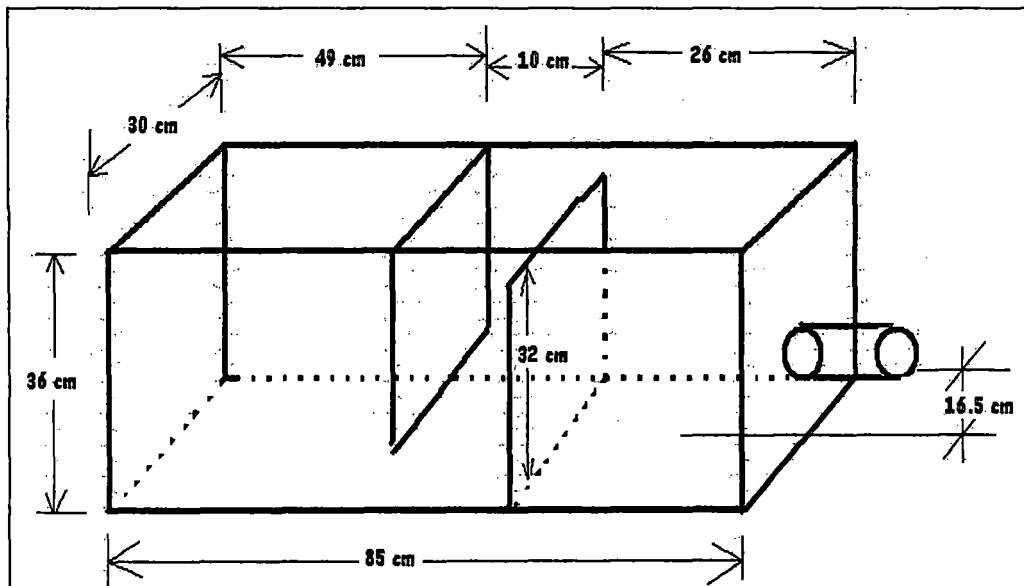
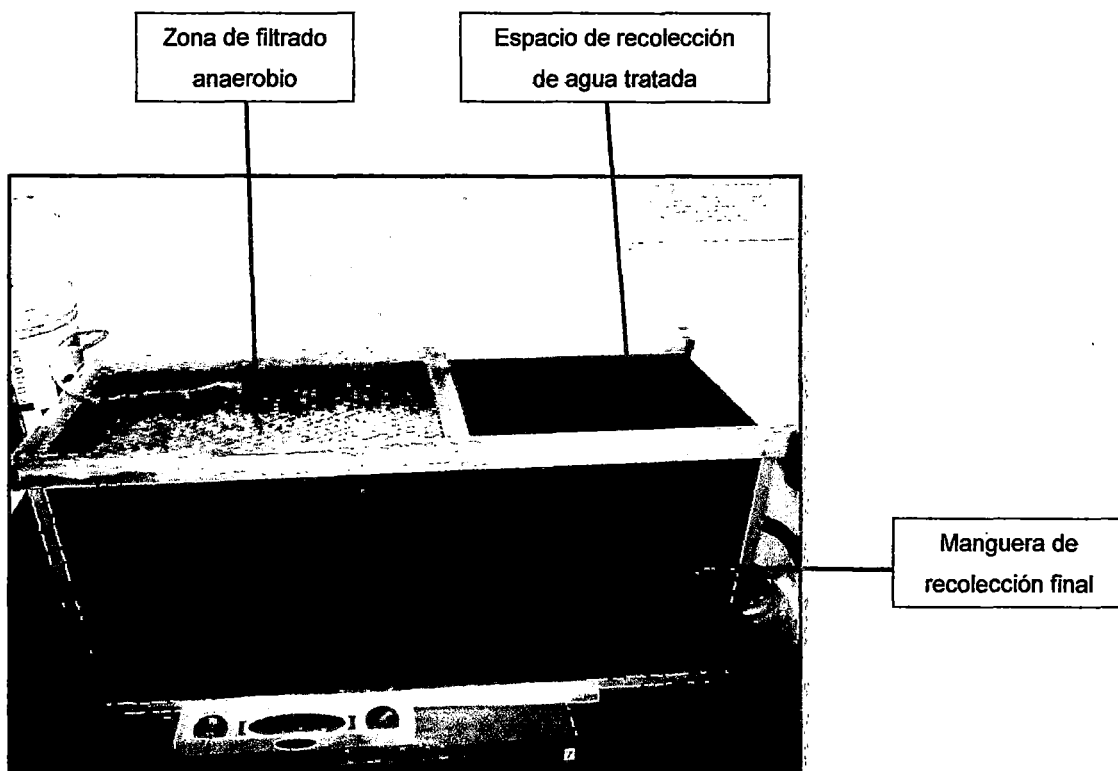


Ilustración 15 Geometría del Módulo



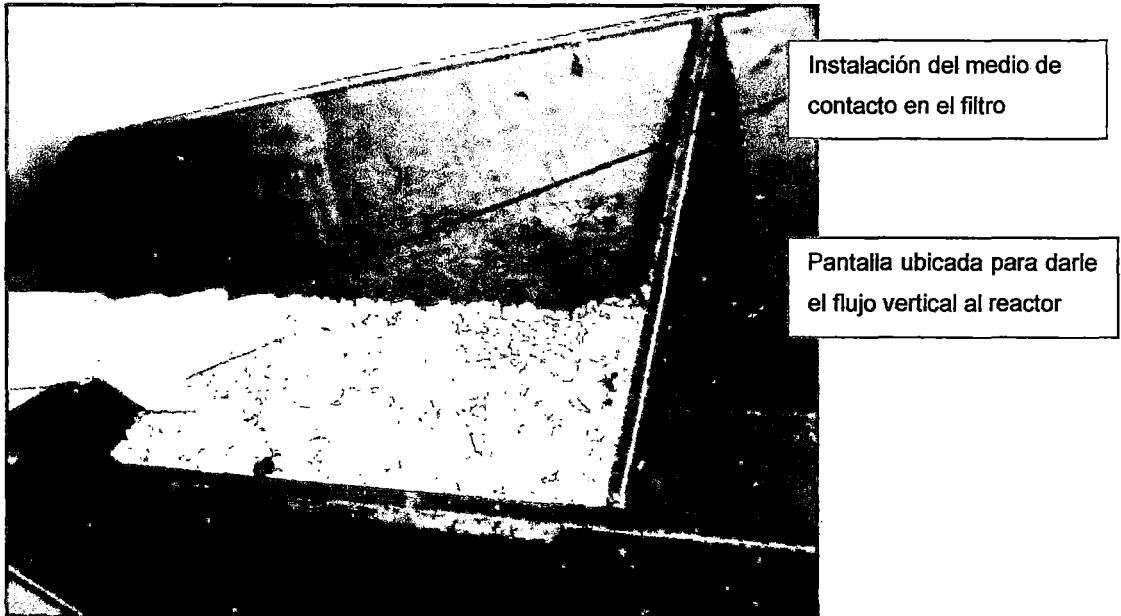
*Imagen 47: Filtro Anaerobio*

#### **4.2.3.1 Medio de Contacto del Filtro Anaerobio**

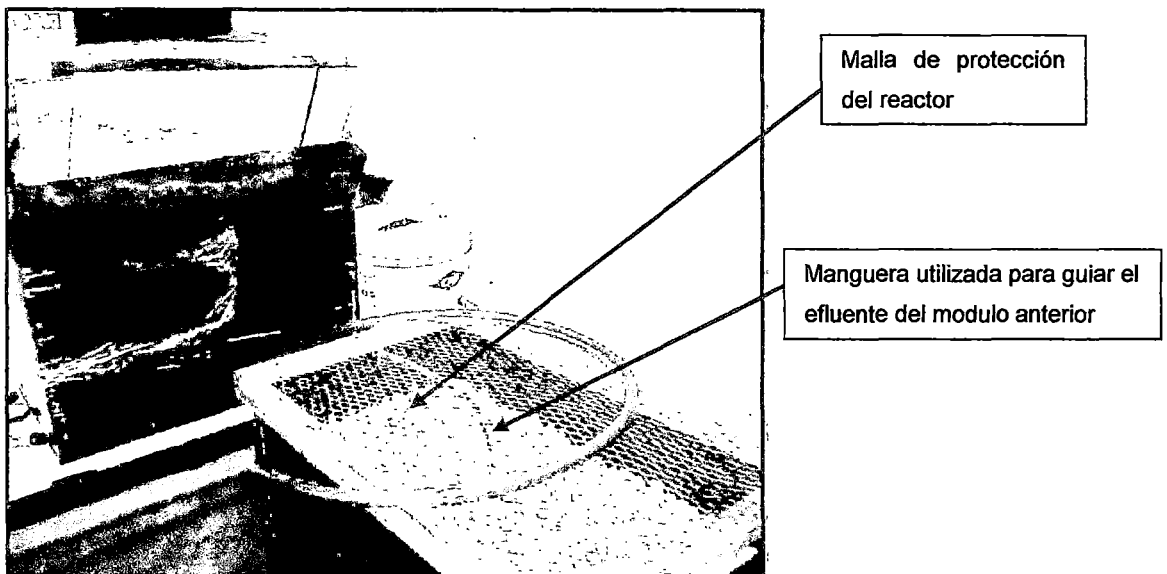
Para lograr resultados óptimos fue necesario colocar un medio de contacto para asegurar que la biopelícula se adhiriera y logre desarrollarse satisfactoriamente. En ésta parte de la investigación se tomó como Medio de Contacto a la grava seleccionada de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.

El material sólido seleccionado como Medio de Contacto fue llevado al "Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI - Facultad de Ingeniería Civil" para realizar los respectivos ensayos de granulometría para la grava seleccionada con un diámetro efectivo de  $\frac{1}{4}$  pulgada.

Esta selección del material fue colocado en este nuevo Filtro – Anaerobio, a su vez que se acondicionó en la misma unidad un lecho de contacto de 0.32 m de alto.



*Imagen 48: instalación del medio de contacto en el reactor*



*Imagen 49 instalación de la entrada y maya protectora del modulo.*

#### **4.2.3.2 Sistema de Alimentación y Recolección**

El sistema fue planteado para facilitar el mantenimiento al sistema, los cuales funcionaron con la presencia de un tratamiento secundario adicional - Sedimentador que funcionó por gravedad, y sirvió para la homogenización de los

efluentes que provenían de las salidas de los cuatro reactores del RAFAML. El crudo a tratar ingresaba al sedimentador por cuatro mangueras independientes provenientes del RAFAML, dirigidas hacia el centro del sedimentador.

Pudiendo desviar el flujo al sistema de alcantarillado sin la necesidad de interrumpir el flujo del tratamiento primario durante el mantenimiento del sistema.

Después del sedimentador el ingreso al Filtro Aireado sumergido fue por medio de una tubería de PVC de 2" la cual salía desde el sedimentador hacia el centro del primer tanque del Filtro Aireado sumergido. A partir de aquí el caudal era ya tratado, y a la salida de la unidad era recolectado mediante un canal de recolección del agua, que facilitaba la toma de muestra y servía de guía para el ingreso al siguiente módulo de tratamiento.

Para la recolección de este efluente se usó un recipiente (balde), el cual fue acondicionado para conducir el efluente a la salida de esta unidad, este recipiente fue unido a una manguera, entonces el efluente tratado pasaba a través de la manguera y conducía el efluente hasta su posterior evacuación. En esta parte se implementó un tomador de muestra y un desfogue por medio de mangueras:

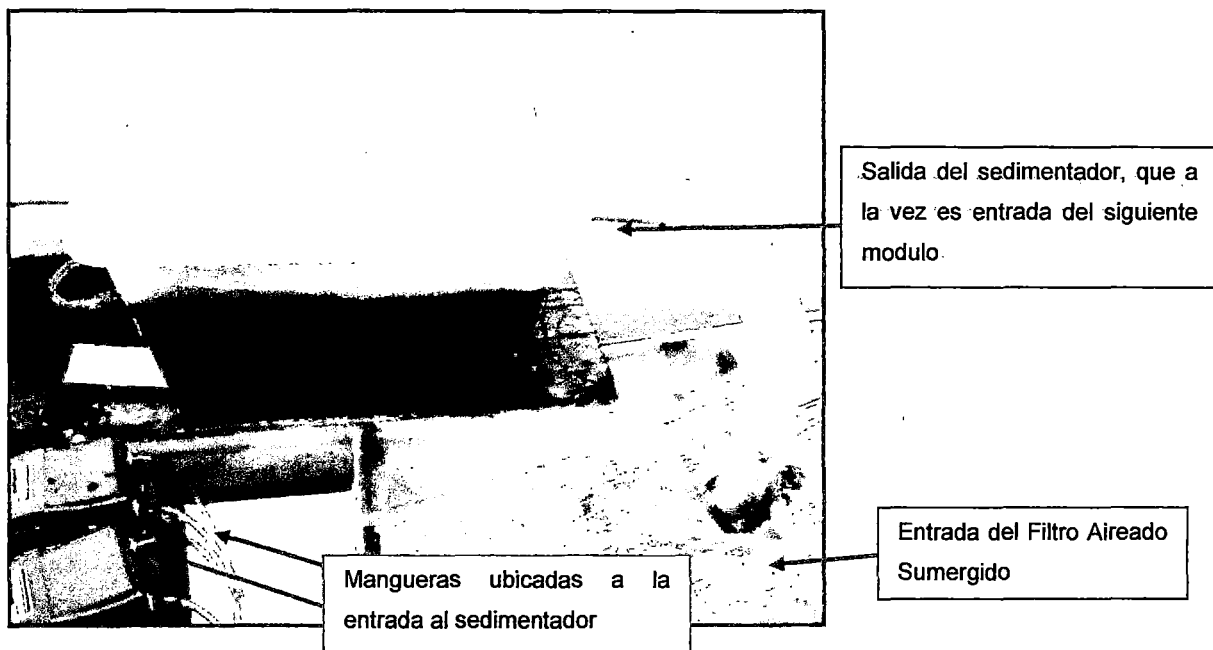
Para el mantenimiento del sistema se tuvo que evacuar los lodos en forma manual haciendo la evacuación del líquido sobrenadante, luego la remoción de la grava, y posteriormente la limpieza de las pantallas. De esta manera se podía controlar la formación de la biopelícula en exceso, así como la remoción de la misma. Cuando se hacía este proceso también era importante darle mantenimiento al sistema de los difusores.

Saliendo de esta unidad, en la segunda parte de la investigación, cuando se colocó el segundo Filtro, el efluente tratado era conducido desde las mangueras que salían del recipiente (balde) a la salida del Filtro Aireado Sumergido hacia un ingreso central superior de este segundo Filtro Anaerobio a través de la manguera que entraba hasta tener contacto con el volumen en sumersión.

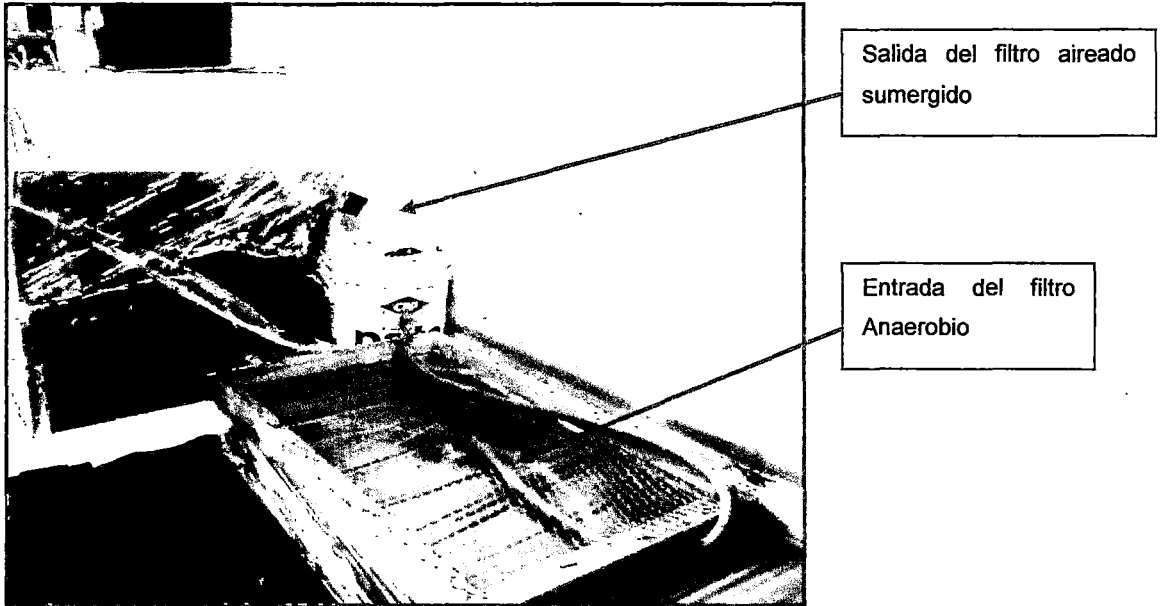
De allí en adelante el agua residual seguía su proceso de tratamiento siguiendo el curso del Filtro Anaerobio y conducido finalmente hacia la salida de este

mismo filtro, en donde se tomaba una muestra final del tratamiento cuya toma era facilitada por la instalación de una válvula que derivaba el caudal a la toma de muestra respectiva. Seguido de aquí, se conducía el caudal al sistema de alcantarillado para su evacuación final a través de unas mangueras.

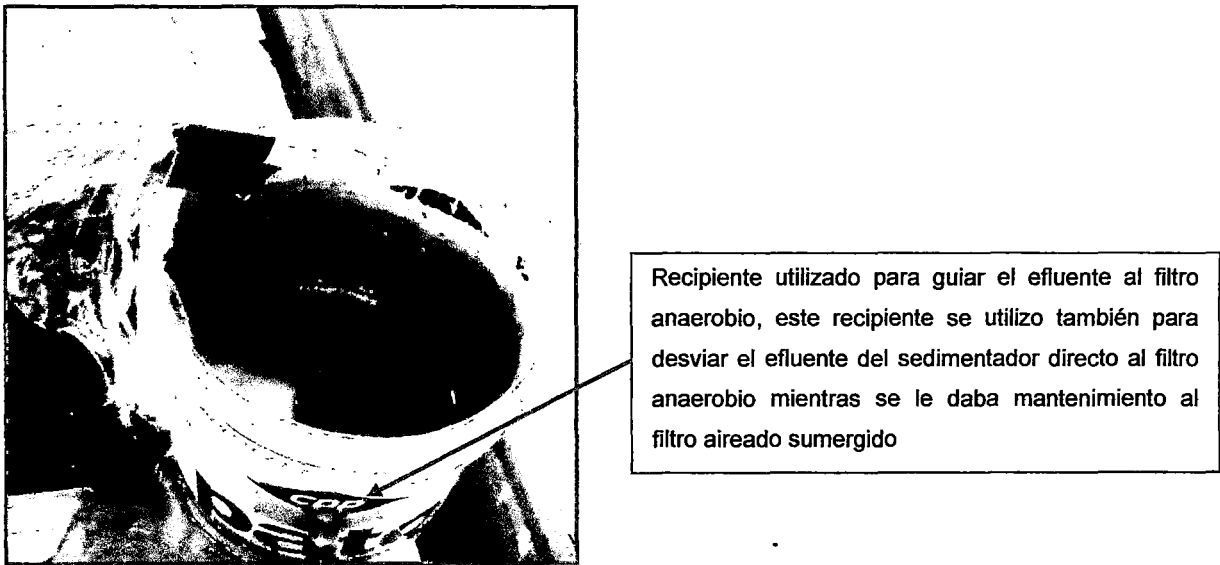
En el sistema en conjunto Sedimentador-Filtro Aireado – Filtro Anaerobio, se mantuvo un caudal constante medido y controlado por una bomba peristáltica, que funcionaba con cabezales de regulación de caudal garantizándose el ingreso constante de agua residual al sistema para no alterar las condiciones de funcionamiento. Esta parte del sistema fue monitoreada permanentemente para no alterar la investigación.



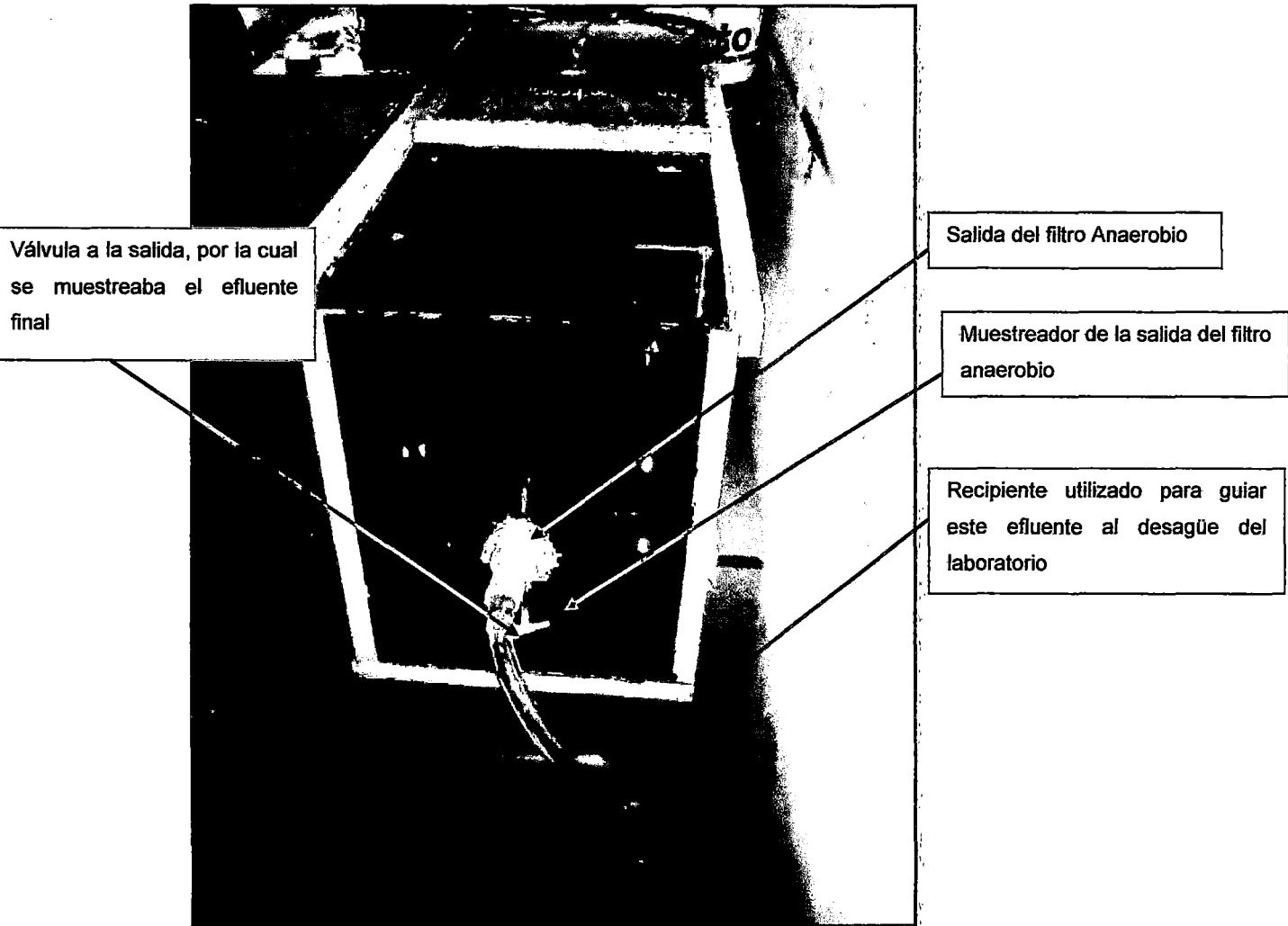
*Imagen 50 Entrada y salida del sedimentador*



*Imagen 51 Sistema instalado entrada del Filtro anaerobio y salida del filtro aireado sumergido*



*Imagen 52 Este vertedero se uso para el control y muestreo del efluente del filtro aireado sumergido*



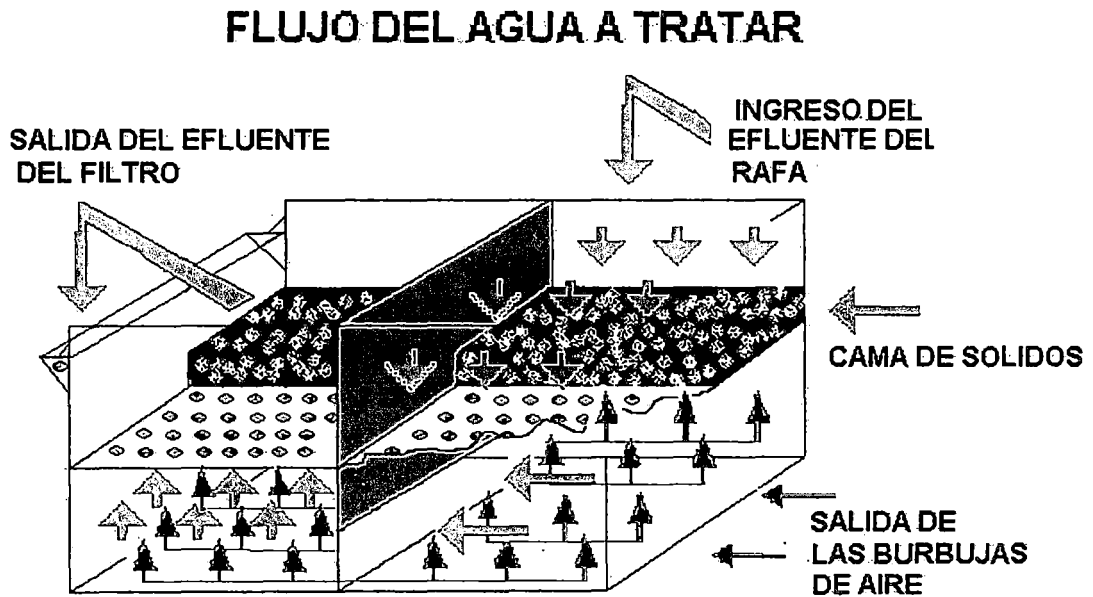
*Imagen 53 Sistema de evacuación del filtro anaerobio se nota un muestreador anexo a la salida.*

### 4.3 ARRANQUE DEL SISTEMA

#### 4.3.1 Caudal de Tratamiento

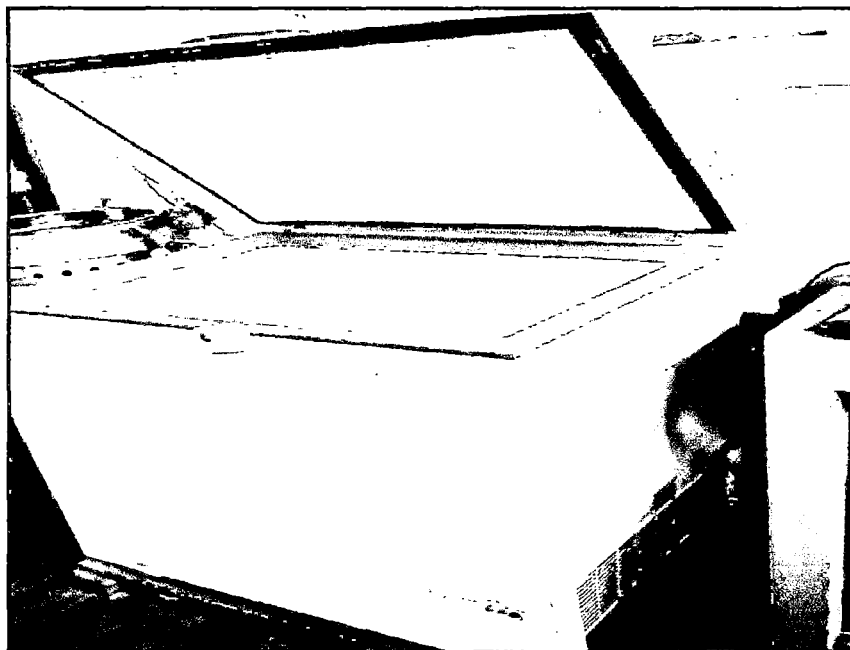
El sistema en conjunto fue alimentado por medio de una bomba peristáltica que inyectaba el agua residual almacenada dentro de las galoneras, las cuales fueron ubicadas dentro del congelador. Esta bomba peristáltica fue regulada para brindar un caudal de 50mL/min aproximadamente al sistema.

Se instaló a su vez un recipiente previo a los filtros para homogenizar los efluentes del tratamiento primario (RAFAML), que también cumplía con la función de sedimentador y trampa de grasa; a partir de este sistema el abastecimiento del agua tratada hacia los siguientes módulos (Filtro Aireado Sumergido y Filtro Anaerobio) era por gravedad.



*Ilustración 16 Almacenamiento de Agua Residual*

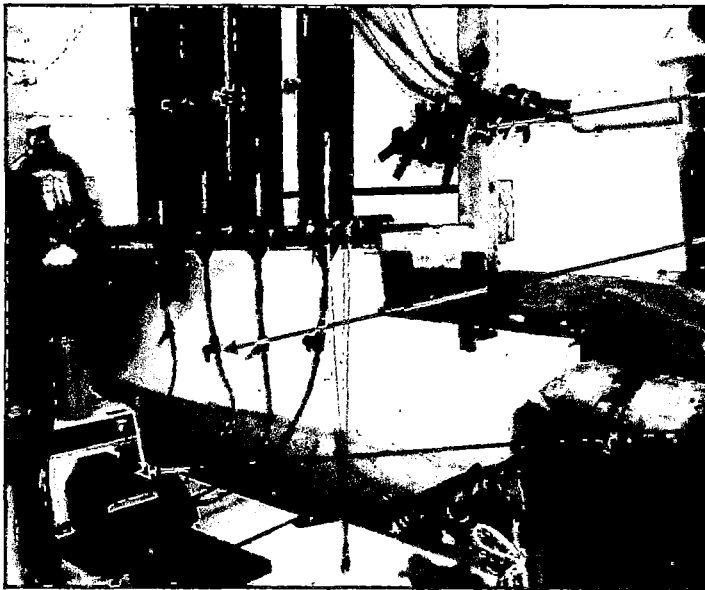




*Ilustración 17 Almacenamiento del crudo. En este congelador se almacenaba las muestras traídas del camal*

Los recipientes fueron llenado dos veces por día, uno a las 9 am y a las 5pm, con una previa agitación del envase para asegurar la homogeneidad del agua residual a tratar. La recolección el crudo, desde el Camal, se realizaba dos veces por semana, almacenándose en el congelador, para el abastecimiento del sistema una vez por día garantizando un caudal constante.

Diariamente se realizaba el aforo para controlar el ingreso del caudal constante al sistema el cual se regulaba con un sistema de medición con la bomba peristáltica, sistema de estrangulamiento y aforo para cada uno de los reactores RAFAML



Válvulas utilizadas para el aforo de cada reactor RAFAML

Sistema de estrangulamiento para el control del caudal de cada uno de los reactores

Bomba peristáltica

*Imagen 54 Control del caudal al sistema de tratamiento*

#### 4.3.2 Periodo de Retención

Esta investigación se dividió en dos etapas:

- La primera etapa se trabajó con un volumen útil de: 61.4 L para el Filtro Aireado Sumergido.
- En la segunda etapa se acondicionó los reactores del Filtro Aireado Sumergido logrando la reducción del volumen y reduciendo el tiempo de retención a un mismo caudal obteniéndose un nuevo volumen de 33.06 L.
- Así mismo en esta etapa se instaló el sistema de tratamiento adicional- Filtro Anaerobio, el cual tenía un volumen de 30.2 L

El periodo de retención en cada uno de los reactores se determinó utilizando la siguiente relación:

$$Tr \text{ (Tiempo de retencion en horas)} = \frac{V_u \text{ (volumen } m^3)}{Q \text{ (caudal } \frac{m^3}{h})}$$

Se calculó el volumen útil del agua en cada uno de los módulos, sin tomar en cuenta el volumen ocupado por la grava, considerando un caudal de ingreso constante de 1mL/s.

Los tiempos de retención en cada etapa de la investigación fueron los siguientes:

- En la primera etapa se tuvo un tiempo de: 17.06 horas para el Filtro Aireado Sumergido.
- En la segunda etapa se tuvo una reducción de tiempo a: 9.18 horas para el Filtro Aireado Sumergido. Y para el Filtro Anaerobio un tiempo de y 8.40. horas. Por lo tanto el sistema en conjunto presentó un periodo de retención teórico de 17.58 horas.

#### **4.3.3 Caudal de Aireación y Tasa de Oxigenación**

Durante toda la investigación, se empleó dos bombas de Aire AP-500 con las cuales se aplicó un caudal de aireación de 4.5 L/min para una capacidad de oxigenación de 0.318 g O<sub>2</sub>/h (0.099g O<sub>2</sub>/h.m<sup>2</sup>), a cada reactor. Aplicándose una Tasa de aireación superficial de 14.06 L/min.m<sup>2</sup> para probar la flexibilidad del sistema, en una segunda etapa, se disminuyó el tiempo de retención, reduciendo el volumen del reactor, empleando las mismas dos bombas de Aire ASIAN STAR Modelo AP-500.

#### **4.3.4 Mantenimiento del Sistema de Filtros Biológicos**

Durante la operación del sistema de tratamiento en conjunto; referido a el Sedimentador - Filtro Aireado Sumergido (FAS) - Filtro Anaerobio (FA), ubicado en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, fue necesario realizar un mantenimiento y limpieza periódico programado.

Tomando en cuenta que, debido a la alta carga orgánica presente en todo el sistema, el mantenimiento y limpieza de cada unidad debía hacerse con mucho cuidado para no alterar las condiciones de funcionamiento del conjunto.

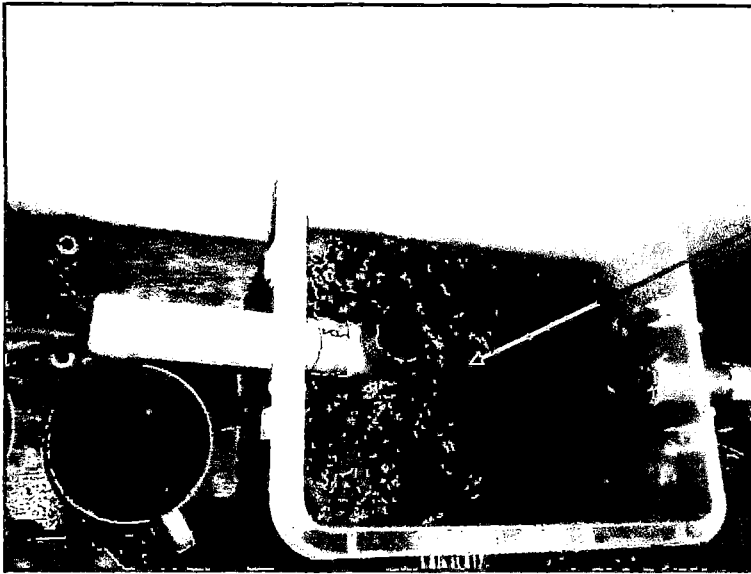
Ya que en todo el Tratamiento son los microorganismos los responsables de la degradación de la materia orgánica, la manipulación del medio en el proceso de mantenimiento propiamente dicho debe ser realizada cuidadosamente, para no alterar las condiciones del medio en cada uno de los filtros. Así como evacuar mínimamente la película biológica ya formada en la manipulación realizada en la limpieza.

A continuación describimos el proceso de mantenimiento de cada uno de los reactores:

#### **4.3.4.1 Mantenimiento del Sedimentador**

El mantenimiento, limpieza y purga de lodos en esta unidad se realizó semanalmente, ya que por sus dimensiones no resultaba dificultoso.

Esta operación se realizó con mucho cuidado tomando en cuenta el uso de implementos de protección como guantes, mascarillas protectoras, enjuague con alcohol o desinfectante antes y después de la manipulación del medio para evitar una posible contaminación ya que esta unidad recibía efluente del RAFAML con alta carga orgánica y en algunas ocasiones el mismo lodo del proceso anterior.

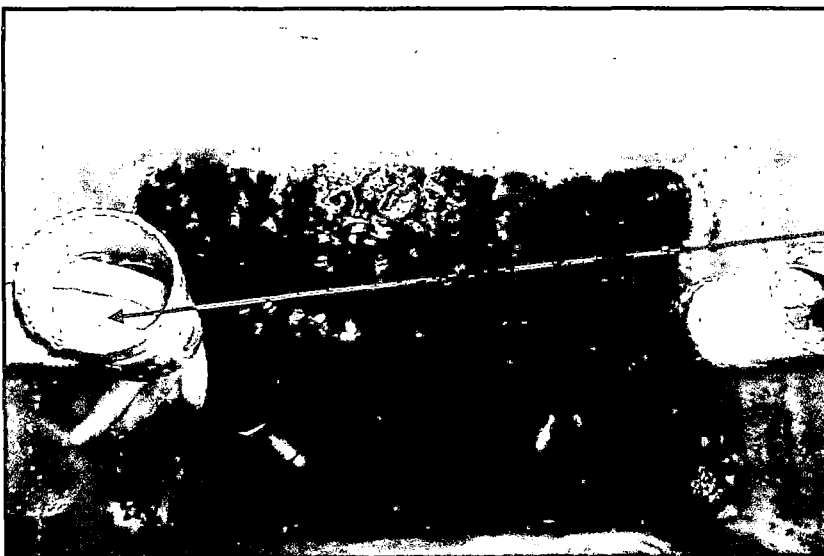


Entrada del efluente, fue ahogado para así evitar la fuga de gases del sistema anterior

*Imagen 55 Mantenimiento del Sedimentador*

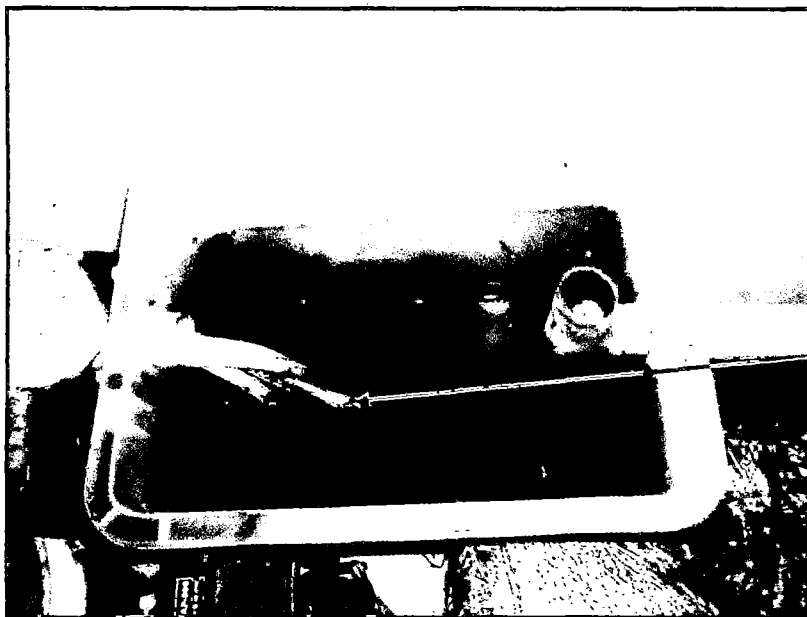
Este sedimentador se encargo de homogenizar la muestra ya que cada RAFAML evacuaba diferente calidad de efluentes, aparte sirvió de trampa de grasa como se nota la nata formada en la superficie del liquido.

#### **4.3.4.2 Problemas presentados en el Mantenimiento del Sedimentador**



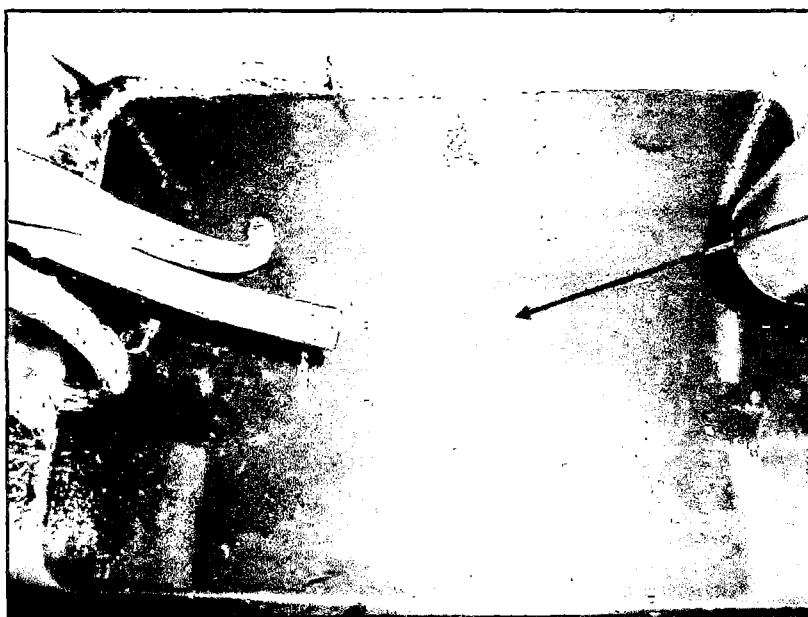
Las mangueras son guiadas con ayuda de la TEE

*Imagen 56 Efluente con un normal funcionamiento de cada una de las unidades del RAFAML, se nota a simple vista el color rojizo característico de este.*



El lodo del RAFAML se deposita en el sedimentador

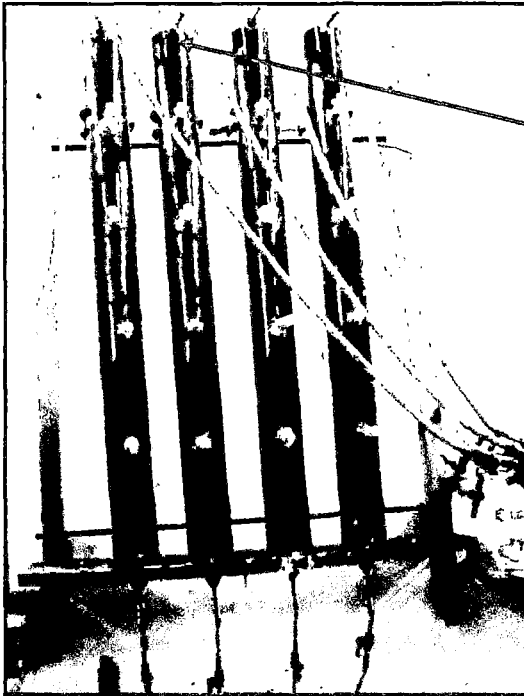
*Imagen 57 Notamos en esta imagen un efluente más oscuro debido a la fuga del lodo.*



Cuando no se controlaba el lodo en el RAFAML, ese lodo se altera el funcionamiento normal del sedimentador.

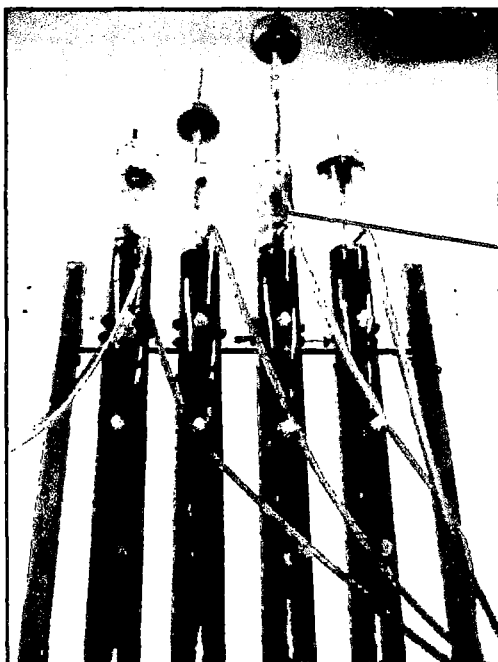
*Imagen 58 Caso extremo cuando se ha fugado lodo del tratamiento primario.*

Evacuación de Lodos del sistema de tratamiento anterior al ingreso del Sedimentador en el RAFAML



Se nota parte del lodo flota en la superficie del reactor

*Imagen 59 Podemos notar una capa de lodo en la parte superior de cada uno de los Reactores RAFAML de diferentes tamaños, este escapa con el efluente hacia el sedimentador.*



Notamos que el lodo logra vencer empujando las tapas y así logrando escapar como parte del efluente hacia el siguiente reactor

*Imagen 60 Notamos que a pesar de que se pego unas tapas unidos a un embudo que tenia la función de evitar el avance del lodo, este lodo logra despegar levantar estas tapas y fugarse del reactor.*

#### 4.3.4.3 Mantenimiento del Filtro Aireado Sumergido

En este reactor el mantenimiento se realizó en forma diaria, presentándose permanentemente la aparición de espumas. A su vez que el mantenimiento propiamente dicho del sistema completo (medio de contacto - recipiente - sistema de aireación) se hizo mensualmente.

##### Espuma generada en el FAS

Debido a que desde el arranque del reactor se tuvo la presencia excesiva de espumas, las cuales aparecían y aumentaban considerablemente con el proceso de aireación del filtro generando así un rebose desmedido en su ubicación. Donde caía la espuma generaba una mancha de color rojo característico, así mismo por el olor fuerte del agua residual tratante era esperada la presencia de mosquitos. Inicialmente se colocó una cobertura de plástico de contacto, que pretendía evitar el desborde de las espumas, cosa que no funcionó, debido a que las mismas, se formaban en grandes cantidades y conseguían salir por las mínimas aberturas de esta cobertura.

Observándose que las espumas aumentaban con la aireación constante, se consideró disminuir la cantidad de aire al sistema, lo cual si bien disminuía la formación de espumas, también alteraba las condiciones favorables para la aparición de la película biológica; cosa que no era lo apropiado para la investigación.

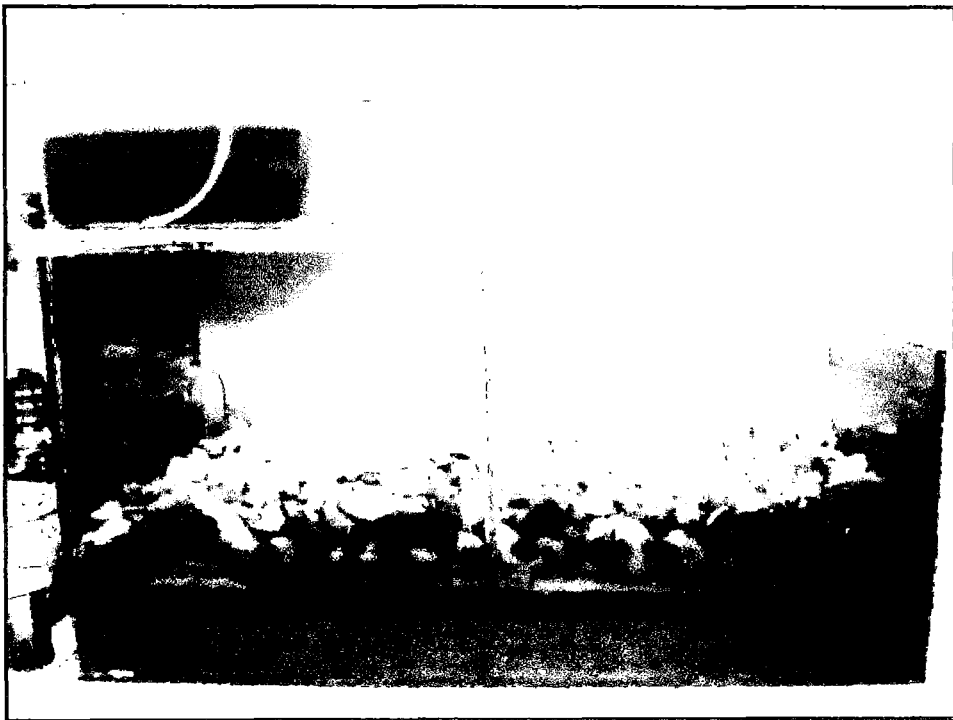
Por tanto se optó por darle una solución física a la presencia de espumas, tomando en cuenta que aparecen con el burbujeo del sistema de aireación se debía buscar la desaparición natural de ellas mismas por un medio físico. Tomando en cuenta que al separarse las burbujas revientan, se consideró la colocación de una malla plástica, la cual fue colocada completamente en ambas superficies del Filtro Aireado Sumergido.

Esta solución fue efectiva, mas aun se tuvo un control permanente del filtro, ya que seguía habiendo fugas mínimas en el sistema en marcha para esta unidad. Debiéndose hacer la limpieza constante de los alrededores del Filtro, lugar donde podía presentarse estas fugas mínimas.

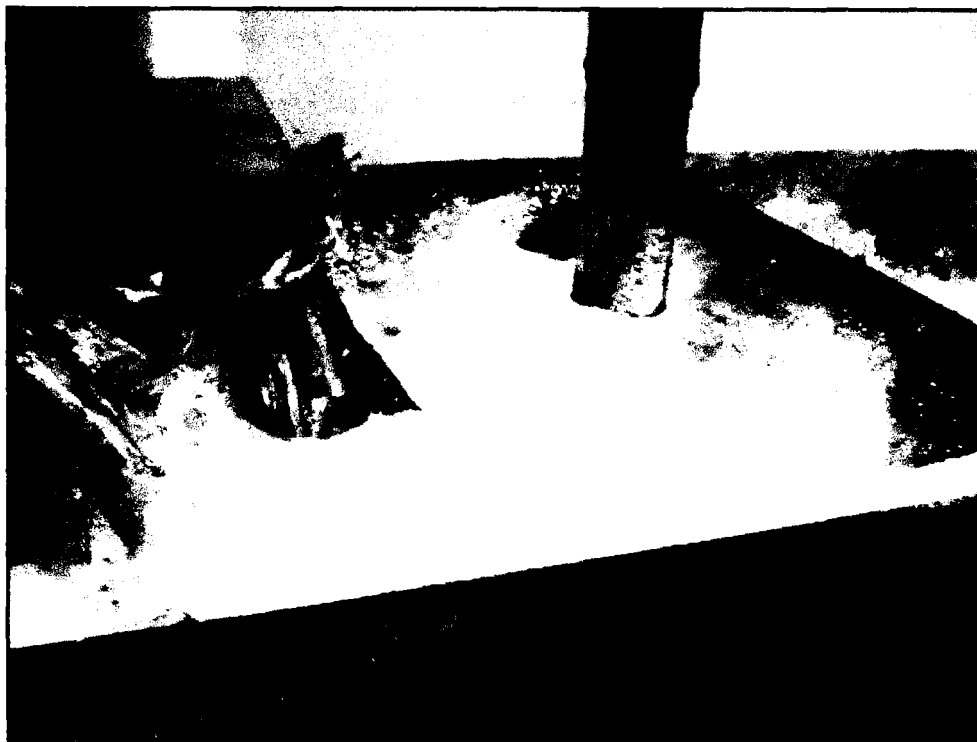




*Imagen 61 Primera presencia de espumas*



*Imagen 62 Espumas originadas al momento de la puesta e marcha*



*Imagen 63 Generación excesiva de espumas en el filtro*



*Imagen 64 Generación excesiva de espumas en el filtro*

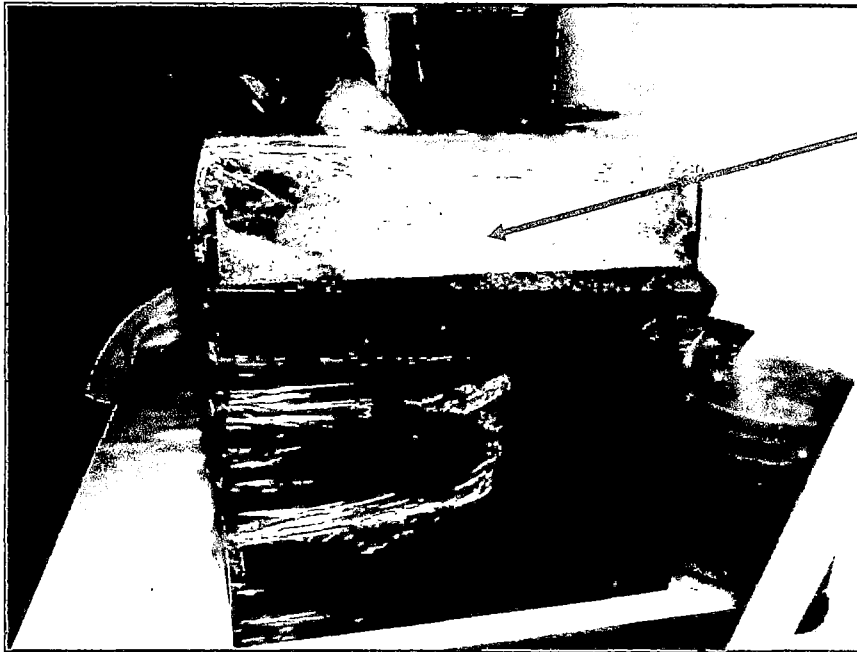


Las espumas también se presentan al momento de la homogenización de la muestra, con la sola acción mecánica del mezclado.

*Imagen 65 La presencia de las espumas es característico de esta agua residual en la foto notamos que con solo verter de un recipiente a otro ya se provocaba la aparición de las espuma.*



*Imagen 66 Formación de espumas en el arranque del reactor*



Espuma fugando por la entrada del modulo

*Imagen 67 Espuma producida por el reactor. Este residuo de la espuma, aparte de ensuciar, provocaba el olor característico del agua residual.*



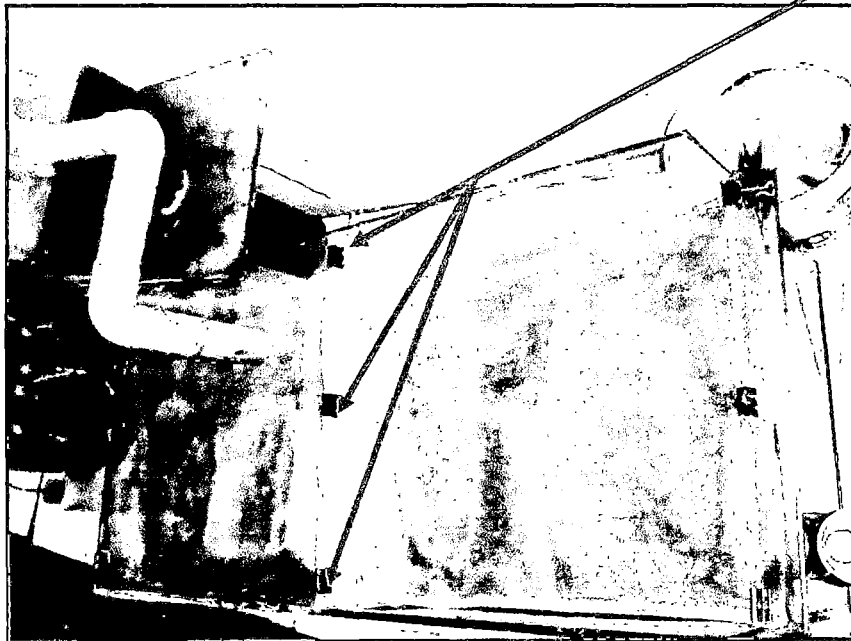
A pesar de que se le coloco un forro y objetos para contener la fuga, las espumas siempre se filtraban por alguna abertura

*Imagen 68 Al inicio se utilizo solo un forro de plástico para el control de las espumas no siendo efectivo ya que esta espuma fugaba provocando molestias.*



Residuo de la fuga de las espumas

*Imagen 69 Se procedió a forrar después de la colocación de la maya notando aun fugas en lugares donde no se había asegurado la maya*



Ganchos que sujetan las mallas

*Imagen 70 Instalación de las mallas para el control de las espumas*



*Imagen 71 Malla utilizada para el control de las espumas del reactor*

### Superficie del medio de contacto

El mantenimiento de este medio se realizaba cada vez que se hacía el mantenimiento al sistema completo, ya que debía desmontarse toda la unidad.

Este se realizaba de forma manual, al momento de retirar el líquido del reactor se desprendía la biopelícula excedente retirando por un periodo corto de tiempo (1-2 horas) el medio de contacto para proceder al mantenimiento de los demás componentes del reactor.

Cabe resaltar que la manipulación de este material debía hacerse con mucho cuidado; usando implementos de protección personal como guantes, mascarilla, alcohol, y desinfectantes antes y después de la exposición con el sistema ya que la alta carga orgánica presente podría causar graves infecciones por la exposición directa con esta agua residual.



*Imagen 72 La biopelícula se formo rodeando el medio de contacto y la superficie del filtro*



*Imagen 73 Biopelícula formada en la grava*



*Imagen 74 La biopelícula también estuvo presente el soporte de la grava*

#### *Mantenimiento del Modulo del Filtro Aireado Sumergido*

Para el mantenimiento del sistema completo se debía desmontar completamente la unidad, retirando la cubierta de plástico superficial, así mismo retirando y limpiando la malla controladora de espumas, después se retiraba la grava y el soporte de ésta, se procedía a evacuar entonces el líquido restante, el cual era retirado en forma manual y con sumo cuidado para no afectar a los difusores ubicados en el fondo y evitar expulsar el lodo producido en este proceso para luego ser medido.



Limpeza del modulo del Filtro Biológico Aireado Sumergido



Se encontró que la biopelícula estaba adherida al difusor

*Imagen 75 Formación de lodo o lama en el fondo del recipiente se nota un color marón rojizo característico de la biopelícula y de la procedencia de esta agua residual*

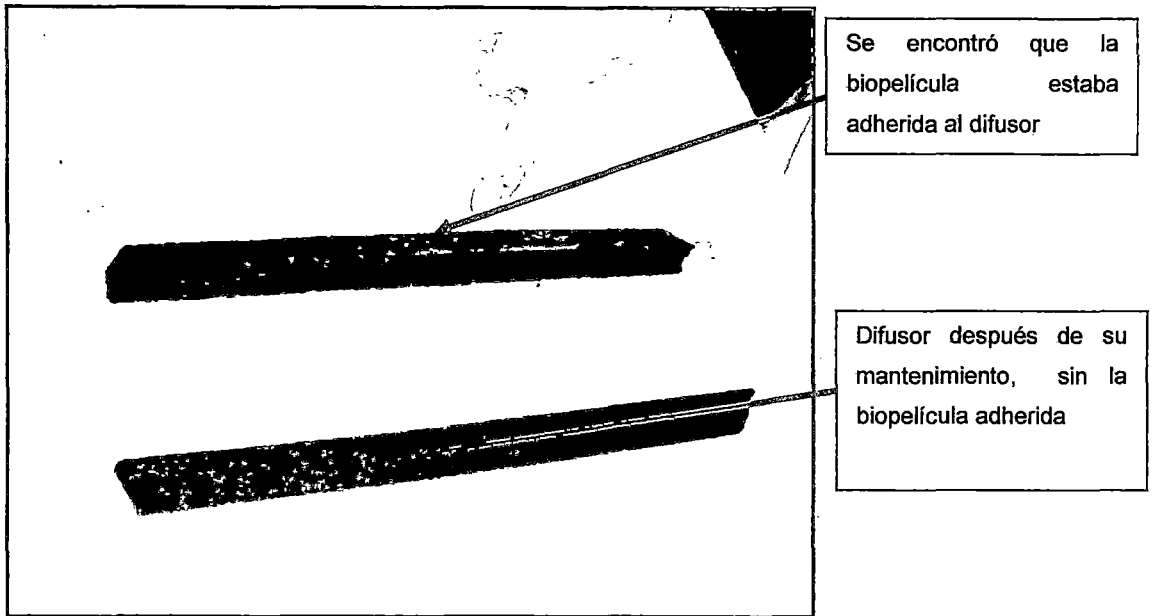
Sistema de Aireación

El mantenimiento de esta parte del sistema consistía en la revisión de los equipos de venoclisis y las dos bombas, sin presentarse ningún problema durante toda la investigación.

El mantenimiento de los difusores se realizó cuando se desmontó toda la unidad realizándose la inspección y medidas correctivas necesarias a estos mismos.

La limpieza de los difusores se realizó con ayuda de unos cepillos de dientes ya que este elemento del sistema de aireación es delicado y podría desprenderse parte de su estructura, rajarse o en el peor de los caso romperse la piedra porosa.

Después de la limpieza de los mismos se procedía a probar los difusores en agua para comprobar su buen funcionamiento antes de su instalación.



*Imagen 76 Comparación de difusores- Con limpieza y sin e limpieza*

#### **4.3.4.4 Mantenimiento del Filtro Anaerobio**

En éste modulo también se consideró instalar un recubrimiento plástico a nivel superficial para evitar la presencia de moscas, mosquitos etc. Así mismo disminuir la emisión de olores persistentes que se tenía en el agua residual tratada.

Para la limpieza de esta unidad fue necesario evacuar todo el volumen del agua residual del modulo, lo cual se hizo manualmente hasta quedar sin liquido y de ahí hacer la limpieza respectiva en toda la unidad limpiando los contornos del reactor internamente debido a la presencia de una película biológica de color blanquecino semejante a la apariencia del residuo que deja la grasa.

Después de la limpieza se procedía a instalar la cubierta de plástico y finalmente la malla que ubicaba el ingreso de la manguera que conducía el agua tratada.



Se encontró una capa biológica adherida en todas las paredes del reactor

*Imagen 77 Esta capa apareció durante todo el mantenimiento del filtro anaerobio por la consistencia se descarta que sea grasa*

#### 4.3.5 Caracterización del Agua Residual a Tratar

El agua residual cruda es proveniente del área de Beneficio de animales, la toma de muestra se hizo a la entrada de la planta de tratamiento del Camal, en la tubería de ingreso, previo al proceso de coagulación.



Cono Imhoff

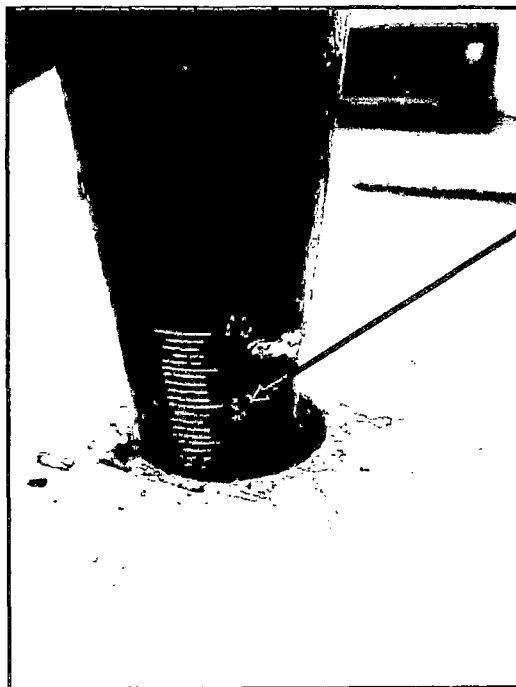
*Imagen 78 Cono Imhoff utilizado para los sólidos sedimentables del crudo, a la derecha pera con válvula utilizado para el análisis de aceites y grasas.*



Embudo con  
Papel Filtro N°40

Botellas con tapa  
esmerilada

*Imagen 79 Recipientes utilizados para el muestreo a la izquierda uno con el embudo y papel filtro Nro. 40 y a la derecha las botellas con tapa esmerilada para el análisis de la DBO5*



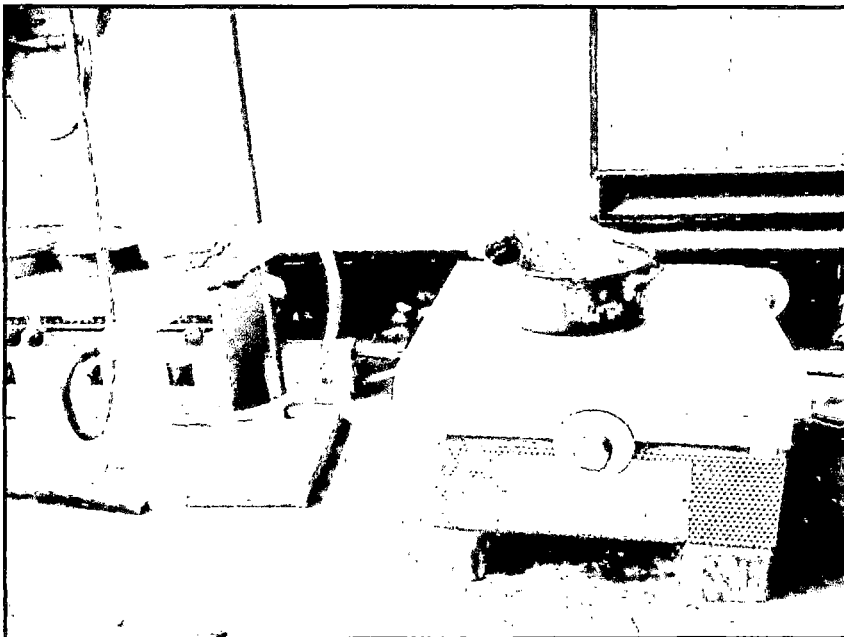
Sólidos del crudo que han  
sedimentado

*Imagen 80 Se inspecciona el cono Imhoff después de una hora para medir la cantidad de sólidos que han sedimentado.*

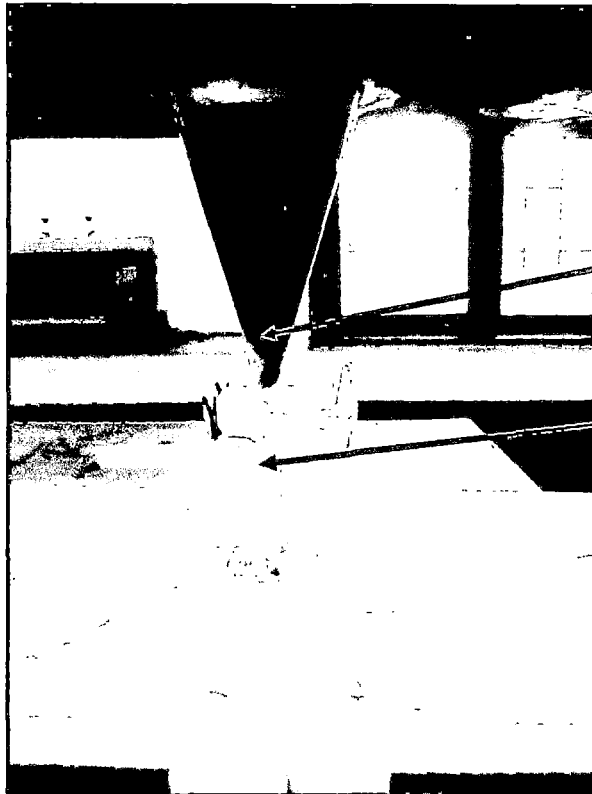


El hexano con los aceites y grasas se depositan en la parte superior

*Imagen 81 La pera en la cual se ha vertido hexano para el análisis de aceites y grasas*



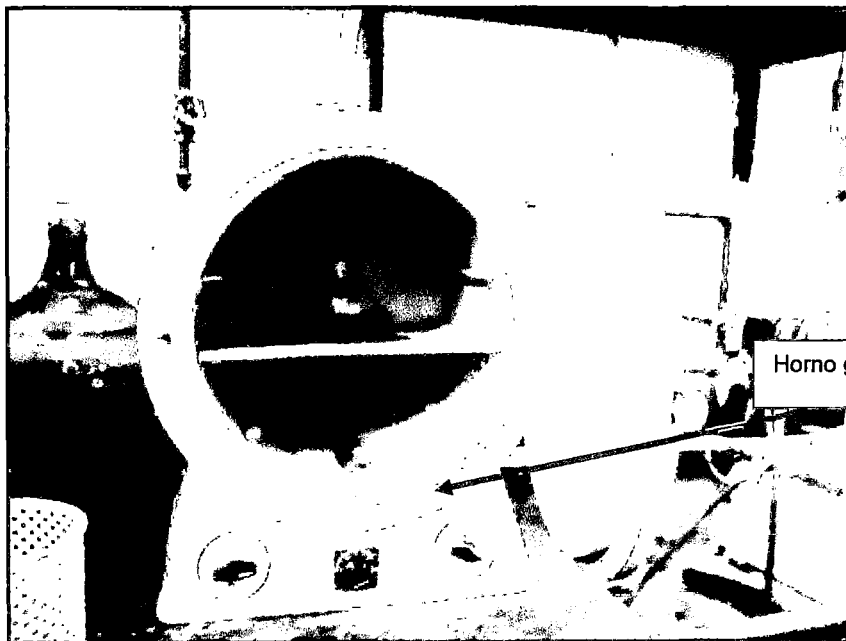
*Imagen 82 Se coloca en "Baño María" para extraer el exano utilizado para el análisis de aceites y grasas*



División de las dos fases

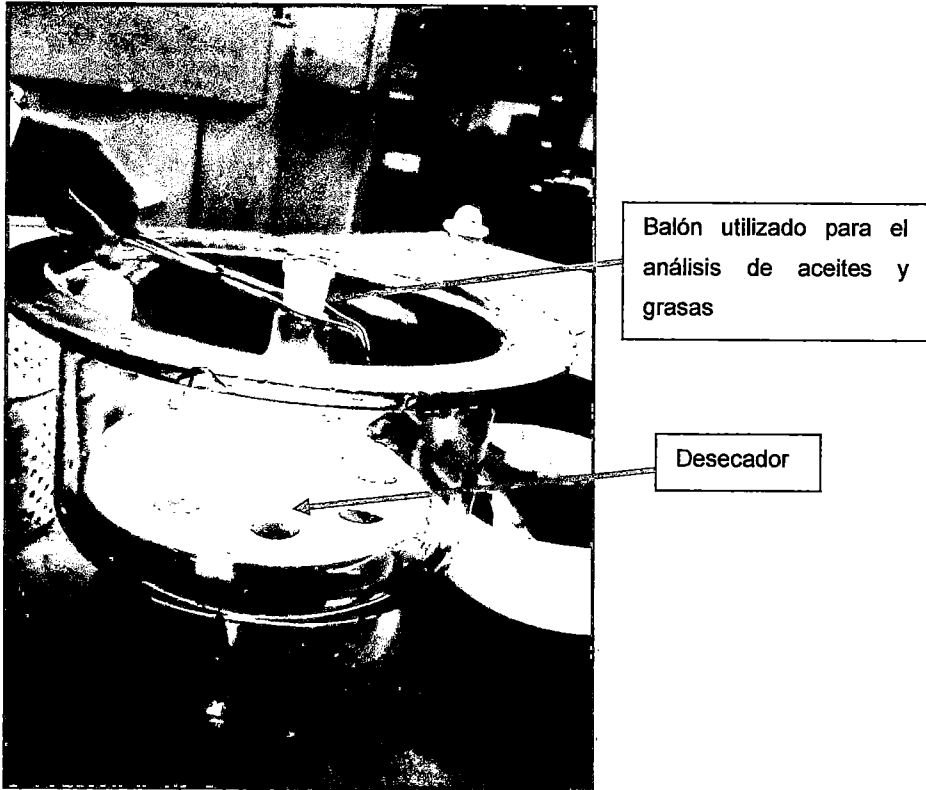
Se procede a evacuar la fase líquida

*Imagen 83 Se nota las dos fases que se forman, donde se extraerá el líquido que está en la parte inferior quedando el exano con los aceites y grasas en la parte superior.*

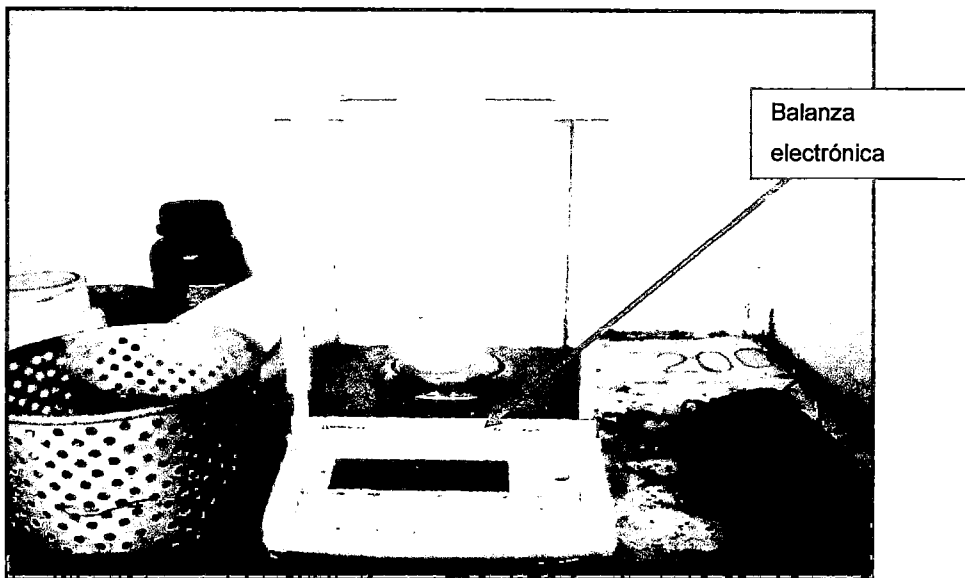


Horno graduado a 65°C

*Imagen 84 Horno para la eliminación de humedad restante en el balón.*



*Imagen 85 Desecador utilizado en el acondicionamiento del recipiente usado en el análisis de Aceites y Grasas*



*Imagen 86 Balanza electrónica utilizada para pesar el balón y el residuo del análisis de aceites y grasas*

En la tabla mostrada a continuación se muestra la caracterización del agua residual cruda procedente del mismo canal que el agua residual usada en la presente investigación. Esta caracterización fue realizada un año antes.

**Tabla 20. Caracterización del agua residual – Período anterior**

| PARAMETRO           | UNIDAD    | RESULTADOS       | FECHA      |
|---------------------|-----------|------------------|------------|
| Ph                  | mg/L      | 7.2              | 04/02/2009 |
| DQO                 | mg/L      | 8810             | 04/02/2009 |
| DBO                 | mg/L      | 3266             | 04/02/2009 |
| SST                 | mg/L      | 2795             | 04/02/2009 |
| SDT                 | mg/L      | 4795             | 04/02/2009 |
| ST, ST=SDT-SST      | mg/L      | 2000             | 04/02/2009 |
| SSV                 | mg/L      | 145              | 04/02/2009 |
| Aceites y grasas    | mg/L      | 0.4              | 04/02/2009 |
| Nitrógeno Total     | mg/L      | 2.59             | 04/02/2009 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L      | 24.88            | 04/02/2009 |
| Nitrógeno Orgánico  | mg/L      | 2.41             | 04/02/2009 |
| Fosforo Total       | mg/L      | 51.25            | 04/02/2009 |
| Coliformes Fecales  | NMP/100mL | $7.0 \cdot 10^9$ | 04/02/2009 |
| Coliformes Totales  | NMP/100mL | $9.0 \cdot 10^9$ | 04/02/2009 |
| Alcalinidad Total   | mg/L      | 640.8            | 04/02/2009 |

La siguiente tabla nos muestra los resultados obtenidos para la caracterización del agua residual procedente del Canal:



**Tabla 21 Caracterización del agua residual antes del tratamiento elaborada <sup>39</sup>**

| PARÁMETRO             | UNIDAD | RESULTADOS | FECHA      |
|-----------------------|--------|------------|------------|
| DQO                   | mg/L   | 3380       | 18/02/2010 |
| DBO5                  | mg/L   | 1266       | 18/02/2010 |
| SST                   | mg/L   | 3872       | 18/02/2010 |
| SDT                   | mg/L   | 8688       | 18/02/2010 |
| ST                    | mg/L   | 10772      | 18/02/2010 |
| SSV                   | mg/L   | 2084       | 18/02/2010 |
| Aceite y grasas       | mg/L   | 200        | 18/02/2010 |
| Sólidos sedimentables | mL/h   | 35.5       | 18/02/2010 |

#### 4.4 ENSAYOS O PRUEBAS REALIZADAS

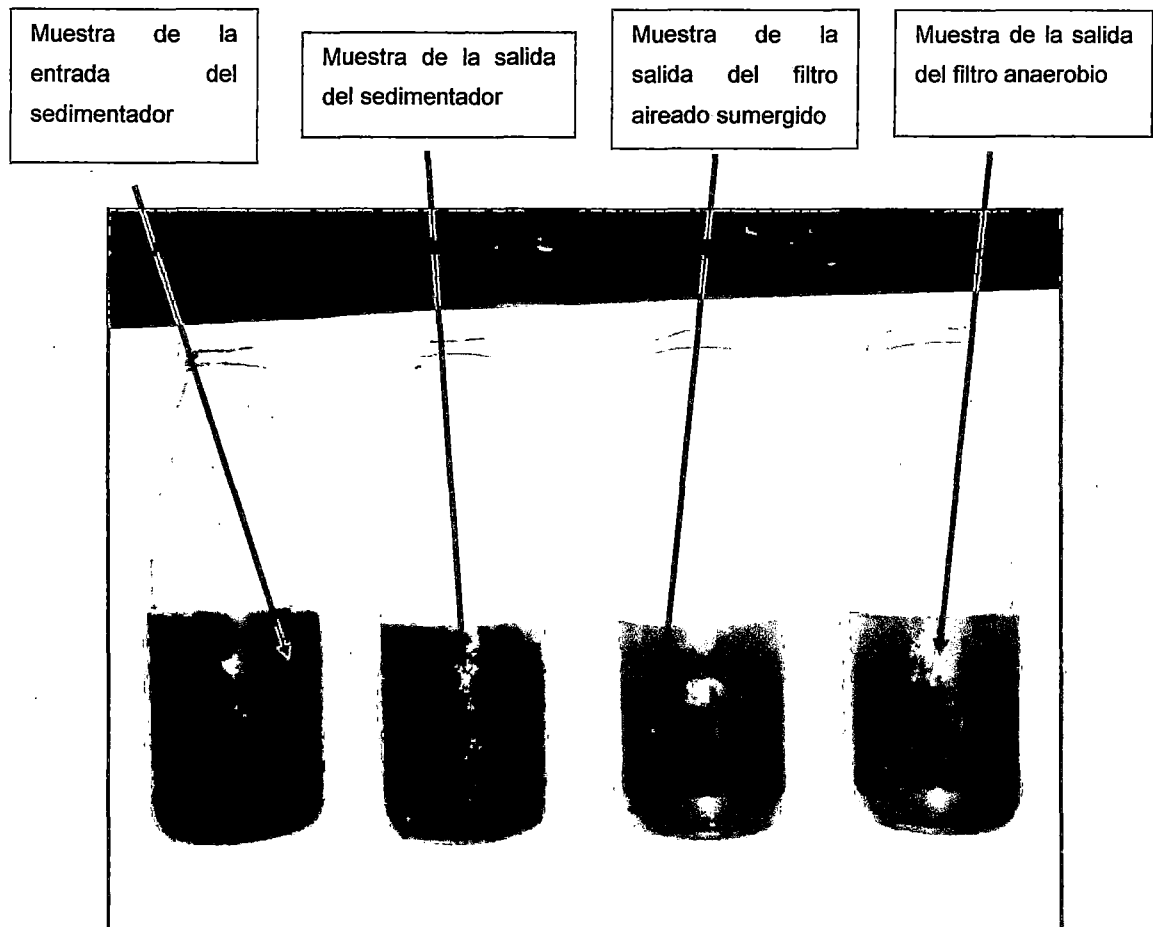
##### 4.4.1 Temperatura y Ph

La medición de la Temperatura y Ph se realizó todos los días del funcionamiento a las 9:00 a.m. aproximadamente, haciendo uso del Multiparametro de marca Hach.

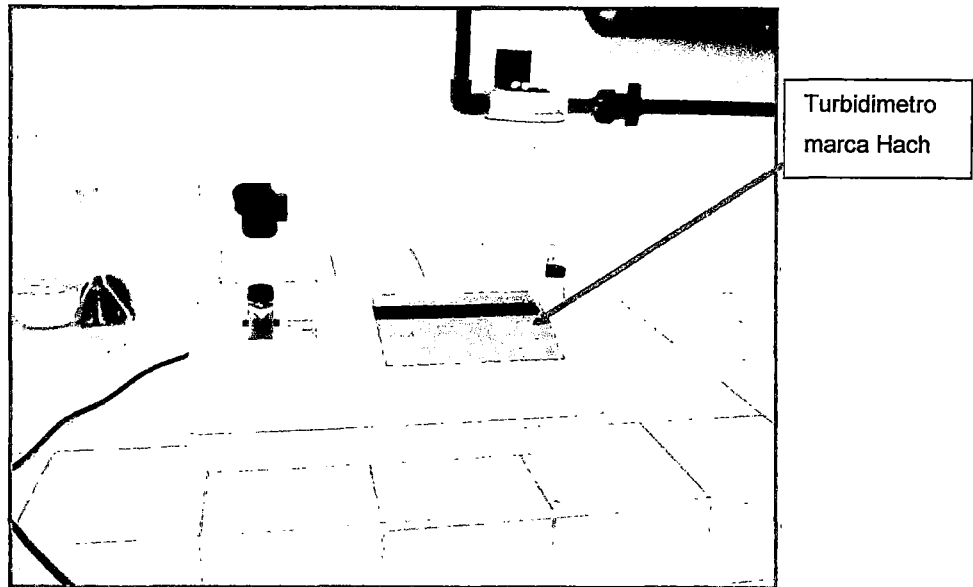
##### 4.4.2 Turbidez

Este parámetro fue medido una vez a la semana, después de sacar las muestras de cada unidad, haciendo uso del espectrofotómetro de marca Hach.

<sup>39</sup> Procedencia: Ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.



*Imagen 87 Muestras de las entradas y salidas de: Sedimentador, Filtro aireado sumergido y filtro anaerobio, respectivamente, notándose un cambio en la calidad de cada efluente*



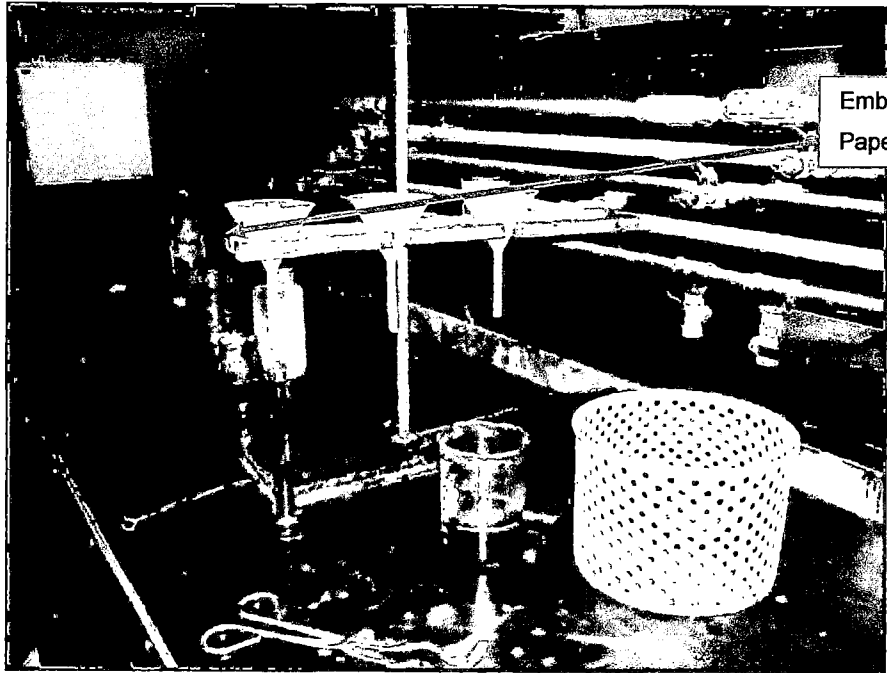
*Imagen 88*

#### **4.4.3 Oxígeno Disuelto (OD)**

La medición de este parámetro fue importante para controlar que el Filtro Aireado Sumergido tenga las condiciones apropiadas para su normal funcionamiento. Esta medición se hizo diariamente así como el Ph y la temperatura, en este proceso también se utilizó el multiparametro marca Hach.

#### **4.4.4 Sólidos**

La medición de Sólidos se hizo en forma interdiaria, evaluándose los sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos en el afluente y efluente de cada reactor. Fue determinada de acuerdo al método gravimétrico indicado en los Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Aguas Residuales APHA – AWWAWPCF.



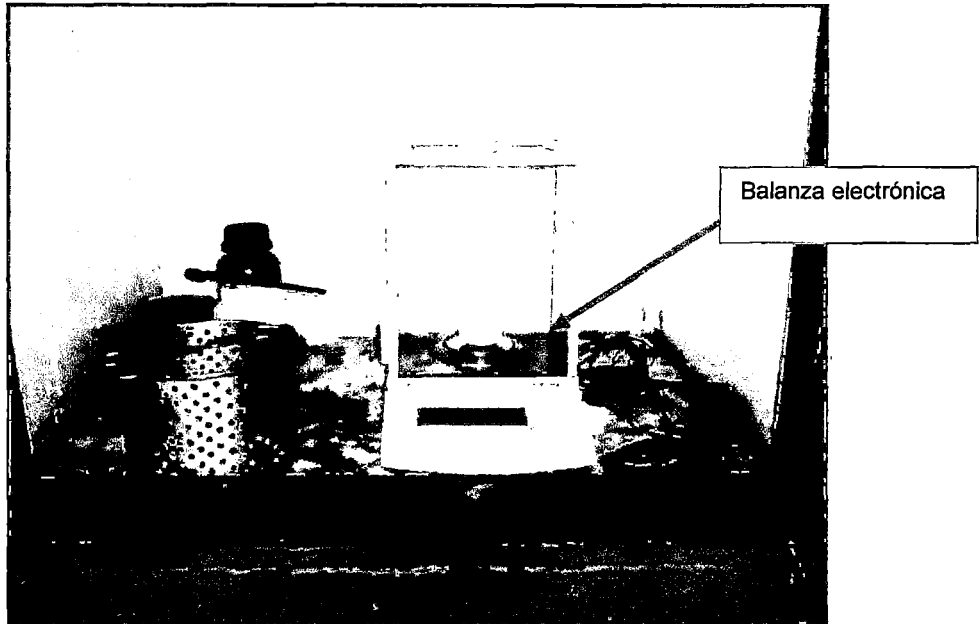
Embudo con  
Papel Filtro Nº 40

*Imagen 89 Embudo solo y embudo con papel filtro Nº40 para el análisis de sólidos*

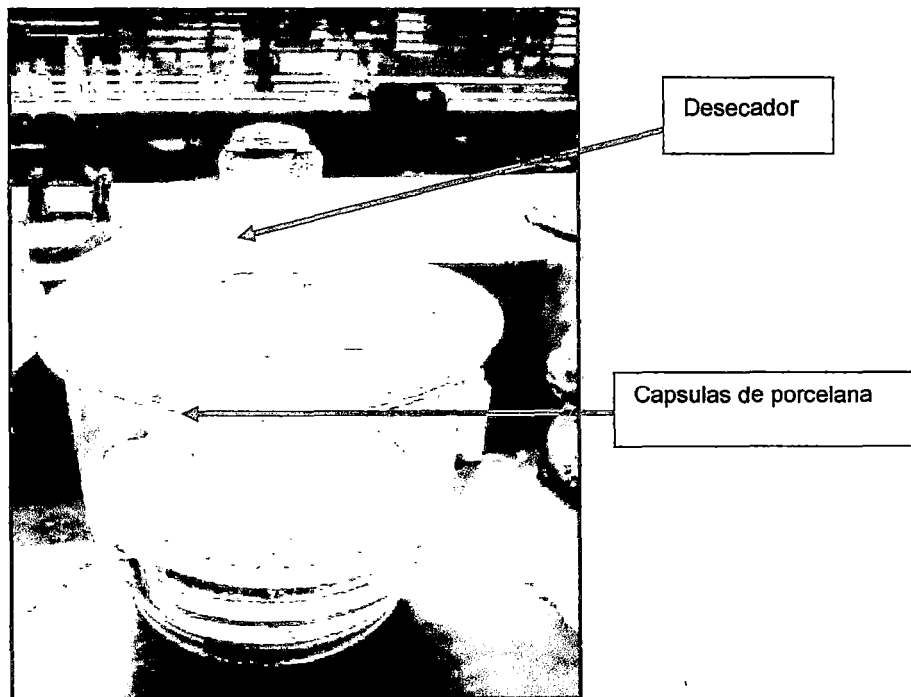


Plancha utilizada para  
acelerar el proceso de  
evaporación para el análisis  
de sólidos

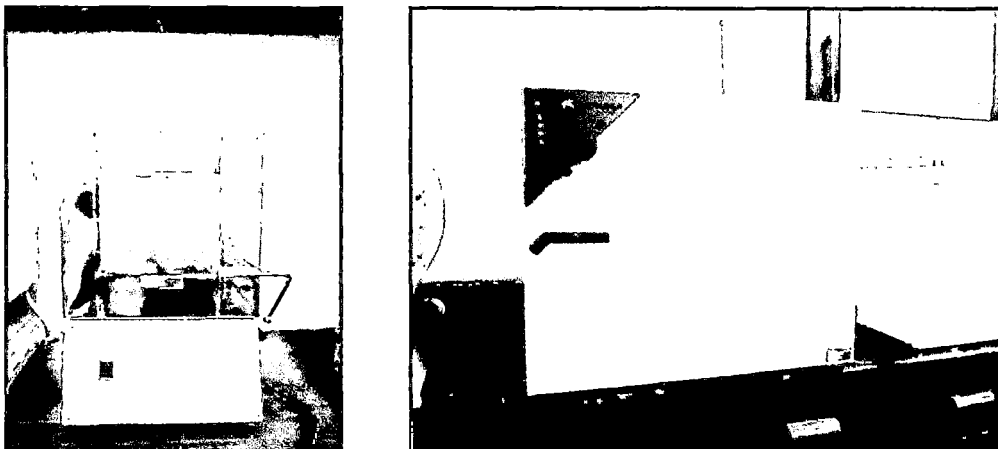
*Imagen 90 Plancha que ayuda a la evaporación del líquido para el análisis de sólidos*



*Imagen 91 Balanza electrónica izquierda*



*Imagen 92 Desecador*



*Imagen 93 Mufla que llega hasta 650°C para el acondicionamiento de las capsulas de porcelana a la derecha se tiene el horno utilizado para el análisis de sólidos que se realizaba*

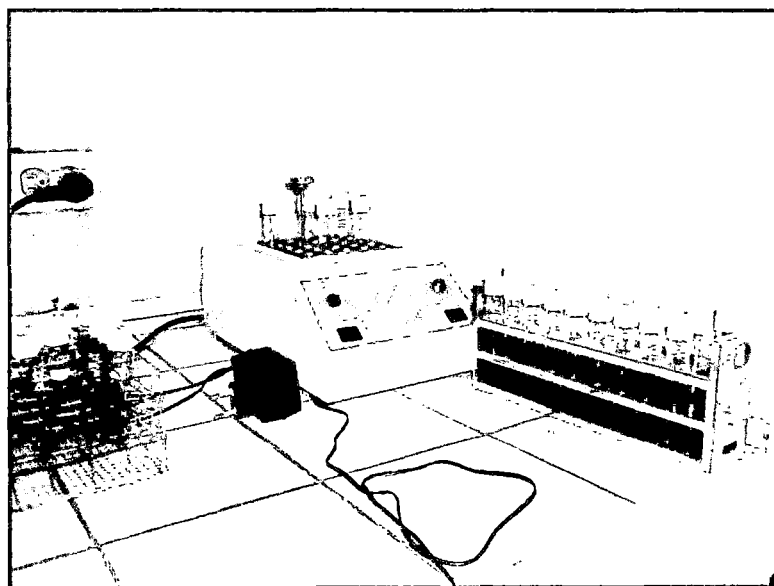
#### **4.4.5 Demanda Química de oxígeno**

Este parámetro constituye el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente, por compuestos no orgánicos que contiene el agua residual, Este parámetro fue medido con ayuda de unas celdas para medición de DQO, el digestor y colorímetro marca Hach.

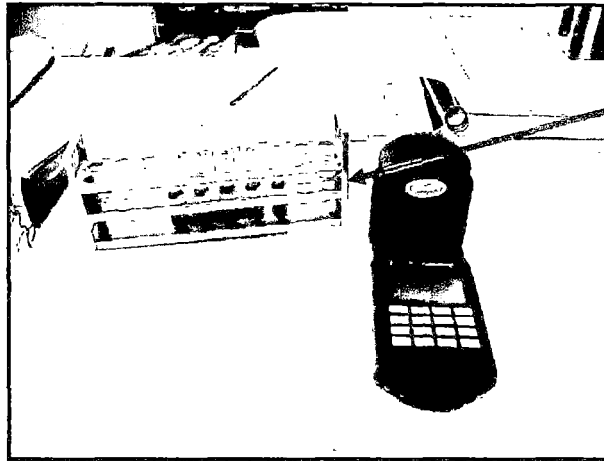


Se coloca la muestra en las celdas para el análisis de DQO se debe hacer diluciones

*Imagen 94 Colocando la muestra diluida a las celdas para la medición de DQO*



*Imagen 95 Digester marca hach*



Colorímetro para análisis de DQO

*Imagen 96 Gradilla con las celdas para el análisis de DQO a la derecha Colorímetro marca Hach utilizado para las mediciones de las celdas en el análisis de DQO*

#### 4.4.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno

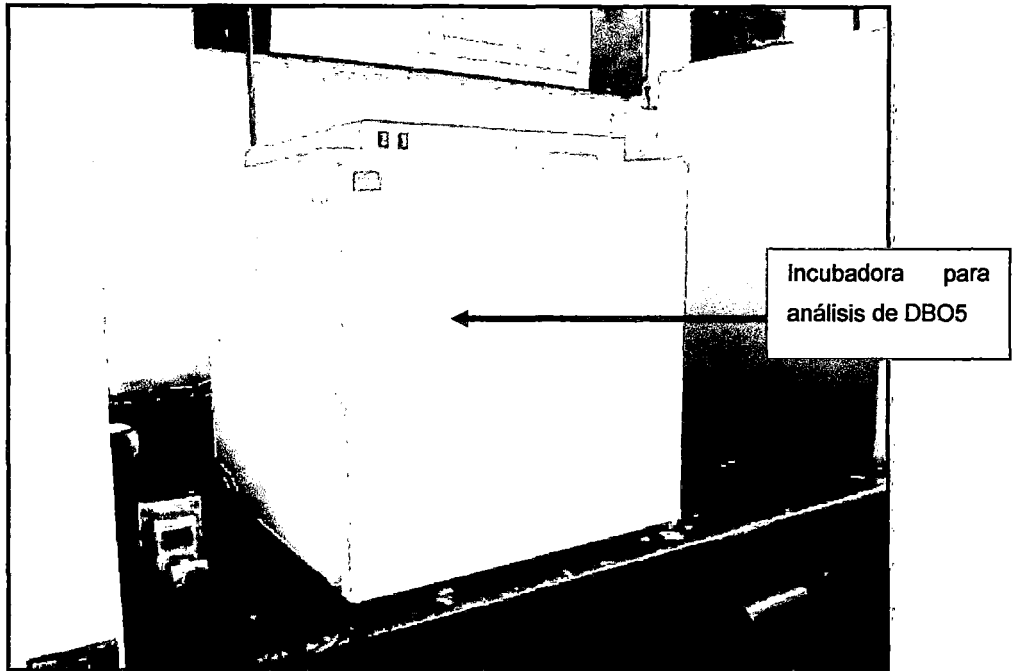
Este parámetro fue de gran importancia en la determinación del grado de eficiencia de remoción de materia orgánica en el sistema de tratamiento planteado.



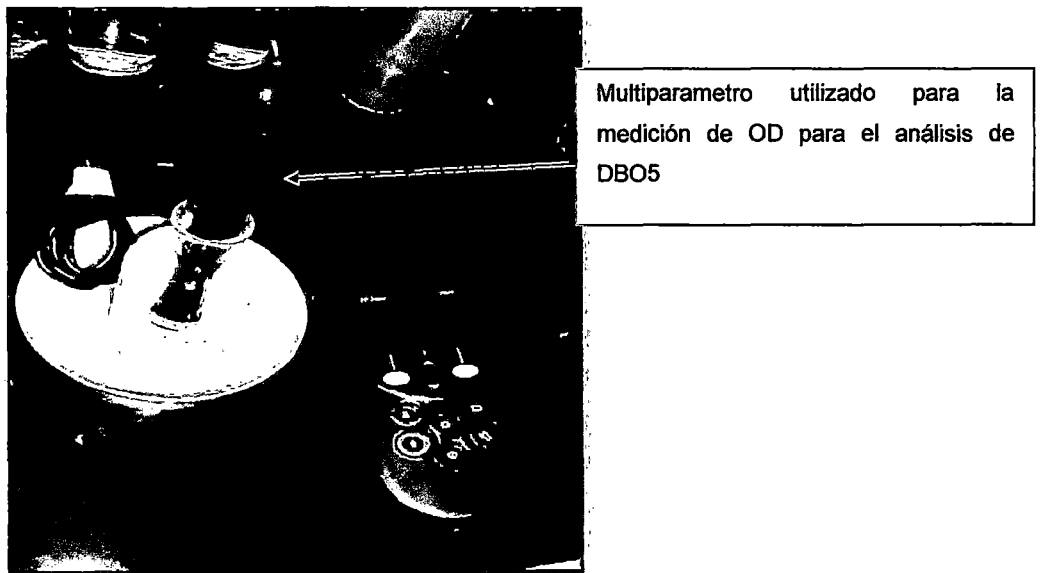
Agua de dilución para análisis de DBO5

*Imagen 97 En el balde se prepara el agua de dilución y se procede a cubrir las diluciones de las muestras con esta agua preparada*





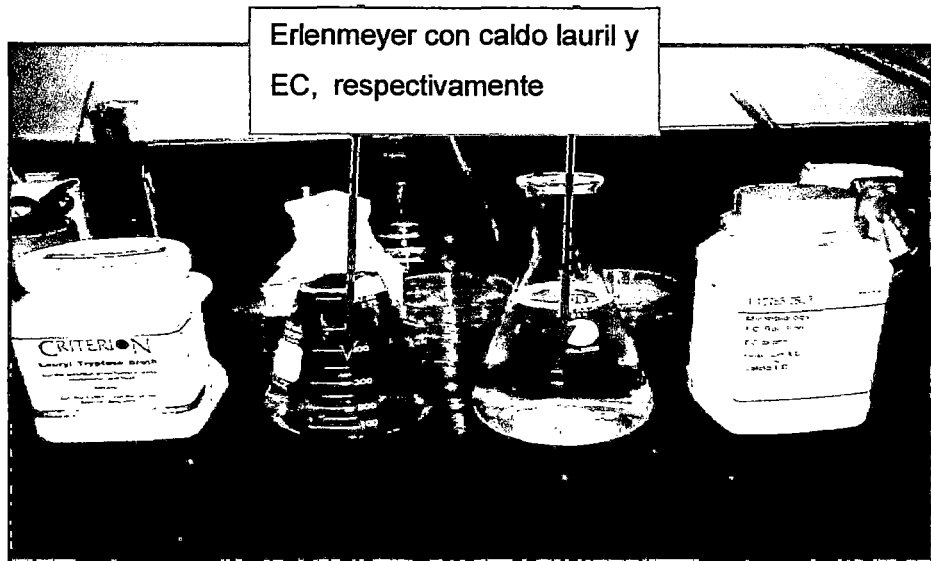
*Imagen 98: Incubadora utilizada para el análisis de DBO5*



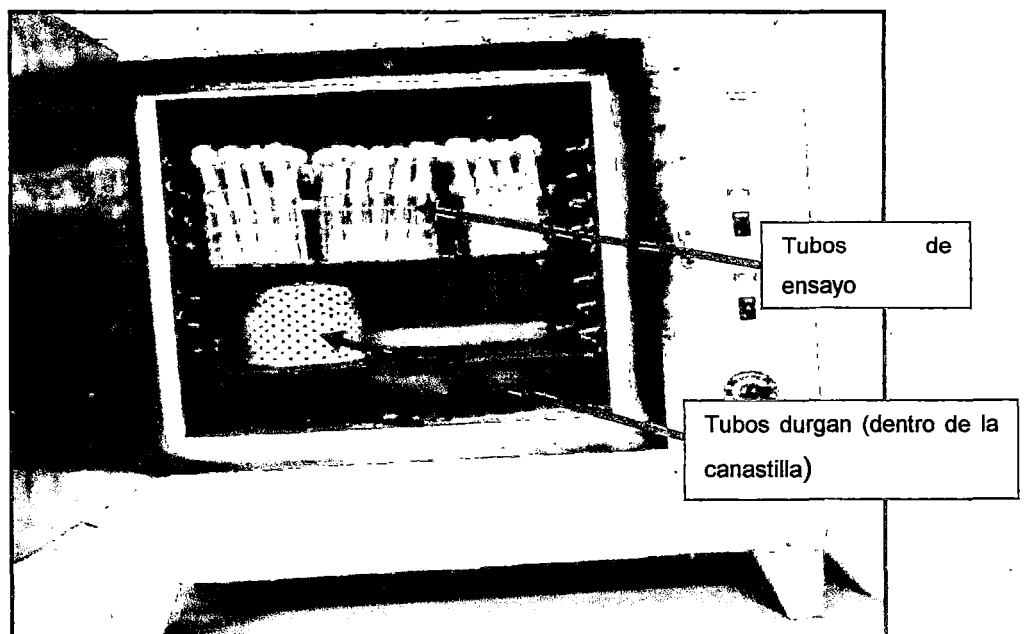
*Imagen 99: Multiparámetro marca HACH*

#### 4.4.7 Coliformes Termotolerantes

Los coliformes termotolerantes o coliformes fecales fueron determinados mediante el procedimiento de número más probable (NMP) por tubos múltiples de acuerdo a los métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Aguas Residuales APHA – AWWA-WPCF.



*Imagen 100 Preparación en los erlenmeyer de los caldos lauril y EC*



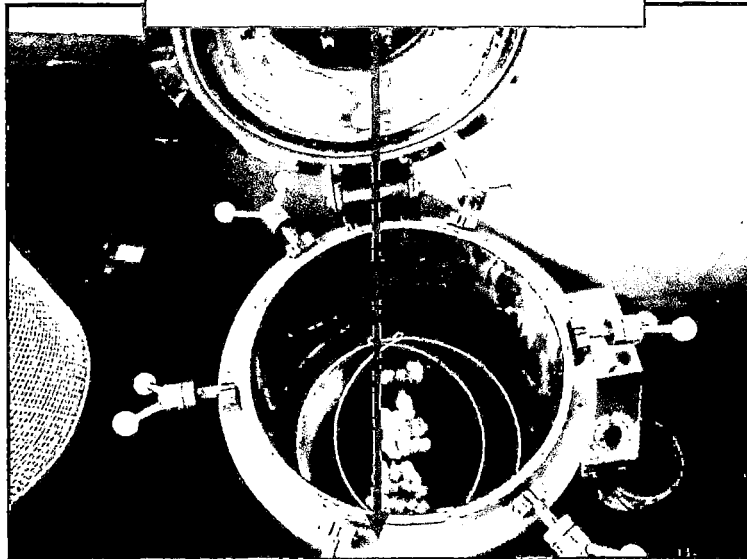
*Imagen 101 Esterilización de los tubos de ensayo y durgan antes de realizar el análisis*

Tubos de ensayo con los caldos y las muestras inoculadas

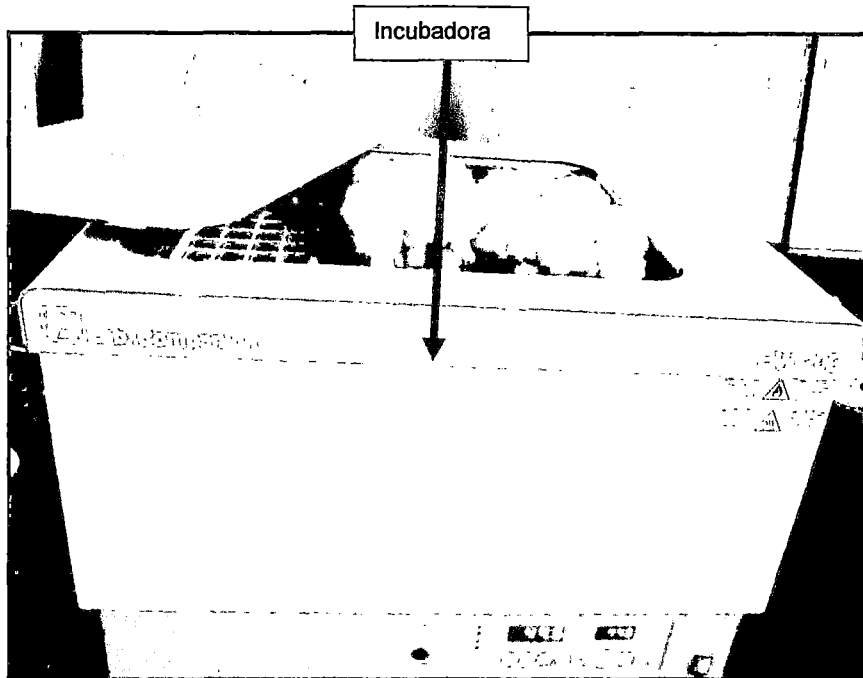


*Imagen 102 Tubos de ensayo utilizados para las dos pruebas con los caldos EC y lauril*

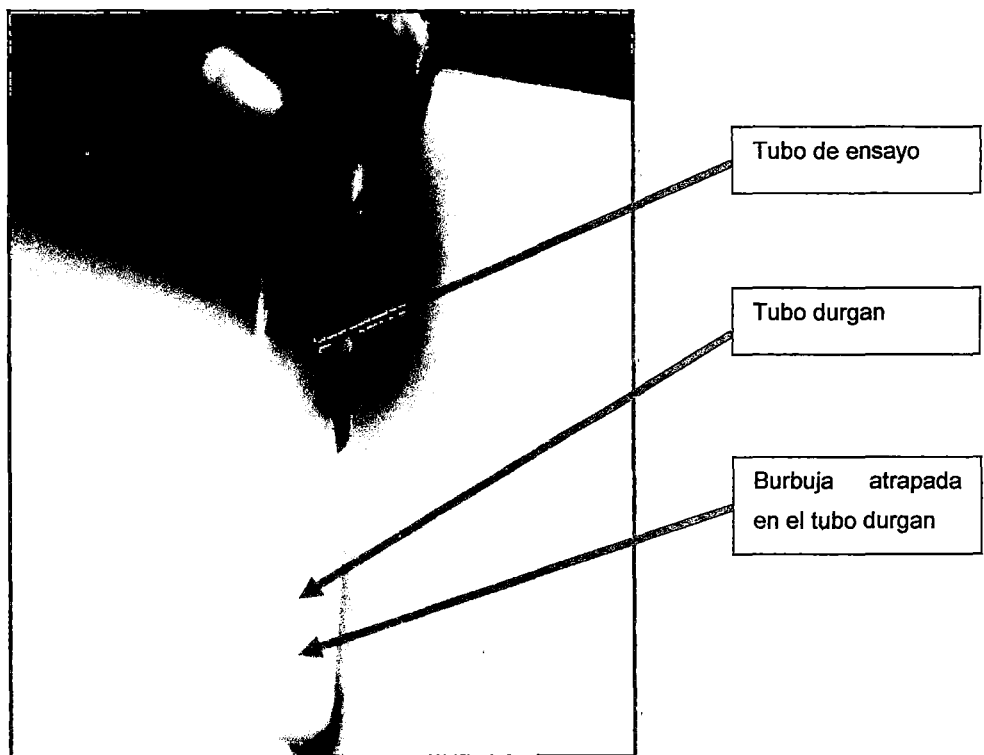
Esterilización de los tubos de ensayo



*Imagen 103 Después de la prueba con el caldo EC se esterilizó los tubos de ensayos y tubos Durgan con ayuda del autoclave*



*Imagen 104 Incubadora utilizada para la determinación de los coliformes termotolerantes*



*Imagen 105 En el tubo Durgan instalado boca abajo del tubo de ensayo se nota la presencia de una burbuja característica de los coliformes*

#### 4.4.8 Aceites y Grasas

La cantidad de aceites y grasas fueron determinados mediante el procedimiento de acuerdo a los métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Aguas Residuales APHA – AWWA-WPCF.

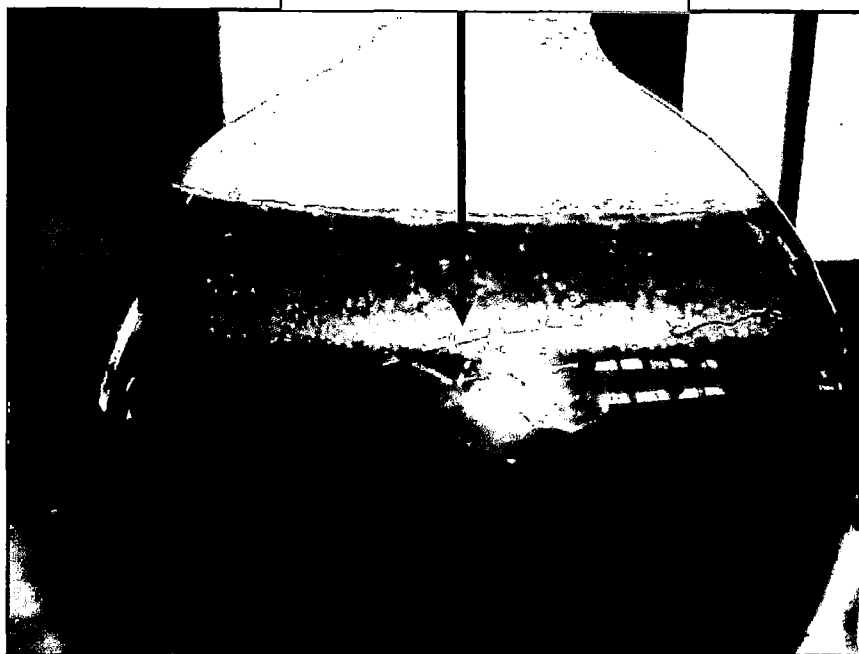


*Imagen 106 En estos recipientes de boca ancha se procedió a la recolección de las muestras en cada punto (entrada y salida) de cada una de las unidades*

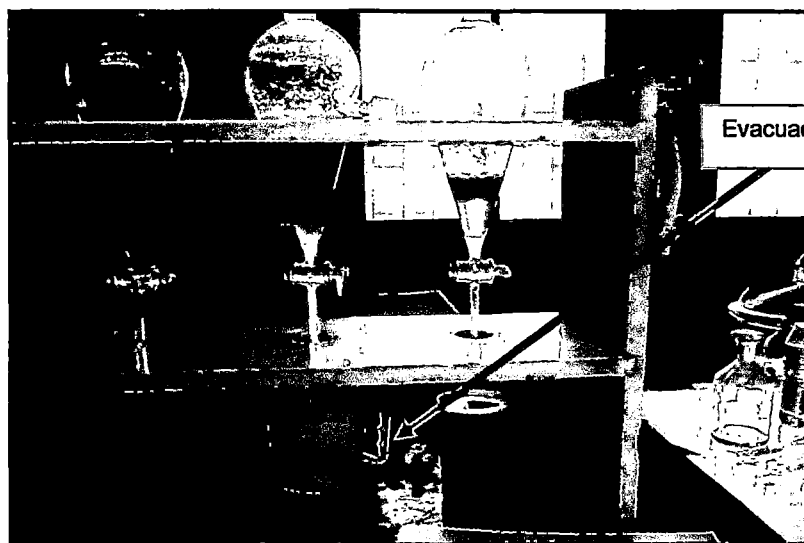


*Imagen 107 En estas peras con válvulas se colocó la muestra (1 litro) y se le añade exano*

Exano mezclado con los aceites y grasas de la muestra

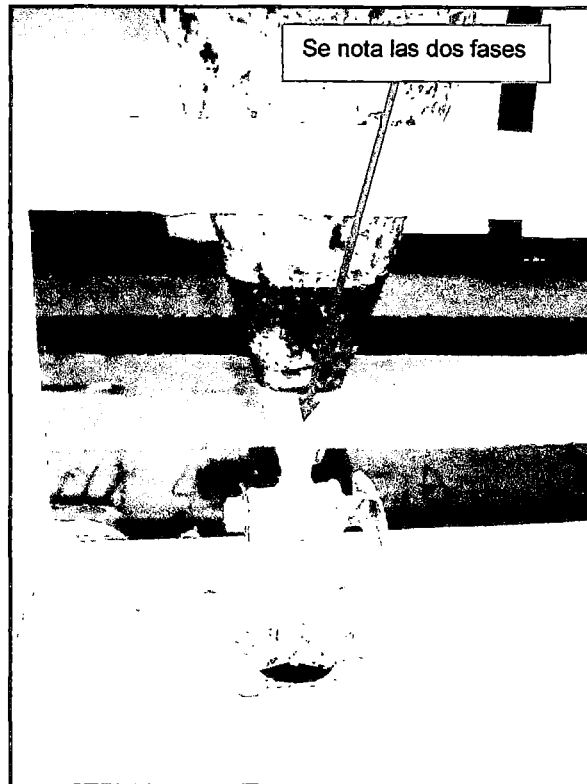


*Imagen 108 El exano se vierte hasta que forme una capa de 2 cm aproximadamente*



Evacuación de la fase líquida

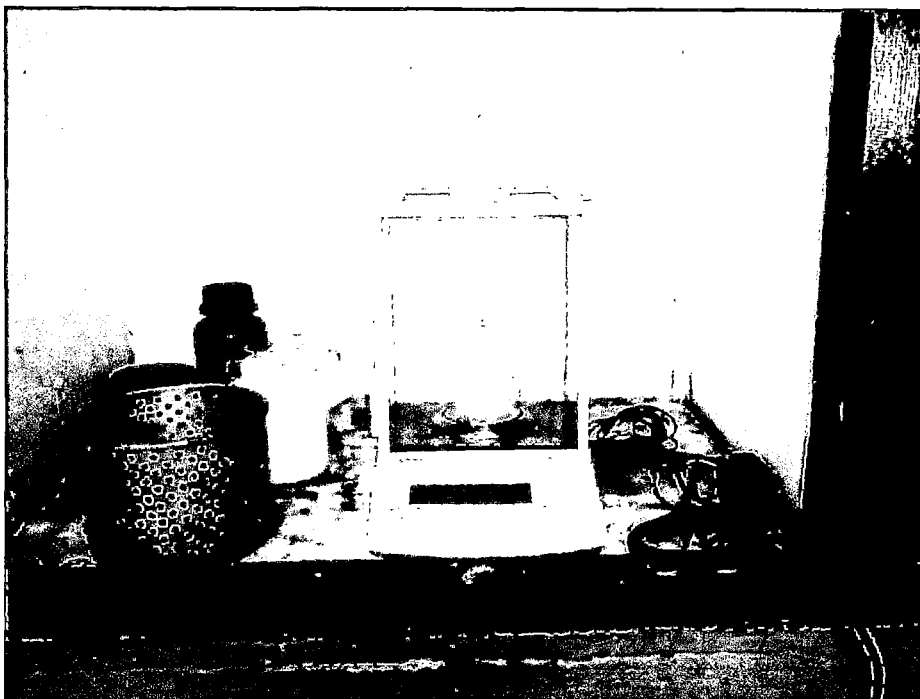
*Imagen 109 Después de ser agitado este elemento forma dos fases la fase líquida y el aceite propiamente dicho*



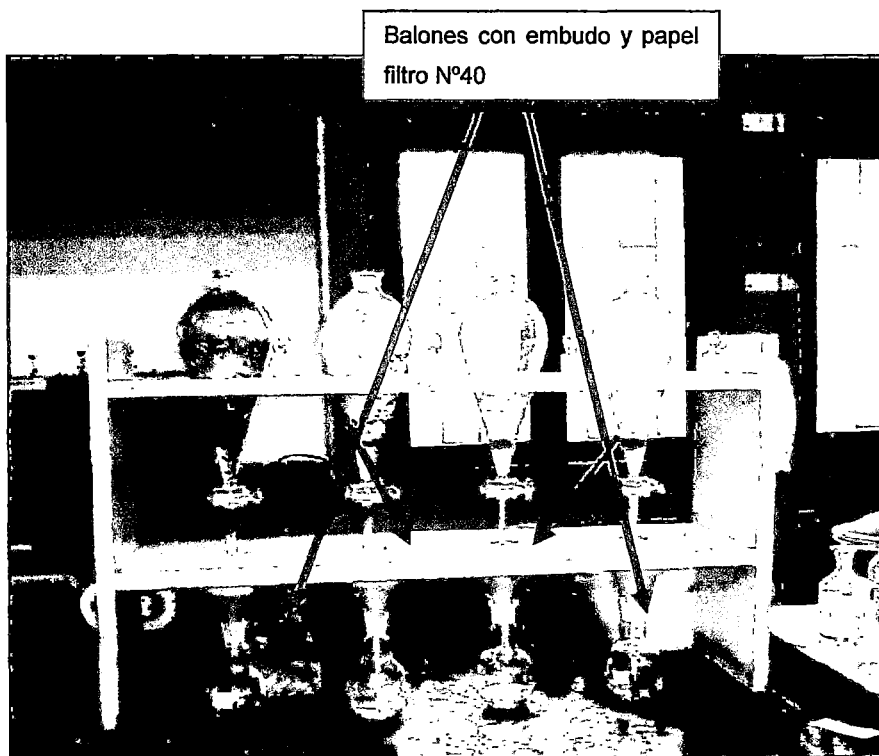
*Imagen 110 Después de ser agitado este elemento forma dos fases la fase líquida y el aceite propiamente dicho*



*Imagen 111 Preparación de los balones antes de ser usados se le retira la humedad del ambiente con ayuda del desecador*



*Imagen 112 Cada uno de los balones es pesado con la balanza electrónica para determinar la cantidad de grasas y aceites por diferencia*



*Imagen 113 La fase aceitosa es filtrada y vertida a estos balones*



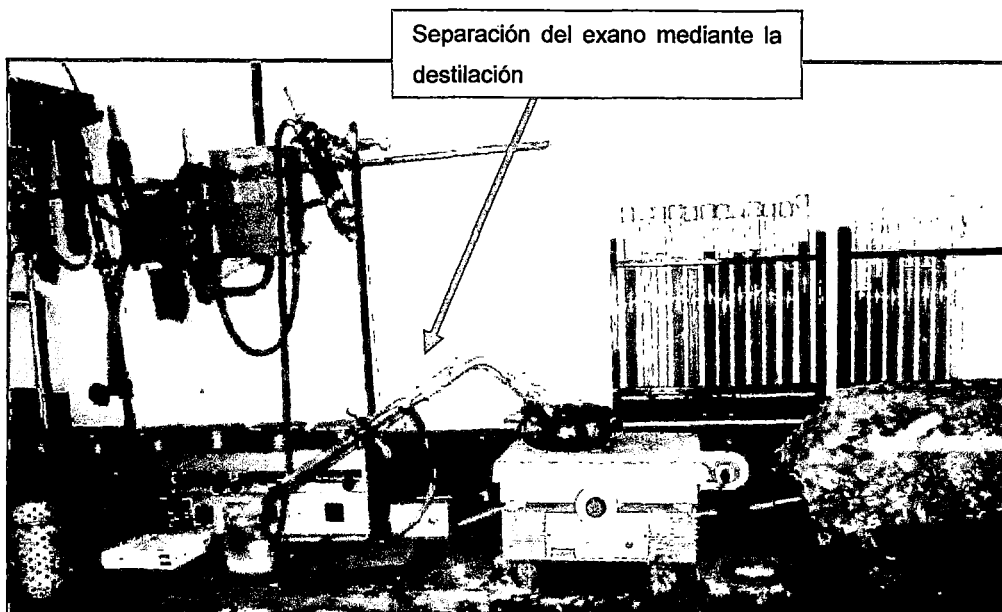


Imagen 114 Con ayuda de este destilador se procede a separar el exano de los aceites y grasas

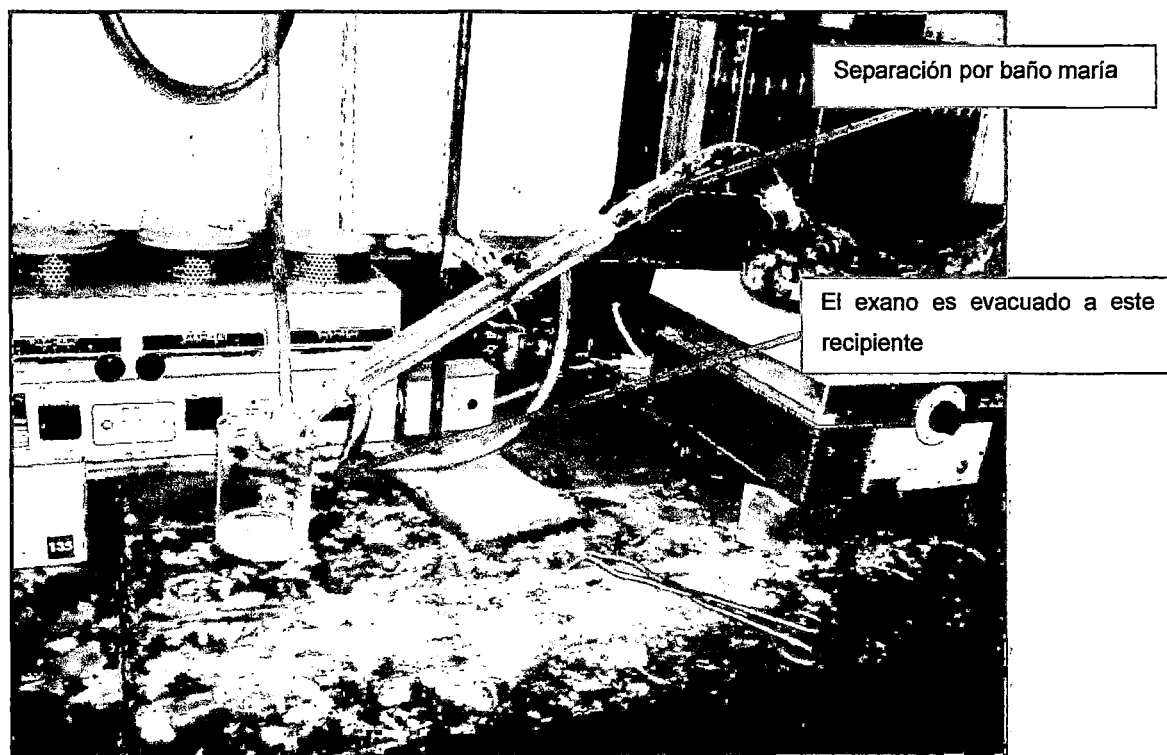
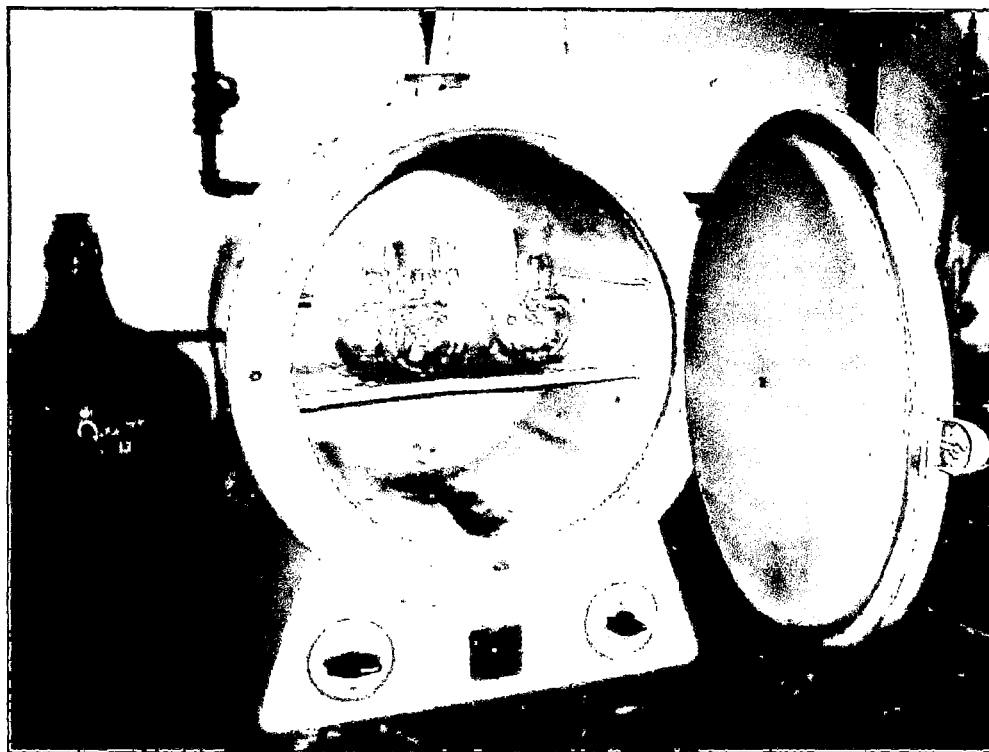
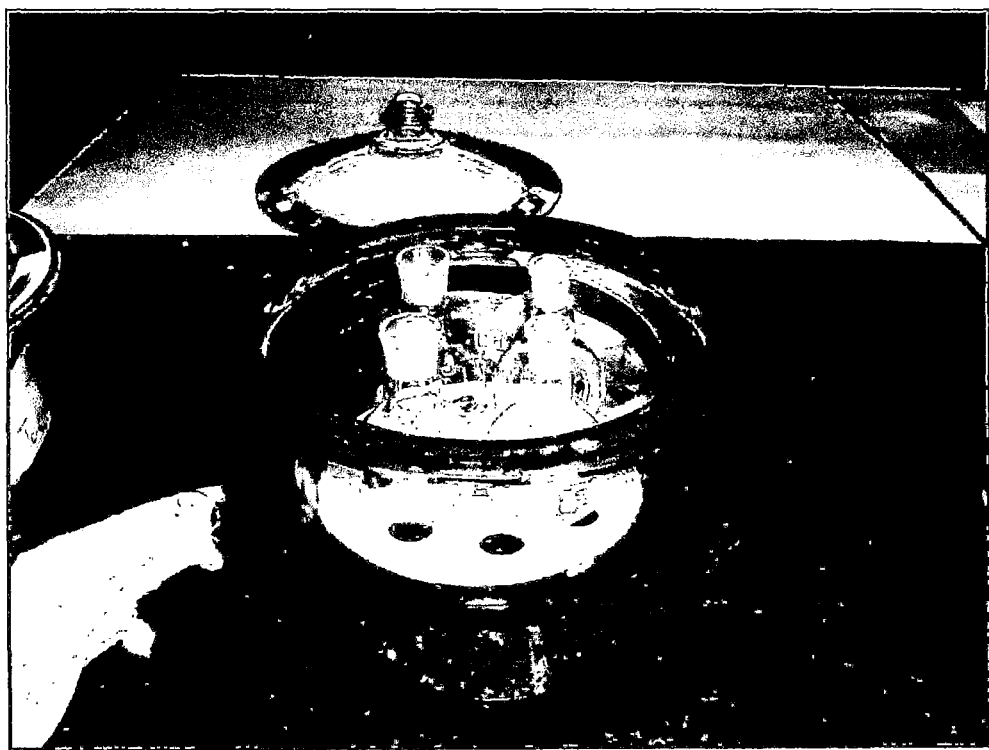


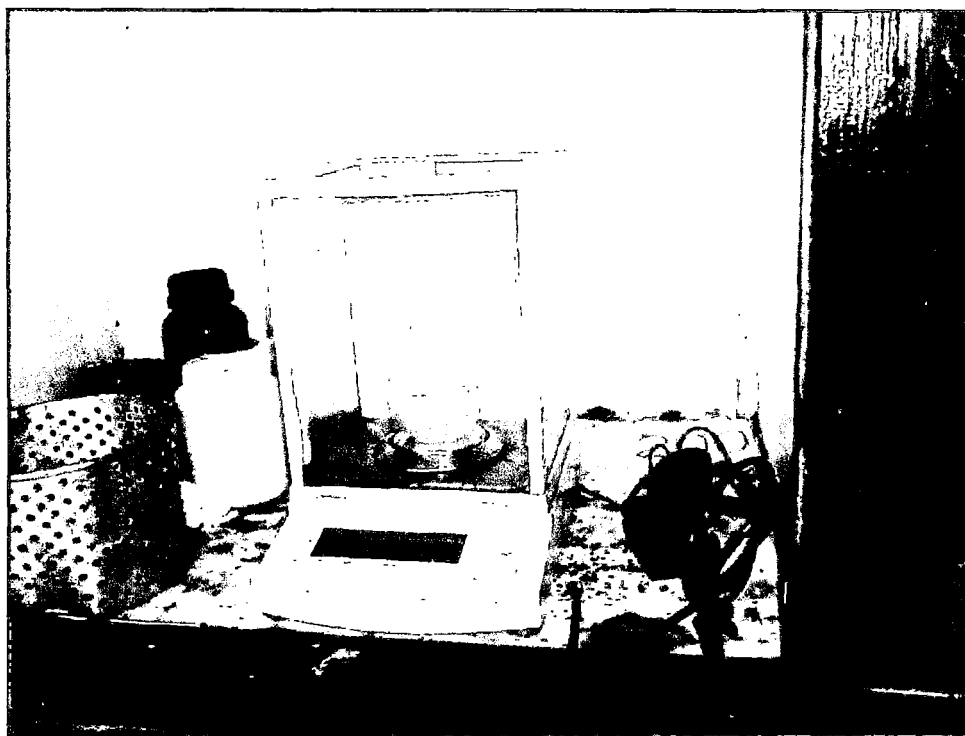
Imagen 115 El exano es vertido hacia otro recipiente quedando en los balones los aceites y grasas



*Imagen 116 Horno utilizado para eliminar lo que pudiese restar de humedad en el residuo del balón*



*Imagen 117 Después de usar el horno se procede a utilizar el desecador*



*Imagen 118 Pesado del balón con el resto del residuo para determinar la cantidad de aceites y grasas*

## **4.5 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA A ESCALA DE LABORATORIO**

Para que el sistema planteado funcione adecuadamente se consideró las características de cada unidad en forma independiente, ya que cada cual presentó una forma en particular de operar con el fin de lograr el normal funcionamiento del sistema en conjunto bajo las mejores condiciones.

### **4.5.1 Sedimentador**

Este sistema debido que es un tratamiento secundario de separación de partículas sedimentables, no requiere de un arranque solo un mantenimiento cuidadoso y permanente.

### **4.5.2 Filtro Aireado Sumergido**

Este sistema es un sistema de tratamiento que está relacionado directamente con la presencia, desarrollo y manejo de microorganismos, para su buen funcionamiento siendo necesario un tiempo de formación de la película biológica, particularmente no necesita un proceso de arranque. En esta unidad hay que tomar en cuenta un adecuado proceso de operación y mantenimiento desde la instalación de la unidad y durante todo el proceso de estudio.

### **4.5.3 Filtro Anaerobio**

Este sistema tampoco requiere de un proceso de arranque, para su mejor funcionamiento necesita de un tiempo de formación de la película biológica que mejorará las características del agua residual tratada. En esta unidad también hay que asegurar un buen proceso de operación y mantenimiento de la unidad.

## **5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1 FUNCIONAMIENTO EN LA PRIMERA ETAPA DEL SISTEMA A ESCALA DE LABORATORIO**

#### **5.1.1 Sedimentador**

Este sistema fue instalado para solucionar el problema de fugas del lodo proveniente del tratamiento primario (RAFAML), al observarse en la instalación del sistema este problema se planteo colocar esta unidad. Ya que, de darse estas fugas durante la investigación, podría alterar el funcionamiento y desarrollo del estudio.

Considerando que, cada uno de los cuatro reactores del RAFAML presenta un efluente de diferentes características y el lodo proveniente de este tratamiento alteraría el Medio de Contacto, se corría el riesgo de colmatar el sistema de filtros planteado, por lo que fue necesario la instalación de esta unidad.

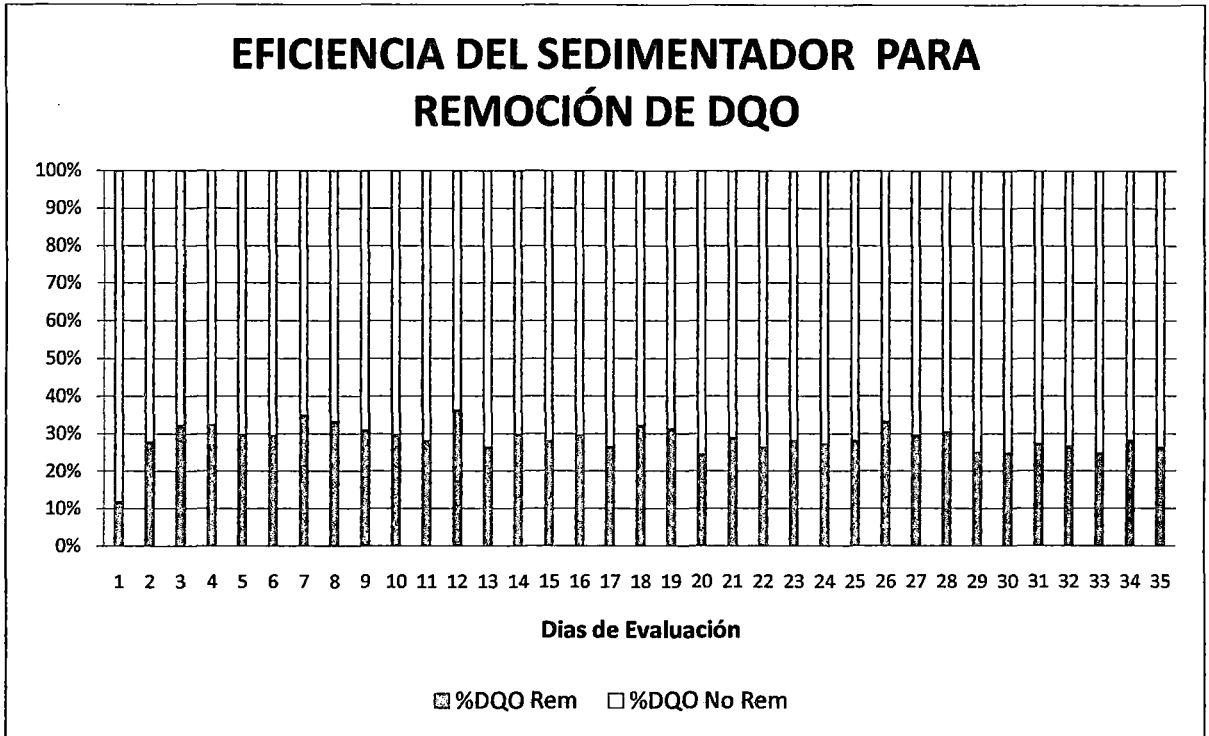
Así mismo cumplió la función de homogenizar el efluente del tratamiento primario del agua residual de camal mejorando las condiciones del efluente proveniente del RAFALM, ya que se encargó de clarificarlo, se notó una remoción también de DQO y DBO como se presenta a continuación.

Se tuvo un control de las condiciones del reactor, analizando el OD, Ph y temperatura, y el desempeño del tratamiento mediante el DQO y DBO.

Así mismo cabe resaltar que el sistema de funcionamiento del sedimentador no presentó ninguna variante desde su instalación, funcionando bajo las mismas características en ambas etapas de la investigación, por lo que las graficas representadas a continuación están referidas al funcionamiento del sedimentador desde la puesta en marcha del sistema inicial hasta la etapa de término de la investigación, durante los cuatro meses de monitoreo.

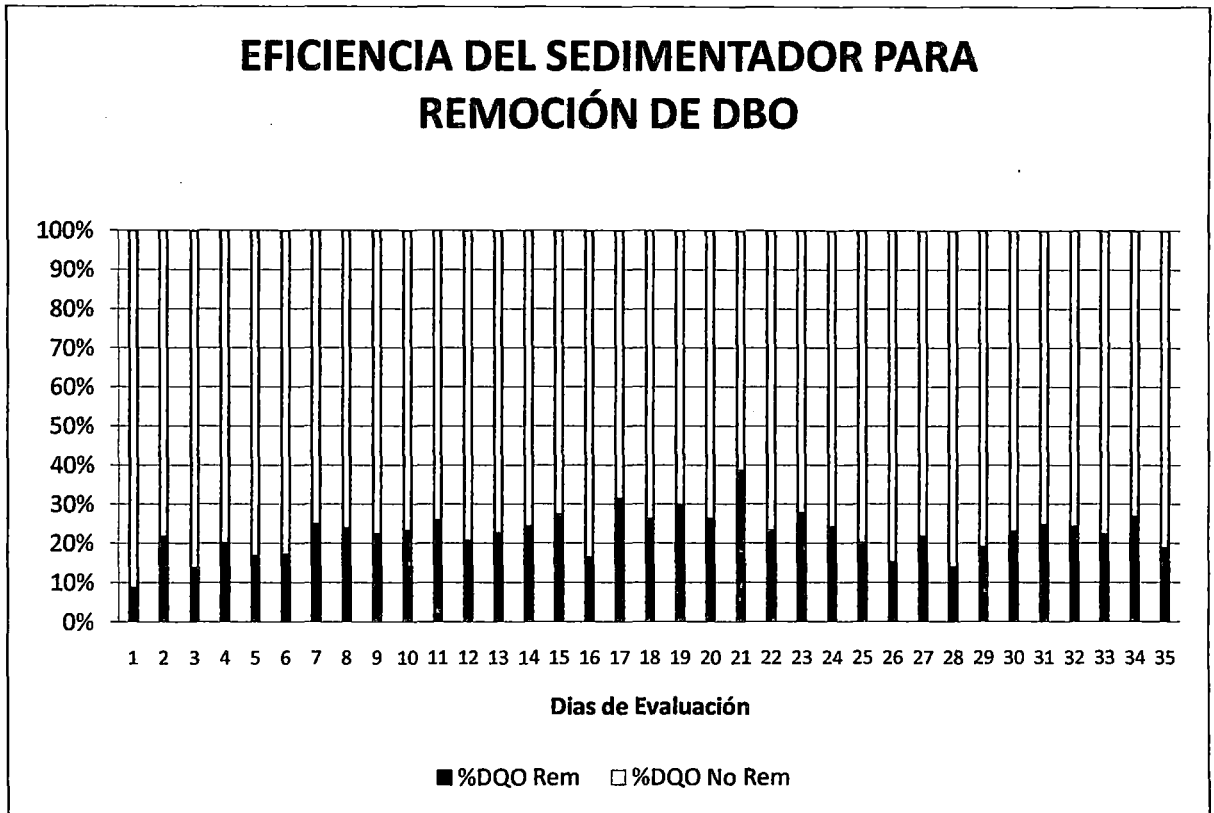
Gráficos e Interpretación de Resultados

Gráfica 3



El promedio de remoción de DQO en el sedimentador fue de un 28 % teniendo un valor mínimo de 11.6 % y un máximo de 36.1 % durante los cuatro meses de evaluación de resultados. Cabe señalar que el tratamiento en esta unidad fue relativamente constante como se observa en la grafica, consiguiéndose valores mínimos alrededor de 11.6% y máximos de 36.1%.

Gráfica 4



El promedio de remoción de DBO en el sedimentador fue de 22%, presentando valores mínimos de remoción de 8.7% en el arranque del sistema y valores máximos de 38.5% que fue un valor pico para el comportamiento de este parámetro.

### **5.1.2 Filtro Aireado Sumergido a Escala de Laboratorio**

Este módulo es una alternativa planteada en la investigación como parte esencial del tratamiento del efluente de RAFAML, tomando en cuenta que la característica del efluente proveniente del tratamiento primario es tener valores altos en términos de DQO, DBO etc.

Se determinó que para la investigación esta unidad presenta flexibilidad en las condiciones iniciales de diseño planteadas, ya que se redujo el tiempo de retención para la segunda etapa del estudio.

Las condiciones del Filtro Aireado Sumergido en esta primera etapa fueron:

- El caudal de tratamiento fue constante durante toda la investigación con un valor de 50mL/min aproximadamente. Este caudal fue aforado desde la salida de cada uno de los reactores del RAFAML en los tomadores de muestra respectivos y también se hizo el aforo a la salida del Filtro Aireado Sumergido. Este proceso era regulado con ayuda de la bomba peristáltica y un sistema de estrangulamiento.
- El tiempo de retención hidráulico fue de 17.06 horas la cual se modificó en una segunda etapa. Este periodo se calculó con la geometría y configuración del modulo del Filtro Aireado Sumergido, el cual presentó variantes en la segunda etapa.
- Las condiciones para el desarrollo favorable de los microorganismos fueron la temperatura, Ph y fundamentalmente la presencia de Oxígeno Disuelto OD, estos parámetros fueron controlados constantemente durante toda la investigación.

A continuación se detalla los resultados en la primera etapa de la investigación como se nota en los siguientes cuadros:



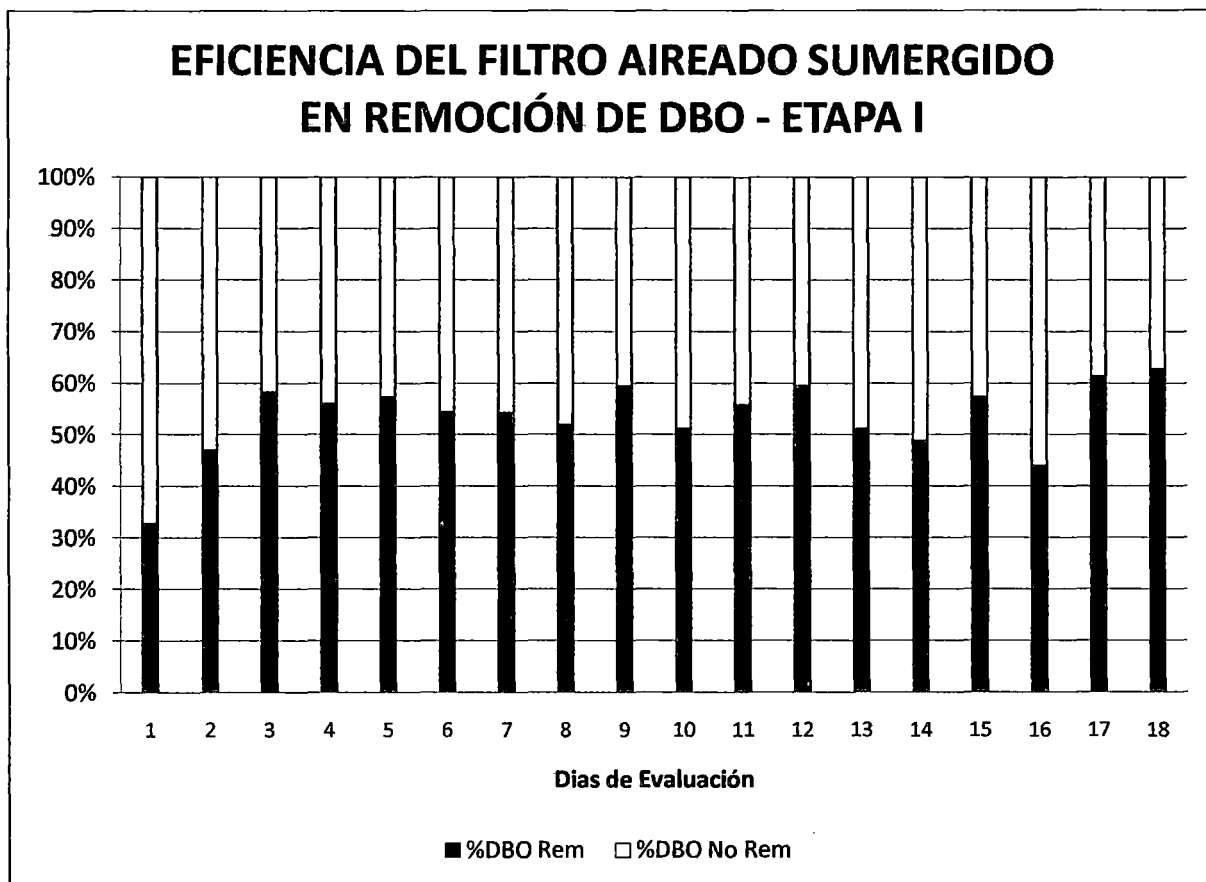
Gráficos e Interpretación de Resultados

Gráfica 5



El promedio de remoción de la DQO en el Filtro Aireado Sumergido fue de 44.4 %, para la remoción en esta primera etapa, que comprende los dos primeros meses de monitoreo. En este proceso se obtuvieron valores de remoción mínimos de 31.1% y máximos de 54.4%. En esta primera etapa se consideró el sistema en conjunto conformado por el Sedimentador y el Filtro Aireado Sumergido.

Gráfica 6



El promedio de remoción de la DBO en el Filtro Aireado Sumergido fue de un 53 %, en esta primera etapa de la investigación. En el grafico se puede notar que desde la puesta en marcha del sistema la remoción de este parámetro aumenta, esto debido a que la película biológica se forma con el paso del tiempo sobre la grava del filtro en aproximadamente 20 a 25 días para la presente investigación.

Como se trabaja con una película biológica, la cual depende de la presencia de los microorganismos para el tratamiento del efluente es que, se obtiene un comportamiento variable en la medición del la DBO pues factores como la temperatura, el oxígeno disuelto en el agua, y la naturaleza del crudo en sí, pueden ser los responsables del comportamiento variable en la grafica.

## ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA LA SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1.3 Filtro Aireado Sumergido

En esta segunda etapa de la investigación se probó la flexibilidad del sistema planteado, referida a la posibilidad de hacer variantes en el planteamiento inicial, para mejorar las características de tratamiento, sin que esto represente salir del enfoque planteado inicialmente.

En forma práctica se redujo el tiempo de retención a 9.18 horas, lo cual se consiguió acondicionando el módulo inicial planteado en la primera etapa de la investigación como se nota en las siguientes imágenes.

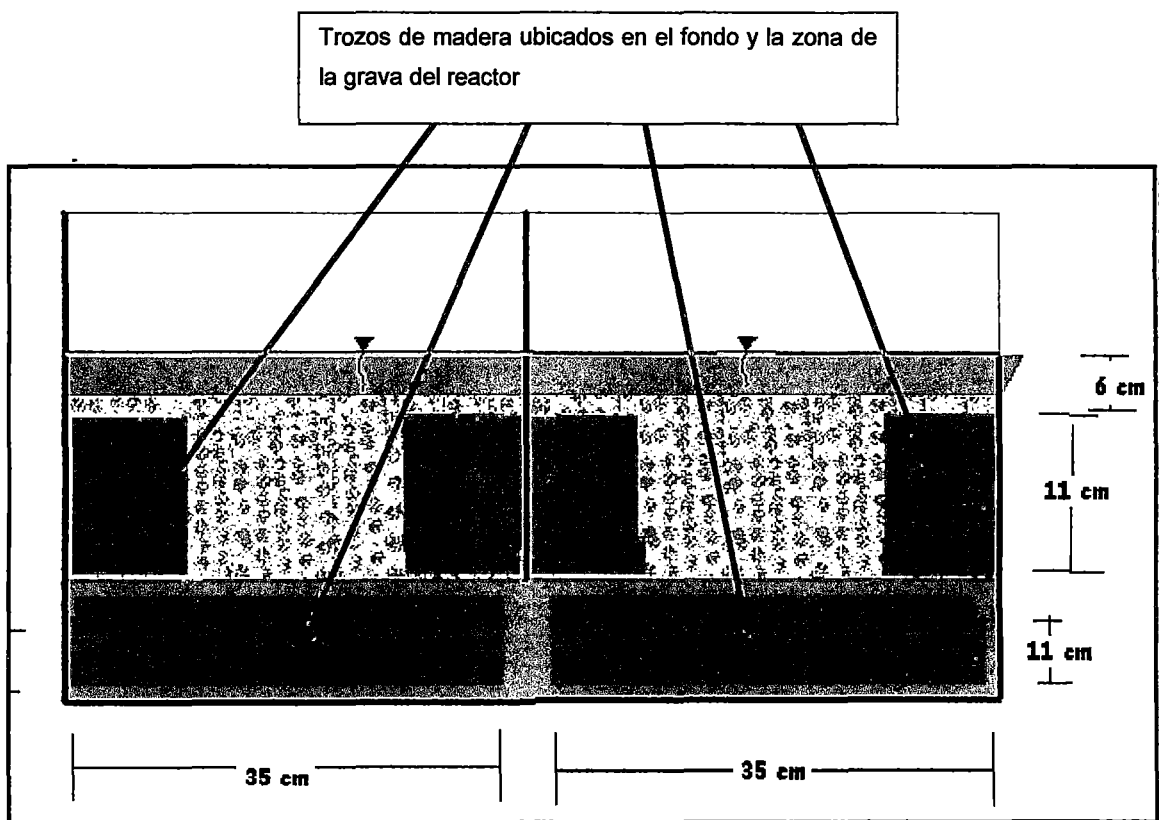
Esta variación del sistema inicial se consiguió variando el volumen útil del módulo inicial, extrayendo con mucho cuidado el medio filtrante para no perder la biopelícula adherida a la grava, almacenándose después en un recipiente limpio para ser devuelto al sistema después de su modificación.



Imagen 119

El módulo fue acondicionado para la reducción del tiempo de retención colocándose estratégicamente trozos de madera de estructura regular (Cubos) para reducir el volumen útil del recipiente. Estos cubos de madera fueron medidos antes de su ubicación para saber el volumen que se le estaba restando a la unidad y con esto se pudo realizar los cálculos respectivos para la variante efectiva.

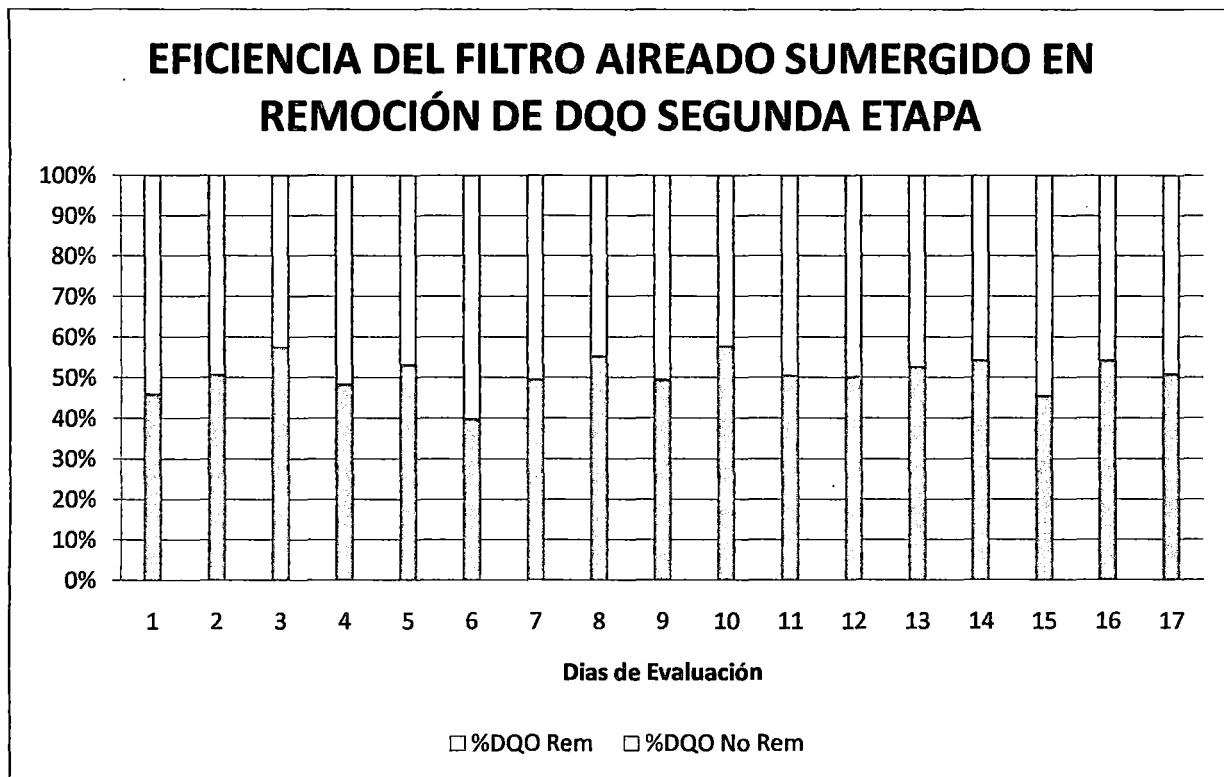
Esquema del acondicionamiento que se le dio al Filtro Aireado Sumergido



*Imagen 120 Para lograr reducir el volumen útil del recipiente se colocó estratégicamente unos trozos de madera las cuales ya se habían calculado las dimensiones para restar el volumen de estas y así lograr reducir el tiempo de retención*

Gráficos e Interpretación de Resultados

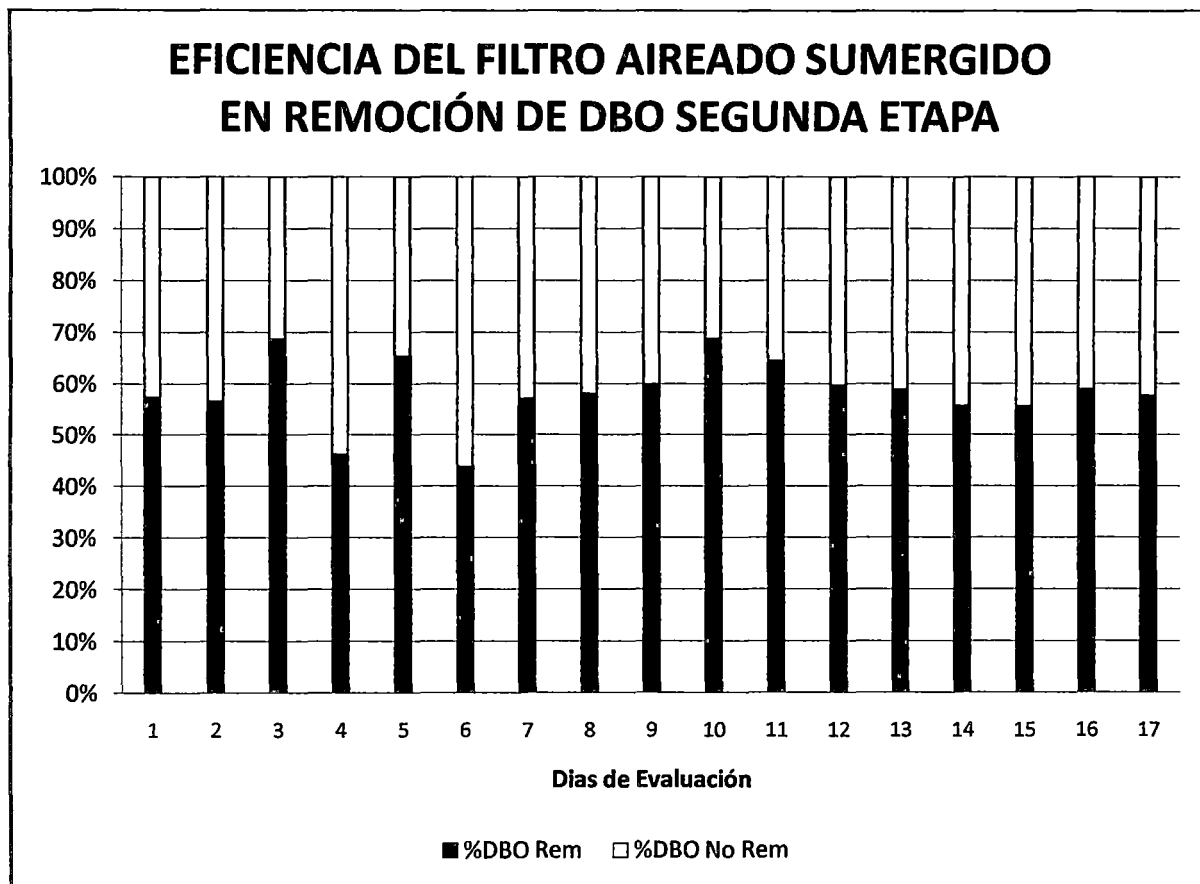
Gráfica 7



El promedio de remoción de DQO en el Filtro Aireado Sumergido es de un 50.7%, para la segunda etapa de la investigación, superando la remoción en la primera etapa para la evaluación del mismo parámetro (44.4%). Entonces se podría afirmar que la nueva configuración del sistema favoreció la mejora en la remoción de la DQO.

En esta etapa se obtuvieron valores mínimos de remoción de 39.6% y máximos de 57.6%.

Gráfica 8



En esta etapa del estudio, después de hacer la variante en el módulo, se obtuvo un promedio de remoción de la DBO de 58.3%, superando también, al igual que en el parámetro de la DQO la remoción que se presentó en la primera etapa de la investigación (53%) para la remoción de este parámetro.

De la obtención de estos resultados se puede determinar entonces que, variando el espesor de la grava, se mejora las condiciones de desarrollo de la película biológica lo cual favorece el aumento de los microorganismos responsables del consumo de la carga orgánica presente en el agua residual tratada.

#### 5.1.4 Filtro Anaerobio

Este tratamiento adicional se planteó con el propósito de cumplir uno de los objetivos de la investigación, es decir conseguir después del tratamiento completo un efluente que en principio llegue a estar dentro de los parámetros de niveles máximos permisibles según la normatividad vigente, con lo que se favorece la reutilización o la disposición sin riesgo de contaminación al sistema de alcantarillado. Así mismo mejorar las características físicas del efluente tratado, lo cual fue positivo para la investigación ya que después de la adhesión de este sistema anaerobio se mejoraron las características del efluente tratado.

#### Gráficos e Interpretación de Resultados

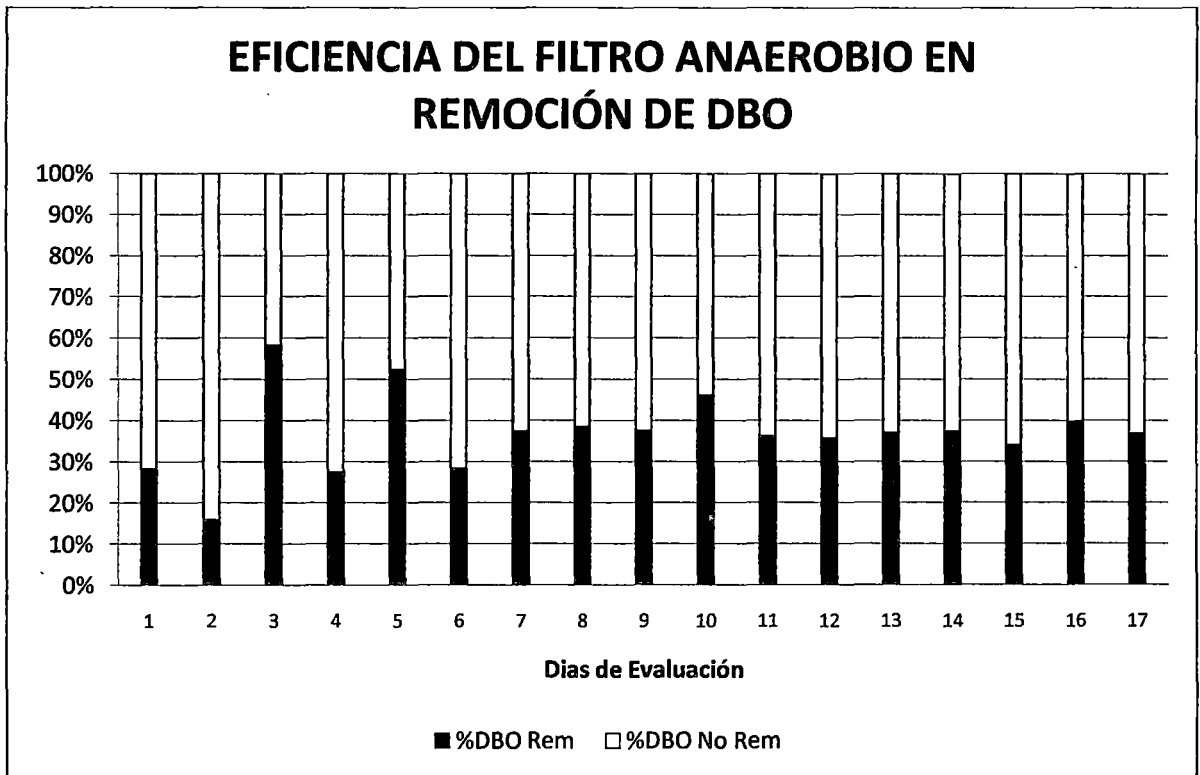
Gráfica 9



Esta unidad presenta una remoción promedio de la DQO en un 42.2%, obteniéndose una considerable mejoría en el efluente tratado antes de ser evacuado al sistema de alcantarillado. Podemos observar también valores muy

bajos en el monitoreo, los cuales se dieron en los días de mantenimiento del sistema teniéndose valores mínimos de 29.5% y máximos de 55.1%.

Gráfica 10



Según el análisis de los resultados para la remoción de la DBO en el filtro Anaerobio, encontramos una remoción promedio de 36.7 %, lo cual corrobora que, el principio considerado para adicionar este sistema de tratamiento complementario por Filtros Anaerobios con el propósito de mejorar las condiciones del efluente tratado, fue correcto.

Cabe resaltar que los valores más variables se obtienen en la puesta en marcha de esta segunda unidad ya que se estaba formando la película biológica en este segundo filtro, obteniéndose valores mínimos de 15.8% y máximos de 58.13%.



## 5.2 CONTROL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema de tratamiento a escala de laboratorio planteado funcionó en forma constante durante un tiempo de cuatro meses, trabajando diariamente, con una recolección de crudo dos veces por semana, y una alimentación al sistema completo diariamente. Todo el sistema en conjunto fue monitoreado todos los días, y se hizo las mediciones de los parámetros establecidos respectivamente.

Así mismo se realizó el mantenimiento del sistema periódicamente, aplicando las medidas preventivas y/o correctivas según sea el caso que se presentó, como la aparición de las espumas. Para el control del funcionamiento del sistema planteado se realizaron mediciones de Temperatura, Ph, y Oxígeno Disuelto OD en cada una de las unidades de tratamiento.

### 5.2.1 Sedimentador

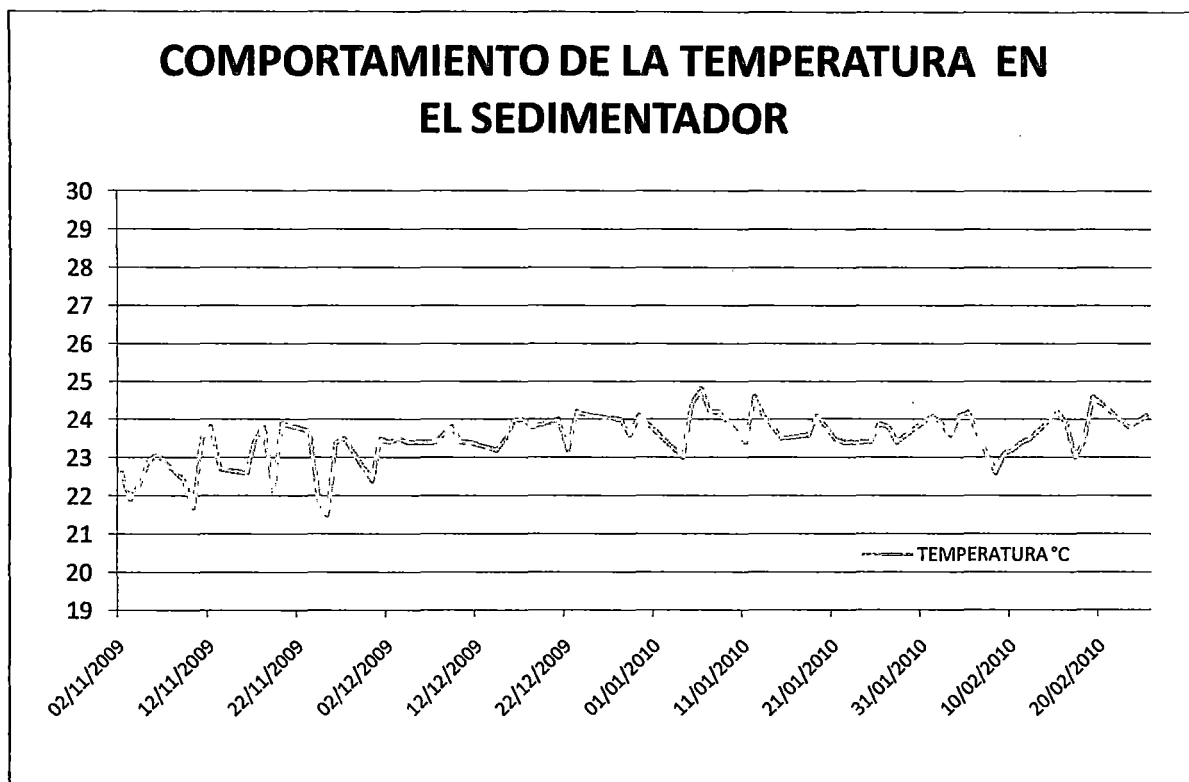
En esta unidad se hizo la medición de los parámetros de Temperatura y Ph para el control del funcionamiento.

#### Gráficos e Interpretación de Resultados

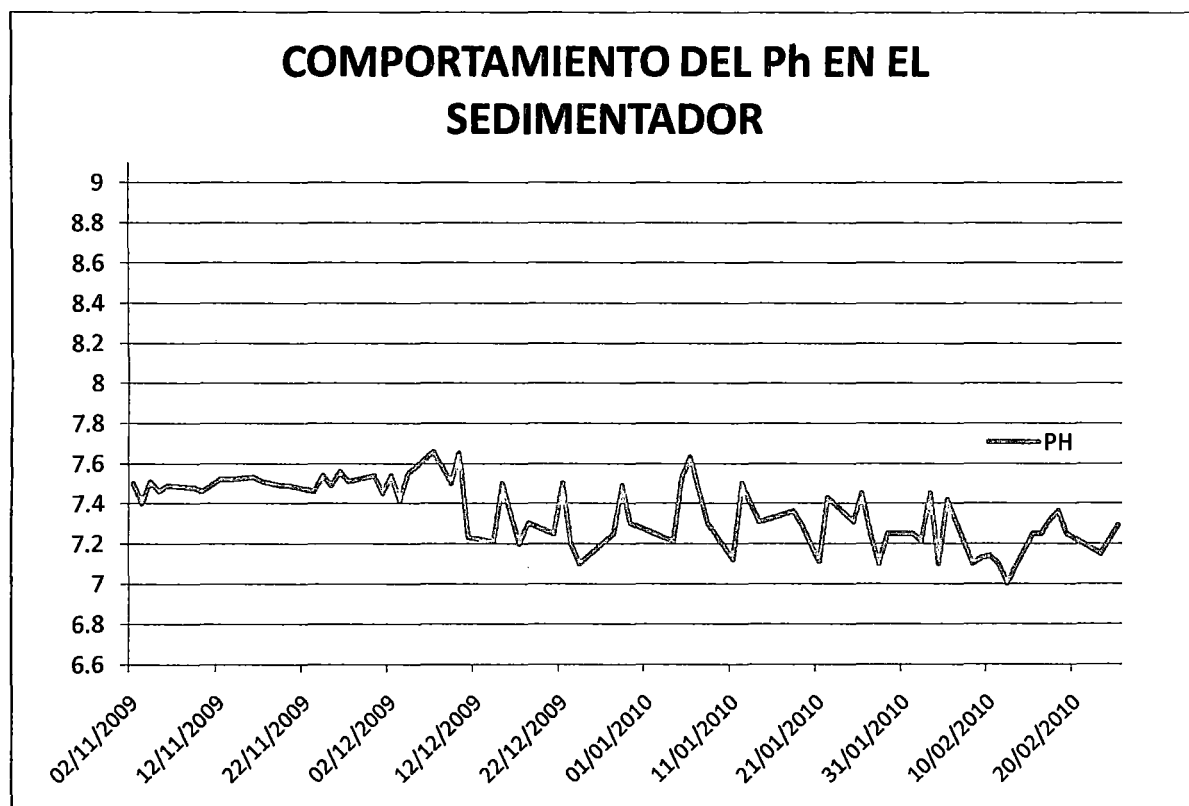
En esta unidad se trabajó con un rango de temperatura variante entre 22 °C a 25 °C Temperatura promedio en la época de verano. El almacenamiento inicial del crudo se hacía en un congelador, para la conservación de sus características naturales, el agua residual a tratar después de su paso por el RAFAML no presenta variación considerable en su temperatura, manteniendo una temperatura cercana a la temperatura ambiente para esta época.

En términos del Ph en general en el sedimentador el agua residual tratada tuvo un comportamiento neutro (aproximadamente Ph = 7). Lo cual mantuvo una temperatura variante solo en función al medio externo. Condición que no alteró el tratamiento en esta unidad.

Gráfica 11



Gráfica 12



### 5.2.2 Filtro Sumergido Aireado

En esta unidad se hizo la medición de los parámetros de Temperatura, Ph, y Oxígeno Disuelto OD para el control de las condiciones para el desarrollo de los microorganismos. Cabe mencionar que la medición del Oxígeno Disuelto OD durante toda la investigación fue muy importante para evaluar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento.

#### Gráficos e Interpretación de Resultados

La medición del Oxígeno Disuelto fue esencial para el monitoreo del buen funcionamiento del Filtro Aireado sumergido, ya que la presencia del Oxígeno en el sistema garantiza la formación de la película biológica dentro de la unidad, una baja en los resultados de este parámetro indican que la formación de la capa biológica pueda no darse o se altera su presencia. Y con esto una disminución en el tratamiento.

Por tanto con el monitoreo de este parámetro se determinó cuando se debían aplicar soluciones correctivas ante determinados problemas que se presentaron a lo largo de la investigación, en el menor tiempo posible. Se obtuvo un valor mínimo de OD de 2.11, en el día 8 de Enero, fecha para la cual los difusores estaban saturados de película biológica, lo cual se comprobó cuando se hizo el mantenimiento posterior.

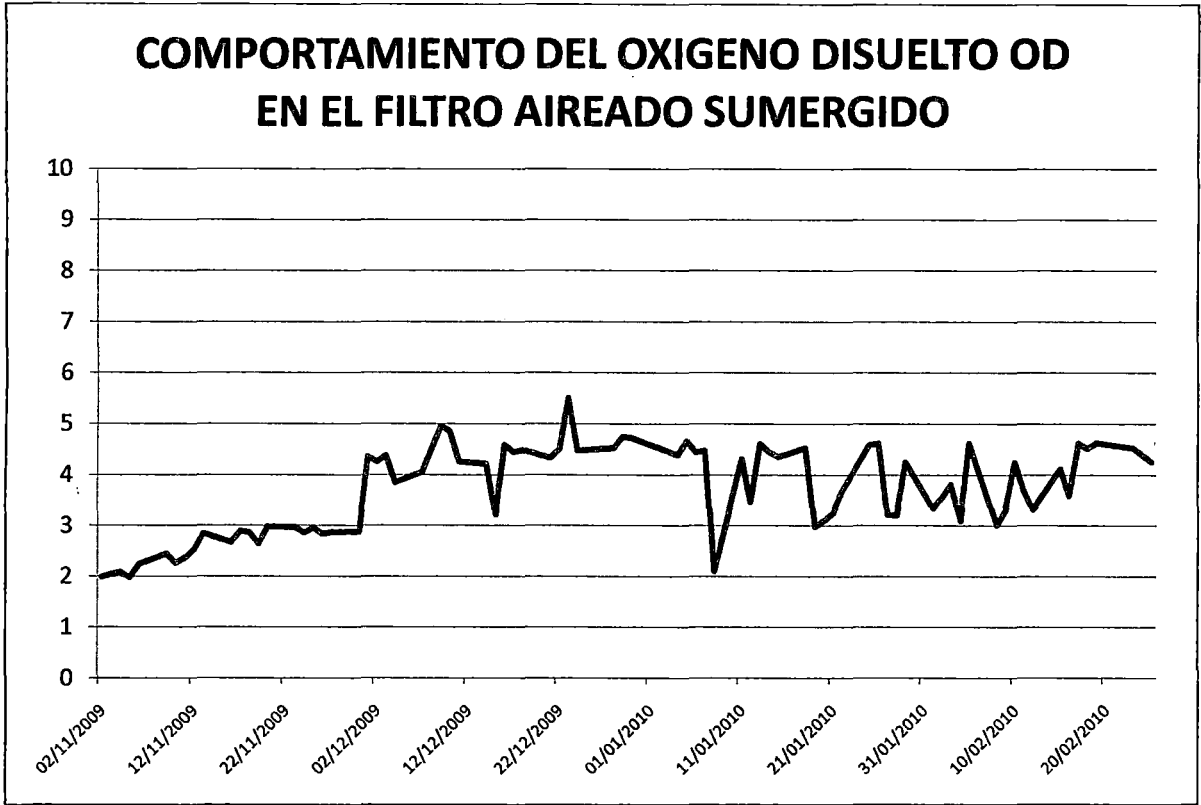
La presencia del OD en el filtro aireado fue aumentando en el tiempo desde la puesta en marcha del sistema, lográndose un comportamiento estable casi a finales del primer mes de estudio ya que se trató de establecer un sistema homogéneo de aireación.

Así mismo para la fecha del 23 de Diciembre se obtuvo un alto valor de OD de 5.5 debido a que por el mantenimiento realizado en días anteriores el flujo había variado e en relación al volumen del módulo, lo cual se estabilizó en los días posteriores. El Oxígeno disuelto en este modulo tuvo una variación entre 2.0 mg/L a 5.5mg/L.

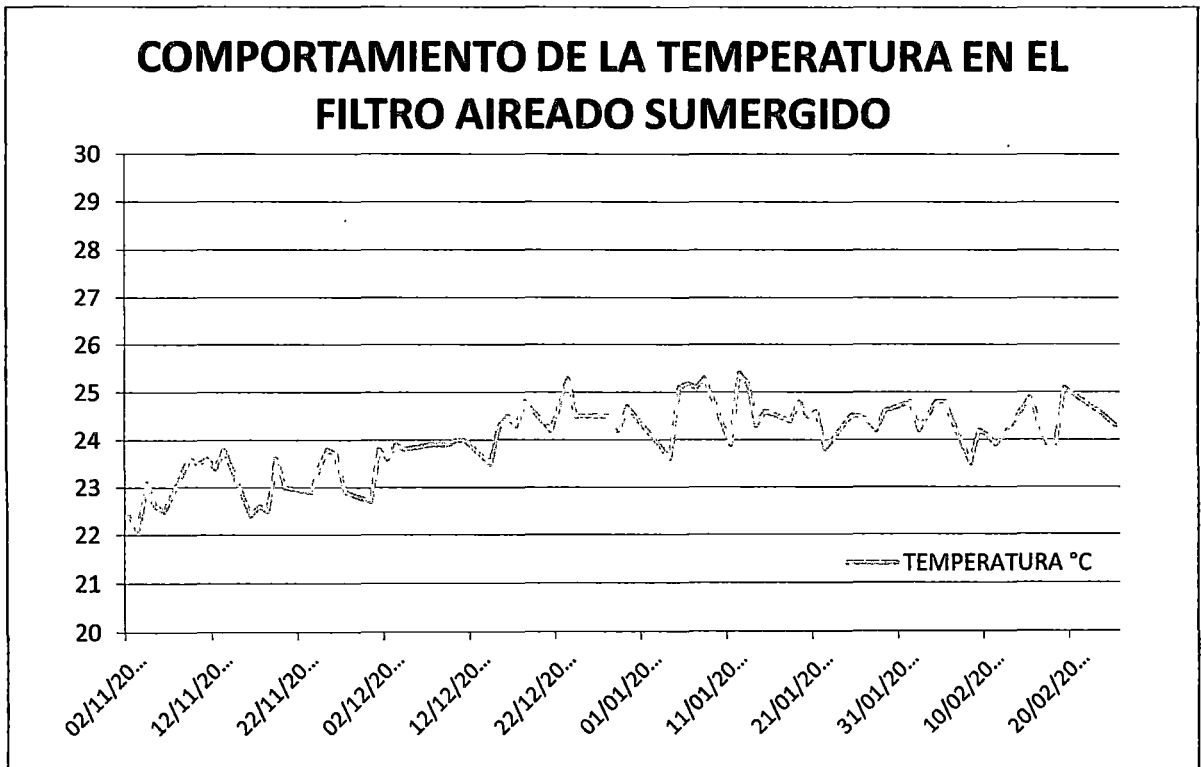
Por otra parte la temperatura fue monitoreada para llevar un control de funcionamiento, durante la investigación. este parámetro presentó variación mínima entre 22 y 25 °C. relacionada más a la influencia del medio externo.

Se controló también el Ph para ver las condiciones del medio para evaluar el desarrollo de los microorganismos. Este valor varió ente 7.2 y 8.1

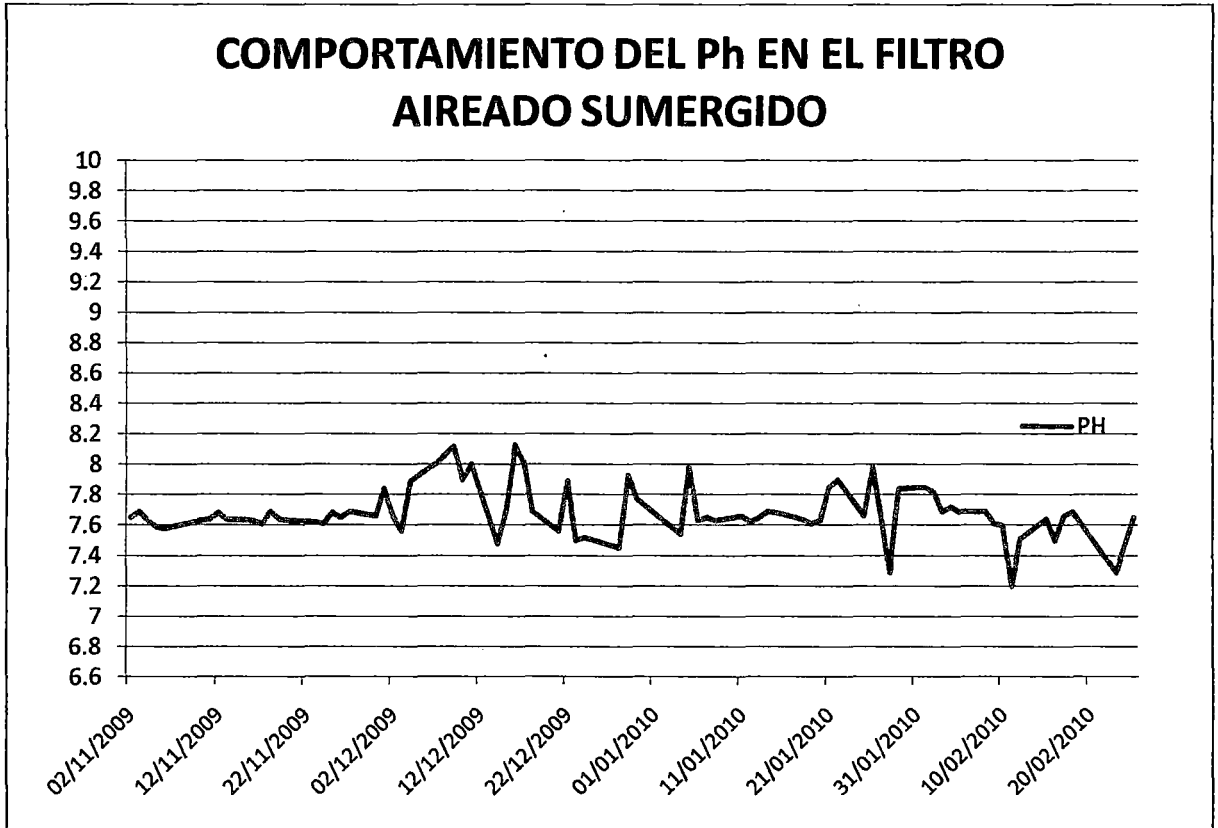
Gráfica 13



Gráfica 14



Gráfica 15



### 5.2.3 Filtro Anaerobio

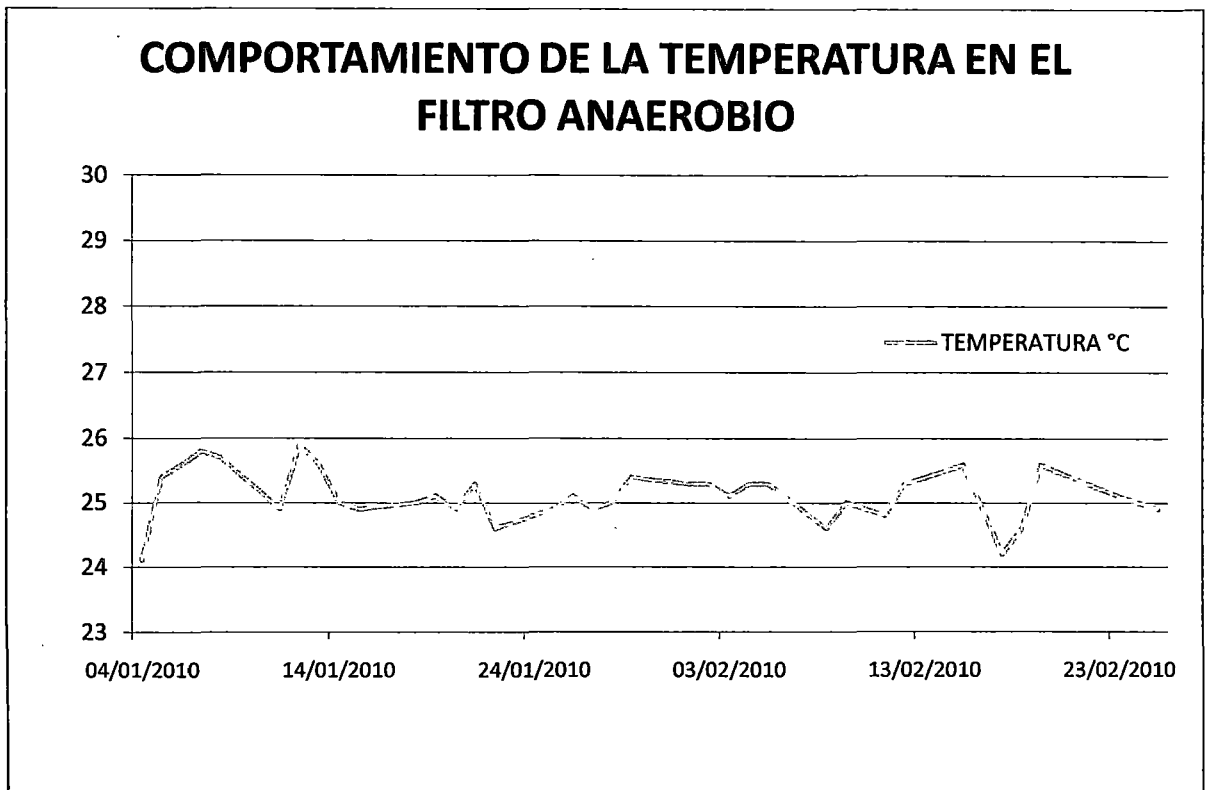
En esta unidad se realizó la medición de los parámetros de Temperatura y Ph del Filtro Anaerobio, lo cual permita evaluar el buen funcionamiento del sistema.

#### Gráficos e Interpretación de Resultados

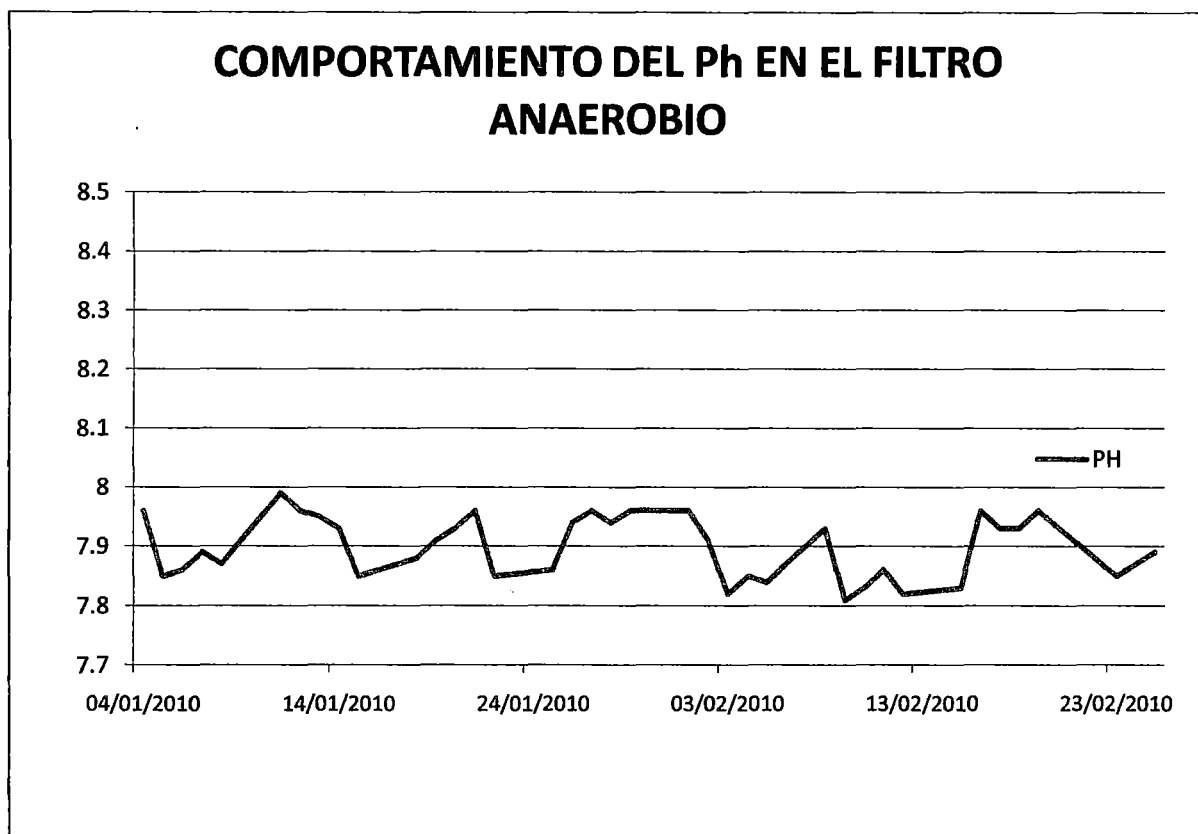
Se realizó la medición de la Temperatura para controlar las condiciones de funcionamiento del sistema, obteniéndose valores que variaban entre 24.1 °C y 25.9 °C.

Se controló también el Ph para ver las condiciones del medio para evaluar el desarrollo de los microorganismos. Este valor vario ente 7.8 y 7.9 para esta unidad.

Gráfica 16



Gráfica 17





### 5.3 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO COMPLETO

El Sistema de Tratamiento planteado, consistente en un tratamiento con Filtros Biológicos que funcionan en serie, uno seguido de otro para lograr la mejora del tratamiento de las aguas residuales procedentes de la industria de Camales, fue evaluado en conjunto como un sistema completo, el cual se dividió en dos etapas.

La Primera etapa consideró el sistema de tratamiento Sedimentador – Filtro Aireado Sumergido, los cuales complementaban el tratamiento primario que recibían las aguas residuales a través de los reactores del RAFAML.

La segunda etapa consideró el funcionamiento del sistema de tratamiento Sedimentador – Filtro Aireado sumergido – Filtro Anaerobio, funcionando todo el conjunto en serie complementando también el tratamiento primario que recibían las aguas residuales a través de los reactores del RAFAML.

Por tanto los gráficos mostrados a continuación muestran la eficiencia del sistema como solución de tratamiento a las aguas residuales procedentes de la industria de camal como un sistema completo en conjunto.

#### Gráficos e Interpretación de Resultados

En la primera etapa del sistema se obtiene un promedio de 63.22% de remoción de DBO, con un valor mínimo de 38.5 % y un máximo de remoción de DBO de 73.5%.

En la segunda etapa del sistema de se obtiene un promedio de remoción de DBO de 79.4% con un valor mínimo de 69.3% y un valor máximo de 91.9%

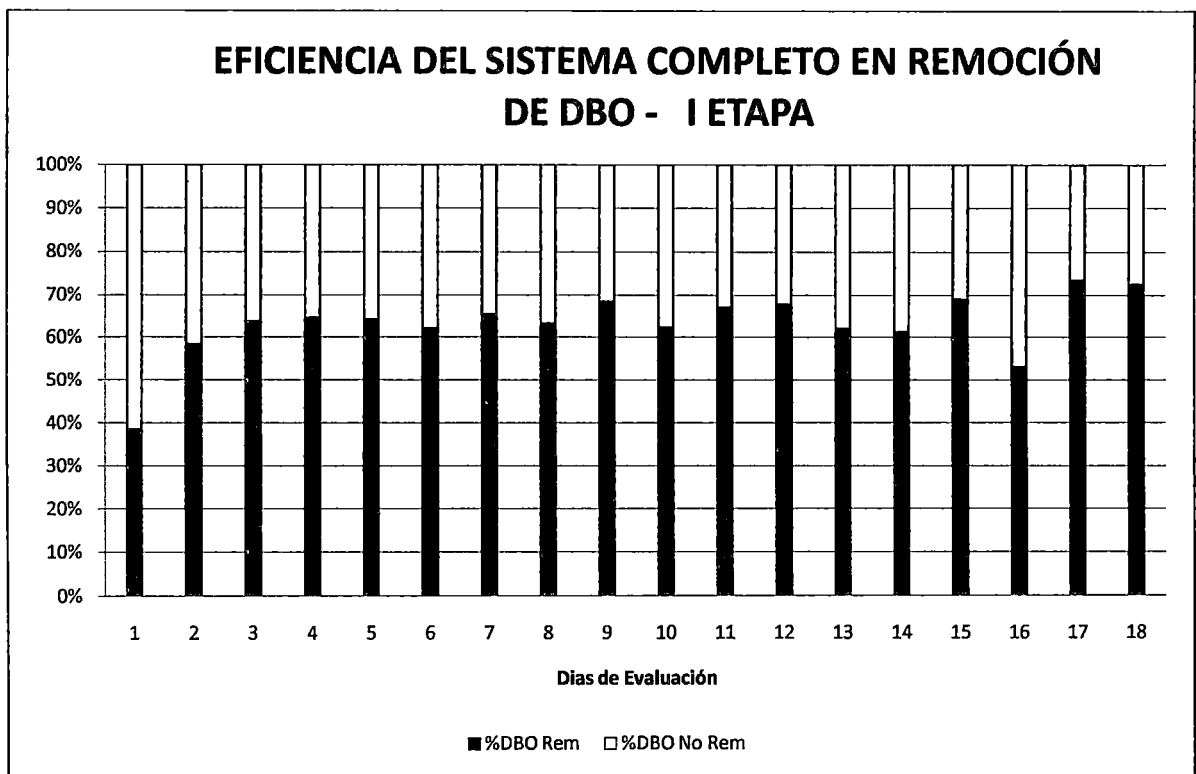
Considerando que el sistema complementario de Filtro Anaerobio fue planteado para mejorar las condiciones del efluente tratado, se puede afirmar entonces que, si resultó ser una solución efectiva en comparación con el tratamiento inicial planteado, mejorándose un 25.6 % la eficiencia del tratamiento para la remoción de la DBO.

Así mismo la remoción de DQO en la primera etapa presenta un valor promedio de 60.51%, con un valor mínimo de 39.16% y un valor máximo de 79.92%, así mismo en la segunda etapa como Sistema Completo presenta una remoción promedio de 79.4% con un mínimo de 74.6% y un máximo de 86.5%.

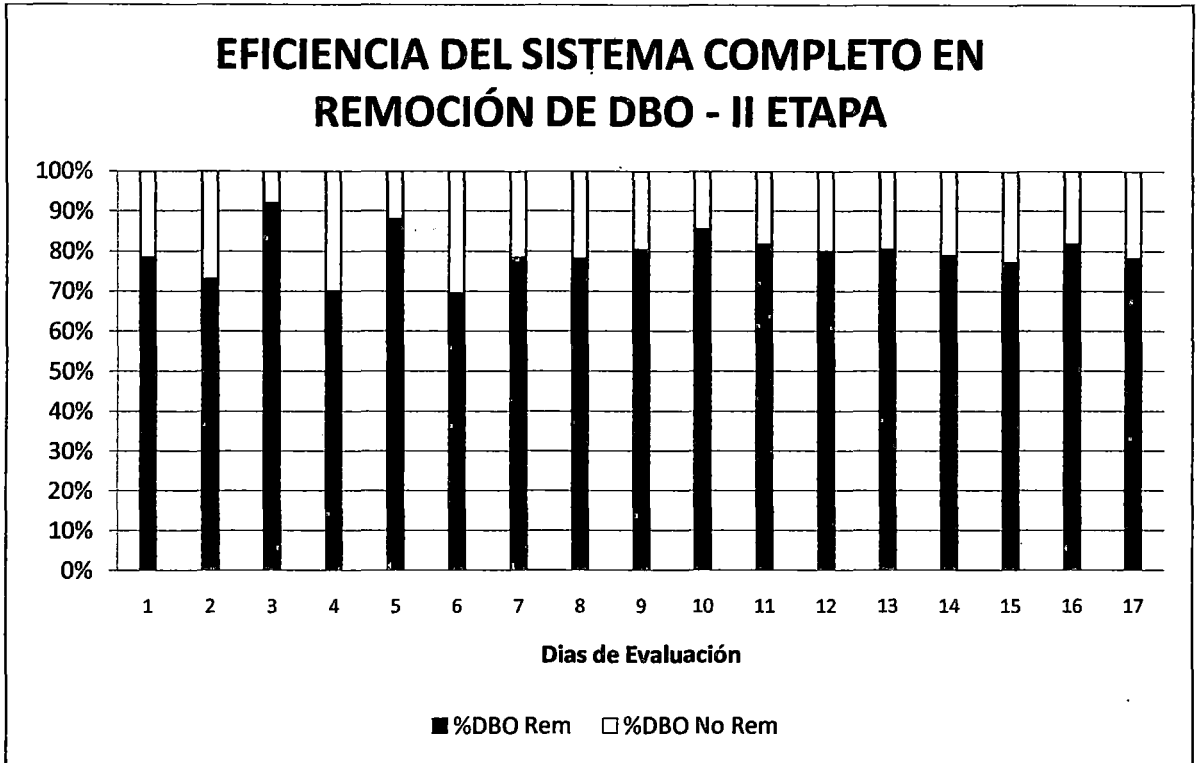
Esta mejora en la eficiencia del tratamiento se debe a:

- La variación de la configuración en el Filtro Aireado Sumergido.
- La disminución de la sección superficial del medio de contacto.(Donde sección superficial se entiende como el plano de grava paralelo a la base de la unidad, inicialmente este área superficial es mayor, y al hacer la modificación, el área disminuye, por tanto mejora la distribución del aire a través del burbujeo en el medio de contacto.
- Al aumento del espesor de la grava, con lo cual mejora las condiciones de aireación.
- La adición del Filtro Anaerobio para el tratamiento de las aguas residuales de camal.

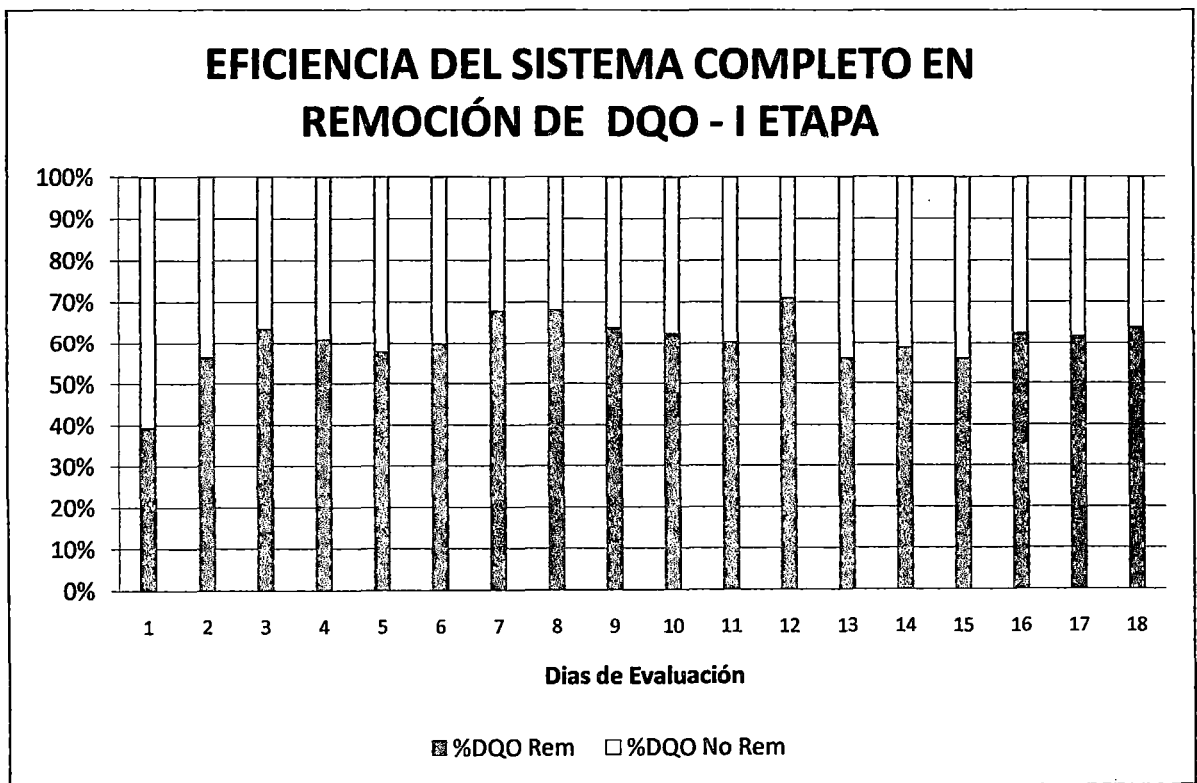
Gráfica 18



Gráfica 19

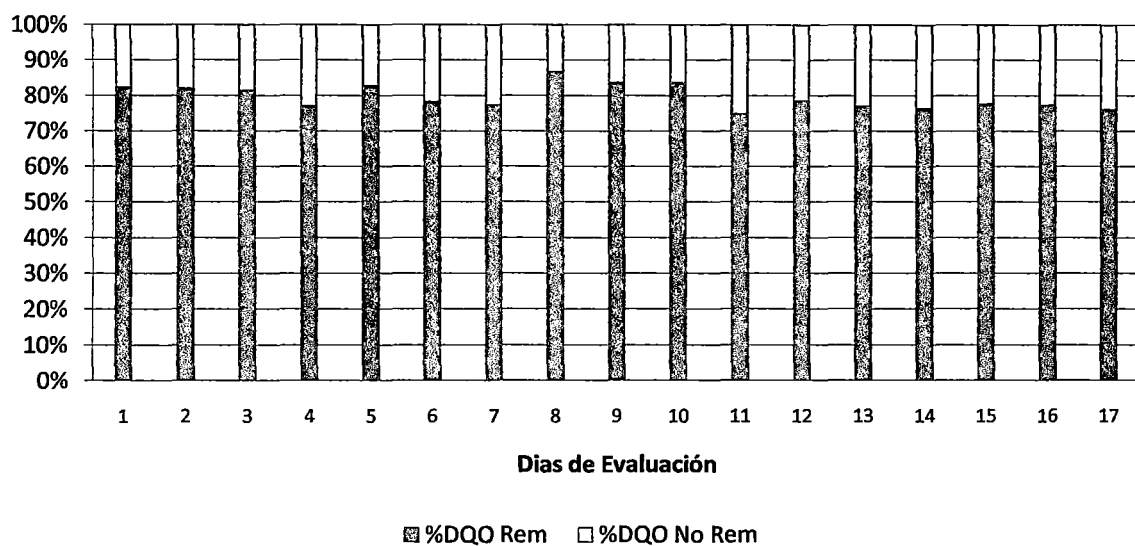


Gráfica 20



Gráfica 21

## EFICIENCIA DEL SISTEMA COMPLETO EN REMOCIÓN DE DQO - II ETAPA



## 5.4 RESULTADOS ADICIONALES DEL SISTEMA

### 5.4.1 Análisis de Aceites y Grasas

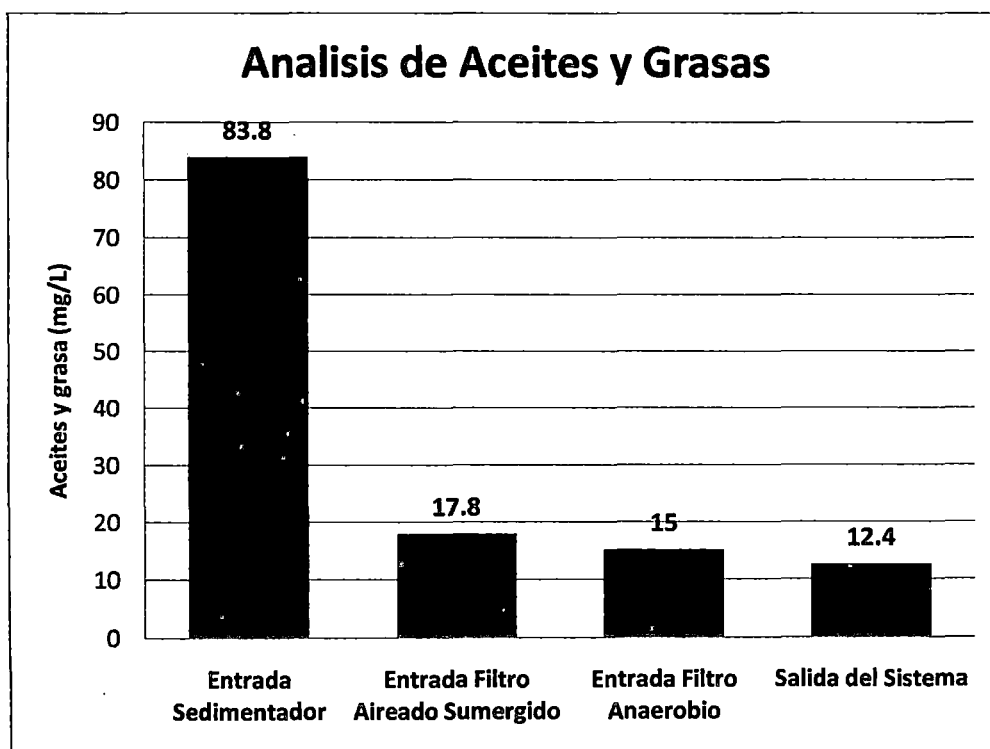
Adicionalmente a los análisis realizados, se mandó analizar las muestras para medir la cantidad existente de Aceites y Grasas, los resultados que se muestran a continuación determinan los valores obtenidos para cada unidad del sistema de tratamiento.

Tabla 22 Análisis de Aceites y Grasas

| Modulo                           | Cantidad | Unidad |
|----------------------------------|----------|--------|
| Entrada Sedimentador             | 83.8     | mg/L   |
| Entrada Filtro Aireado Sumergido | 17.8     | mg/L   |
| Entrada Filtro Anaerobio         | 15       | mg/L   |
| Salida del Sistema               | 12.4     | mg/L   |

#### Gráfico e Interpretación de Resultados

Gráfica 22



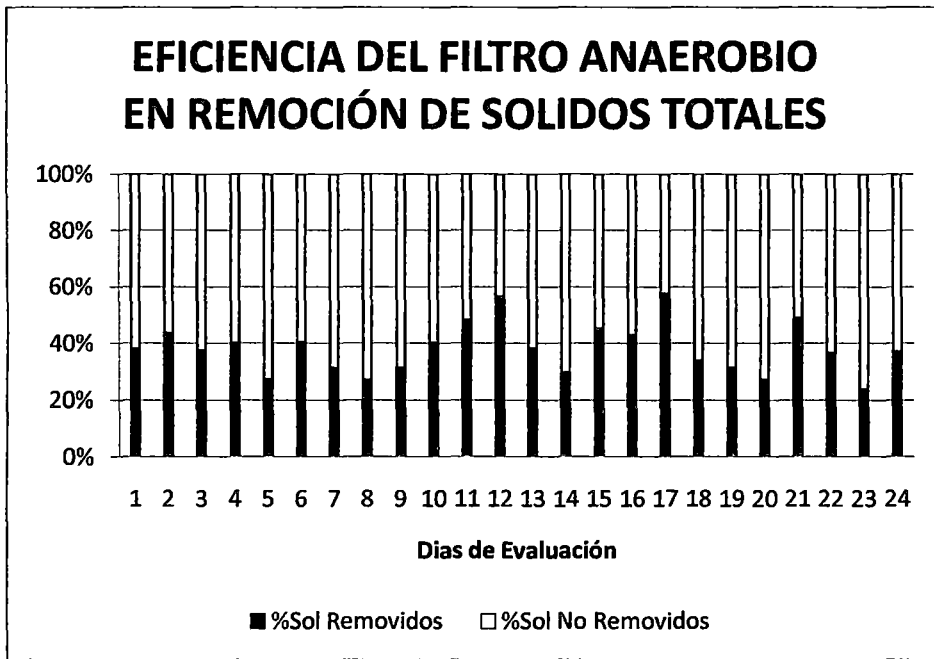
En la grafica referencial notamos que nuestro sedimentador removió gran cantidad de Aceites y grasas no siendo significativo la remoción en los demás módulos.

#### 5.4.2 Análisis de Sólidos

##### 5.4.2.1 Sólidos Totales en el Filtro Aireado Sumergido

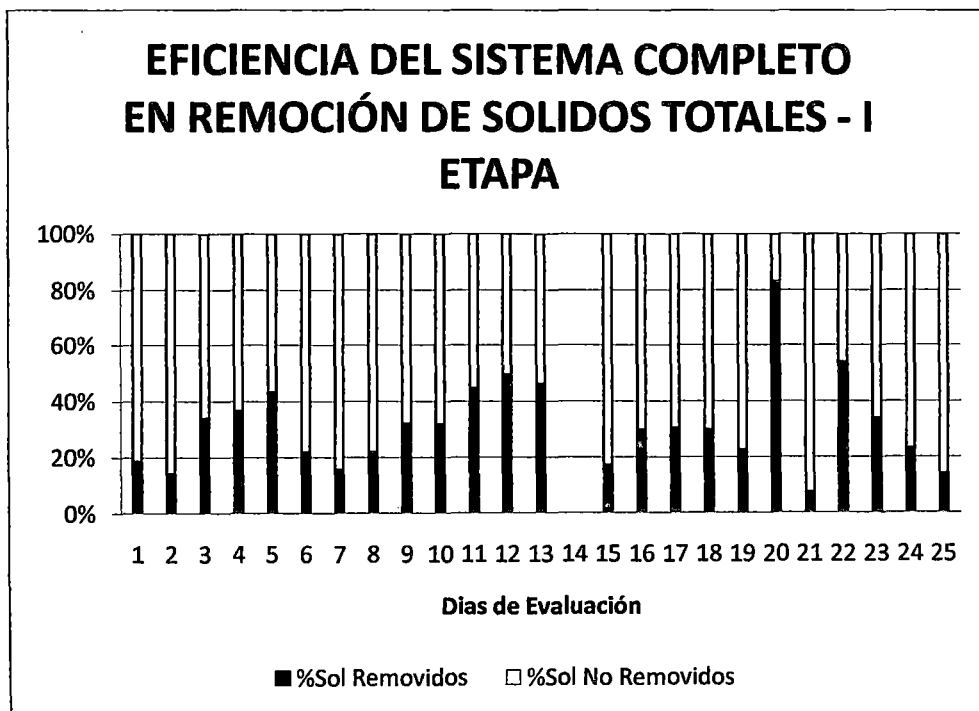


**5.4.2.2 Sólidos Totales en el Filtro Anaerobio**

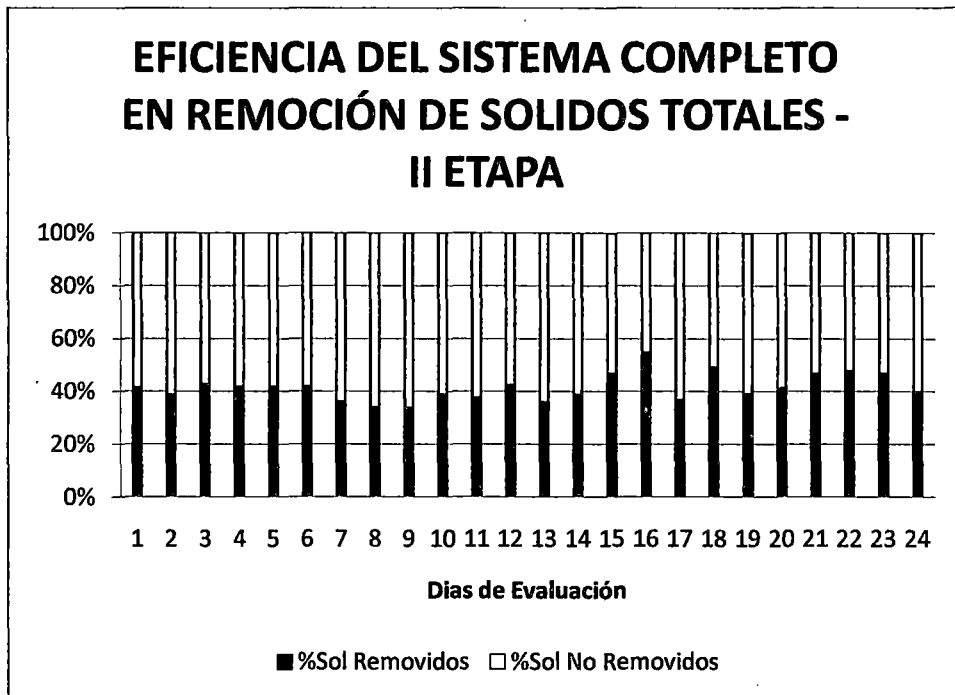


**5.4.2.3 Sólidos Totales en el Sistema Completo**

**Etapa - I**



## Etapa -II



## 5.5 CUADROS DE RESULTADOS OBTENIDOS

## 5.5.1 Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno



## 5.5.1.1 En el sedimentador

| FECHA      | ENTRADA | SALIDA SEDIM | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|---------|--------------|----------|-------------|
| 04/11/2009 | 2145    | 1896         | 11.61%   | 88.39%      |
| 06/11/2009 | 2210    | 1598         | 27.69%   | 72.31%      |
| 11/11/2009 | 2154    | 1463         | 32.08%   | 67.92%      |
| 13/11/2009 | 2014    | 1365         | 32.22%   | 67.78%      |
| 18/11/2009 | 2115    | 1487         | 29.69%   | 70.31%      |
| 20/11/2009 | 2241    | 1584         | 29.32%   | 70.68%      |
| 25/11/2009 | 2252    | 1465         | 34.95%   | 65.05%      |
| 27/11/2009 | 2047    | 1368         | 33.17%   | 66.83%      |
| 02/12/2009 | 2058    | 1425         | 30.76%   | 69.24%      |
| 04/12/2009 | 2005    | 1410         | 29.68%   | 70.32%      |
| 09/12/2009 | 2145    | 1544         | 28.02%   | 71.98%      |
| 11/12/2009 | 2139    | 1366         | 36.14%   | 63.86%      |
| 16/12/2009 | 2210    | 1630         | 26.24%   | 73.76%      |
| 18/12/2009 | 2450    | 1720         | 29.80%   | 70.20%      |
| 23/12/2009 | 2250    | 1620         | 28.00%   | 72.00%      |
| 24/12/2009 | 2245    | 1585         | 29.40%   | 70.60%      |
| 29/12/2009 | 2128    | 1566         | 26.41%   | 73.59%      |
| 30/12/2009 | 2210    | 1500         | 32.13%   | 67.87%      |
| 05/01/2010 | 2187    | 1507         | 31.09%   | 68.91%      |
| 06/01/2010 | 2100    | 1590         | 24.29%   | 75.71%      |
| 08/01/2010 | 2085    | 1485         | 28.78%   | 71.22%      |
| 13/01/2010 | 2210    | 1630         | 26.24%   | 73.76%      |
| 15/01/2010 | 2015    | 1450         | 28.04%   | 71.96%      |
| 20/01/2010 | 2230    | 1625         | 27.13%   | 72.87%      |
| 22/01/2010 | 2150    | 1550         | 27.91%   | 72.09%      |
| 27/01/2010 | 2080    | 1390         | 33.17%   | 66.83%      |
| 29/01/2010 | 2120    | 1498         | 29.34%   | 70.66%      |
| 03/02/2010 | 2110    | 1470         | 30.33%   | 69.67%      |
| 05/02/2010 | 2210    | 1660         | 24.89%   | 75.11%      |
| 10/02/2010 | 2220    | 1675         | 24.55%   | 75.45%      |
| 12/02/2010 | 2125    | 1550         | 27.06%   | 72.94%      |
| 17/02/2010 | 2140    | 1575         | 26.40%   | 73.60%      |
| 19/02/2010 | 2158    | 1628         | 24.56%   | 75.44%      |
| 24/02/2010 | 2150    | 1545         | 28.14%   | 71.86%      |
| 26/02/2010 | 2160    | 1596         | 26.11%   | 73.89%      |

### 5.5.1.2 En el Filtro Aireado Sumergido

| FECHA      | ENTRADA FILTRO | SALIDA FILTRO | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------------|---------------|----------|-------------|
| 04/11/2009 | 1896           | 1305          | 31.17%   | 68.83%      |
| 06/11/2009 | 1598           | 963           | 39.74%   | 60.26%      |
| 11/11/2009 | 1463           | 785           | 46.34%   | 53.66%      |
| 13/11/2009 | 1365           | 789           | 42.20%   | 57.80%      |
| 18/11/2009 | 1487           | 896           | 39.74%   | 60.26%      |
| 20/11/2009 | 1584           | 903           | 42.99%   | 57.01%      |
| 25/11/2009 | 1465           | 726           | 50.44%   | 49.56%      |
| 27/11/2009 | 1368           | 654           | 52.19%   | 47.81%      |
| 02/12/2009 | 1425           | 746           | 47.65%   | 52.35%      |
| 04/12/2009 | 1410           | 754           | 46.52%   | 53.48%      |
| 09/12/2009 | 1544           | 854           | 44.69%   | 55.31%      |
| 11/12/2009 | 1366           | 622           | 54.47%   | 45.53%      |
| 16/12/2009 | 1630           | 970           | 40.49%   | 59.51%      |
| 18/12/2009 | 1720           | 1010          | 41.28%   | 58.72%      |
| 23/12/2009 | 1620           | 990           | 38.89%   | 61.11%      |
| 24/12/2009 | 1585           | 845           | 46.69%   | 53.31%      |
| 29/12/2009 | 1566           | 813           | 48.08%   | 51.92%      |
| 30/12/2009 | 1500           | 802           | 46.53%   | 53.47%      |
| 05/01/2010 | 1507           | 816           | 45.85%   | 54.15%      |
| 06/01/2010 | 1590           | 785           | 50.63%   | 49.37%      |
| 08/01/2010 | 1485           | 635           | 57.24%   | 42.76%      |
| 13/01/2010 | 1630           | 845           | 48.16%   | 51.84%      |
| 15/01/2010 | 1450           | 680           | 53.10%   | 46.90%      |
| 20/01/2010 | 1625           | 980           | 39.69%   | 60.31%      |
| 22/01/2010 | 1550           | 786           | 49.29%   | 50.71%      |
| 27/01/2010 | 1390           | 624           | 55.11%   | 44.89%      |
| 29/01/2010 | 1498           | 759           | 49.33%   | 50.67%      |
| 03/02/2010 | 1470           | 623           | 57.62%   | 42.38%      |
| 05/02/2010 | 1660           | 824           | 50.36%   | 49.64%      |
| 10/02/2010 | 1675           | 835           | 50.15%   | 49.85%      |
| 12/02/2010 | 1550           | 736           | 52.52%   | 47.48%      |
| 17/02/2010 | 1575           | 724           | 54.03%   | 45.97%      |
| 19/02/2010 | 1628           | 890           | 45.33%   | 54.67%      |
| 24/02/2010 | 1545           | 710           | 54.05%   | 45.95%      |
| 26/02/2010 | 1596           | 786           | 50.75%   | 49.25%      |

: Se debe la Tonalidad en estos resultados, ya que en estas fechas funcionó todo el sistema completo en serie

### 5.5.1.3 En el Filtro Anaerobio

| FECHA      | ENTRADA FILTRO | SALIDA FILTRO | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------------|---------------|----------|-------------|
| 05/01/2010 | 816            | 391           | 52.08%   | 47.92%      |
| 06/01/2010 | 785            | 380           | 51.59%   | 48.41%      |
| 08/01/2010 | 635            | 390           | 38.58%   | 61.42%      |
| 13/01/2010 | 845            | 510           | 39.64%   | 60.36%      |
| 15/01/2010 | 680            | 350           | 48.53%   | 51.47%      |
| 20/01/2010 | 980            | 490           | 50.00%   | 50.00%      |
| 22/01/2010 | 786            | 490           | 37.66%   | 62.34%      |
| 27/01/2010 | 624            | 280           | 55.13%   | 44.87%      |
| 29/01/2010 | 759            | 350           | 53.89%   | 46.11%      |
| 03/02/2010 | 623            | 350           | 43.82%   | 56.18%      |
| 05/02/2010 | 824            | 560           | 32.04%   | 67.96%      |
| 10/02/2010 | 835            | 480           | 42.51%   | 57.49%      |
| 12/02/2010 | 736            | 490           | 33.42%   | 66.58%      |
| 17/02/2010 | 724            | 510           | 29.56%   | 70.44%      |
| 19/02/2010 | 890            | 485           | 45.51%   | 54.49%      |
| 24/02/2010 | 710            | 490           | 30.99%   | 69.01%      |
| 26/02/2010 | 786            | 520           | 33.84%   | 66.16%      |

### 5.5.1.4 En el sistema Completo

| FECHA      | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------|-------------|
| 04/11/2009 | 39.16%   | 60.84%      |
| 06/11/2009 | 56.43%   | 43.57%      |
| 11/11/2009 | 63.56%   | 36.44%      |
| 13/11/2009 | 60.82%   | 39.18%      |
| 18/11/2009 | 57.64%   | 42.36%      |
| 20/11/2009 | 59.71%   | 40.29%      |
| 25/11/2009 | 67.76%   | 32.24%      |
| 27/11/2009 | 68.05%   | 31.95%      |
| 02/12/2009 | 63.75%   | 36.25%      |
| 04/12/2009 | 62.39%   | 37.61%      |
| 09/12/2009 | 60.19%   | 39.81%      |
| 11/12/2009 | 70.92%   | 29.08%      |
| 16/12/2009 | 56.11%   | 43.89%      |
| 18/12/2009 | 58.78%   | 41.22%      |
| 23/12/2009 | 56.00%   | 44.00%      |

## Etapa I

|            |        |        |
|------------|--------|--------|
| 24/12/2009 | 62.36% | 37.64% |
| 29/12/2009 | 61.80% | 38.20% |
| 30/12/2009 | 63.71% | 36.29% |

## Etapa II

| FECHA      | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------|-------------|
| 05/01/2010 | 82.12%   | 17.88%      |
| 06/01/2010 | 81.90%   | 18.10%      |
| 08/01/2010 | 81.29%   | 18.71%      |
| 13/01/2010 | 76.92%   | 23.08%      |
| 15/01/2010 | 82.63%   | 17.37%      |
| 20/01/2010 | 78.03%   | 21.97%      |
| 22/01/2010 | 77.21%   | 22.79%      |
| 27/01/2010 | 86.54%   | 13.46%      |
| 29/01/2010 | 83.49%   | 16.51%      |
| 03/02/2010 | 83.41%   | 16.59%      |
| 05/02/2010 | 74.66%   | 25.34%      |
| 10/02/2010 | 78.38%   | 21.62%      |
| 12/02/2010 | 76.94%   | 23.06%      |
| 17/02/2010 | 76.17%   | 23.83%      |
| 19/02/2010 | 77.53%   | 22.47%      |
| 24/02/2010 | 77.21%   | 22.79%      |
| 26/02/2010 | 75.93%   | 24.07%      |

## 5.5.2 Evaluación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

### 5.5.2.1 En el sedimentador

| FECHA      | ENTRADA | SALIDA SEDIM | %DBO Rem | %DBO No Rem |
|------------|---------|--------------|----------|-------------|
| 04/11/2009 | 1214    | 1108         | 8.73%    | 91.27%      |
| 06/11/2009 | 1254    | 983          | 21.61%   | 78.39%      |
| 11/11/2009 | 1130    | 975          | 13.72%   | 86.28%      |
| 13/11/2009 | 1121    | 896          | 20.07%   | 79.93%      |
| 18/11/2009 | 1028    | 856          | 16.73%   | 83.27%      |
| 20/11/2009 | 1099    | 911          | 17.11%   | 82.89%      |
| 25/11/2009 | 1124    | 845          | 24.82%   | 75.18%      |
| 27/11/2009 | 1208    | 921          | 23.76%   | 76.24%      |
| 02/12/2009 | 1125    | 875          | 22.22%   | 77.78%      |
| 04/12/2009 | 1243    | 955          | 23.17%   | 76.83%      |
| 09/12/2009 | 1198    | 890          | 25.71%   | 74.29%      |
| 11/12/2009 | 1023    | 813          | 20.53%   | 79.47%      |
| 16/12/2009 | 1310    | 1014         | 22.60%   | 77.40%      |
| 18/12/2009 | 1450    | 1100         | 24.14%   | 75.86%      |
| 23/12/2009 | 1356    | 985          | 27.36%   | 72.64%      |
| 24/12/2009 | 1254    | 1050         | 16.27%   | 83.73%      |
| 29/12/2009 | 1198    | 823          | 31.30%   | 68.70%      |
| 30/12/2009 | 1240    | 916          | 26.13%   | 73.87%      |
| 05/01/2010 | 1287    | 905          | 29.68%   | 70.32%      |
| 06/01/2010 | 1100    | 812          | 26.18%   | 73.82%      |
| 08/01/2010 | 1051    | 646          | 38.53%   | 61.47%      |
| 13/01/2010 | 1316    | 1011         | 23.18%   | 76.82%      |
| 15/01/2010 | 1098    | 795          | 27.60%   | 72.40%      |
| 20/01/2010 | 1325    | 1006         | 24.08%   | 75.92%      |
| 22/01/2010 | 1230    | 984          | 20.00%   | 80.00%      |
| 27/01/2010 | 1005    | 854          | 15.02%   | 84.98%      |
| 29/01/2010 | 1145    | 898          | 21.57%   | 78.43%      |
| 03/02/2010 | 1120    | 965          | 13.84%   | 86.16%      |
| 05/02/2010 | 1210    | 980          | 19.01%   | 80.99%      |
| 10/02/2010 | 1290    | 994          | 22.95%   | 77.05%      |
| 12/02/2010 | 1190    | 896          | 24.71%   | 75.29%      |
| 17/02/2010 | 1140    | 865          | 24.12%   | 75.88%      |
| 19/02/2010 | 1215    | 946          | 22.14%   | 77.86%      |
| 24/02/2010 | 1195    | 876          | 26.69%   | 73.31%      |
| 26/02/2010 | 1208    | 983          | 18.63%   | 81.37%      |

### 5.5.2.2 En el Filtro Aireado Sumergido

| FECHA      | ENTRADA FILTRO | SALIDA FILTRO | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------------|---------------|----------|-------------|
| 04/11/2009 | 1108           | 746           | 32.67%   | 67.33%      |
| 06/11/2009 | 983            | 521           | 47.00%   | 53.00%      |
| 11/11/2009 | 975            | 408           | 58.15%   | 41.85%      |
| 13/11/2009 | 896            | 395           | 55.92%   | 44.08%      |
| 18/11/2009 | 856            | 366           | 57.24%   | 42.76%      |
| 20/11/2009 | 911            | 416           | 54.34%   | 45.66%      |
| 25/11/2009 | 845            | 387           | 54.20%   | 45.80%      |
| 27/11/2009 | 921            | 443           | 51.90%   | 48.10%      |
| 02/12/2009 | 875            | 355           | 59.43%   | 40.57%      |
| 04/12/2009 | 955            | 467           | 51.10%   | 48.90%      |
| 09/12/2009 | 890            | 394           | 55.73%   | 44.27%      |
| 11/12/2009 | 813            | 330           | 59.41%   | 40.59%      |
| 16/12/2009 | 1014           | 496           | 51.08%   | 48.92%      |
| 18/12/2009 | 1100           | 563           | 48.82%   | 51.18%      |
| 23/12/2009 | 985            | 421           | 57.26%   | 42.74%      |
| 24/12/2009 | 1050           | 589           | 43.90%   | 56.10%      |
| 29/12/2009 | 823            | 319           | 61.24%   | 38.76%      |
| 30/12/2009 | 916            | 342           | 62.66%   | 37.34%      |
| 05/01/2010 | 905            | 387           | 57.24%   | 42.76%      |
| 06/01/2010 | 812            | 354           | 56.40%   | 43.60%      |
| 08/01/2010 | 646            | 203           | 68.58%   | 31.42%      |
| 13/01/2010 | 1011           | 545           | 46.09%   | 53.91%      |
| 15/01/2010 | 795            | 276           | 65.28%   | 34.72%      |
| 20/01/2010 | 1006           | 566           | 43.74%   | 56.26%      |
| 22/01/2010 | 984            | 423           | 57.01%   | 42.99%      |
| 27/01/2010 | 854            | 359           | 57.96%   | 42.04%      |
| 29/01/2010 | 898            | 361           | 59.80%   | 40.20%      |
| 03/02/2010 | 965            | 302           | 68.70%   | 31.30%      |
| 05/02/2010 | 980            | 349           | 64.39%   | 35.61%      |
| 10/02/2010 | 994            | 402           | 59.56%   | 40.44%      |
| 12/02/2010 | 896            | 369           | 58.82%   | 41.18%      |
| 17/02/2010 | 865            | 384           | 55.61%   | 44.39%      |
| 19/02/2010 | 946            | 421           | 55.50%   | 44.50%      |
| 24/02/2010 | 876            | 361           | 58.79%   | 41.21%      |
| 26/02/2010 | 983            | 417           | 57.58%   | 42.42%      |

: Se debe la Tonalidad en estos resultados, ya que en estas fechas funcionó todo el sistema completo en serie

### 5.5.2.3 En el Filtro Anaerobio

| FECHA      | ENTRADA FILTRO | SALIDA FILTRO | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------------|---------------|----------|-------------|
| 05/01/2010 | 387            | 278           | 28.17%   | 71.83%      |
| 06/01/2010 | 354            | 298           | 15.82%   | 84.18%      |
| 08/01/2010 | 203            | 85            | 58.13%   | 41.87%      |
| 13/01/2010 | 545            | 396           | 27.34%   | 72.66%      |
| 15/01/2010 | 276            | 132           | 52.17%   | 47.83%      |
| 20/01/2010 | 566            | 406           | 28.27%   | 71.73%      |
| 22/01/2010 | 423            | 265           | 37.35%   | 62.65%      |
| 27/01/2010 | 359            | 221           | 38.44%   | 61.56%      |
| 29/01/2010 | 361            | 226           | 37.40%   | 62.60%      |
| 03/02/2010 | 302            | 163           | 46.03%   | 53.97%      |
| 05/02/2010 | 349            | 223           | 36.10%   | 63.90%      |
| 10/02/2010 | 402            | 259           | 35.57%   | 64.43%      |
| 12/02/2010 | 369            | 233           | 36.86%   | 63.14%      |
| 17/02/2010 | 384            | 241           | 37.24%   | 62.76%      |
| 19/02/2010 | 421            | 278           | 33.97%   | 66.03%      |
| 24/02/2010 | 361            | 218           | 39.61%   | 60.39%      |
| 26/02/2010 | 417            | 264           | 36.69%   | 63.31%      |

### 5.5.2.4 En el sistema Completo

| FECHA      | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------|-------------|
| 04/11/2009 | 38.55%   | 61.45%      |
| 06/11/2009 | 58.45%   | 41.55%      |
| 11/11/2009 | 63.89%   | 36.11%      |
| 13/11/2009 | 64.76%   | 35.24%      |
| 18/11/2009 | 64.40%   | 35.60%      |
| 20/11/2009 | 62.15%   | 37.85%      |
| 25/11/2009 | 65.57%   | 34.43%      |
| 27/11/2009 | 63.33%   | 36.67%      |
| 02/12/2009 | 68.44%   | 31.56%      |
| 04/12/2009 | 62.43%   | 37.57%      |
| 09/12/2009 | 67.11%   | 32.89%      |
| 11/12/2009 | 67.74%   | 32.26%      |
| 16/12/2009 | 62.14%   | 37.86%      |

## Etapa – I

|            |        |        |
|------------|--------|--------|
| 18/12/2009 | 61.17% | 38.83% |
| 23/12/2009 | 68.95% | 31.05% |
| 24/12/2009 | 53.03% | 46.97% |
| 29/12/2009 | 73.37% | 26.63% |
| 30/12/2009 | 72.42% | 27.58% |

## Etapa - II

| FECHA      | %DQO Rem | %DQO No Rem |
|------------|----------|-------------|
| 05/01/2010 | 78.40%   | 21.60%      |
| 06/01/2010 | 72.91%   | 27.09%      |
| 08/01/2010 | 91.91%   | 8.09%       |
| 13/01/2010 | 69.91%   | 30.09%      |
| 15/01/2010 | 87.98%   | 12.02%      |
| 20/01/2010 | 69.36%   | 30.64%      |
| 22/01/2010 | 78.46%   | 21.54%      |
| 27/01/2010 | 78.01%   | 21.99%      |
| 29/01/2010 | 80.26%   | 19.74%      |
| 03/02/2010 | 85.45%   | 14.55%      |
| 05/02/2010 | 81.57%   | 18.43%      |
| 10/02/2010 | 79.92%   | 20.08%      |
| 12/02/2010 | 80.42%   | 19.58%      |
| 17/02/2010 | 78.86%   | 21.14%      |
| 19/02/2010 | 77.12%   | 22.88%      |
| 24/02/2010 | 81.76%   | 18.24%      |
| 26/02/2010 | 78.15%   | 21.85%      |



### 5.5.3 Evaluación de Temperatura, Oxígeno Disuelto, y PH Medición en el Sedimentador:

| FECHA      | OXIGENO<br>DISUELTO | TEMPERATURA<br>°C | PH   |
|------------|---------------------|-------------------|------|
| 02/11/2009 | 0.13                | 22.6              | 7.5  |
| 03/11/2009 | 0.11                | 21.9              | 7.4  |
| 04/11/2009 | 0.12                | 22.3              | 7.51 |
| 05/11/2009 | 0.13                | 22.9              | 7.46 |
| 06/11/2009 | 0.11                | 23.1              | 7.49 |
| 09/11/2009 | 0.1                 | 22.4              | 7.48 |
| 10/11/2009 | 0.14                | 21.7              | 7.46 |
| 11/11/2009 | 0.1                 | 23.5              | 7.49 |
| 12/11/2009 | 0.11                | 23.8              | 7.52 |
| 13/11/2009 | 0.15                | 22.7              | 7.52 |
| 16/11/2009 | 0.13                | 22.6              | 7.53 |
| 17/11/2009 | 0.13                | 23.5              | 7.51 |
| 18/11/2009 | 0.12                | 23.8              | 7.5  |
| 19/11/2009 | 0.1                 | 22.1              | 7.49 |
| 20/11/2009 | 0.13                | 23.9              | 7.49 |
| 23/11/2009 | 0.14                | 23.7              | 7.46 |
| 24/11/2009 | 0.13                | 21.9              | 7.54 |
| 25/11/2009 | 0.15                | 21.5              | 7.49 |
| 26/11/2009 | 0.14                | 23.4              | 7.56 |
| 27/11/2009 | 0.15                | 23.5              | 7.51 |
| 30/11/2009 | 0.13                | 22.4              | 7.54 |
| 01/12/2009 | 0.13                | 23.5              | 7.45 |
| 02/12/2009 | 0.12                | 23.4              | 7.54 |
| 03/12/2009 | 0.13                | 23.5              | 7.41 |
| 04/12/2009 | 0.09                | 23.4              | 7.55 |
| 07/12/2009 | 0.11                | 23.4              | 7.66 |
| 09/12/2009 | 0.15                | 23.8              | 7.5  |
| 10/12/2009 | 0.12                | 23.4              | 7.65 |
| 11/12/2009 | 0.14                | 23.4              | 7.23 |
| 14/12/2009 | 0.15                | 23.2              | 7.21 |
| 15/12/2009 | 0.13                | 23.5              | 7.5  |
| 16/12/2009 | 0.11                | 24                | 7.34 |
| 17/12/2009 | 0.13                | 24                | 7.2  |
| 18/12/2009 | 0.08                | 23.8              | 7.3  |
| 21/12/2009 | 0.11                | 24                | 7.25 |
| 22/12/2009 | 0.15                | 23.2              | 7.5  |
| 23/12/2009 | 0.09                | 24.2              | 7.2  |

| FECHA      | OXIGENO<br>DISUELTO | TEMPERATURA<br>°C | PH   |
|------------|---------------------|-------------------|------|
| 24/12/2009 | 0.12                | 24.13             | 7.1  |
| 28/12/2009 | 0.13                | 24                | 7.25 |
| 29/12/2009 | 0.13                | 23.6              | 7.49 |
| 30/12/2009 | 0.09                | 24.1              | 7.3  |
| 04/01/2010 | 0.13                | 23                | 7.21 |
| 05/01/2010 | 0.13                | 24.4              | 7.53 |
| 06/01/2010 | 0.14                | 24.8              | 7.63 |
| 07/01/2010 | 0.15                | 24.2              | 7.46 |
| 08/01/2010 | 0.12                | 24.2              | 7.3  |
| 11/01/2010 | 0.11                | 23.4              | 7.12 |
| 12/01/2010 | 0.12                | 24.6              | 7.5  |
| 13/01/2010 | 0.09                | 24.1              | 7.4  |
| 14/01/2010 | 0.17                | 23.8              | 7.31 |
| 15/01/2010 | 0.16                | 23.5              | 7.32 |
| 18/01/2010 | 0.15                | 23.6              | 7.36 |
| 19/01/2010 | 0.15                | 24.1              | 7.29 |
| 20/01/2010 | 0.09                | 23.8              | 7.2  |
| 21/01/2010 | 0.09                | 23.5              | 7.11 |
| 22/01/2010 | 0.13                | 23.4              | 7.43 |
| 25/01/2010 | 0.15                | 23.4              | 7.31 |
| 26/01/2010 | 0.16                | 23.9              | 7.45 |
| 27/01/2010 | 0.11                | 23.8              | 7.25 |
| 28/01/2010 | 0.12                | 23.4              | 7.1  |
| 29/01/2010 | 0.15                | 23.6              | 7.25 |
| 01/02/2010 | 0.13                | 24.1              | 7.25 |
| 02/02/2010 | 0.14                | 23.9              | 7.21 |
| 03/02/2010 | 0.14                | 23.6              | 7.45 |
| 04/02/2010 | 0.11                | 24.1              | 7.1  |
| 05/02/2010 | 0.09                | 24.2              | 7.42 |
| 08/02/2010 | 0.13                | 22.6              | 7.1  |
| 09/02/2010 | 0.13                | 23.1              | 7.13 |
| 10/02/2010 | 0.09                | 23.2              | 7.14 |
| 11/02/2010 | 0.11                | 23.4              | 7.1  |
| 12/02/2010 | 0.11                | 23.5              | 7    |
| 15/02/2010 | 0.12                | 24.2              | 7.25 |
| 16/02/2010 | 0.13                | 23.9              | 7.25 |
| 17/02/2010 | 0.15                | 23                | 7.32 |
| 18/02/2010 | 0.15                | 23.4              | 7.36 |
| 19/02/2010 | 0.16                | 24.6              | 7.25 |
| 23/02/2010 | 0.14                | 23.8              | 7.15 |
| 25/02/2010 | 0.15                | 24.1              | 7.29 |

## Medición en el Filtro Aireado Sumergido:

| FECHA      | OXIGENO<br>DISUELTO | TEMPERATURA<br>°C | PH   |
|------------|---------------------|-------------------|------|
| 02/11/2009 | 1.98                | 22.4              | 7.65 |
| 03/11/2009 | 2.05                | 22.1              | 7.69 |
| 04/11/2009 | 2.09                | 23.1              | 7.63 |
| 05/11/2009 | 1.97                | 22.6              | 7.59 |
| 06/11/2009 | 2.24                | 22.5              | 7.58 |
| 09/11/2009 | 2.45                | 23.6              | 7.62 |
| 10/11/2009 | 2.26                | 23.5              | 7.63 |
| 11/11/2009 | 2.36                | 23.6              | 7.64 |
| 12/11/2009 | 2.54                | 23.4              | 7.68 |
| 13/11/2009 | 2.84                | 23.8              | 7.64 |
| 16/11/2009 | 2.67                | 22.4              | 7.63 |
| 17/11/2009 | 2.89                | 22.6              | 7.61 |
| 18/11/2009 | 2.87                | 22.5              | 7.69 |
| 19/11/2009 | 2.64                | 23.6              | 7.64 |
| 20/11/2009 | 2.98                | 23                | 7.63 |
| 23/11/2009 | 2.97                | 22.9              | 7.62 |
| 24/11/2009 | 2.85                | 23.4              | 7.61 |
| 25/11/2009 | 2.96                | 23.8              | 7.68 |
| 26/11/2009 | 2.83                | 23.7              | 7.65 |
| 27/11/2009 | 2.86                | 22.9              | 7.69 |
| 30/11/2009 | 2.88                | 22.7              | 7.66 |
| 01/12/2009 | 4.35                | 23.8              | 7.84 |
| 02/12/2009 | 4.26                | 23.6              | 7.66 |
| 03/12/2009 | 4.38                | 23.9              | 7.56 |
| 04/12/2009 | 3.85                | 23.8              | 7.89 |
| 07/12/2009 | 4.05                | 23.9              | 8.01 |
| 09/12/2009 | 4.95                | 23.9              | 8.12 |
| 10/12/2009 | 4.85                | 24                | 7.9  |
| 11/12/2009 | 4.26                | 24                | 8    |
| 14/12/2009 | 4.22                | 23.5              | 7.48 |
| 15/12/2009 | 3.21                | 24.3              | 7.7  |
| 16/12/2009 | 4.59                | 24.5              | 8.13 |
| 17/12/2009 | 4.44                | 24.3              | 8    |
| 18/12/2009 | 4.48                | 24.8              | 7.69 |
| 21/12/2009 | 4.33                | 24.2              | 7.56 |
| 22/12/2009 | 4.5                 | 24.7              | 7.89 |
| 23/12/2009 | 5.5                 | 25.3              | 7.5  |

| FECHA      | OXIGENO<br>DISUELTO | TEMPERATURA<br>°C | PH   |
|------------|---------------------|-------------------|------|
| 24/12/2009 | 4.47                | 24.5              | 7.52 |
| 28/12/2009 | 4.52                | 24.5              | 7.45 |
| 29/12/2009 | 4.75                | 24.2              | 7.93 |
| 30/12/2009 | 4.72                | 24.7              | 7.77 |
| 04/01/2010 | 4.39                | 23.6              | 7.54 |
| 05/01/2010 | 4.66                | 25.1              | 7.98 |
| 06/01/2010 | 4.44                | 25.2              | 7.63 |
| 07/01/2010 | 4.47                | 25.1              | 7.65 |
| 08/01/2010 | 2.11                | 25.3              | 7.63 |
| 11/01/2010 | 4.31                | 23.9              | 7.66 |
| 12/01/2010 | 3.46                | 25.4              | 7.62 |
| 13/01/2010 | 4.61                | 25.2              | 7.65 |
| 14/01/2010 | 4.45                | 24.3              | 7.69 |
| 15/01/2010 | 4.35                | 24.6              | 7.68 |
| 18/01/2010 | 4.52                | 24.4              | 7.64 |
| 19/01/2010 | 2.98                | 24.8              | 7.61 |
| 20/01/2010 | 3.1                 | 24.5              | 7.63 |
| 21/01/2010 | 3.24                | 24.6              | 7.85 |
| 22/01/2010 | 3.68                | 23.8              | 7.9  |
| 25/01/2010 | 4.59                | 24.5              | 7.66 |
| 26/01/2010 | 4.62                | 24.5              | 7.98 |
| 27/01/2010 | 3.21                | 24.4              | 7.66 |
| 28/01/2010 | 3.2                 | 24.2              | 7.29 |
| 29/01/2010 | 4.25                | 24.6              | 7.84 |
| 01/02/2010 | 3.35                | 24.8              | 7.85 |
| 02/02/2010 | 3.55                | 24.2              | 7.82 |
| 03/02/2010 | 3.81                | 24.5              | 7.69 |
| 04/02/2010 | 3.09                | 24.8              | 7.72 |
| 05/02/2010 | 4.62                | 24.8              | 7.69 |
| 08/02/2010 | 3.01                | 23.5              | 7.69 |
| 09/02/2010 | 3.32                | 24.2              | 7.61 |
| 10/02/2010 | 4.25                | 24.1              | 7.6  |
| 11/02/2010 | 3.67                | 23.9              | 7.2  |
| 12/02/2010 | 3.32                | 24.1              | 7.51 |
| 15/02/2010 | 4.11                | 24.9              | 7.64 |
| 16/02/2010 | 3.58                | 24.4              | 7.5  |
| 17/02/2010 | 4.62                | 23.9              | 7.66 |
| 18/02/2010 | 4.51                | 23.9              | 7.69 |
| 19/02/2010 | 4.63                | 25.1              | 7.61 |
| 23/02/2010 | 4.52                | 24.6              | 7.29 |
| 25/02/2010 | 4.26                | 24.3              | 7.65 |

## Medición en el Filtro Anaerobio:

| FECHA      | OXIGENO<br>DISUELTO | TEMPERATURA<br>°C | PH   |
|------------|---------------------|-------------------|------|
| 04/01/2010 | 0.15                | 24.1              | 7.96 |
| 05/01/2010 | 0.11                | 25.4              | 7.85 |
| 06/01/2010 | 0.14                | 25.6              | 7.86 |
| 07/01/2010 | 0.17                | 25.8              | 7.89 |
| 08/01/2010 | 0.17                | 25.7              | 7.87 |
| 11/01/2010 | 0.14                | 24.9              | 7.99 |
| 12/01/2010 | 0.18                | 25.9              | 7.96 |
| 13/01/2010 | 0.2                 | 25.6              | 7.95 |
| 14/01/2010 | 0.19                | 25                | 7.93 |
| 15/01/2010 | 0.18                | 24.9              | 7.85 |
| 18/01/2010 | 0.21                | 25                | 7.88 |
| 19/01/2010 | 0.17                | 25.1              | 7.91 |
| 20/01/2010 | 0.11                | 24.9              | 7.93 |
| 21/01/2010 | 0.11                | 25.3              | 7.96 |
| 22/01/2010 | 0.16                | 24.6              | 7.85 |
| 25/01/2010 | 0.19                | 24.9              | 7.86 |
| 26/01/2010 | 0.21                | 25.1              | 7.94 |
| 27/01/2010 | 0.18                | 24.9              | 7.96 |
| 28/01/2010 | 0.19                | 25                | 7.94 |
| 29/01/2010 | 0.19                | 25.4              | 7.96 |
| 01/02/2010 | 0.2                 | 25.3              | 7.96 |
| 02/02/2010 | 0.23                | 25.3              | 7.91 |
| 03/02/2010 | 0.12                | 25.1              | 7.82 |
| 04/02/2010 | 0.19                | 25.3              | 7.85 |
| 05/02/2010 | 0.15                | 25.3              | 7.84 |
| 08/02/2010 | 0.18                | 24.6              | 7.93 |
| 09/02/2010 | 0.19                | 25                | 7.81 |
| 10/02/2010 | 0.19                | 24.9              | 7.83 |
| 11/02/2010 | 0.13                | 24.8              | 7.86 |
| 12/02/2010 | 0.18                | 25.3              | 7.82 |
| 15/02/2010 | 0.16                | 25.6              | 7.83 |
| 16/02/2010 | 0.14                | 24.9              | 7.96 |
| 17/02/2010 | 0.14                | 24.2              | 7.93 |
| 18/02/2010 | 0.15                | 24.6              | 7.93 |
| 19/02/2010 | 0.12                | 25.6              | 7.96 |
| 23/02/2010 | 0.16                | 25.1              | 7.85 |
| 25/02/2010 | 0.11                | 24.9              | 7.89 |

### 5.5.4 Medición de Sólidos Sedimentables en el Sedimentador

| Fecha      | SOLIDO SEDIMENTABLES (ml/h) |
|------------|-----------------------------|
| 02/11/2009 | 40.35                       |
| 04/11/2009 | 42.40                       |
| 06/11/2009 | 38.84                       |
| 09/11/2009 | 37.54                       |
| 11/11/2009 | 40.67                       |
| 13/11/2009 | 43.59                       |
| 16/11/2009 | 42.29                       |
| 18/11/2009 | 38.73                       |
| 20/11/2009 | 37.76                       |
| 23/11/2009 | 38.19                       |
| 25/11/2009 | 34.96                       |
| 27/11/2009 | 33.77                       |
| 30/11/2009 | 35.93                       |
| 02/12/2009 | 39.70                       |
| 04/12/2009 | 37.54                       |
| 07/12/2009 | 33.88                       |
| 09/12/2009 | 35.60                       |
| 11/12/2009 | 37.33                       |
| 14/12/2009 | 37.87                       |
| 16/12/2009 | 44.56                       |
| 18/12/2009 | 41.43                       |
| 21/12/2009 | 34.09                       |
| 23/12/2009 | 34.42                       |
| 28/12/2009 | 39.59                       |
| 30/12/2009 | 43.05                       |

| Fecha      | SOLIDO SEDIMENTABLES (ml/h) |
|------------|-----------------------------|
| 04/01/2010 | 51.03                       |
| 06/01/2010 | 44.02                       |
| 08/01/2010 | 36.36                       |
| 11/01/2010 | 30.10                       |
| 13/01/2010 | 24.60                       |
| 15/01/2010 | 26.97                       |
| 18/01/2010 | 42.40                       |
| 20/01/2010 | 44.77                       |
| 22/01/2010 | 52.00                       |
| 25/01/2010 | 34.42                       |
| 27/01/2010 | 41.21                       |
| 29/01/2010 | 42.83                       |
| 01/02/2010 | 39.06                       |
| 03/02/2010 | 31.40                       |
| 05/02/2010 | 29.13                       |
| 08/02/2010 | 32.91                       |
| 10/02/2010 | 36.57                       |
| 12/02/2010 | 45.10                       |
| 15/02/2010 | 43.59                       |
| 17/02/2010 | 37.98                       |
| 19/02/2010 | 33.55                       |
| 22/02/2010 | 29.02                       |
| 24/02/2010 | 31.29                       |
| 26/02/2010 | 37.87                       |

## 5.6 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE TRATADO

A continuación se presenta las condiciones del efluente del sistema de tratamiento:

Tabla 23: Caracterización del efluente tratado<sup>40</sup>

| Parámetros                  | Unidad              | Valor Min<br>(mg/L) | Valor Max<br>(mg/L) | Valor Promedio<br>(mg/L) | DS 021-2009<br>Valores Máximos Admisibles | Estándares de Calidad Ambiental<br>Categoría 1-B2 |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---|---|
| Caudal                      | (m <sup>3</sup> /d) | 0.072               |                     |                          |   |   |
| DQO                         | mg/L                | 280                 | 560                 | 444                      | 1000                                      | 50  |
| DBO <sub>5</sub>            | mg/L                | 85                  | 406                 | 255                      | 500                                       | 10  |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L                | 2160                | 4360                | 3146                     | 500                                       | —   |
| Sólidos totales             | mg/L                | 1070                | 3100                | 2080                     | —   | —   |
| Turbidez                    | NTU                 | 31.4                | 190                 | 102                      | —   | —   |
| Oxígeno disuelto            | mg/L                | <1                  | <1                  | <1                       | —   | ≥4  |
| Aceites y grasas            | mg/L                | 12.4                | 12.4                | 12.4                     | 100                                       | —   |
| Coliformes termotolerantes  | NMP/100mL           | 4.3x10 <sup>5</sup> | 4.3x10 <sup>5</sup> | 4.3x10 <sup>5</sup>      | —   | 1000  |
| Fosforo Total               | mg/L                | 8.96                | 8.96                | 8.96                     | —   | —   |
| Nitrógeno Orgánico total    | mg/L                | 4                   | 4                   | 4                        | —   | —   |

<sup>40</sup> Los dos últimos ensayos de laboratorio fueron realizados por el laboratorio ENVIROPLAB Environmental Analytical Services acreditado ante INDECOPI.

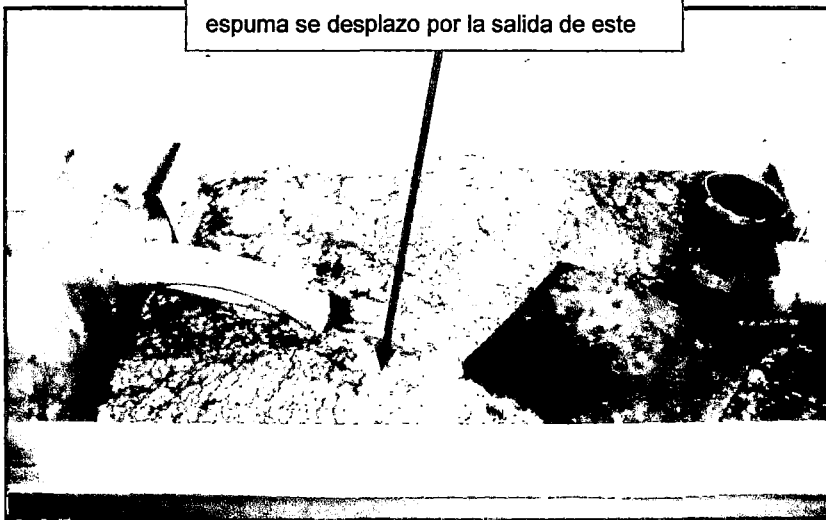
## 5.7 OBSERVACIONES DURANTE LA OPERACIÓN

Debido a su configuración este modulo funcionó también como una trampa de grasa (ingreso y salida ahogados)



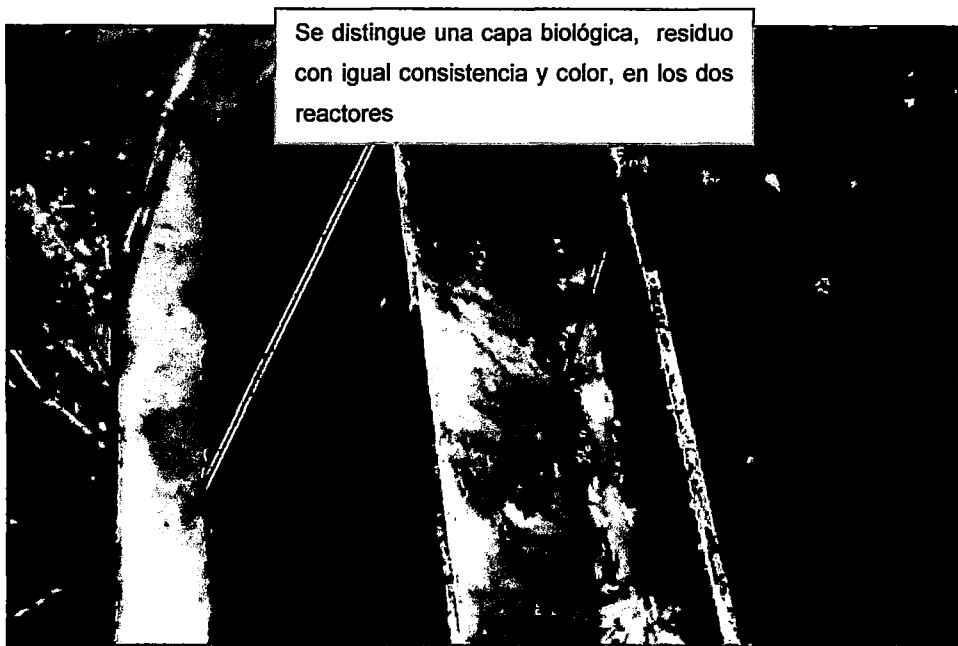
*Imagen 121 La espuma logra fugar del reactor y entrar al sedimentador por la salida de este, a su vez que el sedimentador por su configuración sirvió también como trampa de grasa*

Aparición de espuma en este modulo la espuma se desplazo por la salida de este



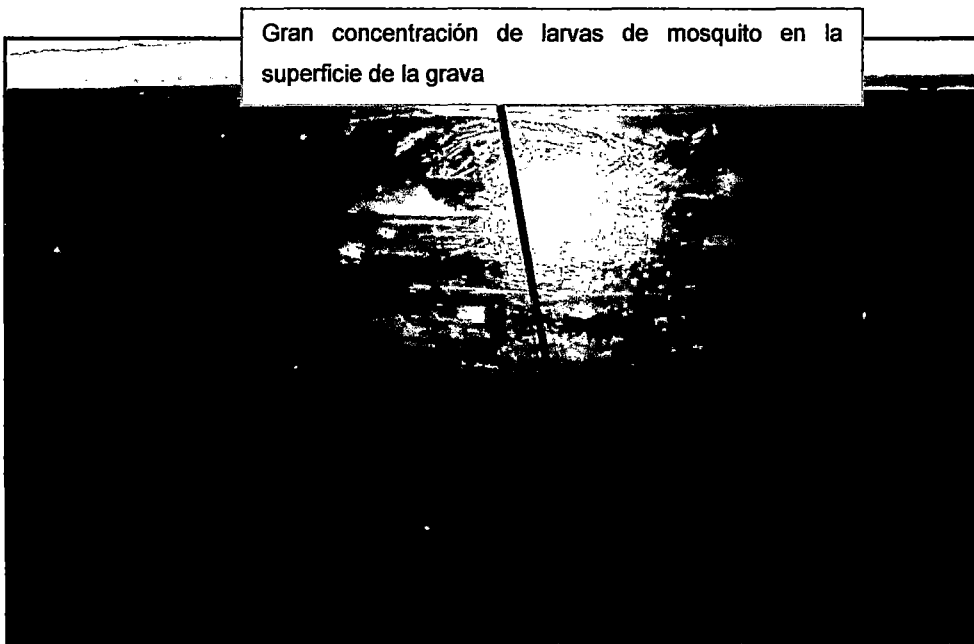
*Imagen 122 Residuo blanquecino característico de un sistema anaerobio depositado en las paredes de la salida del reactor*



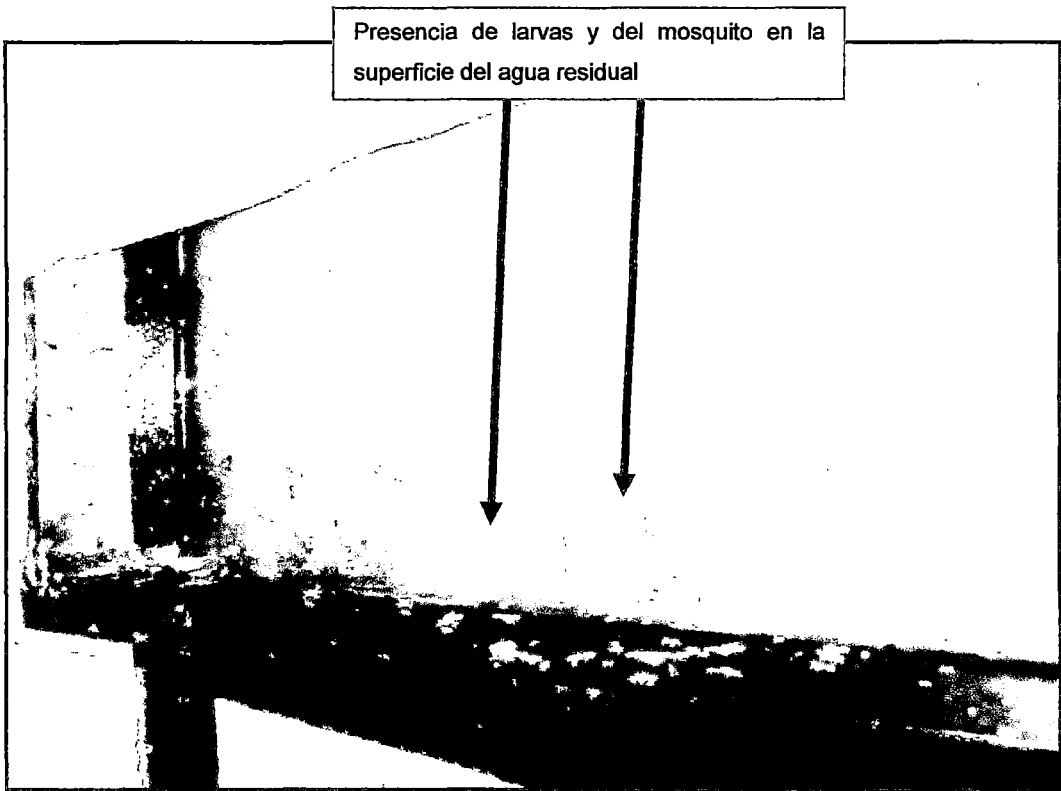


*Imagen 123 Se nota el mismo residuo en las paredes del filtro anaerobio el mismo color y consistencia*

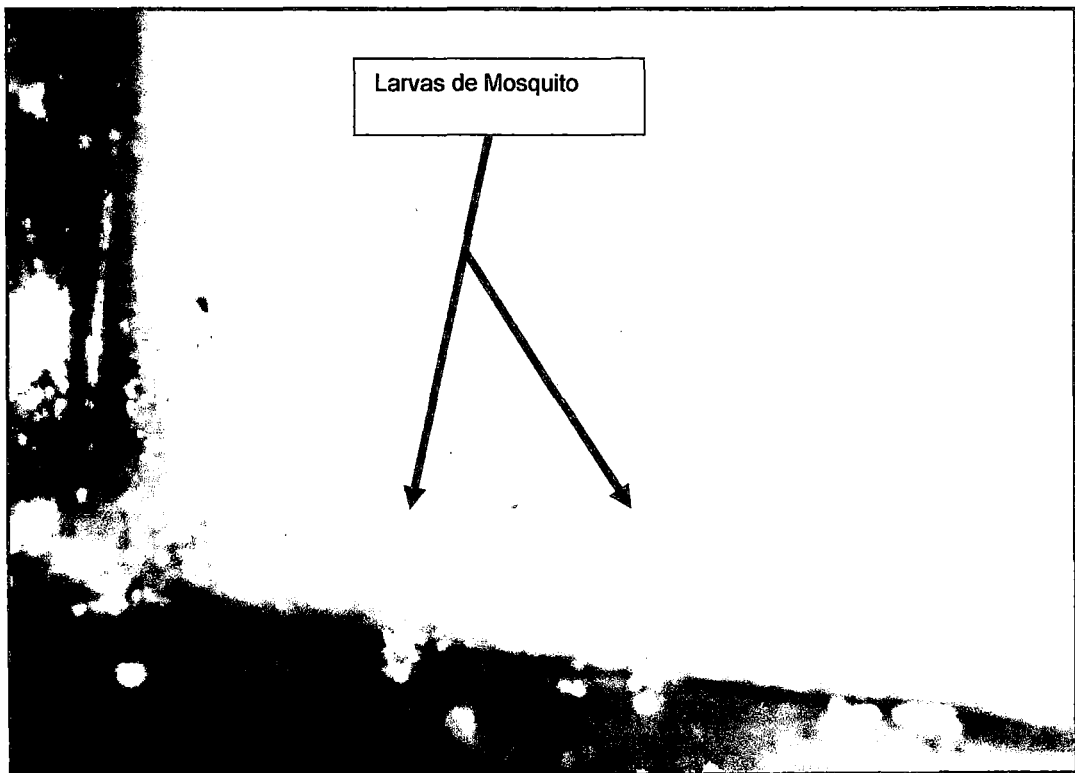
A mediados de quincena de enero se encontró a la entrada del filtro anaerobio una proliferación de larvas de moscas identificadas como *Psychoda* spp

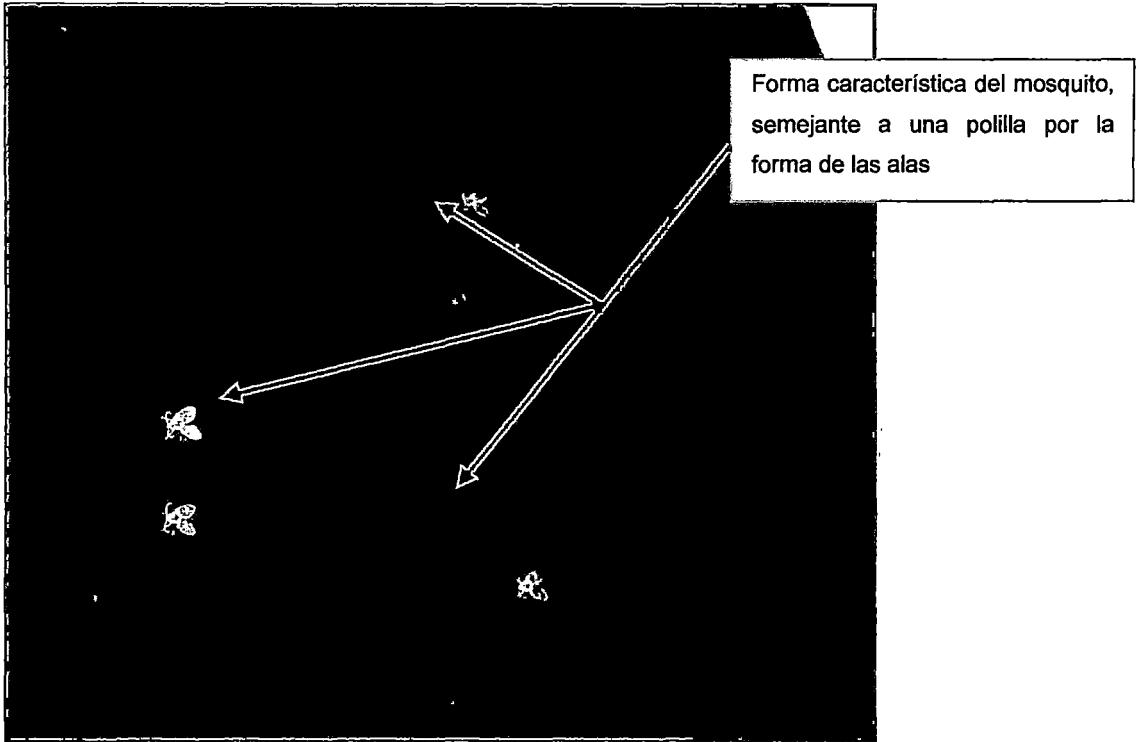


*Imagen 124 Se nota una gran concentración de las larvas en la superficie de la grava y pequeños residuos de los cuales sirven como alimento a estas larvas*

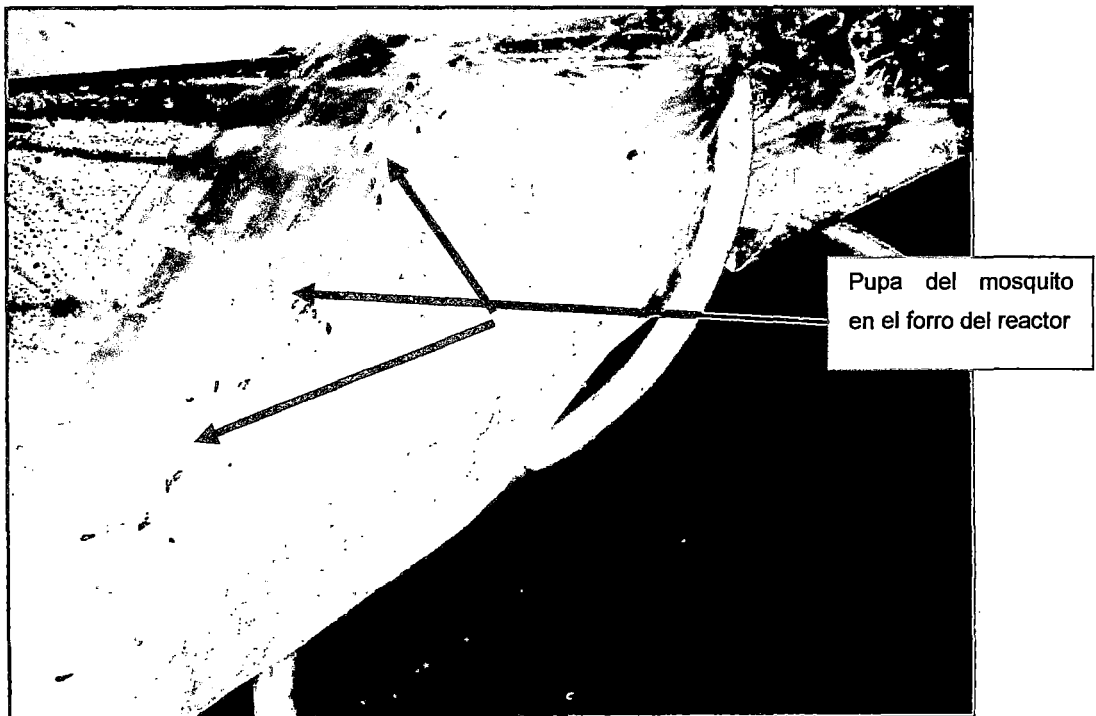


*Imagen 125 Gran cantidad de larvas y mosquitos*





*Imagen 126 Mosquitos Psychoda posados en la pared del modulo se puede notar su fisionomía característica*



*Imagen 127 Notamos en el forro del reactor la presencia de pupas del mosquito y en el fondo del recipiente las larvas alimentándose del residuo*



*Imagen 128 Se nota en la manguera de entrada sumergida las larvas del mosquito y el mosquito en las paredes del reactor*

## 5.8 APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DISEÑO PARA PROCESOS DE PELÍCULA FIJA SUMERGIDA (PFS).

Con la configuración propuesta en el estudio del reactor a escala de laboratorio y las condiciones de operación, se empleara líneas más abajo, la Ecuación de Diseño Para Procesos de Película Fija Sumergida (PFS) para comprobar si la ecuación refleja las eficiencias de remoción de este tipo de procesos, y si es aplicable para este tipo de agua residual, los resultados serán comparados con los resultados obtenidos en el estudio.

Se emplearan las constantes k y P determinadas experimentalmente, por el investigador David Gómez Salas, de la Ecuación Para Procesos Película Fija Sumergida.

### Constante cinética “k”:

El valor para PFS a temperatura de 20 °C es de 0.016 d<sup>-1</sup>. ( mg/L )<sup>-1</sup>. Se realizará la corrección de “k” en función de la temperatura aplicada, ya que la velocidad de degradación de la materia orgánica depende de la temperatura.

Utilizaremos la ecuación de Arrhenius:

#### Ecuación 10

$$k_T = k_{20} \times 1.05^{(T-20)}$$

En donde:

K<sub>T</sub>: Constante a la temperatura del agua T promedio del mes más frío, en °C.

K<sub>20</sub>: Constante a 20 °C.

### Constante de proporcionalidad “P”:

Este valor es proporcional a la concentración de microorganismos en la superficie del medio de soporte por lo que depende del espesor de la biopelícula

y su peso específico. El valor para la PFS a temperatura de 20 °C es de 2.3 mg/cm<sup>2</sup>, no haciéndose necesaria la corrección por temperatura de ésta constante, ya que su valor depende más de las condiciones de aireación y la regeneración de la biopelícula envejecida.

Es decir deben de existir condiciones de mezcla, la aireación debe de tener la suficiente fuerza de arrastre de la biopelícula envejecida y la distancia o espacio libre del medio de contacto donde crece la biopelícula sea la suficiente que permita el drenaje de la biopelícula envejecida<sup>41</sup>

Cabe mencionar que en la presente investigación se realizó considerando una densidad de empaque de 330cm<sup>2</sup>/L, siendo en nuestro caso 2423.8 cm<sup>2</sup>/L, asumiendo que, por esta característica la constante de proporcionalidad disminuirá al valor de 0.31.

Ecuación de procesos de Película Fija Sumergida.<sup>42</sup>

**Ecuación 11**

$$t = \frac{Vr}{Q} = \frac{1}{kSo\left(\frac{PD}{So} - 1\right)} \ln \left[ \frac{1 - XaSo/PD}{1 - Xa} \right]$$

Donde:

t: es el periodo de retención en días

Q: es el caudal del afluente (m<sup>3</sup>/d)

Vr: es el volumen del reactor (m<sup>3</sup>).

D: Superficie específica o densidad del medio (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)

k: es la constante cinética.

P: es constante de proporcionalidad.

So: es la concentración de DBO inicial

<sup>41</sup> Gomez D.Ecuacion de Diseño para Película Fija Sumergida

<sup>42</sup> Fuente: [Gomez D.Ecuacion de Diseño para Película Fija Sumergida].

Xa: es la fracción de la DBO removida en el proceso

### DATOS DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DISEÑO PARA PROCESOS DE PELÍCULA FIJA SUMERGIDA (PFS)- ETAPA I

**Tabla 24. Valores determinados para el módulo del Filtro Aireado sumergido -  
primera etapa de la investigación**

| Datos de Diseño  |                       |         |                                      |
|--|-----------------------|---------|--------------------------------------|
| Caudal   | Q                     | 0.001   | L/s                                  |
| Temperatura mínima                                     |                       | 22.1    | °C                                   |
| Tiempo de retención                                    |                       | 61416   | s                                    |
| Tiempo de retención                                    |                       | 17.06   | h                                    |
| Tiempo de retención                                    | t                     | 0.71    | d                                    |
| Superficie específica del medio de contacto            |                       | 242.38  | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>       |
| Superficie específica o densidad del medio de contacto | z                     | 2423.8  | cm <sup>2</sup> /L                   |
| Tirante de agua  | h                     | 0.3     | m                                    |
| Altura del medio de contacto                           | h <sub>m</sub>        | 0.13    | m                                    |
| Volumen ocupado por el medio                           | h <sub>m</sub> /h.100 | 43%     | %                                    |
| Superficie específica o densidad ocupada por el medio  | zh <sub>m</sub> /h    | 1050.31 | cm <sup>2</sup> /L                   |
| Constante cinética a 20°C                              | k <sub>20</sub>       | 0.016   | d <sup>-1</sup> (mg/L) <sup>-1</sup> |
| Corrección por Arrhenius                               | k <sub>T</sub>        | 0.018   | d <sup>-1</sup> (mg/L) <sup>-1</sup> |
| Constante SSV/AREA                                     | P                     | 0.31    | mg/cm <sup>2</sup>                   |

Tabla 25: Comparación de la DBO real con la teórica ETAPA I

| Fecha      | Afluente | Efluente | R      | Remoción Xa | efluente  | (R-Xa)/Xa |
|------------|----------|----------|--------|-------------|-----------|-----------|
| 04/11/2009 | 1108     | 746      | 32.67% | 29.38%      | 782.415   | 11.18%    |
| 06/11/2009 | 983      | 521      | 47.00% | 33.12%      | 657.458   | 41.92%    |
| 11/11/2009 | 975      | 408      | 58.15% | 33.39%      | 649.463   | 74.17%    |
| 13/11/2009 | 896      | 395      | 55.92% | 36.32%      | 570.560   | 53.95%    |
| 18/11/2009 | 856      | 366      | 57.24% | 38.01%      | 530.656   | 50.61%    |
| 20/11/2009 | 911      | 416      | 54.34% | 35.73%      | 585.534   | 52.09%    |
| 25/11/2009 | 845      | 387      | 54.20% | 38.50%      | 519.691   | 40.79%    |
| 27/11/2009 | 921      | 443      | 51.90% | 35.34%      | 595.519   | 46.86%    |
| 02/12/2009 | 875      | 355      | 59.43% | 37.19%      | 549.604   | 59.81%    |
| 04/12/2009 | 955      | 467      | 51.10% | 34.09%      | 629.480   | 49.91%    |
| 09/12/2009 | 890      | 394      | 55.73% | 36.57%      | 564.571   | 52.41%    |
| 11/12/2009 | 813      | 330      | 59.41% | 40.00%      | 487.823   | 48.53%    |
| 16/12/2009 | 1014     | 496      | 51.08% | 32.11%      | 688.441   | 59.11%    |
| 18/12/2009 | 1100     | 563      | 48.82% | 29.60%      | 774.416   | 64.93%    |
| 23/12/2009 | 985      | 421      | 57.26% | 33.05%      | 659.457   | 73.25%    |
| 24/12/2009 | 1050     | 589      | 43.90% | 31.01%      | 724.427   | 41.60%    |
| 29/12/2009 | 823      | 319      | 61.24% | 39.52%      | 497.776   | 54.97%    |
| 30/12/2009 | 916      | 342      | 62.66% | 35.53%      | 590.526   | 76.36%    |
| promedio   | 939.78   | 442.11   | 50.02% | 34.91%      | 61432.32% | 52.91%    |



**DATOS DE LA ECUACIÓN GENERAL DE DISEÑO PARA PROCESOS DE  
PELÍCULA FIJA SUMERGIDA (PFS)- ETAPA II**

**Tabla 26: Valores determinados para el módulo del Filtro Aireado sumergido –  
segunda etapa de la investigación**

| Datos de Diseño  |                       |         |                                      |
|--|-----------------------|---------|--------------------------------------|
| Caudal   | Q                     | 0.001   | L/s                                  |
| Temperatura mínima                                     |                       | 22.1    | °C                                   |
| Tiempo de retención                                    |                       | 33048   | s                                    |
| Tiempo de retención                                    |                       | 9.18    | h                                    |
| Tiempo de retención                                    | t                     | 0.38    | d                                    |
| Superficie específica del medio de contacto            |                       | 242.38  | m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>       |
| Superficie específica o densidad del medio de contacto | z                     | 2423.8  | cm <sup>2</sup> /L                   |
| Tirante de agua  | h                     | 0.3     | m                                    |
| Altura del medio de contacto                           | h <sub>m</sub>        | 0.17    | m                                    |
| Volumen ocupado por el medio                           | h <sub>m</sub> /h.100 | 57%     | %                                    |
| Superficie específica o densidad ocupada por el medio  | zh <sub>m</sub> /h    | 1373.49 | cm <sup>2</sup> /L                   |
| Constante cinética a 20°C                              | k <sub>20</sub>       | 0.016   | d <sup>-1</sup> (mg/L) <sup>-1</sup> |
| Corrección por Arrhenius                               | k <sub>T</sub>        | 0.018   | d <sup>-1</sup> (mg/L) <sup>-1</sup> |
| Constante SSV/AREA                                     | P                     | 0.31    | mg/cm <sup>2</sup>                   |

Tabla 27: Comparación de la DBO real con la teórica ETAPA II

| fecha      | influyente | efluente | R      | Remoción Xa | efluente  | (R-Xa)/Xa |
|------------|------------|----------|--------|-------------|-----------|-----------|
| 05/01/2010 | 905        | 387      | 57.24% | 46.06%      | 488.130   | 24.26%    |
| 06/01/2010 | 812        | 354      | 56.40% | 50.55%      | 401.569   | 11.59%    |
| 08/01/2010 | 646        | 203      | 68.58% | 59.99%      | 258.496   | 14.32%    |
| 13/01/2010 | 1011       | 545      | 46.09% | 41.65%      | 589.918   | 10.67%    |
| 15/01/2010 | 795        | 276      | 65.28% | 51.43%      | 386.137   | 26.94%    |
| 20/01/2010 | 1006       | 566      | 43.74% | 41.84%      | 585.064   | 4.53%     |
| 22/01/2010 | 984        | 423      | 57.01% | 42.71%      | 563.759   | 33.49%    |
| 27/01/2010 | 854        | 359      | 57.96% | 48.45%      | 440.255   | 19.64%    |
| 29/01/2010 | 898        | 361      | 59.80% | 46.38%      | 481.509   | 28.93%    |
| 03/02/2010 | 965        | 302      | 68.70% | 43.48%      | 545.436   | 58.02%    |
| 05/02/2010 | 980        | 349      | 64.39% | 42.87%      | 559.896   | 50.20%    |
| 10/02/2010 | 994        | 402      | 59.56% | 42.31%      | 573.432   | 40.76%    |
| 12/02/2010 | 896        | 369      | 58.82% | 46.47%      | 479.620   | 26.57%    |
| 17/02/2010 | 865        | 384      | 55.61% | 47.92%      | 450.505   | 16.04%    |
| 19/02/2010 | 946        | 421      | 55.50% | 44.27%      | 527.192   | 25.36%    |
| 24/02/2010 | 876        | 361      | 58.79% | 47.40%      | 460.798   | 24.04%    |
| 26/02/2010 | 983        | 417      | 57.58% | 42.75%      | 562.793   | 34.70%    |
| promedio   | 906.82     | 381.12   | 58.30% | 46.27%      | 49144.17% | 26.47%    |

## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones planteadas están propuestas en función a la ubicación de los módulos que conforman el sistema de tratamiento planteado en la investigación.

### SISTEMA DE TRATAMIENTO A ESCALA DE LABORATORIO

- Este sistema de tratamiento, es una alternativa de tratamiento efectiva, según los resultados obtenidos para el sistema completo en la segunda etapa cuantitativamente como cualitativamente.
- La aplicación del Sistema de Tratamiento planteado en conjunto resulta ser eficaz obteniéndose en promedio valores de DQO promedio de 444mg/L y DBO promedio de 255 mg/L, puesto que la norma “ **Valores Máximos Admisibles de las Descargas de Aguas Residuales no Domesticas al Sistema de Alcantarillado Sanitario DS N°021-2009-Vivienda**” la cual determina valores de 1000 mg/L para DQO y 500 mg/L para DBO respectivamente como valores límite, por tanto se puede determinar que; el Sistema de Tratamiento planteado puede descargar libremente el efluente final al sistema de alcantarillado con la seguridad de estar cumpliendo con la norma establecida según ley.
- Por la configuración del sistema su instalación es de fácil ubicación ya que todo el sistema funcionó en serie, cada unidad seguida de la otra, entonces todo el sistema fue montado en un solo espacio del Laboratorio 20 de la Facultad ingeniería Ambiental.
- En esta investigación se simuló el proceso completo de tratamiento de una planta a escala. La cual fue monitoreada y controlada en sus procesos operación y mantenimiento según un cronograma de análisis y evaluaciones establecido para la investigación. Esto puede ser replicado favoreciendo un posible tratamiento a escala real.

- Se tiene un vacío legal, ya que no se tiene una normatividad clara y específica para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, así como para el tratamiento de aguas residuales provenientes de esta industria específicamente.

#### CAPTACIÓN –RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

- Las características físicas y biológicas de las muestras recolectadas varían según la demanda de la industria de camales. Es decir el crudo recolectado varía en su composición en función a la proporción de animales beneficiados referido a la cantidad de ganado vacuno, ovino y porcino faenado.
- Debido a que el caudal del efluente de esta industria cambia bruscamente en un periodo corto se planteó utilizar un colador metálico para la captación, el cual ayudó en la retención de los sólidos gruesos existentes en el crudo recolectado, así como restos de heces, tripas de los animales beneficiados, etc.
- A pesar de la dificultad de conservar la muestra con sus características originales, se logró simular un caudal y carga constante, con ayuda de un congelador que almacenaba el crudo recolectado en galones a la espera de ser usadas así como la bomba peristáltica que permitía la regulación de un caudal constante en el ingreso al sistema de tratamiento completo.

#### SEDIMENTADOR

- Este sistema fue un sistema de tratamiento secundario al sistema de tratamiento planteado inicialmente, en esta unidad se retuvo el exceso de sólidos, funcionó como un tanque de homogenización del efluente del tratamiento primario (proveniente del RAFAML), ya que cada reactor del tratamiento primario – RAFAML presentó variadas características, esto debido a problemas de atoros y fuga de lodos presentes durante toda la investigación.

- Esta unidad cumplió la función de una trampa de grasa por los resultados obtenidos en la remoción de los Aceites y Grasas analizados variando entre los valores de 83.8 mg/L a 17.8mg/L a la entrada y salida respectivamente.
- Los valores de Ph del módulo variaron entre 7.00 y 7.66.
- El Tiempo de retención del agua residual en esta unidad fue en promedio de 2 horas.
- Sobre la marcha de la investigación se presentó el problema de la producción de gases y malos olores producto de la descomposición orgánica del efluente, por lo cual tuvo que ser cerrado herméticamente (Con tapa hermética de plástico) para regular estos problemas, adicionalmente se controló en esta unidad la proliferación de insectos.
- En el proceso de mantenimiento de la unidad algunas veces se encontró lodo procedente de los desbordes en el tratamiento primario – RAFAML, este lodo por su peso sedimentaba en la base de la estructura y era removido con el mantenimiento respectivo a la unidad.
- Se formó una película de grasa en la superficie y una capa biológica adheridos en las paredes y techo (tapa del recipiente) por la característica del agua residual tratada.

#### FILTRO AIREADO SUMERGIDO

- Los valores de Ph en esta unidad variaron entre 7.20 y 8.13, así mismo los valores de Temperatura - T° medidos variaron entre 22.1°C y 25.40°C.
- Este módulo remueve en el tratamiento planteado valores límites de hasta 68.70 % en porcentaje de remoción de DBO, así como 57.62 % en términos de remoción de DQO, y Aceites y Grasas hasta en un 15.73%.

- Dentro de las investigaciones realizadas en este tipo de tratamiento de aguas residuales se tiene constancia de valores referenciales (60-75%, *Post-tratamiento de efluentes de reactores anaerobios PROSAB, 2001, p.223*) para aguas residuales domésticas, dado que en la presente investigación se ha obtenido una eficiencia promedio en remoción de DBO de 55.80%, no encontrándose dentro del rango señalado, esto es debido a que todas las investigaciones realizadas son para aguas residuales domésticas, y debido que nuestro afluente tiene un alto contenido de carga orgánica como es el agua residual proveniente de la industria de camales, por eso se planteo un tratamiento adicional con lo cual nos permite afirmar que, el tratamiento de las aguas residuales de la industria de camal con esta unidad adicional es efectivo, como se concluye mas adelante.
- Las condiciones en el tratamiento en esta unidad pudieron ser mejores, de no haberse presentado problemas en el tratamiento primario como se mencionó anteriormente.
- Como se mencionó anteriormente a este módulo llega efluente con bajo valor de Aceites y Grasas ya que este parámetro ha sido disminuido en el sedimentador, entonces el problema de acumulación de grasas en las paredes de la unidad es mínimo.
- Durante la investigación se tuvo la presencia de espumas las cuales fueron un problema para el avance de los procesos planteados, se fue descartando el porqué de su presencia, primeramente se descartó la presencia de las mismas como consecuencia del contenido de detergentes en el agua residual tratada, ya que la actividad de la industria de camal no considera en esta parte del proceso de beneficio la adhesión de detergentes.
- Se deduce que la presencia de las espumas era por el contenido de agentes tensoactivos que se encuentran en el organismo de los animales, como en la sangre, colesterol, y sustancias surfactantes comunes en los pulmones de

los animales, este último es actualmente usado para el tratamiento de problemas respiratorios (líquido de lavado de pulmones de cerdo).

- El control de las espumas se logró rompiendo la capa que une a las burbujas con ayuda de una malla, la solución fue parcial, ya que para el buen funcionamiento del sistema en esta parte se debía monitorear permanentemente para controlar la fuga de las espumas por algún agujero de la cobertura que envolvía el módulo y la malla.
- Debido al problema de espumas, malos olores, presencia de larvas y mosquitos por el tipo de agua que se estaba tratando, éste módulo tiene que ser cerrado.
- Este sistema consume energía eléctrica para proporcionar un sistema de aireación adecuado para el desarrollo de la biopelícula. Factor que, es compensado con la eficiencia en el tratamiento y obtención de un agua residual de mejores características para su evacuación.
- Según el espacio donde se requiera ubicar este módulo de tratamiento para una posible replica de la investigación planteada se determina el costo que demande el tratamiento. Lo cual será compensado con los eficientes valores de remoción obtenidos después de su tratamiento en esta unidad.

#### Diseño - Geometría

- Debido a la configuración propuesta en el estudio, éste módulo no requiere de sedimentador después del ingreso al Filtro Aireado Sumergido ya que los sólidos existentes en el tratamiento se van depositando en el fondo del módulo para su posterior eliminación. Así mismo este tipo de tratamiento no requiere de recirculación haciendo más simple su operación.
- Con la colocación de la pantalla intermedia se logra el desplazamiento del agua residual tratante en un flujo vertical continuo (hacia abajo y hacia

arriba) reduciendo las áreas muertas en el módulo, ya que todo el volumen avanza constantemente, todas estas medidas optimizan el tratamiento planteado.

### Bombas de aireación

- Durante toda la investigación se controló los niveles de Oxígeno Disuelto - OD del módulo evaluando las condiciones óptimas para el desarrollo de la película biológica, este análisis se realizó a la entrada del modulo (liquido situado por encima de la grava), con ayuda del multiparámetro marca HACH. Durante toda la investigación se tuvo un valor mínimo de OD de 2mg/L aproximadamente.

### Difusores

- Este componente requiere de una supervisión y mantenimiento adecuado, ya que deben hacer ingresar el aire en condiciones optimas al sistema, por presentar una superficie rugosa con características porosas facilitan la formación de la película biológica como se observó en la investigación (Imagen 73), esta situación debe ser controlada con un adecuado sistema de mantenimiento que garantice la limpieza constante del difusor.

### Lodos

- La característica de éste tratamiento es que el lodo eliminado, se puede descartar ya que este residuo es biopelícula muerta desechada por los microorganismos, y no requiere la reposición de la misma. Este lodo producido en el fondo del módulo es semejante al que aparece en un proceso de tratamiento de lodos.



### Medio de Contacto

- En este medio se adhiere y desarrolla la biopelícula. En el mantenimiento se reconoce la presencia de la película biológica porque el Medio presenta un color marrón espeso, parecido a la nata que deja la sangre depositada después de varios días.
- La selección adecuada de éste componente del tratamiento para el sistema de Filtro Aireado Sumergido es un factor que favorece a la eficiencia de sistema planteado
- La variación del espesor del Medio de Contacto permitió mejorar las condiciones para el tratamiento, como se demostró en la investigación ya que reduciendo el área transversal de la superficie del medio de contacto (grava) en consecuencia aumentando su altura, mejora la eficiencia de remoción en esta unidad.

### FILTRO ANAEROBIO

- Los valores de Ph variaron entre 7.81 y 7.99 respectivamente y los valores de la Temperatura T° variaron entre 21.20 °C y 25.90 °C.
- Este módulo se planteó con el objetivo de conseguir un efluente con mejores características, que permita alcanzar parámetros que se encuentren dentro de los Valores Máximos Admisibles para la descarga al sistema de alcantarillado comparando con los valores que la norma determina.
- El tratamiento que se le da al agua residual procedente de la industria de camales con el sistema de Filtro Anaerobio como un tratamiento adicional al sistema inicialmente planteado favorece el vertimiento de estas aguas al sistema de alcantarillado con la seguridad del cumplimiento de la norma.

- Según el análisis de coliformes termotolerantes se presenta una remoción del orden de 4 unidades logarítmicas (Se removió de  $10^8$  hasta  $10^4$  NMP/mL aproximadamente) valores medidos desde la entrada del Sedimentador hasta la salida del Filtro Anaerobio, este resultado es referencial ya que se hizo un solo análisis.

## 7. RECOMENDACIONES

Las siguientes Recomendaciones se proponen según el orden de la ubicación de la planta a escala de laboratorio.

### CAPTACIÓN – RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

- Para obtener una muestra representativa se debe hacer la recolección del Agua Residual de preferencia en el momento en que en el Camal, se está realizando el beneficio a los animales.
- Para la recolección del Agua Residual se requiere implementos de protección personal para evitar una posible contaminación ya que esta agua posee gran cantidad de carga orgánica contaminante.
- La muestra almacenada requiere ser removida constantemente ya que produce sedimentos en el fondo de los recipientes, por lo cual la muestra no es homogénea.

### SEDIMENTADOR

- Esta unidad por su reducido volumen requiere de un periodo más corto de mantenimiento y análisis constante.
- Si es que no se dispone un sistema de abastecimiento, como en la presente investigación, es recomendable ubicar los módulos de tratamiento a desnivel, para aprovechar la diferencia de nivel y generar una carga hidráulica entre los módulos, garantizando un ingreso constante a la unidad siguiente.
- Este sistema debe ser hermético para evitar la aparición y proliferación de vectores así como atenuar el problema de los malos olores propio del tipo de agua residual tratada.

- Es importante evaluar todas las unidades con agua limpia para verificar la correcta hermeticidad de las paredes del sedimentador.
- Cuando aparecen desbordes del lodo proveniente del tratamiento primario – RAFAML debe reponerse éste lodo a sus reactores, para no alterar sus condiciones de funcionamiento en términos de volumen del RAFALM - Tratamiento Primario.
- En el mantenimiento del sedimentador debe usarse un equipo de protección durante la manipulación del agua tratada, ya que presenta altos niveles de carga orgánica, que resultan ser contaminantes. Para esto debe usarse mandiles gruesos, mascarillas, guantes, alcohol y desinfectante que debe usarse antes y después del contacto con el agua residual.

## FILTRO BIOLÓGICO AIREADO

### Diseño – Geometría

- Debido al problema de aparición de espumas se recomienda asegurar la hermeticidad de éste módulo.
- La presencia de las espumas no solo causan molestias por la limpieza constante si no son controladas pues se desbordan constantemente sin detenerse, sino también son factores para la aparición de mosquitos y con esto una posible contaminación del personal que está realizando el tratamiento.
- Ante la aparición de las espumas se debe aplicar una solución correctiva inmediatamente para no degenerar en un problema mayor. Se puede considerar como en la presente investigación una solución que tome en cuenta para el control de las espumas el contacto de las burbujas de las espumas con una superficie que pueda romper la unión de las mismas por el contacto propiamente dicho. Dependiendo del lugar en que se está dando el tratamiento, dimensiones, tipo de efluente debe tratarse de controlar este problema en forma efectiva.

- Se recomienda un control constante en éste módulo por los posibles problemas que podría ocasionar, como fugas o desborde por la colmatación del medio filtrante y en consecuencia degeneraría en la contaminación del lugar.
- En el diseño debe considerarse una válvula de purga, para la limpieza de esta unidad.
- En el diseño de ésta unidad se debe tomar en cuenta cómo se va a realizar el muestreo y/o la medición de los parámetros a evaluar sin que estos procesos demanden mayor complicación para su cumplimiento.
- Hay que tener especial cuidado en la determinación del tiempo de retención hidráulico, el cual es fundamental para que la recolección de la muestra sea representativa al tratamiento propuesto.
- El sistema propuesto para el control las espumas requiere de un mantenimiento constante para la cobertura de plástico y la malla de contacto.

#### Sistema de abastecimiento de caudal

- El ingreso del agua residual a cada uno de los módulos en esta unidad se hizo en forma sumergida para lograr una mejor distribución en toda el área del Medio de Contacto de la grava seleccionada.

#### Bombas de aireación

- El sistema de aireación debe ser tal que asegure las condiciones de OD necesarios para el desarrollo de la biopelícula.

- Estos sistemas deben ubicarse encima del nivel máximo de agua residual en el módulo, para evitar la fuga de ésta agua hacia los aireadores por la diferencia de nivel. Así mismo se hace necesario el uso de válvulas check.

### Difusores

- Los difusores deben presentar una estructura tal que con su ubicación en el sistema nos garanticen la distribución homogénea de aire en toda la estructura.
- En el mantenimiento se recomienda usar un cepillo de dientes para el raspado de la biopelícula adherida a los difusores, teniendo mucho cuidado en la manipulación del mismo ya que se puede rajarse, y en el peor de los casos romper por la naturaleza de la piedra porosa.
- En la ubicación de los difusores en los módulos del Filtro Aireado Sumergido se debe tener cuidado de elegir un punto que permita la distribución homogénea del aire desde la base del módulo hacia todo el sistema en forma constante, creando flujo en toda la unidad, para evitar la aparición de zonas muertas.

### Medio de contacto

- Para futuras investigaciones de este tipo de procesos se podría considerar medios de contacto alternativos que tengan características similares a la grava como por ejemplo; restos de tabla de picar retazos de botellas plásticas, rúleros, trozos de tubos, etc.

### Lodos

- Se requiere una purga periódica de los lodos ya que en el tiempo su presencia se va acumulando y afecta directamente al buen funcionamiento de los difusores de aire del sistema.

## FILTRO ANAEROBIO

- En esta unidad se recomienda un control y mantenimiento periódico del módulo para garantizar el buen funcionamiento del sistema en conjunto.
- Se debe revisar periódicamente las condiciones de hermeticidad que se dieron a la unidad en su instalación. Considerando que en la presente investigación a pesar de que se forró el modulo se manifestó la presencia de de zancudos y mosquitos que pudieron ingresar al módulo donde encontraron un medio propicio para su desarrollo.
- En el diseño se debe considerar un sistema de purga, para la evacuación de los lodos generados en esta unidad.
- Ante la aparición de insectos u organismos en esta unidad se debe buscar el control inmediato para evitar la proliferación de medios contaminantes de enfermedades a quienes realizan el proceso de mantenimiento de la unidad.
- Para la presente investigación esta unidad funcionó forrada con un material plástico, evitando el aumento desmedido de los mosquitos y zancudos, ya que esta unidad no presenta movimiento considerable del agua residual tratada lo que favorece el aumento de estos insectos por el desarrollo de sus huevos sembrados en la superficie lateral del sistema. Por lo cual se recomienda en una posible replica tomar en cuenta la cobertura de esta unidad para disminuir problemas infecciosos y problemas de olores propios del tipo de agua residual tratada.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

### 8.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA, AWWA, WPCF (1989): "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Ed. 17. Washington. 1391 pp.
- Pos-tratamiento de efluentes de reactores Anaerobios REDE COOPERATIVA DE PESQUISAS-PROSAB-2001
- Jimeno Blasco, Enrique (1998). "Análisis de Aguas y Desagües", 2da Ed., Ediciones Banco de Libros, Lima Perú.
- Metcalf & Eddy (1995). "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización", Volumen 1.3ra. Ed., Editorial McGraw-Hill, Madrid.
- Tratamiento y Pos tratamiento de Aguas Residuales, Rodrigo Cuervo Correal Fundación Universitaria de BOCA YA.
- Ramalho, R. S. (1996). "Tratamiento de Aguas Residuales", 2da Ed., Editorial Reverté, Barcelona.
- Romero Rojas, Jairo (2005). "Tratamiento de Aguas Residuales" Teoría y Principios de Diseño, 2da Ed., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- DECRETO SUPREMO N°021-2009 VIVIENDA Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario
- Ley Nro. 17752 L.G.A. 1969- DS Nro. 261 – 69 – AP y Nro. 007 – 83 - SA



- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua Decreto supremo 002-2008 MINAM

## 8.2 REFERENCIAS EN LA WEB

- [http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_graso](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_graso)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Monoglic%C3%A9ridos>
- [http://www.ferreconsulting.com/i\\_emulsionantes.html](http://www.ferreconsulting.com/i_emulsionantes.html)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Fosfol%C3%ADpido>
- <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/v-103.pdf>
- <http://www.plagasonline.com.ar/plagas/detalle.php?id=70>
- <http://vbln.0018.worldbank.org/external/lac/lac.nsf>

## 9. INDICE DE IMÁGENES

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1: Zonas de Recepción y Reposo .....  | 8  |
| Imagen 2: Desollé del animal y Degüello .....  | 9  |
| Imagen 3: Eviscerado.....  | 10 |
| Imagen 4: Corte Medial .....   | 11 |
| Imagen 5: Limpieza y Desgrase .....  | 11 |
| Imagen 6: Selección para la recepción y descanso.....  | 12 |
| Imagen 7: Aturdimiento .....   | 13 |
| Imagen 8: Sangría .....  | 13 |
| Imagen 9: Escaldado .....  | 14 |
| Imagen 10: Pelado.....   | 14 |
| Imagen 11: Eviscerado .....  | 15 |
| Imagen 12: Forma física de las burbujas .....  | 52 |
| Imagen 13: Conglomerado en formación de espumas.....   | 53 |
| Imagen 14: PSYCHODA SPP .....  | 58 |
| Imagen 15: LARVA DE PSYCHODA SPP .....   | 58 |
| Imagen 16: Ubicación del RAFAML, FAS y FA a Escala Laboratorio.....  | 75 |
| Imagen 17: Ubicación del RAFAML, FAS y FA a Escala Laboratorio.....  | 76 |
| Imagen 18 Sistema de Tratamiento Planteado.....  | 79 |
| Imagen 19 Elaboración del Sedimentador .....   | 81 |
| Imagen 20 Instalación del sistema de mangueras en el Sedimentador .....  | 82 |
| Imagen 21 Colocación del sedimentador en serie con el Filtro Aireado.....  | 82 |
| Imagen 22 Sedimentador iniciando su funcionamiento.....  | 83 |
| Imagen 23 La instalación de las mangueras de salida de los reactores RAFAML fue ahogado para evitar las fugas del gas propio de este tratamiento. .... | 83 |
| Imagen 24 Estructura del Filtro Aireado en construcción .....  | 85 |
| Imagen 25 Prueba hidráulica del Modulo del Filtro Aireado.....   | 86 |
| Imagen 26 Colocación de material de soporte en el filtro.....  | 87 |
| Imagen 27 Colocando el sistema en serie .....  | 87 |
| Imagen 28 Instalación y ubicación del modulo en conjunto .....   | 88 |
| Imagen 29 Características de la estructura.....  | 88 |
| Imagen 30 Forrado del modulo para evitar el problema de fuga de las espumas. ....  | 89 |
| Imagen 31 Selección de material.....   | 90 |
| Imagen 32: Zarandeo .....  | 90 |
| Imagen 33 Instalación del material seleccionado .....  | 91 |

|   |     |
|---|-----|
| Imagen 34 Determinación del índice de porosidad.....  | 94  |
| Imagen 35 Determinación del índice de porosidad.....  | 94  |
| Imagen 36 Instalación del sistema de aireación .....  | 95  |
| Imagen 37 Ubicación de difusor.....   | 96  |
| Imagen 38 Ubicación de difusor.....   | 96  |
| Imagen 39 Evaluación de la distribución homogénea de la burbuja.....  | 97  |
| Imagen 40 Distribución de burbujas de aire dentro del recipiente. ....  | 97  |
| Imagen 41 Bombas utilizadas para brindar las condiciones de OD al Filtro aireado sumergido .....  | 98  |
| Imagen 42: Sedimentador .....   | 98  |
| Imagen 43 Prueba del difusor para ver su funcionamiento .....   | 99  |
| Imagen 44 En el mantenimiento se quebró uno de los difusores fue reparado para su posterior funcionamiento.....   | 99  |
| Imagen 45 Bombas de aireación usadas .....  | 100 |
| Imagen 46 Bomba de aireación AP – 500 Marca ASIAN STAR .....  | 100 |
| Imagen 47: Filtro Anaerobio.....  | 112 |
| Imagen 48: instalación del medio de contacto en el reactor .....  | 113 |
| Imagen 50 instalación de la entrada y maya protectora del modulo.....   | 113 |
| Imagen 51 Entrada y salida del sedimentador .....   | 115 |
| Imagen 52 Sistema instalado entrada del Filtro anaerobio y salida del filtro aireado sumergido.....   | 116 |
| Imagen 53 Este vertedero se uso para el control y muestreo del efluente del filtro aireado sumergido.....   | 116 |
| Imagen 54 Sistema de evacuación del filtro anaerobio se nota un muestreador anexo a la salida.....  | 117 |
| Imagen 55 Control del caudal al sistema de tratamiento.....   | 120 |
| Imagen 56 Mantenimiento del Sedimentador.....   | 123 |
| Imagen 57 Efluente con un normal funcionamiento de cada una de las unidades del RAFAML, se nota a simple vista el color rojizo característico de este. ....   | 123 |
| Imagen 58 Notamos en esta imagen un efluente más oscuro debido a la fuga del lodo. ....   | 124 |
| Imagen 59 Caso extremo cuando se ha fugado lodo del tratamiento primario. ....  | 124 |
| Imagen 60 Podemos notar una capa de lodo en la parte superior de cada uno de los Reactores RAFAML de diferentes tamaños, este escapa con el efluente hacia el sedimentador. ....                      | 125 |
| Imagen 61 Notamos que a pesar de que se pego unas tapas unidos a un embudo que tenía la función de evitar el avance del lodo, este lodo logra despegar levantar estas tapas y fugan del reactor. .... | 125 |
| Imagen 62 Primera presencia de espumas.....   | 127 |
| Imagen 63 Espumas originadas al momento de la puesta e marcha .....   | 127 |
| Imagen 64 Generación excesiva de espumas en el filtro .....   | 128 |
| Imagen 65 Generación excesiva de espumas en el filtro .....   | 128 |
| Imagen 66 La presencia de las espumas es característico de esta agua residual en la foto notamos que con solo verter de un recipiente a otro ya se provocaba la aparición de las espumas.....         | 129 |

|  |     |
|--|-----|
| Imagen 67 Formación de espumas en el arranque del reactor.....   | 129 |
| Imagen 68 Espuma producida por el reactor. Este residuo de la espuma, aparte de ensuciar, provocaba el olor característico del agua residual.....  | 130 |
| Imagen 69 Al inicio se utilizo solo un forro de plástico para el control de las espumas no siendo efectivo ya que esta espuma fugaba provocando molestias.....                             | 130 |
| Imagen 70 Se procedió a forrar después de la colocación de la maya notando aun fugas en lugares donde no se había asegurado la maya.....   | 131 |
| Imagen 71 Instalación de las mallas para el control de las espumas .....   | 131 |
| Imagen 72 Malla utilizada para el control de las espumas del reactor .....   | 132 |
| Imagen 73 La biopelícula se formo rodeando el medio de contacto y la superficie del filtro.....  | 133 |
| Imagen 74 Biopelícula formada en la grava.....   | 133 |
| Imagen 75 La biopelícula también estuvo presente el soporte de la grava.....   | 134 |
| Imagen 76 Formación de lodo o lama en el fondo del recipiente se nota un color marón rojizo característico de la biopelícula y de la procedencia de esta agua residual.....                | 135 |
| Imagen 77 Comparación de difusores- Con limpieza y sin e limpieza .....  | 136 |
| Imagen 78 Esta capa apareció durante todo el mantenimiento del filtro anaerobio por la consistencia se descarta que sea grasa.....   | 137 |
| Imagen 79 Cono Imhoff utilizado para los sólidos sedimentables del crudo, a la derecha pera con válvula utilizado para el análisis de aceites y grasas. ....                               | 137 |
| Imagen 80 Recipientes utilizados para el muestreo a la izquierda uno con el embudo y papel filtro Nro. 40 y a la derecha las botellas con tapa esmerilada para el análisis de la DBO5..... | 138 |
| Imagen 81 Se inspecciona el cono Imhoff después de una hora para medir la cantidad de sólidos que han sedimentado.....   | 138 |
| Imagen 82 La pera en la cual se ha vertido hexano para el análisis de aceites y grasas.....  | 139 |
| Imagen 83 Se coloca en "Baño María" para extraer el exano utilizado para el análisis de aceites y grasas.....  | 139 |
| Imagen 84 Se nota las dos fases que se forman, donde se extraerá el líquido que está en la parte inferior quedando el exano con los aceites y grasas en la parte superior. ....            | 140 |
| Imagen 85 Horno para la eliminación de humedad restante en el balón.....   | 140 |
| Imagen 86 Desecador utilizado en el acondicionamiento del recipiente usado en el análisis de Aceites y Grasas.....   | 141 |
| Imagen 87 Balanza electrónica utilizada para pesar el balón y el residuo del análisis de aceites y grasas .....  | 141 |
| Imagen 88 Muestras de las entradas y salidas de: Sedimentador, Filtro aireado sumergido y filtro anaerobio, respectivamente, notándose un cambio en la calidad de cada efluente .....      | 144 |
| Imagen 89 .....  | 145 |
| Imagen 90 Embudo solo y embudo con papel filtro N°40 para el análisis de sólidos.....  | 146 |
| Imagen 91 Plancha que ayuda a la evaporación del liquido para el análisis de sólidos .....   | 146 |
| Imagen 92 Balanza electrónica izquierda.....   | 147 |

|  |     |
|--|-----|
| Imagen 93 Desecador .....  | 147 |
| Imagen 94 Mufla que llega hasta 650°C para el acondicionamiento de las capsulas de porcelana a la derecha se tiene el horno utilizado para el análisis de sólidos que se realizaba ..... | 148 |
| Imagen 95 Colocando la muestra diluida a las celdas para la medición de DQO .....  | 149 |
| Imagen 96 Digestor marca hach.....   | 149 |
| Imagen 97 Gradilla con las celdas para el análisis de DQO a la derecha Colorímetro marca Hach utilizado para las mediciones de las celdas en el análisis de DQO.....                     | 150 |
| Imagen 98 En el balde se prepara el agua de dilución y se procede a cubrir las diluciones de las muestras con esta agua preparada.....   | 150 |
| Imagen 99: Incubadora utilizada para el análisis de DBO5.....  | 151 |
| Imagen 100: Multiparámetro marca HACH .....  | 151 |
| Imagen 101 Preparación en los erlenmeyer de los caldos lauril y EC.....  | 152 |
| Imagen 102 Esterilización de los tubos de ensayo y durgan antes de realizar el análisis .....  | 152 |
| Imagen 103 Tubos de ensayo utilizados para las dos pruebas con los caldos EC y lauril.....   | 153 |
| Imagen 104 Después de la prueba con el caldo EC se esterilizó los tubos de ensayos y tubos Durgan con ayuda del autoclave.....   | 153 |
| Imagen 105 Incubadora utilizada para la determinación de los coliformes termotolerantes .....  | 154 |
| Imagen 106 En el tubo Durgan instalado boca abajo del tubo de ensayo se nota la presencia de una burbuja característica de los coliformes.....   | 154 |
| Imagen 107 En estos recipientes de boca ancha se procedió a la recolección de las muestras en cada punto (entrada y salida) de cada una de las unidades .....                            | 155 |
| Imagen 108 En estas peras con válvulas se colocó la muestra (1 litro) y se le añade exano.....   | 155 |
| Imagen 109 El exano se vierte hasta que forme una capa de 2 cm aproximadamente .....   | 156 |
| Imagen 110 Después de ser agitado este elemento forma dos fases la fase líquida y el aceite propiamente dicho .....  | 156 |
| Imagen 111 Después de ser agitado este elemento forma dos fases la fase líquida y el aceite propiamente dicho .....  | 157 |
| Imagen 112 Preparación de los balones antes de ser usados se le retira la humedad del ambiente con ayuda del desecador.....  | 157 |
| Imagen 113 Cada uno de los balones es pesado con la balanza electrónica para determinar la cantidad de grasas y aceites por diferencia .....   | 158 |
| Imagen 114 La fase aceitosa es filtrada y vertida a estos balones' .....   | 158 |
| Imagen 115 Con ayuda de este destilador se procede a separar el exano de los aceites y grasas.....   | 159 |
| Imagen 116 El exano es vertido hacia otro recipiente quedando en los balones los aceites y grasas.....   | 159 |
| Imagen 117 Horno utilizado para eliminar lo que pudiese restar de humedad en el residuo del balón.....   | 160 |
| Imagen 118 Después de usar el horno se procede a utilizar el desecador.....  | 160 |
| Imagen 119 Pesado del balón con el resto del residuo para determinar la cantidad de aceites y grasas .....   | 161 |

|   |     |
|---|-----|
| Imagen 120 .....  | 169 |
| Imagen 121 Para lograr reducir el volumen útil del recipiente se colocó estratégicamente unos trozos de madera las cuales ya se habían calculado las dimensiones para restar el volumen de estas y así lograr reducir el tiempo de retención..... | 170 |
| Imagen 122 La espuma logra fugarse del reactor y entrar al sedimentador por la salida de este, a su vez que el sedimentador por su configuración sirvió también como trampa de grasa .....  | 206 |
| Imagen 123 Residuo blanquecino característico de un sistema anaerobio .....   | 206 |
| Imagen 124 Se nota el mismo residuo en las paredes del filtro anaerobio el mismo color y consistencia.....  | 207 |
| Imagen 125 Se nota una gran concentración de las larvas en la superficie de la grava y pequeños residuos de los cuales sirven como alimento a estas larvas.....   | 207 |
| Imagen 126 Gran cantidad de larvas y mosquitos.....   | 208 |
| Imagen 127 Mosquitos <i>Psychoda</i> posados en la pared del módulo se puede notar su fisionomía característica.....  | 209 |
| Imagen 128 Notamos en el forro del reactor la presencia de pupas del mosquito y en el fondo del recipiente las larvas alimentándose del residuo.....  | 209 |
| Imagen 129 Se nota en la manguera de entrada sumergida las larvas del mosquito y el mosquito en las paredes del reactor.....  | 210 |

## 10. INDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1: Contaminantes en el Agua Residual .....   | 21  |
| Tabla 2: Tratamientos Primarios .....  | 26  |
| Tabla 3: Principales Procesos de Tratamiento Biológico .....   | 30  |
| Tabla 4 Constantes de la Ley de Henry para el oxígeno en el agua a diferentes<br>Temperaturas .....  | 50  |
| Tabla 5: Agente Tensoactivo.....   | 54  |
| Tabla 6: Referencia del Hábitat de la mosca PSYCHODIDAE.....   | 60  |
| Tabla 7: Límites máximos Permitidos en las descargas .....   | 62  |
| Tabla 8 Resumen de las Normas Peruanas para Aguas Receptoras.....  | 62  |
| Tabla 9: CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA SANGRE DEL GANADO .....  | 73  |
| Tabla 10: CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL HERBARIO DEL GANADO .....   | 73  |
| Tabla 11: Concentraciones del Agua Residual del Camal .....  | 74  |
| Tabla 12: Factor de Forma .....  | 91  |
| Tabla 13 Características de las Bombas de Aire .....   | 101 |
| Tabla 14: Constantes de la Ley de Henry para el oxígeno en el agua a diferentes<br>temperaturas .....  | 102 |
| Tabla 15 Variación de la Concentración de OD en el ensayo para la Determinación del<br>KLa en el Agua Potable – Bomba AP-500. ....               | 104 |
| Tabla 16 Déficit de OD para la Determinación de.....   | 105 |
| Tabla 17 Variación de la concentración del OD en el ensayo, para la Determinación del<br>KLa en el Agua Residual Pre-Tratada – Bomba AP-500..... | 107 |
| Tabla 18 Déficit de OD en el ensayo para la Determinación del KLa en el Agua Pre-<br>tratada – Bomba AP-500.....                                 | 108 |
| Tabla 19 Resumen de las Características del equipo de Aireación-Bomba AP-500.....  | 110 |
| Tabla 20. Caracterización del agua residual – Período anterior.....  | 142 |
| Tabla 21 Caracterización del agua residual antes del tratamiento elaborada .....   | 143 |
| Tabla 22 Análisis de Aceites y Grasas.....   | 187 |
| Tabla 23: Caracterización del efluente tratado.....  | 205 |
| Tabla 24. Valores determinados para el módulo del Filtro Aireado sumergido - primera<br>etapa de la investigación.....                           | 213 |
| Tabla 25: Comparación de la DBO real con la teórica ETAPA I.....   | 214 |
| Tabla 26: Valores determinados para el módulo del Filtro Aireado sumergido – segunda<br>etapa de la investigación.....                           | 215 |
| Tabla 27: Comparación de la DBO real con la teórica ETAPA II.....  | 216 |

## 11. INDICE DE ILUSTRACIONES

|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 1: Diagrama General de Tratamiento de Aguas Residuales.....  | 23  |
| Ilustración 2: Descomposición Microbial de la Materia Orgánica .....   | 27  |
| Ilustración 3: Diagrama de un sistema de Lodos Activados.....  | 29  |
| Ilustración 4: Etapas en el Proceso de Formación de la Biopelícula.....  | 33  |
| Ilustración 5: Mecanismos y Procesos envueltos en el transporte y degradación de sustratos en la biopelícula.....                                    | 34  |
| Ilustración 6: Comparación de Requerimientos de Área de Contacto.....  | 40  |
| Ilustración 7: Áreas de Contacto para los procesos BAS y PFS. Ambos procesos con igual nivel de remoción y carga orgánica (g/m <sup>2</sup> /d)..... | 40  |
| Ilustración 8: Sentidos de flujo hidráulico (Aire / Líquido) en reactores aerobios con biopelícula - RICHARD & CYR, 1990 .....                       | 41  |
| Ilustración 9: ESTRUCTURA DE LOS FOSFOLIPIDOS .....  | 55  |
| Ilustración 10: CICLO DE VIDA DE PSYCHODA SPP.....   | 59  |
| Ilustración 11 Esquema del Sistema de Tratamiento Planteado.....   | 78  |
| Ilustración 12 Ilustración de la geometría del Sedimentador.....   | 81  |
| Ilustración 13 Diseño del Filtro Aireado Sumergido .....   | 85  |
| Ilustración 14: Cálculo de la superficie específica.....   | 92  |
| Ilustración 15 Geometría del Módulo .....  | 111 |
| Ilustración 16 Almacenamiento de Agua Residual.....  | 118 |
| Ilustración 17 Almacenamiento del crudo. En este congelador se almacenaba las muestras traídas del camal .....                                       | 119 |