



**FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
PROCEDENTES DEL LAVADO DE LA GEOMEMBRANA DE LA EMPRESA  
RECILAGO**

**Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y  
Remediación**

**Profesor guía**

**Ing. María Soledad Villarroel Toral**

**Autora**

**Anita Gabriela Navarrete Ushiña**

**Año**

**2015**

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

"Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación"

---

**María Soledad Villarroel Toral**

**Ingeniera Civil**

**C.I: 1714789706**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Anita Gabriela Navarrete Ushiña

C.I: 172116418-2

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, por permitirme culminar mis estudios con éxitos. A mi Padre que por su perseverancia ha logrado que llegue a terminar mis estudios. A mi Madre, por su apoyo incondicional a la distancia logrando que siempre logre alcanzar mis metas. A mi hermana Ximena por ser un soporte en esta etapa, y de la manera más especial a mi profesora guía Soledad Villarroel, que con sus enseñanzas facilitó el desarrollo de mi tesis. Agradezco infinitamente a todos los profesores que conforman la carrera de Ingeniería Ambiental quienes aportaron en mi formación académica, siendo una parte fundamental en mis conocimientos y enseñanzas.

## **DEDICATORIA**

Mi presente trabajo, va dedicado con todo mi cariño a mis padres, que con sus esfuerzos lograron que culminen mis estudios, por ser un apoyo incondicional y por quienes me he esforzado a lo largo de la vida. A la señora Carmita, quien me cuidó desde los 6 años y que aún está compartiendo momentos muy importantes en mi vida. A mis hermanas Janeth, Mirian, Margarita, Cintia, Carla pero en especial a Ximena, quien fue mi apoyo en esta etapa fundamental de mi proyecto estudiantil.

Anita G.

## **Resumen**

En el presente trabajo de titulación tiene como principal objetivo bajar la carga contaminante de tensoactivos, DQO, sólidos totales e hidrocarburos, de las aguas residuales provenientes del lavado de geomembrana, misma que utilizada para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, es por tal razón que en las instalaciones de Recilago, ubicado en la Provincia de Sucumbíos, ciudad de Lago Agrio, se hizo un análisis de calidad de las aguas provenientes del lavado con la finalidad de establecer las cargas contaminantes de los parámetros antes mencionados. Posteriormente se identificó los posibles procesos de tratamiento que logren dar la mejor eficiencia en la remoción de los contaminantes, así se implementó un equipo piloto para evaluar el rendimiento de un determinado tratamiento, mismo que fue escogido en base a la bibliografía. Los procesos escogidos para determinar la eficiencia en la remoción de los contaminantes, son 3: Tanque sedimentador primario (E1), Tanque sedimentario secundario (E2), Filtro de carbón activado (E3). Para analizar la eficiencia de la PTAR a escala se tomó 3 escenarios, en donde cada bloque tenía diferentes tiempos de retención en cada etapa.

En el primer bloque el tiempo de retención total de 3 horas, en la que consta etapa 1 (1 hora); etapa 2 (1 hora); etapa 3 (1 hora), El segundo bloque el tiempo de retención total 6 horas, etapa 1 (2 horas); etapa 2 (2 horas); Etapa 3 (2 horas) y el tercer bloque con un tiempo de retención total de 7 horas, etapa 1 (4 horas); etapa 2 (2 horas); etapa 3 (1 hora).

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización física-química del agua tomando en cuenta las concentraciones de los contaminantes tensoactivos, DQO, sólidos totales suspendidos e hidrocarburos totales. Se obtuvo que la mejor eficiencia en el tratamiento se la obtenía con el bloque 3, cuyo tiempo de retención total fue de 7 horas.

Los resultados obtenidos con el parámetro de tensoactivos dio una concentración inicial de 0,37 mg/l y su concentración final fue de 0,005 mg/l con una eficiencia de remoción al 91% ,en el parámetro DQO dio una concentración inicial de 202,26 mg/l y su concentración final fue de 31,8 mg/l con una eficiencia de remoción al 84%, el parámetro sólidos totales suspendidos dio

una concentración inicial de 315 mg/l y su concentración final fue de 23mg/l con una eficiencia de remoción al 94%,y en el parámetro de hidrocarburos dio una concentración inicial de 3,74mg/l y su concentración final fue de 0,82 mg/l con eficiencia de remoción al 83%.

## **Abstract**

In present project the main objective is to reduce the loads for surfactants, COD, total suspended solids and hydrocarbons in wastewater from washing geomembrana used for bioremediation of hydrocarbon. It is for this reason that in Recilago facilities, located in the province of Sucumbíos, city of Lago Agrio, the quality of water from washing was analyzed in order to establish the concentration loads of the aforementioned parameters. Subsequently the potential treatment processes were identify with the aim to achieve the best result in the removal efficiency of the pollutants identified, therefore a pilot plant was implemented to evaluate the efficiency in an specify treatment process, which was selected from the literature. The processes chosen to determine the removal efficiency of pollutants, were 3: primary settling tank (E1), secondary sedimentary Tank (E2), Activated carbon filter (E3) .To analyze the efficiency of the pilot WWTP three stages were taken, where each treatment block had different hydraulic retention times from each one of the stages.

In the first block, the total hydraulic retention time was 3 hours, which includes step E1 (1 hour); E2 (1 hour); E3 (1 hour), the second block, the total hydraulic retention time was 6 hours, E1 (2 hours); E2 (2 hours); E3 (2 hours) and the third block had total retention time of 7 hours, E1 (4 hours); E2 (2 hours); E3 (1 hour).

After obtaining the results of the physical and chemical characterization of the wastewater taking into account the concentrations of surfactants, COD, total suspended solids and total hydrocarbons. It was found that the best treatment efficiency was obtained with the block 3, for a total retention time of 7 hours.

The results obtained using the parameter of surfactants gave an initial concentration of 0.37 mg / l final concentration of 0.005 mg / l with a removal efficiency of 91%, in the COD parameter gave an initial concentration of 202.26 mg / l final concentration was 31.8 mg / l with a removal efficiency of 84%, the total suspended solids parameter gave an initial concentration of 315 mg / l final

Concentration was 23mg / l with a removal efficiency of the 94%, and the parameter of hydrocarbons gave an initial concentration of 3,74mg / l final concentration was 0.82 mg / l with removal efficiency to 83%.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Marco referencial.....</b>	<b>2</b>
1.1. Análisis de la situación actual .....	2
1.2 Justificación .....	2
1.3 Descripción de la propuesta .....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....</b>	<b>5</b>
2.1. Contaminación ambiental producida por el sector petrolero en el Oriente Ecuatoriano .....	5
2.1.1. Biorremediación de Suelos contaminados con hidrocarburos .....	6
2.1.2. Estadísticas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ecuador.....	8
2.2.1. Tratamientos Convencionales de tensoactivos.....	10
2.3.1. Tratamiento de aguas residuales.....	14
2.3.2. Aplicaciones de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	15
2.3.2.1. Pre tratamiento .....	16
2.3.2.1.1. Cribado .....	16
2.3.2.1.2. Rejillas de desbaste.....	16
2.3.2.2.1. Sedimentación .....	18
2.3.2.2.2. Neutralización .....	18
2.3.2.2.3. Flotación .....	19
2.3.2.3. Tratamiento Secundario.....	19
2.3.2.3.1. Lodos activados .....	19
2.3.2.3.2. Lagunas de oxidación .....	20
2.3.3.2.3. Filtros percoladores .....	20
2.3.2.4. Tratamiento Terciario.....	21
2.3.2.4.1. Coagulación – Floculación.....	21
2.3.2.4.2. Adsorción con carbón activado .....	21

2.3.2.4.3. Osmosis Inversa .....	22
2.3.2.4.4. Filtración .....	22
2.3.2.4.5. Desinfección .....	22
2.3.2.5. Tratamiento de lodos .....	23
2.3.2.5.1. Lecho de Secado .....	25
2.4. Marco legal .....	25
<b>CAPITULO 3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Información general del área de estudio .....</b>	<b>32</b>
3.1.1. Aprovechamiento de la geomembrana en Recilago.....	34
3.1.2. Método experimental.....	40
3.1.2.1. Muestreo y medición de caudal de agua residual en Recilago .....	40
3.1.2.2. Punto de Muestreo.....	40
3.1.2.3. Medición de Caudal mediante .....	44
3.2.2. Caracterización físico-química del agua residual .....	46
3.2.2.1. Recolección del agua residual .....	46
3.2.2.1.1. Equipo de muestreo .....	46
3.2.2.1.2. Procedimiento de muestreo .....	47
3.2.2.1.3. Manejo de muestras .....	50
3.2.2.1.4. Envío de muestras .....	51
3.2.3. Implementación del diseño a escala piloto del STAR .....	54
3.2.3.1. Esquema de elección de la STAR a escala piloto.....	54
3.2.3.1.1 Elección de Tratamiento Primario .....	55
3.2.3.1.1.1. Tanque sedimentador primario .....	55
3.2.3.1.1.2. Tanque sedimentador secundario.....	59
3.2.3.1.2. Elección de Tratamiento Secundario .....	59
3.2.3.1.2.1. Filtro de carbón activado.....	60
3.2.3.2. Construcción de elección del STAR a escala piloto.....	61
3.2.4. Tratamiento del agua residual de la planta piloto.....	67
3.2.4.1. Toma de muestras por bloque a escala piloto .....	68
<b>4.- RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
4.1 Resultados de la caracterización física química del agua residual .....	73

4.1.2 Caracterización física química con alta carga contaminante .....	74
4.1.3 Caracterización física química de primer bloque de tratamiento .....	75
4.1.4 Caracterización física química de segundo bloque de tratamiento .....	76
4.1.5 Caracterización física química de tercer bloque de tratamiento .....	77
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>78</b>
5.1. Análisis comparativo de muestras de agua residual en el laboratorio .....	78
5.1.1. Variación de concentración de pH en función a muestras iniciales .....	79
5.1.2. Variación de concentración de Aceites y Grasas en función a muestras iniciales .....	79
5.1.4. Variación de concentración de la DBO5 en función a muestras iniciales .....	81
5.1.7. Variación de concentración de TPH en función a muestras iniciales....	83
5.2. Análisis de límites máximos permisibles con muestra como promedio .....	83
5.2.1. Parámetro pH en función al límite máximo permisible .....	84
5.2.2. Parámetro Aceites y Grasas en función al límite máximo permisible....	85
5.2.4. Parámetro de la DBO5 en función al límite máximo .....	86
5.2.5. Parámetro Sólidos Totales Suspendidos en función al límite máximo permisible .....	87
5.2.6. Parámetro tensoactivos en función al límite máximo permisible .....	87
5.2.7. Parámetro TPH en función al límite máximo permisible .....	88
5.3. Análisis de eficiencia de cada bloque en función del mejor tratamiento dado en planta piloto .....	89
5.3.1. Porcentaje de eficiencia de pH en cada bloque .....	89
5.3.2. Porcentaje de eficiencia de Aceites y Grasas en cada bloque .....	90
5.3.3. Porcentaje de eficiencia de la DQO en cada bloque .....	90
5.3.4. Porcentaje de eficiencia de la DBO5 en cada bloque .....	91
5.3.5. Porcentaje de eficiencia de Sólidos Totales Suspendidos en cada bloque .....	92
5.3.6. Porcentaje de eficiencia de tensoactivos en cada bloque .....	92
5.3.7. Porcentaje de eficiencia de TPH en cada bloque .....	93
5.4. Análisis de cumplimiento de estándares de calidad de agua de descargas hacia un cuerpo de agua dulce .....	94

5.4.1. Análisis comparativo de la reducción del parámetro pH del agua residual y con tratamiento.....	94
5.4.2. Análisis comparativo de la reducción del parámetro Aceites y Grasas del agua residual cruda y con tratamiento.....	95
5.4.3. Análisis comparativo de la reducción del parámetro DQO del agua residual cruda y con tratamiento.....	96
5.4.4. Análisis comparativo de la reducción del parámetro DBO5 del agua residual cruda y con tratamiento.....	97
5.4.5. Análisis comparativo de la reducción del parámetro Sólidos Totales Suspendidos del agua residual cruda y con tratamiento .....	98
5.4.6. Análisis comparativo de la reducción del parámetro Tensoactivos del agua residual cruda y con tratamiento .....	99
5.4.7. Análisis comparativo de la reducción del parámetro TPH del agua residual cruda y con tratamiento.....	100
5.5. Dimensionamiento del Pre diseño del STAR proveniente del lavado de la geomembrana.....	102
5.5.1. Elección de Tratamiento Primario.....	102
5.5.1.1. Diseño de tanque sedimentador primario .....	102
5.5.1.2. Diseño del taque sedimentador secundario .....	107
5.5.2. Elección de Tratamiento Secundario .....	112
5.5.2.1. Diseño de filtro de carbón activado.....	112
5.5.3. Lechos de secado.....	113
5.5.3.1. Diseño de lechos de secado de tanque sedimentador primario .....	113
5.5.3.2. Diseño de lechos de secado de tanque sedimentador secundario ..	117
<b>6. ANALISIS COSTO – BENEFICIO .....</b>	<b>120</b>
6.1. Costo de inversión .....	120
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>125</b>
7.1. Conclusiones.....	125
7.2. Recomendaciones .....	127
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>132</b>

## INTRODUCCIÓN

La empresa Recilago se encuentra ubicada en la Provincia de Sucumbíos, cantón Lago Agrio. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (GADMLA), al realizar un estudio sobre tratamiento de aguas, y al no contar con una norma de calidad de aguas en esta provincia, este trabajo hizo referencia al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Control de descargas Líquidas con sus límites máximos permisibles de sectores productivos, además de la Resolución de la Dirección Metropolitana Ambiental 0002-DMA-2008, sujeto a la norma técnica que regula los contaminantes asociados a descargas líquidas industriales, comerciales y de servicios (Resolución 002, 2008, p. 18).

El campo petrolero, en cada biorremediación dada se ha hecho uso generalmente de geomembrana, después de su vida útil es desechado a los rellenos sanitarios. Recilago opta como una manera de reciclaje de dicho material y en los últimos años se ha ido incursionando el lavado de geomembrana, para su posterior etapa de molido, adquiriendo como foco principal la generación del proceso de lavado de geomembrana como un contaminante ambiental en generación de fuentes líquidas debido al uso de detergentes en tal proceso. Para el desarrollo de la presente investigación se desconoce de estudios en el Ecuador sobre el mismo, es por tal razón que se enfoca a ilustraciones sobre tratamiento de aguas residuales en base a tensoactivos.

Para un proceso de descontaminación en este caso, una de las técnicas más relevantes en una filtración convencional son los lechos de carbón activado, superior al lecho de arena, antracita o mixto (Arboleda, 2011, pp. 556). El principal objetivo en una filtración es la separación de partículas y microorganismos perjudiciales que no se pudieron retener en los procesos de coagulación o sedimentación (Arboleda, 2011, pp. 363).

## **1. Marco referencial**

### **1.1. Análisis de la situación actual**

Actualmente en el Oriente Ecuatoriano; para el proceso de biorremediación de hidrocarburos, se utiliza geomembrana como materia primordial para su proceso; después de cumplida su vida útil esta es desechada. Cabe mencionar que una vez utilizada la geomembrana, esta contiene residuos de tierra contaminada de crudo, por ende es necesario tomar medidas de manera inmediata, con la finalidad de evitar problemas de impactos ambientales sobre el suelo, agua, plantas y animales que se encuentren a su alrededor.

Como parte del proceso de prevención en la contaminación por residuos de tierra contaminada de crudo, aun no existen empresas que estén a cargo de realizar procesos de descontaminación de la geomembrana. Para que dicho material tenga un uso posterior es necesario un proceso de lavado con químicos, como resultado del lavado de la geomembrana contaminada se generan aguas residuales que pueden contener altas concentraciones de contaminantes; razón por la cual empresas que incursionen en el proceso de lavado es preciso que se implemente sistemas de tratamiento de aguas contaminadas previo a que estas sean descargadas a los cuerpos de aguas superficiales; ya que dichas aguas al descargarse sin ningún tipo de tratamiento, causan un impacto irremediable a las fuentes de agua naturales, y con la implementación de un sistema de tratamientos de aguas residuales se evita ocasionar contaminación hacia el ambiente.

### **1.2 Justificación**

En una biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos se utiliza como materia prima la geomembrana de PVC (Policloruro de Vinilo de baja densidad), después de ello, este material es desechado a empresas que se encargan de un previo lavado, molido y posteriormente este material sirve como

el principal recurso para el proceso de peletización. Se plantea para el presente trabajo de titulación un tratamiento de aguas residuales, para la descarga de aguas de lavado de la geomembrana.

Por no ser un mercado explotado en esta línea de venta de geomembrana, se tiene a consideración que en algunos años, se debe contar con un tratamiento de aguas residuales de la misma, para que no se genere a futuro una mala disposición final de este efluente.

Lago Agrio, al ser un Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, tiene como competencia exclusiva en el art. 55, literal d) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (COOTAD, 2011, p 41). Siendo así el GADMLA aún no cumple con esta ley establecida, para fijar una ordenanza municipal en depuración de aguas en actividades que sean de uso industrial.

Es por esto, que la realización de este proyecto, tiene como factor primordial la evacuación del área de lavado, para así lograr determinar un tratamiento apropiado, en la descarga de aguas provenientes de la industria de lavado de geomembrana policloruro de vinilo de baja densidad con adición de soda caustica, con el único objetivo de reducir la carga contaminante que se genera por este proceso, dando como resultado una mejora al sector aledaño al lugar.

### **1.3 Descripción de la propuesta**

En base a lo anterior expuesto se propone, diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de la geomembrana utilizada para biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos; en función al análisis físico-químico de los contaminantes de agua residual, construir una planta piloto a escala que se encontrara en las instalaciones de la empresa Recilago en la ciudad de Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos. La planta a

construir tiene como función interpretar los resultados de la investigación actual.

Los resultados de los análisis obtenidos de la calidad aguas provenientes del lavado y la discusión de resultados, estará trazado en base a las condiciones de operación de la planta piloto, en donde opera el uso y eficiencia en la reducción de los contaminantes que se encontró.

Como parte de la propuesta de la fase experimental se proyecta como hipótesis evaluar la eficiencia del diseño planteado, para la descarga de la geomembrana en Recilago, con la finalidad de que el agua proveniente del lavado de la geomembrana ser descargada en las fuentes superficiales cumpla con lo estipulado en la normativa ambiental vigente.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de tratamiento piloto de aguas residuales provenientes del lavado de la geomembrana, con la finalidad de cumplir con las normas nacionales vigentes

### **1.4.2 Objetivos específicos**

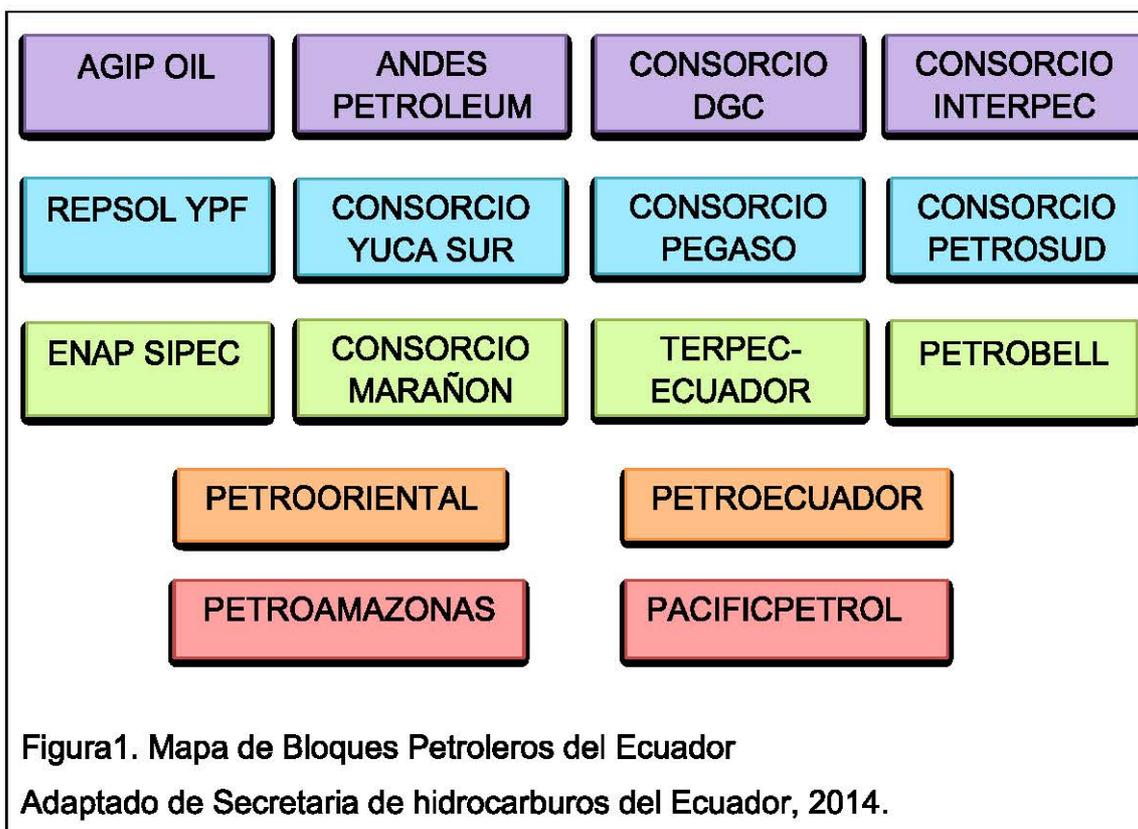
- Plantear una metodología experimental para el diseño de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales, a través de la caracterización de las descargas líquidas
- Determinar la alternativa más adecuada en función de su eficiencia, técnica, económica y ambientalmente viable
- Evaluar la eficiencia de remoción de DQO, surfactantes, sólidos totales e hidrocarburos del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesta

## 2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1. Contaminación ambiental producida por el sector petrolero en el Oriente Ecuatoriano

Desde inicios de la explotación petrolera en la Amazonía del Ecuador, los bloques y campos se han operado por empresas públicas y privadas, de inmediato se ha ido creando pasivos ambientales que han afectado al suelo Amazónico, conmoviendo en su totalidad a la naturaleza, los contaminantes al ingresar en el medio como vertidos de petróleo o por ruptura de un depósito en un sector industrial, depende en cantidad y tiempo de exposición, por lo que puede verse afectados partes o zonas distintas del medio ambiente (Thieman y Palladino, 2010, p. 210).

En la secretaria de hidrocarburos del Ecuador se encuentran actualmente trabajando empresas como:



Judith Kimmerling en un estudio "Crudo Amazónico" enfatiza en una serie de efectos negativos que la región ecuatoriana se ha expuesto por la explotación petrolera, efectos que trae consigo en cada fase de su actividad como: exploración, extracción y transporte del producto. Bajo una selección de estadísticas entre los años 1972 - 1992, expone la gravedad de la contaminación; indicando que el flujo de desechos tóxicos cada día hacia los ríos del Oriente es de 4.3 millones de galones, y desde el año 1972 en la construcción del oleoducto transecuatoriano ha derramado 16.8 millones de galones de petróleo. Además no hay estadísticas de derrames de tuberías secundarias, al no ser registradas no lo toman como una fase de mitigación necesaria (Kimmerling, 1993, pp. 38-40).

A medida que avanza la tecnología con el pasar de los años, se han creado tecnologías y técnicas avanzadas, existiendo un proceso de limpieza en el medio contaminado con organismos vivos que degradan materiales peligrosos disminuyendo así las sustancias tóxicas.

### **2.1.1. Biorremediación de Suelos contaminados con hidrocarburos**

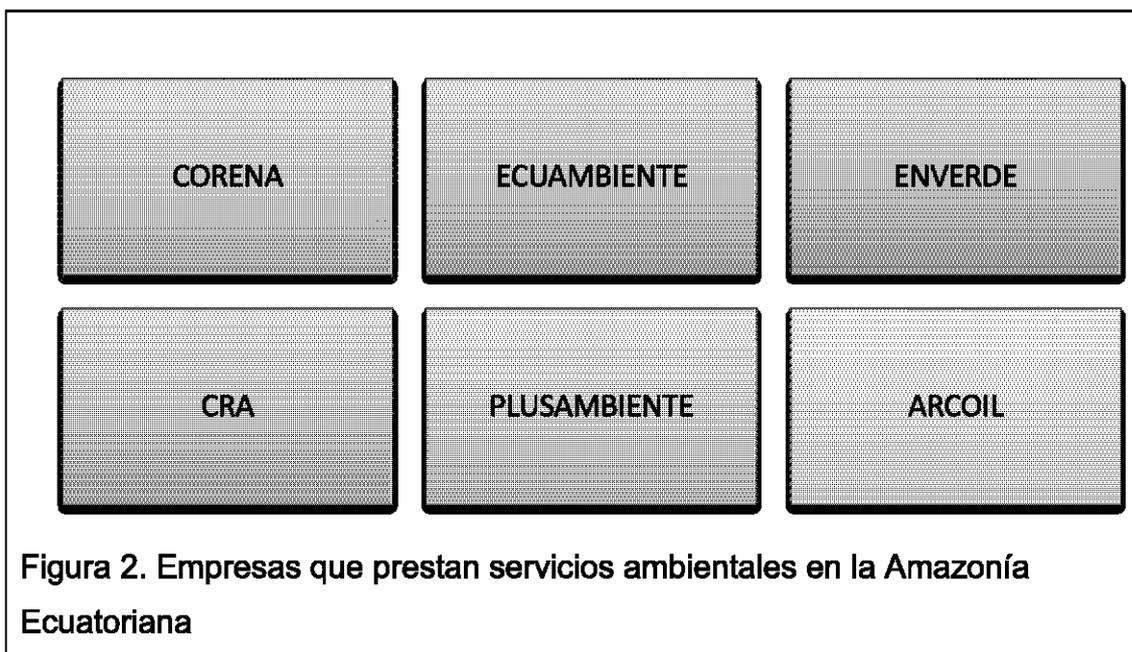
El petróleo en el suelo, es considerado como un contaminante, provocando un riesgo en la salud humana y el ecosistema, esto a su vez no solo provoca problemas de toxicidad, también puede ocasionar riesgos graves como incendios u explosiones en el campo (Ocampo, 2003).

Siendo una de las más severas contaminaciones que se produce por medio de la extracción de petróleo en América Latina; entre ellos: Brasil, México, Argentina, Venezuela y Ecuador, provocan un deterioro gradual en las fuentes de abastecimiento superficial y subterráneo (Mendoza, 2014).

Varias investigaciones surgieron con el objetivo de desarrollar técnicas en limpieza de derrames de petróleo, uno de los pilares fundamentales en limpieza de piscinas contaminados con hidrocarburos y descontaminación de pozos

explotados en la zona amazónica fue el Ing. Germán Dávila gerente de PecsDesmi S.A; ofreciendo tratamiento de derrames de crudo sobre la tierra y el agua. "Hasta el momento han limpiado 30 piscinas entre las que se puede mencionar la Piscina Pozo N°. 9 Campo Aguarico y la Piscina Fany N°. 1 Tarapoa, Caso Río Chiche donde se derramaron 10.000 barriles de petróleo en septiembre de 1993 y en el desastre de la Josefina, siéndose acreedor al premio ecológico Planeta Azul en 1993. Se enfocan en el desarrollo y aplicación de soluciones a pasivos ambientales que son generados por la industria hidrocarburifera (diariohoy, s.f.).

Debido al consecuente derrame de hidrocarburos, nace la necesidad de innovar en tecnologías limpias y de bajo costo, de esta manera se enfatiza en programas de biorremediación, que en la actualidad es la alternativa más común utilizadas por las empresas del Oriente Ecuatoriano, cuando existe un derramamiento de crudo, de este modo también se inicia un sistema de prestación de servicios ambientales de empresas externas, entre ellas:



A criterio de Ocampo (2003), "El tipo de biorremediación enfocada para los fines amazónicos es la bioestimulación, ya que con los microorganismos nativos (plantas endémicas) se vuelven más potentes para la remediación de aguas y suelo in situ". Además la técnica de biorremediación in situ muestra

mayor ventaja que la ex situ, entre ellas: menor costo y disminuye la generación de residuos al llegar a la superficie eliminando en un porcentaje.

Una de las tecnologías de la biorremediación es el landfarming, el proceso que se sigue para este tipo de biorremediación es la construcción de una fosa impermeabilizada con geomembrana de PVC o también llamado liner, esta geomembrana se encuentra dispuesta en una pequeña piscina excavada cerca de la zona a tratar, evitando el arrastre de hidrocarburos que se pueden convertir solubles por las lluvias hacia las aguas subterráneas, por este motivo la geomembrana es un sitio de acopio temporal, y se utiliza como materia primordial para el proceso (Rodríguez y Sánchez, 2012).

### **2.1.2. Estadísticas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ecuador**

El Ecuador, en los últimos años se ha ido encaminando en los procesos de un tratamiento de aguas residuales en empresas industriales, por lo que aún no se precisa de investigaciones estadísticas para un detalle específico en industrias de cada rama, es por esto que se detallara a nivel general.

Según el informe INEC, en la Encuesta de Información Ambiental Económica en Empresas para el año 2012, 1394 empresas ejecutaron su planta de tratamiento de aguas residuales, constando que el 50% de empresas desarrollaron solo el tratamiento primario, el 20% de empresas constan con un tratamiento primario además de un tratamiento secundario y solo un 3% de empresas desarrollaron el tratamiento de aguas residuales con las tres etapas:

## Tratamiento de Aguas Residuales en el Ecuador

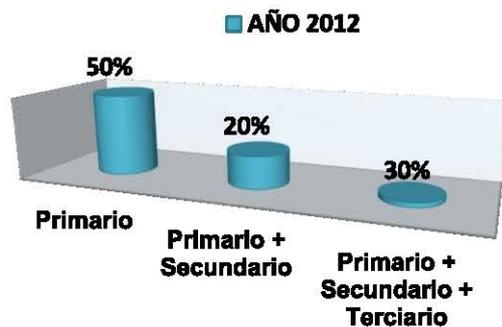


Figura 3. Tratamiento de aguas residuales en el Ecuador

Adaptado de INEC, 2012, p.1-10.

De las 1934 empresas que trataron sus aguas residuales, el 55% de empresas descargaron sus aguas residuales ya tratadas al alcantarillado, y el 3% se descargaron al mar.

## Porcentaje de empresas que vierten el agua residual tratada vertida en efluentes naturales

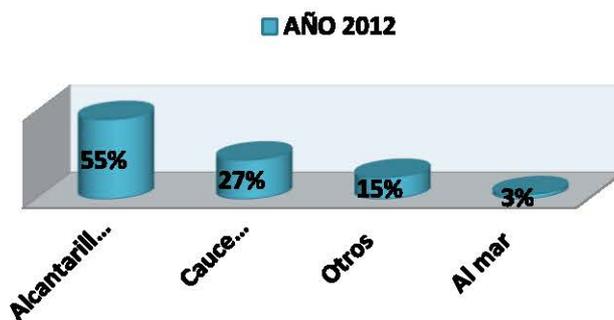


Figura 4. Porcentaje de empresas que vierten el agua residual tratada vertida en efluentes naturales

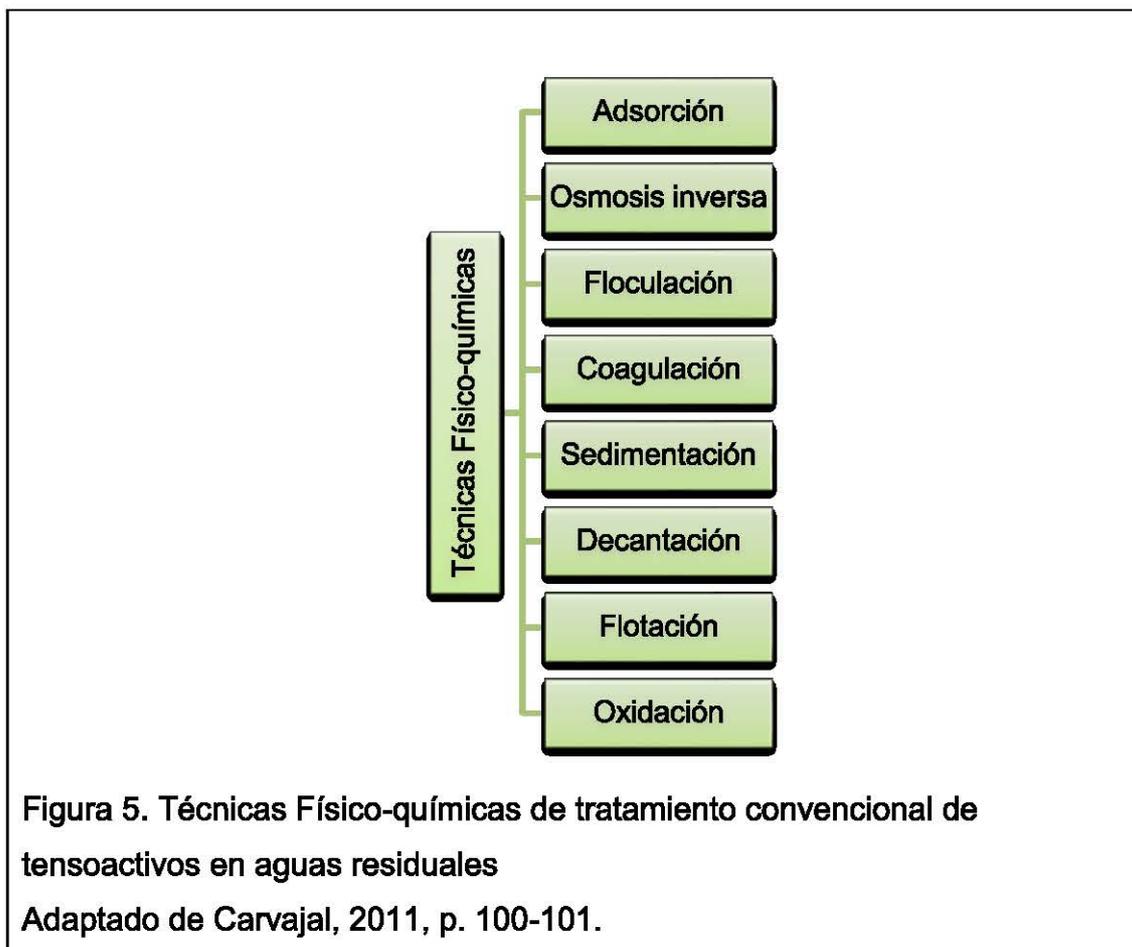
Adaptado de INEC, 2012, p.1-10.

En base a los resultados presentados en los gráficos 3 y 4 se determinó que en el país no se cuenta con datos actualizados estadísticos de plantas de tratamiento de aguas residuales implementadas en el sector productivo proveniente del lavado de materiales utilizados en biorremediación.

### **2.2.1. Tratamientos Convencionales de tensoactivos**

Hay que tener en cuenta que no hay estudios relacionados sobre tratamientos de lavado de geomembrana, además de que es un tema que se va a incursionar con el pasar de los años, y se estima que haya estudios relacionados con el mercado que empieza a tener mayor aceptación para empresas que decidan trabajar con este material. Previo a un análisis se toma a consideración que la industria más semejante para una investigación propia al tema de a realizar se enfoca al manejo de lavanderías.

En un tratamiento de fluentes industriales y domésticos que se encuentren con alta cantidad de detergentes se han empleado algunas técnicas fisicoquímicas como se muestra en la siguiente figura:



Además técnicas electroquímicas han sido considerablemente puestas en marcha para su eliminación de estas sustancias tanto de aguas residuales domésticas e industriales. También se ha descubierto que para una degradación de tensoactivos anicónicos en un medio acuoso se hace uso de la actividad microbiana. A criterio de Carvajal (2011), "En algunos casos los procesos con tratamiento biológico mejoran por medio de pool de microorganismos, dando a lugar un incremento de actividad de degradación de especies químicas por los grupos bacterianos y la velocidad de las reacciones"

A medida que avanza la tecnología se ha desarrollado esfuerzos importantes en relación a la investigación e innovación en cuestión a los tratamientos de aguas residuales. Países como Canadá, Australia, España, Argentina, Inglaterra han realizado nuevos avances en metodologías de tratamientos con cargas orgánicas altas, poca biodegradabilidad y toxicidad variable.

Actualmente a estas metodologías se les denomina procesos de oxidación avanzada (Carvajal, 2011, pp. 96).

Uno de los procesos por oxidación avanzada (POA) es la fotocatalisis heterogénea, que se postula como una alternativa factible en el tratamiento de aguas residuales con presencia de tensoactivos aniónicos (Carvajal, 2011, pp. 102). Este proceso se ha desarrollado por más de dos décadas en países como Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Chile, España, Estados Unidos, Suiza.

Se han reportado ensayos de tratamiento fotocatalítico con presencia de tensoactivos aniónicos como se muestra a continuación:

- Los científicos: (Amat, Arques, Miranda, Segui, 2004), Investigaron el proceso de degradación de surfactantes comerciales por medio de fotocatalisis heterogénea y foto-Fenton. Los ensayos se los realizó en una planta piloto solar. “Los surfactantes comerciales (dodecilsulfato sódico) SDSTM y (dodecibencensulfonato de sodio) DBSTM fueron degradados bajo condiciones de irradiación solar directa y adición de dióxido de titanio  $TiO_2$  como fotocatalizador. Para el proceso foto-Fenton se empleó la forma divalente  $Fe^{2+}$  y trivalente  $Fe^{3+}$  de hierro y el cromo trivalente  $Cr^{3+}$ ”. Después de ello se obtuvieron porcentajes con degradación igual y superior al 80%, con tiempos de residencia mayores a 3 horas. Se concluyó que la eficiencia de degradación de los dos surfactantes analizados con técnicas fotocatalítico es alta, y al adicionar sales ferrosas como fotocatalizadores para el proceso Foto-Fenton es crítico.
- Díaz (2008), evaluó la eliminación del surfactante dodecibencensulfonato sódico por medio de técnicas físico-químicas y fotoquímicas. Se basó en una comparación en eficiencia de técnicas convencionales de oxidación y procesos de oxidación avanzada Su investigación valoró la degradación del compuesto por medio de adsor-

ción con carbón activado, ozonización catalizada y foto-oxidación. Se emplearon sustancias altamente oxidantes como perclorato de sodio, dióxido de cloro, permanganato de potasio y ozono. Para la fase experimental se realizó varias combinaciones y se concluyó que los sistemas de oxidación avanzada cede la degradación de los compuestos surfactantes con altas eficiencias (superiores al 70%), hasta compuestos de baja o nula toxicidad.

- Para Paschoal (2008, pp. 803 – 810), en su estudio lograron porcentajes de reducción de carbono orgánico total (COT) del 94% con el surfactante comercial Tamol™ en un tiempo de tratamiento fotoelectrocatalítico de 90 minutos bajo las condiciones experimentales. Además, se analizó la degradación del surfactante en presencia del colorante ácido rojo 151, como resultado se obtuvo una reducción de coloración de 98% y 81% de COT durante 90 minutos de tratamiento. En conclusión las tasas de degradación obtenidas en su estudio son superiores a las reportadas para técnicas convencionales de tratamiento en tiempos relativamente cortos, una técnica potencialmente aplicable para el tratamiento de surfactantes aniónicos con bajas concentraciones.

### **2.3.1. Tratamiento de aguas residuales**

El término tratamiento de aguas residuales es la primera medida que se toma para la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en la descarga de aguas provenientes de sectores residenciales, comerciales e industriales, teniendo como factor principal que al eliminar las aguas residuales que no son debidamente tratadas, ocasiona un impacto ambiental negativo en los cuerpos de agua receptores, además que existe concentración de contaminantes de cada uso que se da al agua.

Las tecnologías del efluente pueden comprender tratamientos físicos, químicos o biológicos, cuya finalidad de cada operación es lograr unas aguas propias que estén adaptadas al uso que se vaya a dar, debido a la combinación y naturaleza que modifica las propiedades de las aguas de partida.

Para una planta típica de un tratamiento, el agua residual continua por una trayectoria de procesos físicos, químicos y biológicos, se detalla en la siguiente tabla los niveles de tratamiento en una planta de tratamiento de aguas residuales, el mecanismo que predomina, con los contaminantes de remoción y el grado de eficiencia de reducción:

Tabla 1. Niveles de tratamiento para aguas de tratamiento

<b>Nivel de tratamiento</b>	<b>Mecanismo Predominantes</b>	<b>Contaminantes removidos</b>	<b>Eficiencias de reducción</b>
<b>Preliminar</b>	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	SS: <10% DBO: <10% Coliformes: = 0% Nutrientes: = 0%
<b>Primario</b>	Físico	Sólidos suspendidos Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fosforo	SS: 40-50% DBO: 25-35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: <20%
<b>Secundario</b>	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60-99% DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
<b>Terciario</b>	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: 40-50% DBO: 25-35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: <20%

Adaptado de Van Haandel, 2008, p. 118

### 2.3.2. Aplicaciones de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Se investiga las operaciones unitarias de cada etapa que existe en un tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta que en cada operación tiene sus características, conforme lo considerado a continuación se empleara en el diseño de la plantas de tratamientos de las aguas residuales que son procedentes de la geomembrana en la empresa Recilago.

### **2.3.2.1. Pre tratamiento**

El primer punto para una depuración de las aguas residuales es la separación de aquellos cuerpos sólidos o materias grasas que van a ser objetivo de una obstaculización en los siguientes procesos, siendo este un paso primordial un sistema de tratamiento de aguas residuales. A continuación se detalla las operaciones unitarias más destacadas, en función de las características como tamaño, densidad, forma, etc.:

#### **2.3.2.1.1. Cribado**

Se utiliza en reducción de sólidos en suspensión de distintos tamaños, la limpieza se lo hace de forma manual o mecánica, la materia sólida recogida suele ser en finos y gruesos.

La malla metálica de acero, base a placas o chapas de acero perforado se utiliza para rejillas de material sólido fino con una abertura de 5mm o menos. Muchas veces se emplean en tanques de sedimentación (Ramalho, 2003, pp. 92).

Las rejillas gruesas tienen una abertura igual o mayor a 0,64cm (1/4"), y las rejillas finas tienen una abertura menor de 0.64cm (1/4"). El rendimiento obtenible de este proceso es de un 2 - 20% SS; 5 - 10% DBO; 5 - 10% DQO; 10 - 20% bacterias (Romero, 2010, pp.141).

#### **2.3.2.1.2. Rejillas de desbaste**

El objetivo principal es eliminar sólidos de mayor tamaño, su función es retener sólidos gruesos que floten o que se encuentren suspendidos en el agua, para así evitar que dañen equipos que se utilizaran en posteriores tratamientos. Existen 4 tipos de rejillas:

- **Microtamices:** Se utiliza para eliminar del efluente sus partículas microscópicas o de mayor tamaño, con una separación entre barras de

0.001 a 0.3mm.

- **Rejillas de extra finas:** Disminuye los sólidos sedimentables en una decantación primaria, y comprende una separación entre barras de 0,2 y 1,5mm.
- **Rejillas de finos:** Se utiliza cuando se emplean fangos activados, y comprende una separación entre barras de 1,5 y 6 mm.
- **Rejillas de gruesos:** Se utiliza para separar sólidos de gran tamaño, y comprende una separación entre barras mayores a 6mm.

El equipo que se suele utilizar son rejas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas, dispuestas paralelamente y espaciadas. Se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica (Fernández, 2006, p.18).

Son estructuras hidráulicas que se utiliza para remover materiales como arena, grava, sólidos gruesos, con el fin de prevenir que se produzcan sedimentos en canales y así proteger las bombas contra la abrasión (Varo y Segura, 2009, pp.143). Se diseña en la remoción de partículas con un diámetro mayor a 0,21mm, las arenas que se utiliza para un canal de desarenado, se encuentran formados por partículas de gravilla con un tamaño aproximado a 1mm, encontrando dos tipos para equipos de desarenado:

- Desarenador aireado de flujo vertical helicoidal
- Desarenador de flujo vertical

Se utiliza en centrales hidroeléctricas pequeñas, toma para acueductos, sistemas industriales y plantas de tratamiento. El rendimiento obtenible de este proceso es de un 0 - 10% SS; 0 -5% DBO; 0 - 5%DQO (Romero, 2010, pp.141).

### **2.3.2.2. Tratamiento Primario**

Su función es reducir aceites y grasas, arenas y sólidos gruesos, dicha remoción se lo hace habitualmente por operaciones físicas. Además el efluente

que ingresa tiene una alta demanda de contenido orgánico y una comparativa alta DBO. Para ellos los tipos fundamentales que se tratan son:

#### **2.3.2.2.1. Sedimentación**

También llamada decantación primaria; se utiliza para clarificar el agua residual, separando los sólidos en suspensión mediante fuerzas gravitacionales (Martínez y Rodríguez, 2009, pp.100).

Para conseguir una sedimentación, el agua residual se transfiere a un decantador, con una velocidad de paso reducida, en la que se mantiene por algunas horas. Ocurrido este tiempo en la parte inferior del tanque de sedimentación, es depositado alrededor de un 65% de sólidos suspendidos en forma de fangos o lodos, pasando a ser lodos primarios. (Cabildo, 2010, p. 86). El rendimiento obtenible de este proceso es de un 50 - 65% SS; 30 - 40% DBO; 30 - 40% DQO. Por lo general se emplean tanques de sedimentación de flujo horizontal circulares o rectangulares (Ramalho, 2003, pp.1085).

#### **2.3.2.2.2. Neutralización**

Busca eliminar la acidez o alcalinidad que presenta el agua residual, los vertidos ácidos se neutralizan por adición de un álcali; una manera es que el vertido atraviese un depósito relleno con carbonato de calcio siendo efectivo cuando su acidez es variable; en cambio con los vertidos alcalinos se pueden neutralizar con un ácido fuerte como por ejemplo el ácido sulfúrico.

En algunos casos el agua residual no consigue una neutralización correcta en un solo paso por lo que se ve obligado a concurrir a una segunda, tercera etapa de operación con un sistema de control de pH, sin embargo si el volumen de vertido diario es en menor producción la neutralización se lo hará discontinuamente (Rigola, 2005, pp. 139).

### **2.3.2.2.3. Flotación**

Se emplea en la eliminación de partículas sólidos, que son difíciles de eliminar por la gravedad debido a su densidad, la fase de separación consiste en introducir finas burbujas de gas (aire) en la fase líquida, las burbujas se adhieren a cada una de las partículas, reduciendo la densidad de las mismas, existiendo un ascenso hacia la superficie del líquido, en donde se recoge fácilmente por medio de un rascado superficial (Rigola, 2005, pp. 224).

### **2.3.2.3. Tratamiento Secundario**

Busca la remoción principalmente de la materia orgánica en el agua y sólidos suspendidos, utilizando procesos biológicos y químicos, por lo general los procesos microbianos manejados son aeróbicos. "Con la finalidad de que los microorganismos actúen en presencia de oxígeno disuelto, dando a lugar a que las bacterias aeróbicas cambie la materia orgánica a formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos, fosfatos, así como otros materiales orgánicos" (Fraume, 2007, pp. 438).

Dichos procesos se manejan con procesos físicos y químicos, concretamente para el tratamiento preliminar y primario del agua residual. Existen diversas operaciones unitarias en un sistema de tratamiento secundario, se hará hincapié en las operaciones más relevantes, cada uno con sus variantes, encontrándose:

#### **2.3.2.3.1. Lodos activados**

Consiste en un sistema de mezcla completa, ingresando el efluente, se logra con el uso de aireadores mecánicos, ubicados en el lecho o superficie del mismo, después de un lapso de tiempo, al mezclarse las nuevas células y antiguas, estas son conducidas hacia un tanque de sedimentación para luego ser separados por una decantación, una porción de las células que están sedimentadas recirculan para mantener el reactor con células deseadas,

mientras que la otra porción de células se purga del sistema (Varila y Días, 2008).

Este método resulta ser muy eficiente, ya que posee una gran variedad de microorganismos que son capaces de remover materia orgánica, nutrientes (Nitrógeno y Fosforo) y patógenos, método ideal para un tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales. El rendimiento obtenible de este proceso es de un 80-90% SS; 80-95% DBO; 80-85%DQO (Romero, 2010, pp.141).

#### **2.3.2.3.2. Lagunas de oxidación**

El objetivo principal es la reducción de la carga orgánica en las aguas residuales, cuando reciben aguas negras crudas se puede usar como un tratamiento completo, generalmente se usa como tratamiento secundario que se da del agua residual del tratamiento primario (Falcón, 2012, pp. 99 -100).

Los estanques de estabilización se enfatizan por una fase de construcción barata y demanda un mínimo de operación, la única desventaja es que se debe disponer de superficies grandes y aisladas a las poblaciones

#### **2.3.3.2.3. Filtros percoladores**

Contiene un lecho formado por un medio filtrante en la que se adhiere los microorganismos reduciendo la DBO; los factores que inciden en su adecuado funcionamiento es la carga hidráulica u orgánica y el grado de tratamiento. El medio filtrante percolador tiene que ser de un material poroso, de piedras o plástico. Comúnmente se usa para tratar aguas negras municipales (Gordon y Díaz, 2000, pp.75-76). El rendimiento obtenible de este proceso es de un 50 - 92% SS; 50 - 95% DBO; 50-80%DQO; 90 - 95% bacterias (Romero, 2010, pp. 141).

#### **2.3.2.4. Tratamiento Terciario**

También llamado tratamiento avanzado de efluentes residuales, con tratamientos específicos y a la vez costosos. Se utiliza para remover sales disueltas, micro contaminante y afino depuración (analizacalidad.com, s.f.).

Describe una variedad de procesos que se efectúa sobre el efluente que proviene de un tratamiento secundario que alcanza un 85-95% de remoción de SST y DBO (Manaham, 2007, pp. 214).

##### **2.3.2.4.1. Coagulación – Floculación**

El objetivo de una coagulación es buscar la separación de sus propiedades de los elementos insolubles, para agrupar partículas pequeñas en otras mayores, convirtiéndose en más sólidas, denominados flóculos, y así separarlas fácilmente (ocw.bib.upct.es, 2010).

Para Muñoz, (2008, p.373) "Tres fenómenos se dan en la reacción química llamada coagulación:

1. Neutralización de cargas negativas de las impurezas con el ion coagulante
2. Reacción del coagulante y la formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva, las cuales atraen impurezas coloidales de carga negativa
3. Adsorción superficial de impurezas por los flóculos".

Después los coloides que se han convertido en flóculos, por un simple con contacto (coalescencia) aumentan el tamaño, favorecido por una serie de choques.

##### **2.3.2.4.2. Adsorción con carbón activado**

La aplicación de carbón activado tiene como propósito remover contaminantes del agua por medio de adsorción a través de un filtro, en donde dichas partículas se filtran y se adhieren a la superficie de los gránulos del carbón.

La tecnología de adsorción utilizando carbón activado es altamente eficiente,

alcanzando remociones del orden de 95-99% (sinia, s.f.).

Adquiere una remoción directa: Materia orgánica (DBO5), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables, compuestos orgánicos como hidrocarburos, color, sabor, olor, agente espumógeno, aceites y grasas entre otros.

#### **2.3.2.4.3. Osmosis Inversa**

Permite separar un componente de otro en una solución, mediante fuerzas que ejercen sobre una membrana semi-permeable, dando a lugar la remoción de sólidos inorgánicos u orgánicos disueltos en el agua hasta en un 99%, además remueve materiales suspendidos y microorganismos. Se aplica en abastecimiento y tratamiento de aguas en uso de consumo poblacional e industrial (textoscintíficos, s.f.).

#### **2.3.2.4.4. Filtración**

Se utiliza para remover metales pesados, sólidos materias no sedimentables, turbiedad, fósforo, DBO y DQO. Se puede desarrollar en diferentes formas: baja carga superficial denominado filtros lentos, alta carga superficial denominados filtros rápidos; en medios porosos con ayuda de astas arcillosas, papel de filtro, o medios granulares material como arena, antracita, granate o mixtos; con un mecanismo de forma descendente o ascendente y finalmente el filtro puede trabajar por gravedad o a presión (Arboleda, 2011, pp. 363).

#### **2.3.2.4.5. Desinfección**

Reduce esencialmente organismos vivos en el agua que se descarga de nuevo al ambiente, el desinfectante se caracteriza por su elevada toxicidad bacteriana, y su bajo costo, fácil accesos de manipulación, también se debe instalar un medio fiable para la localización de la presencia de sus residuos. El desinfectante más común para este proceso es el cloro, caracterizándose por ser seguro y fiable (Russell, 2012, pp. 147).

El ozono O<sub>3</sub>, es un agente oxidante y germicida muy fuerte en virus, se utilizan en plantas pequeñas o grandes, después de haber recibido un tratamiento secundario, esta tecnología tiene una amplia aceptación por alguna décadas en Europa, logrando niveles altos en desinfección que la utilización de cloro o la luz ultravioleta para la destrucción de bacterias y virus (Russell, 2012, pp. 150). Una desventaja al utilizar una desinfección por medio de ozono es el alto costo de equipo y sus operadores deben estar altamente capacitados para el manejo de este proceso (EPA, 1999).

La luz ultravioleta UV es un desinfectante bacteriano, se maneja para deteriorar la estructura genética de bacterias, virus y otros patógenos, inhibiendo su reproducción. Según Romero (2008, pp. 1152) "La irradiación ultravioleta se consigue por medio de la inducción de cambios fotobioquímicos con los microorganismos", debe cumplir con dos condiciones: 1) Para alterar sus enlaces químicos deberá tener una radiación con suficiente energía 2) Adsorción de radiación por el organismo.

#### **2.3.2.5. Tratamiento de lodos**

En el proceso de los tanques de sedimentación se origina gran cantidad de volúmenes de lodos incluido un porcentaje de agua, por lo que su deshidratación y el manejo de la disposición final, ocasionan una alta demanda en cuanto al porcentaje de costo en el tratamiento de aquella agua; representado hasta un 50% de dicho valor del tratamiento total del agua residual. El lodo que es procedente de los tanques sedimentadores se encuentra formado por sólidos orgánicos e inorgánicos que se encuentran presente en al agua cruda, y al momento de emerger del tanque sedimentador, dichos lodos contiene un 90% de agua y un 10% de sólidos (Romero, 2008, pp. 1181).

Antes de dar una disposición final a los lodos deben ser debidamente tratados, por su alto contenido de materia orgánica putrefacta, ya que de ninguna manera posible puede ser dispuesto hacia la intemperie para no tener peligro

hacia la salud u ocasionar molestias. A criterio de Romero (2008, pp. 1182), cuando se hace un tratamiento de lodo se remueve cerca de un 20% del fosforo del agua residual, siendo una fracción apreciable para la eliminación del ion fosfato.

Para reducir el volumen en una gran proporción y a su vez descomponer los sólidos orgánicos o minerales, se puede optar por estos métodos:

1. Secado sobre lechos de arena
2. Lechos de secado
3. Digestión aerobia
4. Digestión anaerobia
5. Tratamiento químico
6. Incineración

La cantidad del lodo puede variar, dependiendo del tratamiento que se dio en el proceso y en la concentración de aguas residuales, en la tabla los valores típicos de las cantidades y características de lodos causados por diversos procesos de tratamiento para las aguas residuales:

Tabla 2. Características de los lodos

Proceso	% humedal del lodo		Densidad relativa	
	Intervalo	Típico	Sólidos	Lodo
Sedimentación Primaria	88 – 96	95	1,4	1,02
Filtro percolador	91 – 95	93	1,5	1,025
Lodos activados	90 – 93	92	1,3	1,005
Tanques sépticos	–	93	1,7	1,03
Tanques Imhoff	90 – 95	90	1,6	1,04
Lodo primario digerido			1,4	1,02
Anaerobiamente	90 – 95			

Laguna aireada	88 – 92	90	1,3	1,01
Lodo primario digerido				
Lodo primario digerido aerobiamente	93 – 97	96	1,4	1,012

Adaptado de Romero, 2008, p. 759.

El lodo al no tener un alto nivel de nutrientes, funciona como un buen acondicionador de suelos, ya que existe una mejor aireación en el suelo y además de que sirve como sustituto para la retención del agua.

#### **2.3.2.5.1. Lecho de Secado**

La finalidad de hacer un secado de lodos es deshidratar el lodo, para así facilitar su disposición final. Los Lodos que se obtienen de un tanque sedimentador primario, son básicamente los sólidos sedimentables del agua negra cruda, conocidos como lodos crudos, de color gris, con apariencia desagradable, además de fragmentos de desperdicios; entre otros y se percibe un olor nauseabundo (Falcón, 2012, pp. 115).

Un lecho de secado debe estar diseñado para retener una o más secciones, en el caso del volumen total removido del digestor. Para Romero (2010, pp. 1164) “La estructura de un lecho debe incluir: muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodos y muros”

#### **2.4. Marco legal**

La normativa a escoger es a nivel nacional como local, en la que se detallará únicamente los artículos de interés para el presente proyecto de investigación, siendo trasladado según publicado en la Constitución Política de la República del Ecuador, Ley, ordenanza.

Que, la Constitución de la República del Ecuador, en su Art. 3 establece como deber primordiales del Estado, se defiendan el patrimonio natural y cultural del país y proteger el medio ambiente (República del Ecuador, 2008).

Que, la Constitución de la República del Ecuador, en su Art. 23 de los derechos civiles, el Estado reconocerá y garantizará a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación. La ley establecerá las restricciones al ejercicio de determinados derechos y libertades, para proteger el medio ambiente (República del Ecuador, 2008).

Que, el Art. 86 sección segunda, de la Constitución de la República del Ecuador, establece que el Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza (República del Ecuador, 2008).

Que, el Art. 395 numeral 2, de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce como principio ambiental, las políticas de gestión Ambiental que se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional (República del Ecuador, 2008).

Que, el Art. 33 de la ley de Gestión Ambiental, implanta instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento" (Ley de Gestión Ambiental, 2004).

Que, el Art. 90 de la ley de Gestión Ambiental, considerará como "agua contaminada" toda aquella corriente o no que presente deterioro de sus características físicas, químicas o biológicas, debido a la influencia de cualquier elemento o materia sólida, líquida, gaseosa, radioactiva o cualquier otra sustancia y que den por resultado la limitación parcial o total de ellas para el uso doméstico, industrial, agrícola, de pesca, recreativo y otros" (Ley de Gestión Ambiental, 2004).

Que el Art. 6 de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, determina que queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades" (Ley de Gestión Ambiental, 2004).

Que, el Art 72 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, establece que en la toma de muestras se observarán además de las disposiciones establecidas en el plan de manejo ambiental del regulado (programa de monitoreo) las disposiciones sobre: Tipo y frecuencia de muestreo; Procedimientos o Métodos de muestreo; Tipos de envases y procedimientos de preservación para la muestra de acuerdo a los parámetros a analizar ex situ, que deberán hacerse en base a las normas técnicas ecuatorianas o en su defecto a normas o estándares aceptados en el ámbito internacional, debiendo existir un protocolo de custodia de las muestras (TULAS, 2003).

Que, el Art 73 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, establece que los procedimientos de control de calidad analítica y métodos de análisis empleados en la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos, control de los procesos de tratamiento, monitoreo y vigilancia de la calidad del recurso, serán los indicados en las

respectivas normas técnicas ecuatorianas o en su defecto estándares aceptados en el ámbito internacional. Los análisis se realizarán en laboratorios acreditados. Las entidades de control utilizarán, detenerlos, sus laboratorios (TULAS, 2003).

Que, en el libro VI anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria en el punto 4.2.1.1, señala que el regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor (TULAS, 2003).

Que, en el libro VI anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, en el punto 4.2.1.2, expone las tablas # 11, 12 y 13 de la presente norma, se establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce y marina), los valores de los límites máximos permisibles, corresponden a promedios diarios. La Entidad Ambiental de Control deberá establecer la normativa complementaria en la cual se establezca: La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua (TULAS, 2003).

Que, en el libro VI anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, en el punto 4.2.1.5, señala la prohibición de toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas. La Entidad Ambiental de Control, de manera provisional mientras no exista sistema de alcantarillado certificado por el proveedor del servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento e informe favorable de ésta entidad para esa descarga, podrá

permitir la descarga de aguas residuales a sistemas de recolección de aguas lluvias, por excepción, siempre que estas cumplan con las normas de descarga a cuerpos de agua (TULAS, 2003).

Que, en el libro VI anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, en el punto 4.2.1.6, señala que las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento (TULAS, 2003).

Que, en el libro VI anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, en el punto 4.2.1.10, se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos-semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias (TULAS, 2003).

Que, en el libro VI anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, en el punto 4.2.1.11, se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, o hacia un cuerpo de agua, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas (TULAS, 2003).

Como la presente investigación, se localiza en la ciudad de Lago Agrio, provincia de Sucumbíos, y como no existe una norma para la calidad de aguas, se optó por manejarse bajo los parámetros permisibles del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). Considerando que el vertido se lo hace al estero Orienco, por aquel motivo se analizará el Libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12.

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, expuesta a continuación en la tabla 3:

Tabla 3. Límites máximos permisibles hacia un cauce de agua

<b>PARÁMETROS</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE TULAS</b>
Caudal	-	l/s	4,5 dato referencial
Potencial de hidrógeno	pH	-	5 – 9
Temperatura	-	°C	< 35
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	250
Sólidos Suspendidos Totales	SS	mg/l	100
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/l	20

Tomado de Texto Unificado de Legislación Ambiental libro VI Anexo 1, 2002, p.330

### CAPITULO 3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación se enfoca en planteamiento práctico para el pre-diseño de un sistema de aguas residuales provenientes del lavado de la geomembrana. Para lo cual se realiza un análisis experimental con el objetivo de lograr la hipótesis

Debido a que en la ciudad de Lago Agrio no cuenta con una norma técnica específica para poder analizar las muestras de agua, se ha escogido el Libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y que están definidos por la Clasificación Internacional Industrial Uniforme CIIU, adoptada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos.

De acuerdo con la clasificación CIIU 0931, en la caracterización del agua residual se monitorea los siguientes parámetros: pH, T°, Temperatura, Aceites y grasas, DBO, DQO, Sólidos totales suspendidos, tensoactivos, TPH. A continuación en la tabla 4, se presenta los parámetros a analizar por actividad en este caso perteneciente a la industria de lavandería.

Tabla 4. Guía de parámetros por sector productivo

CIIU 0931 Lavanderías y Tintorerías									
Parámetros	Q (m <sup>3</sup> /día)	pH	T ° C	A&G mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	SST mg/l	Tensoactivos mg/l	TPH mg/l
Límite Máximo permisible	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tomado de Norma técnica para el control de descargas líquidas, 2008, p. 31.

### 3.1. Información general del área de estudio

El Centro de Acopio de Residuos Recilago y Transportes Navarrete está ubicado en la avenida Colombia Km. 1 N° 515 y Balsas del barrio Nuevo Sucumbíos en la parroquia Nueva Loja del Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos en la región Amazónica del país, con coordenadas UTM 18290935 E; 0010714 N.

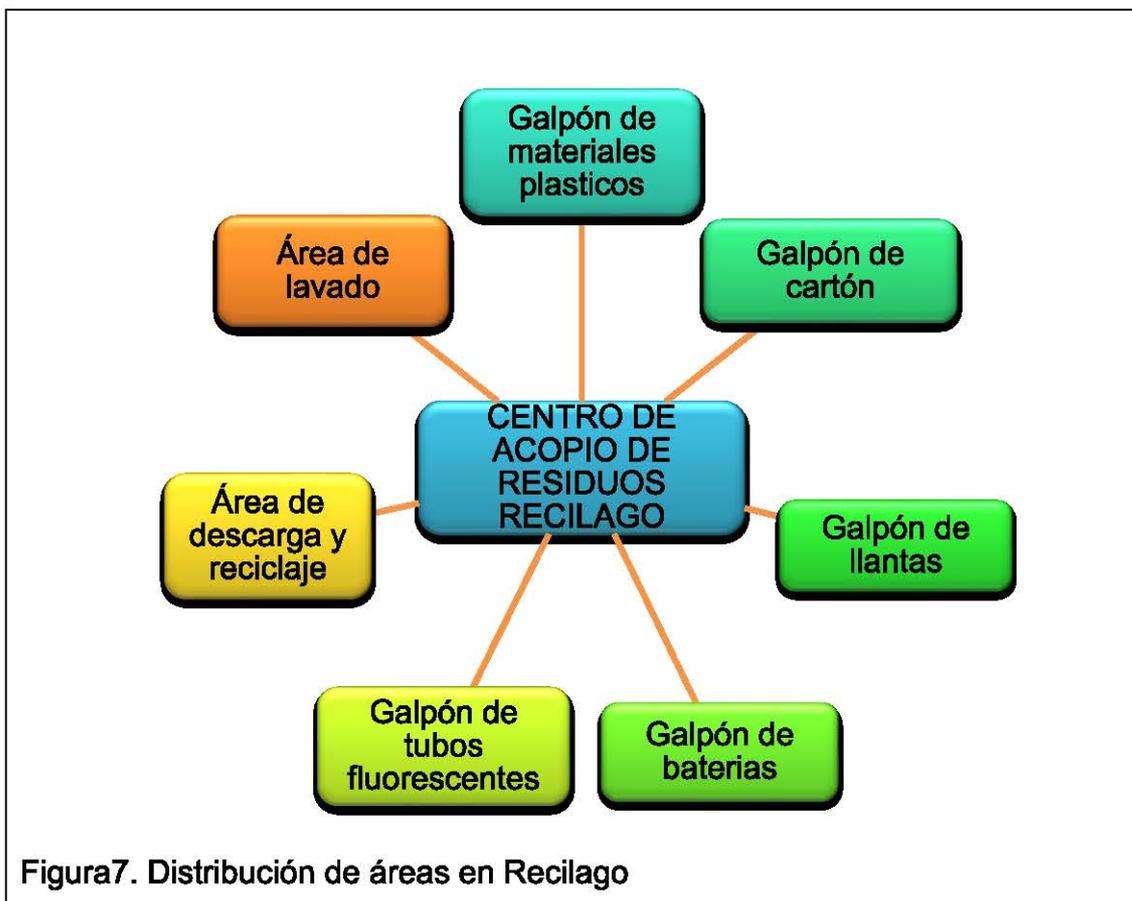
A continuación en la figura 6 se presenta la ubicación de la empresa Recilago:



Figura6. Croquis de ubicación de Recilago

La superficie aproximada que ocupa el terreno del Centro de acopio de residuos es de 9035.85 metros cuadrados. En esta superficie se encuentran las instalaciones de: entradas, parqueaderos, oficinas, taller mecánico, sitios de almacenamiento de los residuos, casa del cuidador y bodegas.

Recilago inició sus actividades en el año 2000 y remodelada en el año 2008, actualmente cuenta diferentes bodegas, para la disposición final de cada residuo que ingresa y que se exponen a continuación en la figura 7:



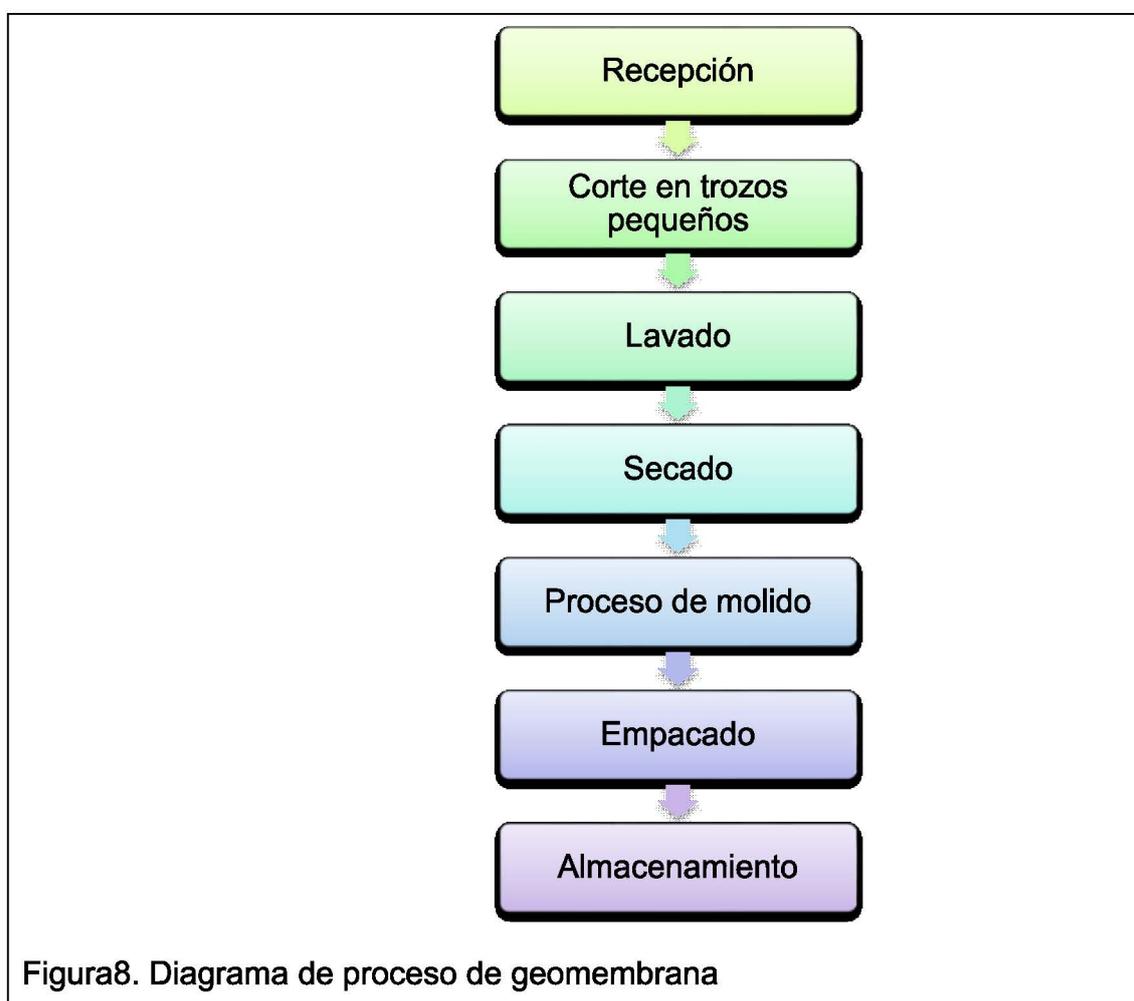
Recilago, centro de acopio, almacenamiento, y venta de residuos, manejando dos tipos de residuos que son:

- Residuos reciclables no peligrosos (cartón, plástico, chatarra ferrosa y no ferrosa).
- Residuos peligrosos (baterías de plomo y lámpara fluorescentes)

### 3.1.1. Aprovechamiento de la geomembrana en Recilago

En los últimos tres años, Recilago incursiona en el trabajo de molido de plástico, y como materia prima para el proceso se compra a empresas que desechen geomembrana de PVC o también llamado liner y protectores plásticos de tubería

A continuación, en la figura 8, se detalla el diagrama de proceso del aprovechamiento de geomembrana



Para la figura 9, se expone el diagrama de proceso de geomembrana, en el que indica la secuencia del proceso en cuestión detalladamente:

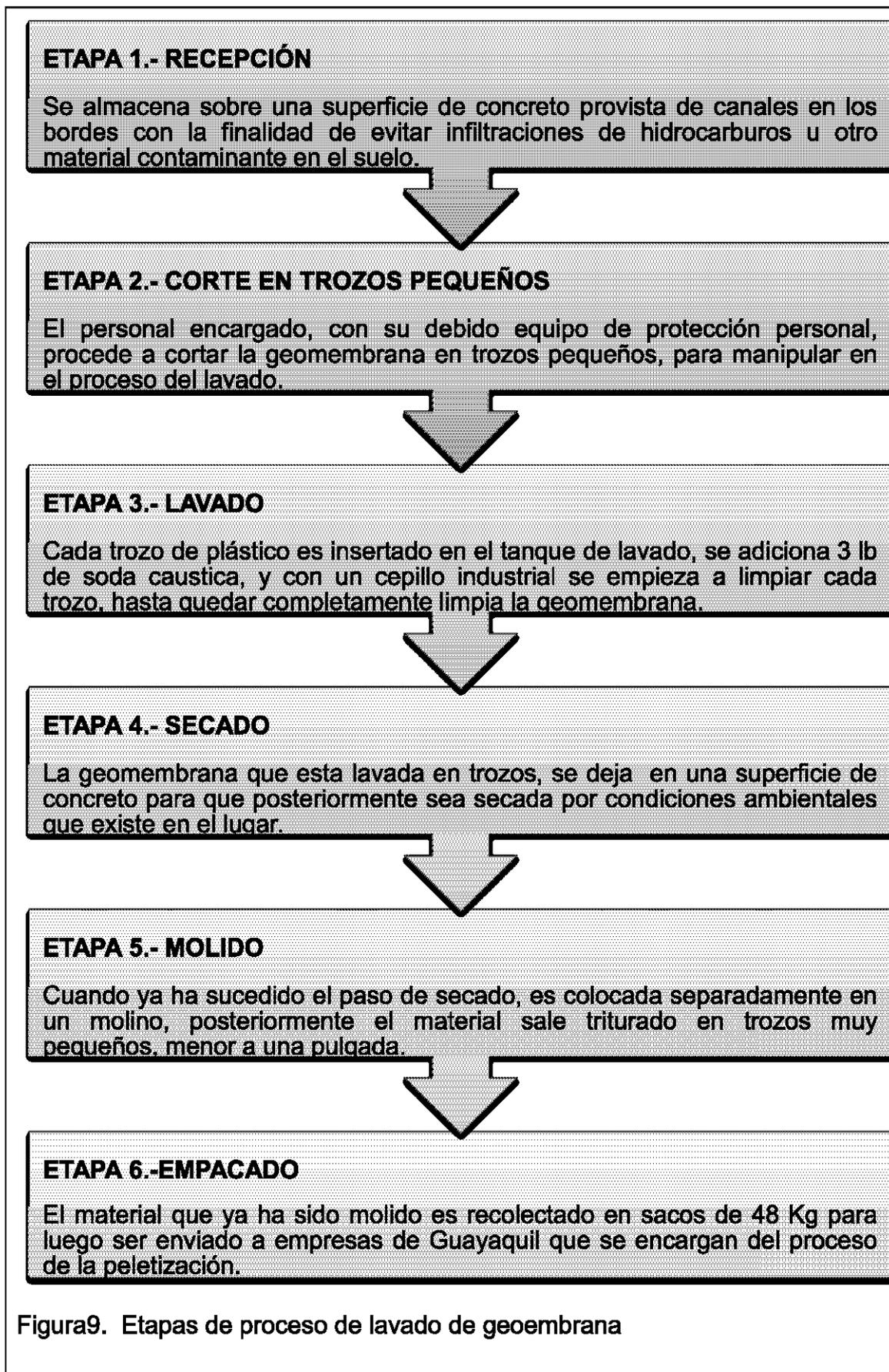


Figura9. Etapas de proceso de lavado de geoembrana

Con el diagrama de proceso que se ha detallado, se da continuidad a las siguientes imágenes, en la que se observa detalladamente el proceso que concurre al lavado de la geomembrana en Recilago:



Figura 10. Recepción del desecho en Recilago, etapa 1



Figura 11. Corte en trozos, etapa 2



**Figura 12. Lavado manual de geomembrana, etapa 3**



**Figura13. Proceso de Secado, etapa 4**



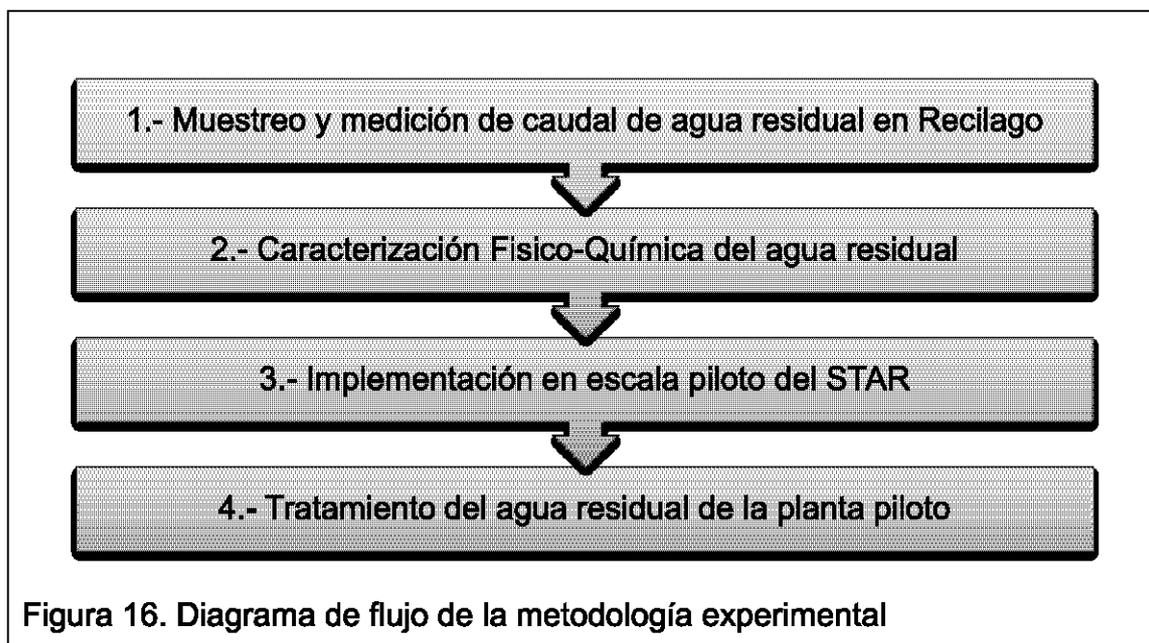
**Figura 14. Geomembrana molda, etapa 5**



**Figura15. Empacado de geomembrana, etapa 6**

### 3.1.2. Método experimental

En el siguiente diagrama de flujo se detalla el proceso para la metodología experimental:

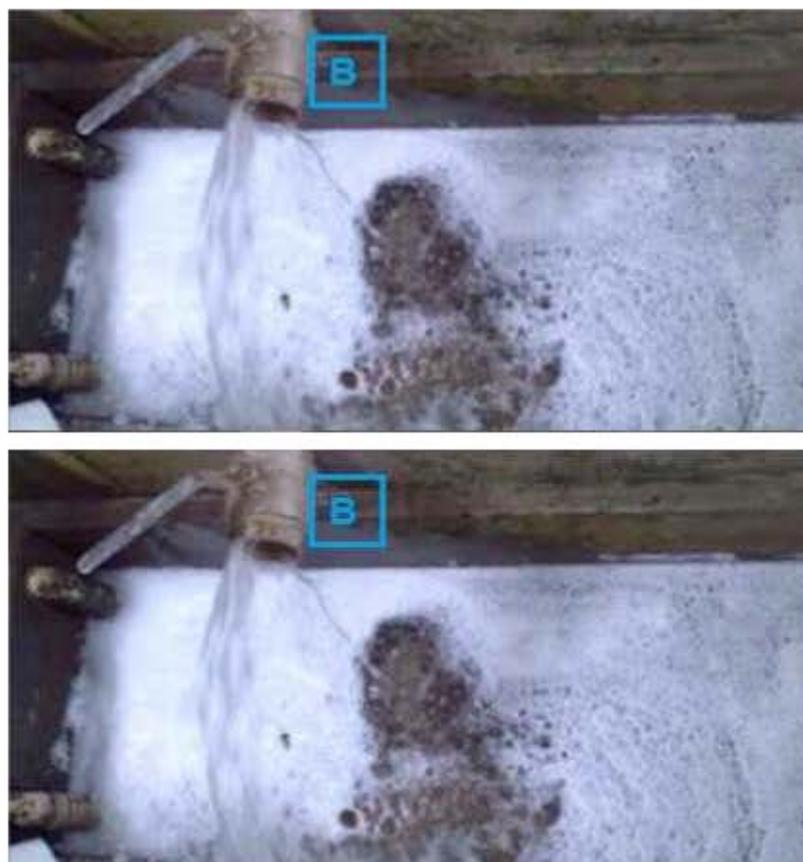


#### 3.1.2.1. Muestreo y medición de caudal de agua residual en Recilago

El esquema a utilizar para el desarrollo de la caracterización del agua residual, comprendió en visitas de campo a la ciudad de Lago Agrio, en la que permitió obtener información básica con respecto al sistema de lavado de la geomembrana, punto de descarga, características del cuerpo receptor.

#### 3.1.2.2. Punto de Muestreo

Para el punto de muestreo se seleccionó la primera llave, en la que existe el proceso de descarga; es el lugar ideal para el muestreo ya que la descarga aun no ingresa a un curso de agua y se observó que la mayoría de agua residual (AR) es desechada por el lavado de la planta, como se observa en la figura 17:

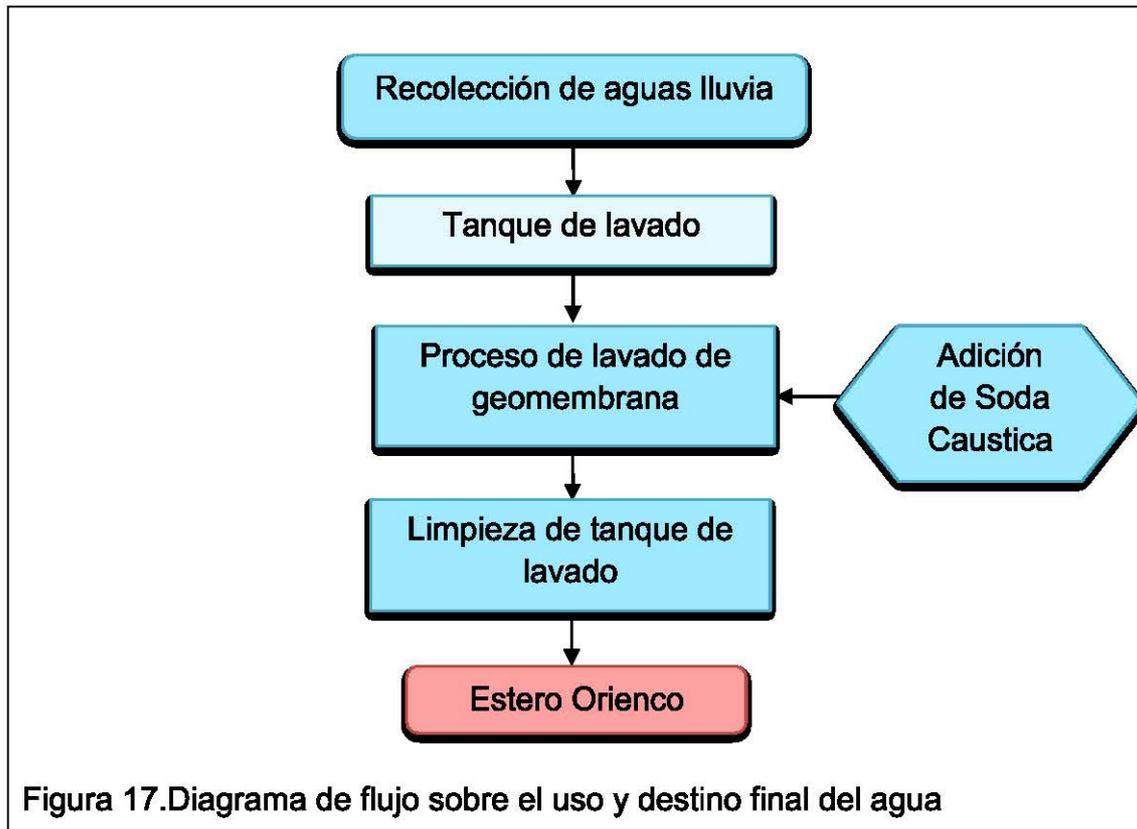


**Figura 17. Origen del agua residual en la planta de lavado de la geomembrana**

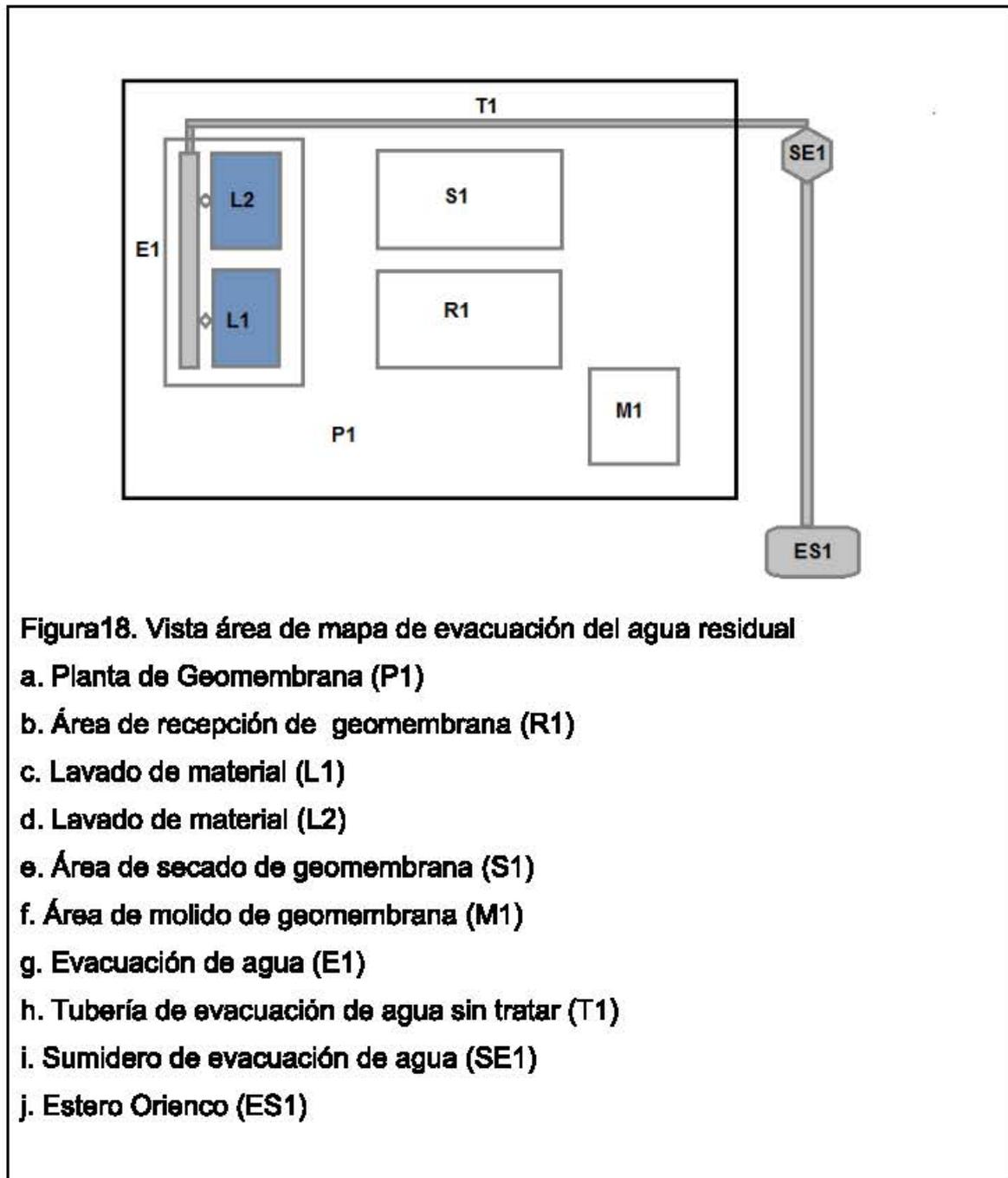
- a. Punto de Descarga
- b. Proceso de descarga

En el tanque de agua en donde se procede hacer el lavado de la geomembrana, además de la adición del detergente industrial que se compone de sustancias químicas. Según Restrepo (2007, pp.149) "Son compuestos que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial entre el agua y el aire, de tal forma que permiten emulsionar las grasas y las partículas adheridas a un cuerpo, y conservarlas luego en disolución o en suspensión." Al evacuar el agua residual del lavado, se observa gran cantidad de espuma, sólidos suspendidos, entre otros, y se desecha hacia el cauce de agua, como se observa en la siguiente figura, contribuyendo a un problema desde el punto de

vista ambiental.



Se identificó la principal fuente de contaminación de las aguas residuales de lavado de geomembrana que es al momento de evacuar el tanque hacia la llave de paso, la zonificación se lo realizó observando desde que se inicia la descarga hasta la descarga del cauce de aguas, esto es a partir de 30 metros fuera de las instalaciones de Recilago, a medida que el agua sigue su destino desemboca a unos 100 metros del estero Orienco.



### 3.1.2.3. Medición de Caudal

Al hacer una proyección de un tratamiento de aguas residuales, es esencial conocer el volumen de vertido por unidad de tiempo, por lo cual para medir el caudal del efluente se puede recurrir al método volumétrico manual, en un canal abierto o en una tubería al presentar una caída de agua, debido a que la tubería no es de fácil acceso insertar un balde aforado, como se presenta en la siguiente figura 20:



Figura 20. Recepción de caudal en balde aforado

Se decide tomar el volumen del tanque, en base a las dimensiones del tanque, como se encuentra en la figura 20, para proceder al cálculo teórico, en base al cálculo teórico de la ecuación de Manning y así dar a conocer el caudal para construir la planta piloto en base al caudal de ingreso.

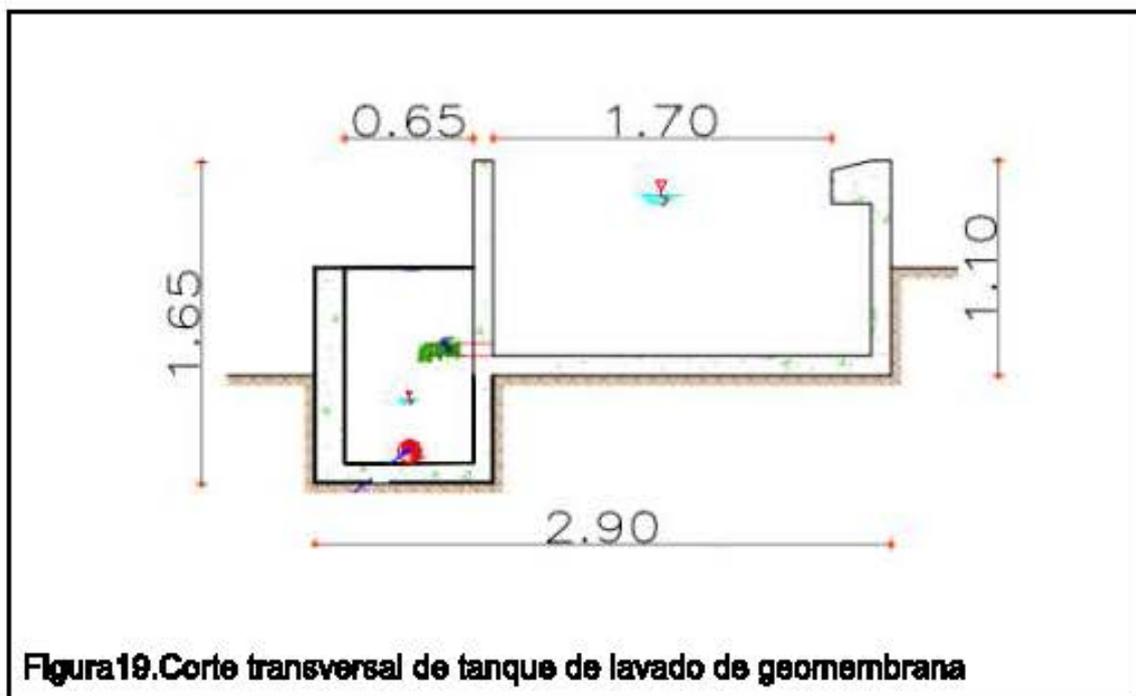


Figura 19. Corte transversal de tanque de lavado de geomembrana

El volumen de cada tanque es de  $4\text{m}^3$ ; por ser el área de lavado en dos tanques de las mismas dimensiones, el volumen total a evacuar es de  $8\text{m}^3$ . Tomando un volumen del tanque para tener conocimiento del caudal en proceso, se basa en la siguiente ecuación:

$$v = Cv \cdot \sqrt{2g \cdot H} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$v = 3,87\text{m/s}$$

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$Q = 7,72\text{ l/s}$$

El caudal de salida del orificio es de  $7,72\text{ l/s}$ ; hay que tener en cuenta que este trabajo se lo hace en dos tanques de la misma dimensión, evacuando un caudal total de  $15,44\text{ l/s}$ .

### 3.2.2. Caracterización físico-química del agua residual

#### 3.2.2.1. Recolección del agua residual

Con la información ya obtenida, se decidió realizar 4 muestras puntuales, en 4 diferentes días a la misma hora, previamente a la localización del sitio de muestreo, se identifica que la mayor carga contaminante siendo los días miércoles y sábado.

Tabla 5. Días de muestreo para toma de muestra

<b>DÍA DE MUESTREO</b>	<b>HORA DE MUESTREO</b>	<b>NUMERO DE MUESTREO</b>	<b>TIPO DE MUESTREO</b>
Lunes	11:30 am	Primero	Puntual
Miércoles	11:45 am	Segundo	Puntual
Viernes	11:35 am	Tercero	Puntual
Sábado	11:35 am	Cuarto	Puntual

##### 3.2.2.1.1. Equipo de muestreo

Los materiales utilizados para realizar la recolección del agua residual en cada muestreo por cada día se utilizó:

- 2 botellas de vidrio ámbar de 1 litro
- 1 botella de vidrio ámbar de 500 ml
- Termómetro eléctrico
- Cronometro
- Hielera portátil
- Hielo Coleman
- Marcador permanente
- Material de aforo
- Cinta adhesiva para etiquetar las muestras

- Mandil
- Mascarilla
- Guantes quirúrgicos
- Gafas de seguridad

### 3.2.2.1.2. Procedimiento de muestreo

La metodología de muestreo que se maneja es el Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales, que es utilizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de la República de Colombia, ya que este programa de muestreo está proyectado para satisfacer los objetivos de estudio en recolección, preservación y almacenamiento en la muestras para que dichos resultados sean de calidad. Al realizar el muestreo de calidad de aguas residuales se procede a las siguientes instrucciones:

- Organizar cada una de las botellas con su respectivo rotulo, etiquetándolas antes de su llenado. (código o nombre de la muestra, fecha, hora, fuente del agua residual, nombre del laboratorio a dirigirse).



Figura20. Etiquetado de botella

- Al hacer el muestreo, purgar todas las botellas con la muestra y procederlas a llenar.



Figura 21. Recolección de agua residual

- Purgar todas las botellas con la muestra y procederlas a llenar.
- Tapar cada botella y agitarla.
- Recolectar el agua residual en cada una de las botellas de vidrio ámbar.
- Se coloca cada una de las botellas dentro de la hielera, en posición vertical.
- Adicional a ello introducir el hielo Coleman.
- La hielera ayuda a preservar a una temperatura de 4° C.

Después de la recolección de las muestras de agua de cada día en la que se recolectaba, dos muestras de botellas ámbar de 1 litro y un botella ámbar de 500ml, se tomó la temperatura, apreciando así una evolución de cada una de las muestras recolectadas, en la que se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 6. Temperaturas de días de muestreo

TEMPERATURAS (° C)					
# DE MUESTREO	DIA	Temperatura Ambiente	Temperatura 1 (1 L)	Temperatura 2 (1 L)	Temperatura 3 (500ml)
1	Lunes	27.3°C	25.8°C	25.7°C	25.8°C
2	Miércoles	29.2°C	25.3°C	25.4°C	25.4°C
3	Viernes	28.8°C	25.2°C	25.2°C	25.2°C
4	Sábado	30.3°C	25.6°C	25.4°C	25.7°C

### 3.2.1.3.3. Condiciones de Muestreo

Para la recolección de muestras puntuales, utilizando envases de vidrio con capacidad de 1000ml y 500ml, con su respectiva homogenización lavándolos previamente de 2 a 3 veces con el agua residual a muestrear. Se encontró con la dificultad para una recolección directa en el envase, es por esto que se hizo uso de un balde aforado de igual manera se homogenizo el balde y luego se depositó el agua residual en cada uno de los envases.



Figura22. Homogenización de muestras

### 3.2.2.1.3. Manejo de muestras

Para un manejo adecuado de las muestras, se considera la tabla 7, en relación a la toma de muestras de aguas residuales cuales son los requerimientos para la conservación y almacenamiento de muestras de agua.

Tabla 7. Recomendaciones de muestreo

Parámetro a analizar	Recipientes	Volumen mínimo de muestras	Tipo de muestras	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Conductividad eléctrica	P,V	500	s, c	Refrigerar	28 d
DBO	P,V	1000	s, c	Refrigerar	48 h
DQO	P,V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar	28 d
Grasas y Aceites	V	1000	s, c	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar	28 d
Ph	P,V	50	s, c	Análisis inmediato	
Solidos	P,V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d
Temperatura	P,V	-	S	Análisis inmediato	-

Tomado de Zambrano, 2010, p. 16 -17.

En donde:

P = Envase de plástico (polietileno o equivalente)

V = Envase de vidrio

s = simple; c = compuesta

Con la tabla expuesta a consideración, la muestra tiene que ser transportada lo

más pronto posible después del muestreo, y en condiciones de refrigeración (4-10°C), para este caso es transportada en una hielera portátil, se colocó las botellas en posición vertical y dentro de la caja se agregó hielo suficiente para refrigerar, como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 23. Botellas con posición vertical en hielera

#### **3.2.2.1.4. Envío de muestras**

Cada muestra que se recolecta por cada día expuesto, se envió diariamente, desde la ciudad de Lago Agrio hasta la Ciudad del Coca, aproximadamente el transcurso es de aproximadamente de 1 hora con 30 minutos, el destino a ser transportado para su respectivo análisis, es a las instalaciones del Laboratorio ambiental LABSU.

Es fundamental asegurar la integridad de cada muestra, desde su toma hasta su emisión del informe, por lo que cada muestra fue enviada con su respectiva cadena de custodia.

Es elemental el conocimiento de las características físicas y químicas del agua residual a tratar, ya que el objetivo es dar un tratamiento y disposición final más adecuada, envolviendo los sedimentos que se genera en el proceso.

En una caracterización de agua residual, se debe hacer un estudio cuidadoso de aquella muestra, además de que la muestra tiene que ser representativa, es acompañado de un análisis de un laboratorio que tenga la acreditación Técnica otorgada por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE.

Para la caracterización que se realiza en las descargas líquidas del lavado de la geomembrana en la empresa RECILAGO, se basó en la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU 9301), adoptada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Los análisis de cada una de las muestras de agua se lo realizó en el laboratorio acreditado LABSU, de la ciudad del Coca, en función a los parámetros que se decidieron analizar los métodos que utilizaron son los que se muestra a continuación en la tabla 8:

Tabla 8. Método de parámetros en Labsu

<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Método /Norma Referencia</b>	<b>Técnica Analítica</b>
Potencial hidrógeno	-	SM 4500 H+ B	
Sólidos totales suspendidos	mg/L	SM 2540 D	Gravimétricos – Método de Sólidos Totales Suspendidos secos a 103 – 105
Demanda química de oxígeno	mg/L	HACH 8000	Método colorimétrico a reflujo cerrado
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	SM 5210 B	Método respiro métrico
Detergentes	mg/L	HACH 8028	HACH 8028
Hidrocarburos totales	mg/L	EPA 418.1	Hidrocarburos
Aceites y grasas	mg/L	SM 5520 B	Método de extracción Soxhlet

Al hacer una toma de muestras de agua en cuatro días diferentes de la semana (Lunes, Miércoles, Viernes y Sábado), tomando en cuenta que los días de mayor descarga son los días Miércoles y Sábado, el primer análisis de agua se lo realizo en los 3 primeros días expuesto, se decide hacer una segundo análisis tomando en cuenta una muestra de agua del día Sábado, para corroborar los resultados de una descarga notoria y así proceder a fase de diseño experimental. A partir de estos resultados se evaluara el peor caso escenario y conforme con la ley establecida en los límites máximos permisibles se definirá el tratamiento para el agua residual del lavado de la geomembrana.

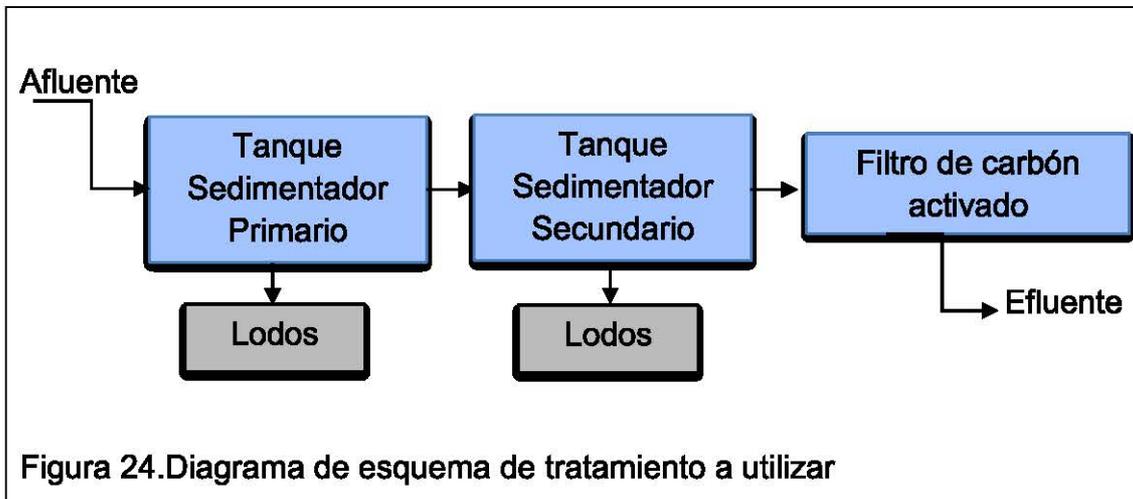
### **3.2.3. Implementación del diseño a escala piloto del STAR**

Con el análisis de cada uno de los parámetros física-química del agua residual, se pretende disminuir la carga contaminante en los parámetros que no se encuentran en los límites máximos permisibles, a su vez los parámetros que se encuentran con un nivel permisible se lograra que exista un bajo nivel en cada uno de los parámetros analizados ya que el principal objetivo es bajar la carga contaminante de la DQO, surfactantes, sólidos totales e hidrocarburos; y así se enfocara al diseño del sistema de tratamiento de agua residual.

#### **3.2.3.1. Esquema de elección del STAR a escala piloto**

Con el análisis que se expuso anteriormente, la propuesta que se decide realizar para la reducción de dichos parámetros con la finalidad de que los residuos logren sus condiciones tales que sean permitidos para su vertido hacia un cauce de agua, en base a las alternativas que se encuentran para un sistema con mayor factibilidad para el tratamiento de estas aguas estará conformada por un tanque sedimentador primario, tanque sedimentador secundario y con la ayuda de un filtro bajar una carga contaminante, utilizando un lecho filtrante con capas de carbón activado granular, ya que permite la remoción de olor, sabor, e impurezas del agua, siendo la más utilizada para el tratamiento de aguas. Además se considera como factor relevante que estas tecnologías son económicas, su fase de construcción es fácil y su fase de operación es en menor costo.

A continuación se detalla el presente proceso que comprende de 3 etapas fundamentales:



### 3.2.3.1.1. Elección de Tratamiento Primario

#### 3.2.3.1.1.1. Tanque sedimentador primario

La finalidad principal que busca este tratamiento es la remoción de sólidos suspendidos (fracción de sólidos que es sedimentable) y bajar la Demanda Bioquímica de Oxígeno. La eficiencia de la sedimentación primaria en la remoción de sólidos varía bastante, en términos generales se puede decir que entre mayor sea la carga superficial, menor será la eficiencia de la sedimentación en la remoción de los sólidos suspendidos y en la remoción de la carga orgánica asociada con ellos. Los valores más frecuentes indican que es posible esperar una remoción del 40% - 70% de los sólidos suspendidos y un 20% - 40% de la DBO5 (bvsde, s.f.).

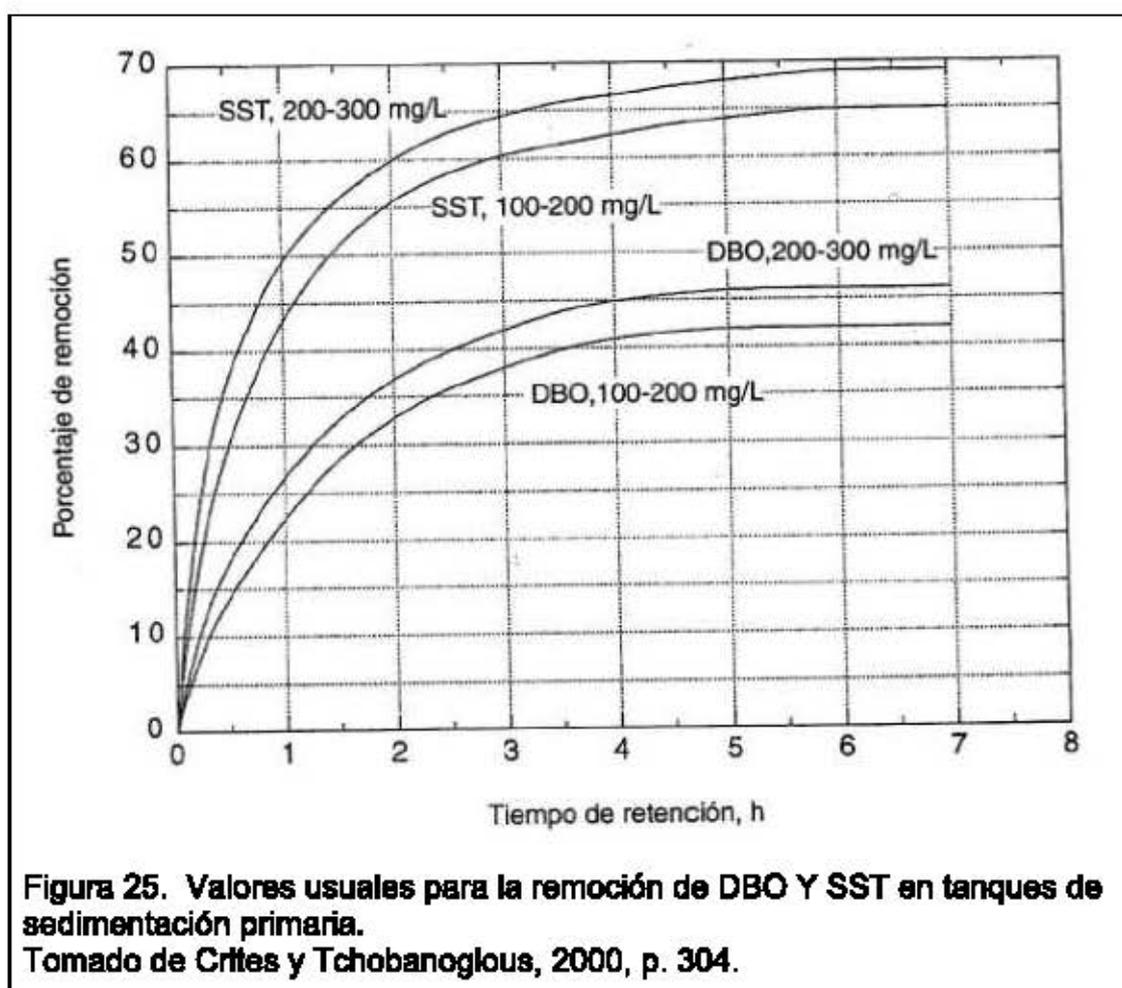
También conocido como tanque clarificador, eliminando la mayor parte de la materia que está en suspensión y al construir un sedimentador primario, radica en el proceso de la sedimentación de todas las partículas sedimentables, en la que se depositan en el fondo del tanque sedimentador (zvdesign, s.f.).

### Tiempo de retención:

Según Contreras y Molero (2008, pp. 2008). Para conseguir un tiempo de retención adecuado suele ser de 2 - 3 horas, eliminando un 60 - 70% de sólidos suspendidos y un 25 - 40% de la DBO.

### Eficiencia de remoción:

Con la tabla siguiente en la que se estima buscara el tiempo necesario para una remoción de sólidos suspendidos:



La curva que se presenta en la figura 26, es a partir de un modelo matemático con una hipérbola regular de Crites y Tchobanoglous (2000, p. 303), para obtener la eficiencia de remoción de DBO Y SST; con la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a+bt} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

R = porcentaje de remoción esperado

t = tiempo nominal de retención en horas

a,b = constantes empíricas

De acuerdo con Crites y Tchobanoglous, 2000 p.304, las constantes a y b pueden tomar los siguientes valores a 20°C:

Variable	A	B
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

Tomado de Crites y Tchobanoglous, 2000, p.304.

Si se toma en cuenta un tiempo de retención de 2 horas se obtendrá un valor de eficiencia de remoción tanto de DBO Y SST:

$$DBO = \frac{2}{0,018+0,020(2)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$DBO = 34\%$$

$$SST = \frac{2}{0,0075+(0,014*2)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$SST = 56\%$$

### Criterios de diseño de Tanque Sedimentador

Los criterios que se indica en la tabla 9, están basados bajo la guía de diseño de desarenadores y sedimentadores emitidos por la Organización Panamericana de la Salud, 2005.

Tabla 9. Criterios de Diseño

<b>Periodo de diseño</b>	<b>Teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 20 años.</b>
Tiempo de retención	De 2 - 6 horas.
Carga superficial	2 - 10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día
Profundidad de sedimentador	De 1,5 – 2,5 m.
Relación de dimensión largo y ancho (L/B)	Entre los valores de 3 - 6.
Relación de dimensión largo y profundidad (L/H)	Entre los valores de 5 - 20.
Pendiente del fondo de la unidad	5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
Velocidad en los orificios	No debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
ubicación de la pantalla difusora	De 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.
Ubicación de orificios	Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (h) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (h) a partir de la superficie del fondo.

Tomado de OPS/CEPIS/05.158, 2005, p. 18 -19.

### **3.2.3.1.1.2. Tanque sedimentador secundario**

Se decide volver a escoger esta fase para el tratamiento, debido a que el agua residual se encuentra con gran porcentaje de sólidos suspendidos, es por esto que para una buena eficiencia en el tratamiento se requiere de un sedimentador secundario para una total eliminación de materia orgánica y sólidos suspendidos, para lo cual debe cumplir con dos funciones esenciales; clarificación: esto quiere decir que el efluente debe estar libre de sólidos sedimentables; y espesamiento: el lodo secundario debe contener una alta concentración en sólidos sedimentables en el sedimentador (Nannning, 2003, pp. 3).

#### **Control de olores**

En los tanques de sedimentación secundaria, para que no se genere la formación de olores, se debe evitar la acumulación de espumas en la superficie, conjuntamente con las paredes de los tanques y materia orgánica en los vertederos. No obstante se mantiene una concentración de lodos de retorno, los olores se logran minimizarse si el licor mezclado sedimentado se remueve del tanque que está en el piso y enseguida se reintegra a un tanque de aireación efluentes (Romero, 2010, pp.1111). Con las especificaciones que se encuentra en la elección del tratamiento primario, se tomara en consideración para los criterios de diseño del tanque sedimentador secundario.

### **3.2.3.1.2. Elección de Tratamiento Secundario**

Se selecciona este último tratamiento con el agua residual para que se refleje una depuración de efluentes secundarios sin la utilización de coagulante, dando a lugar a que dicha operación sea una filtración, además para que exista una buena filtración con el agua residual se opta por el tanque sedimentador primario y tanque sedimentador secundario.

#### **3.2.3.1.2.1. Filtro de carbón activado**

Los procesos de tratamiento mediante filtros con carbón activado se utilizan regularmente para la remoción de DBO, DQO, metales pesados, además de reducir el olor y color del agua residual, como efecto asegura la calidad superior del efluente secundario (Romero, 2005, pp. 659). La técnica de adsorción utilizando carbón activado es altamente eficiente, alcanzando remociones de 95 - 99% (sinia, s.f.).

El tipo de filtro de carbón activado, varía primordialmente en la calidad de agua y en el objetivo de depuración planeada. Se puede encontrar dos tipos básicos: cerrados o abiertos a presión, para los dos tipos el carbón activado depende de su naturaleza y la temperatura que se encuentra en el interior del filtro (ambientum.com, 2003).

#### **Sistema de entrada y Salida**

El afluente necesariamente debe ingresar al filtro con baja velocidad inferior a 0.3m/s para no disgregar el lecho. Cuando el agua esta filtrada se recolecta por drenes y el efluente sale por un tubería; además dicha tubería de efluentes se debe ventilar para prevenir bolsas de aire (Arboleda, 2011, pp. 560).

En la tabla 10, se muestra los medios filtrantes que se usan para una filtración convencional:

Tabla 10. Características de medios filtrantes

<b>Lechos filtrantes</b>	<b>Tamaño efectivo</b>	<b>Coefficiente de Uniformidad</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Carga Superficial</b>
Lechos de arena	Capa fina de 0,5mm	1.6	0.60 a 0.75m	120 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Lechos Mixtos de arena y antracita A y A	Antracita 0.9 y 1.2mm Arena 0.5 a 0.6mm	Antracita 1.4 a 1.6 Arena 1.5 a 1.7	0.50m	240 – 300m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Lechos de antracita AS	Antracita 0.9 y 1.2mm	Antracita 1.4 a 1.6	1.20 a 1.6m	400 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
<u>Lechos de carbón activado granular CAG</u>	0.5 a 0.9mm	1.4 a 1.6	0.75m	120 y 240 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d

Adaptado de Arboleda, 2011, p. 560-561.

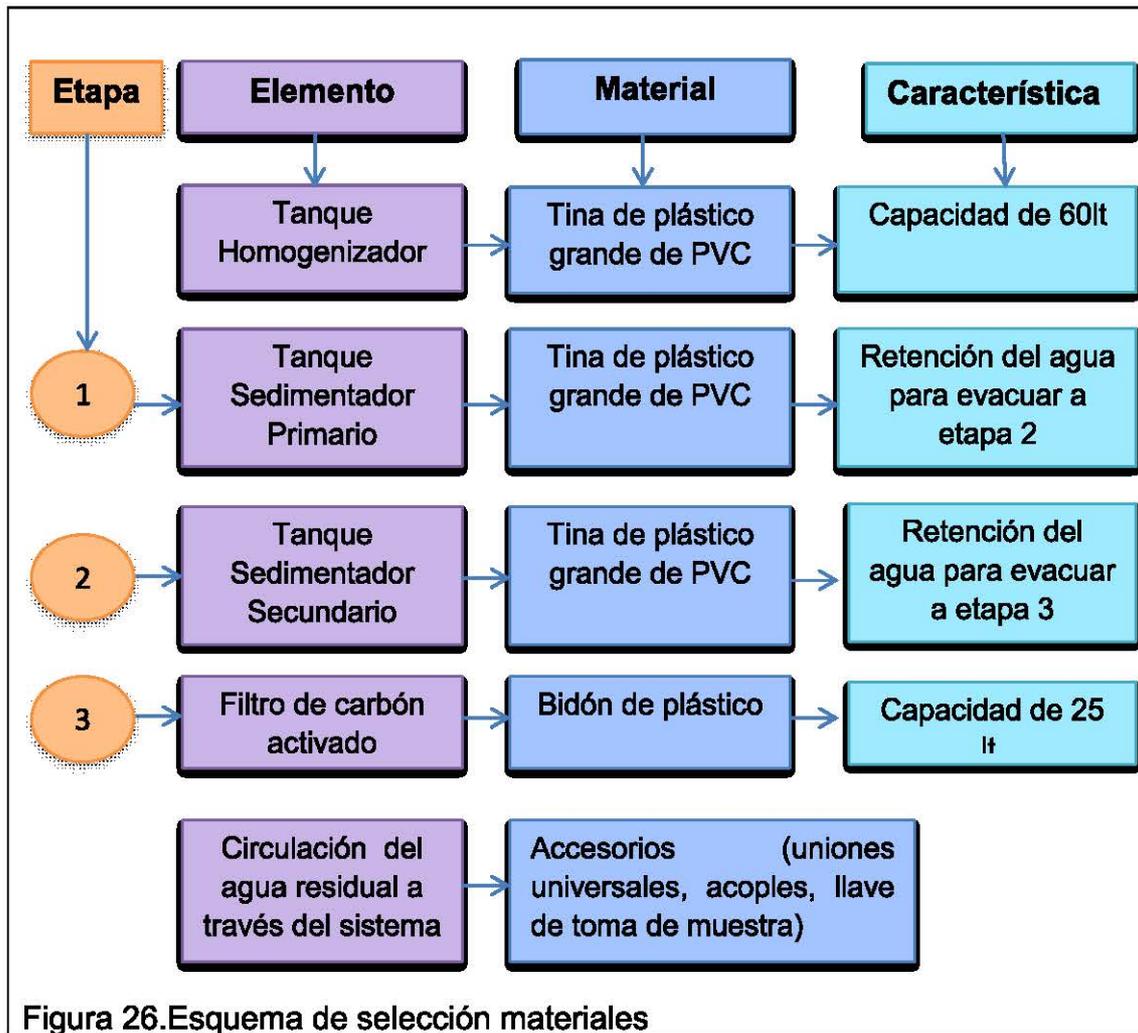
### 3.2.3.2. Construcción de elección del STAR a escala piloto

En su fase de diseño de la planta piloto, como primer punto se identificó en una manera global los elementos que actuarían en este proceso, que son:

Tabla 11. Elementos que interactúan en el proceso

<b>Elemento</b>	<b>Detalle</b>	<b>Según Criterio</b>
<b>Volumen del agua residual</b>	Representa el 10% del volumen de un tanque de lavado de geomembrana.	El volumen es de 40 l de agua residual.
<b>Método de Alimentación</b>	El agua residual a evacuar del lavado de geomembrana es una vez al día por tanque, tomando en cuenta que la evacuación solo se hace 2 veces por semana.	Se utilizará el método Batch (alimentación por lotes)
<b>Sedimentación Primaria</b>	Remoción de sólidos suspendidos mediante un asentamiento por gravedad.	Tina plástica con capacidad de 60 l, ingresa 40 l.
<b>Tratamiento de Lodos</b>	Recolección de lodo líquido sólido	Bandeja plástica
<b>Sedimentación Secundaria</b>	Remoción de sólidos suspendidos mediante un asentamiento por gravedad	Tina plástica con capacidad de 60 l, ingresa 25 l.
<b>Filtro de Carbón activado</b>	Filtrar las partículas que no se retuvieron en cada uno de los procesos de sedimentación primaria y secundaria	Tanque plástico en forma cilíndrica con altura de 60cm, se utilizó una capa de 30 cm de carbón activado.

Para el proceso de construcción de la planta piloto, en primer lugar se identificó los materiales necesarios para utilizar en función de cada componente. Figura 27:



En la figura 28, muestra en base al diseño planteado la adquisición de los materiales seleccionados para la construcción de la planta piloto, y como se puede observar en la figura 29, se encuentra el Sistema de Tratamiento de Agua Residual a escala piloto:



Figura 27. Construcción de la planta piloto

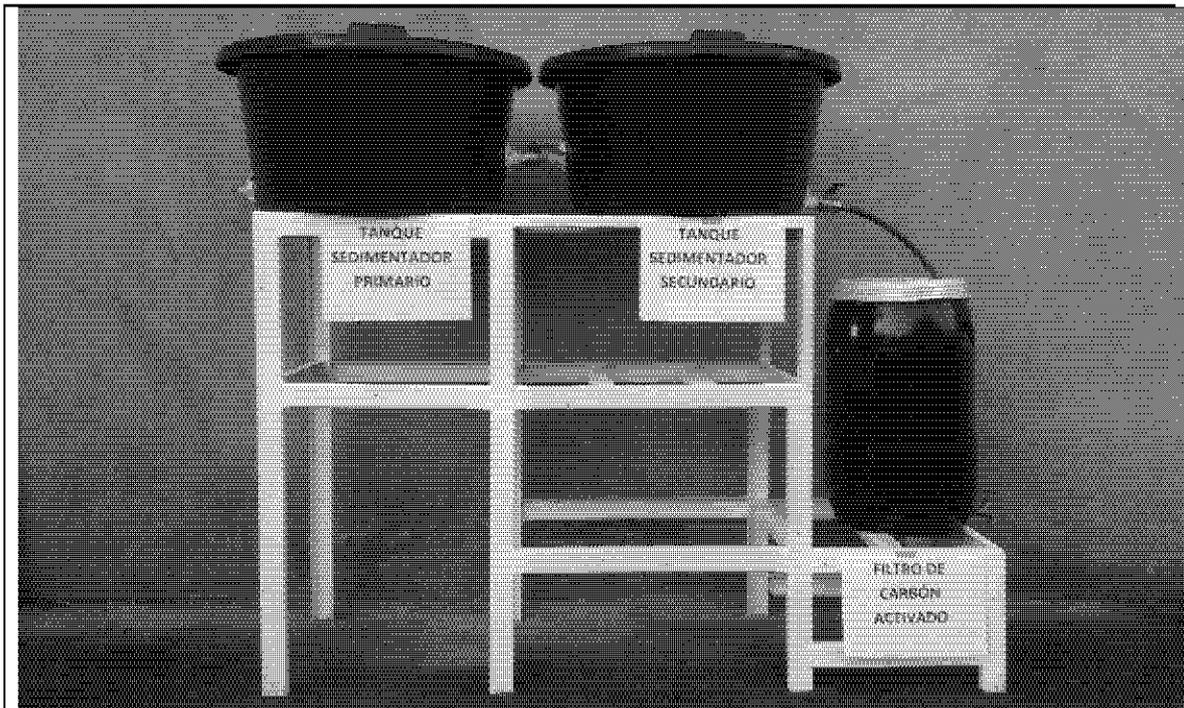
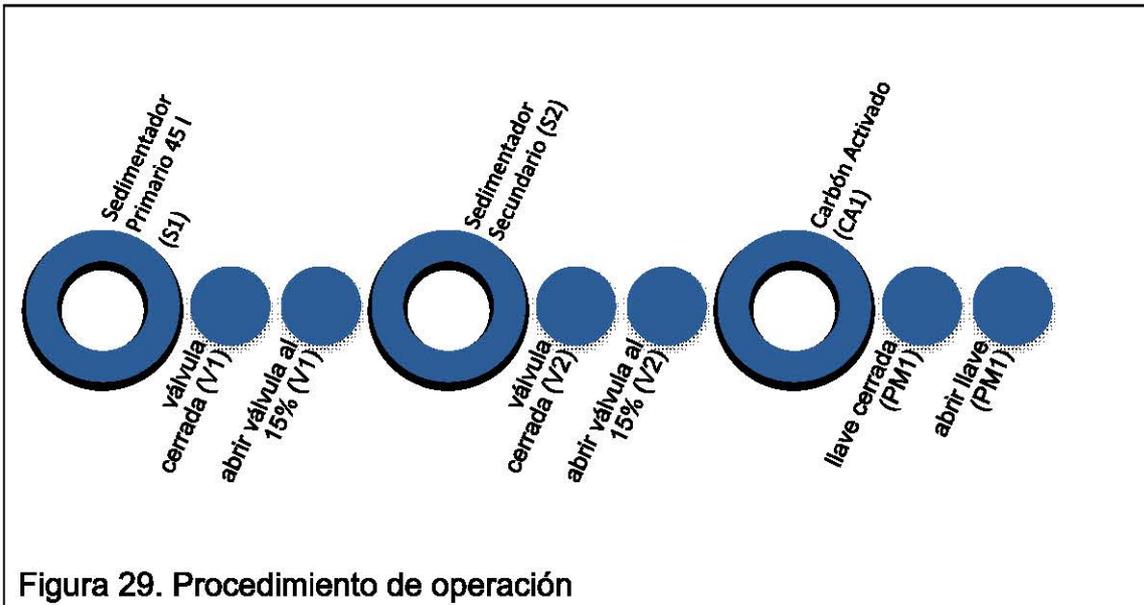


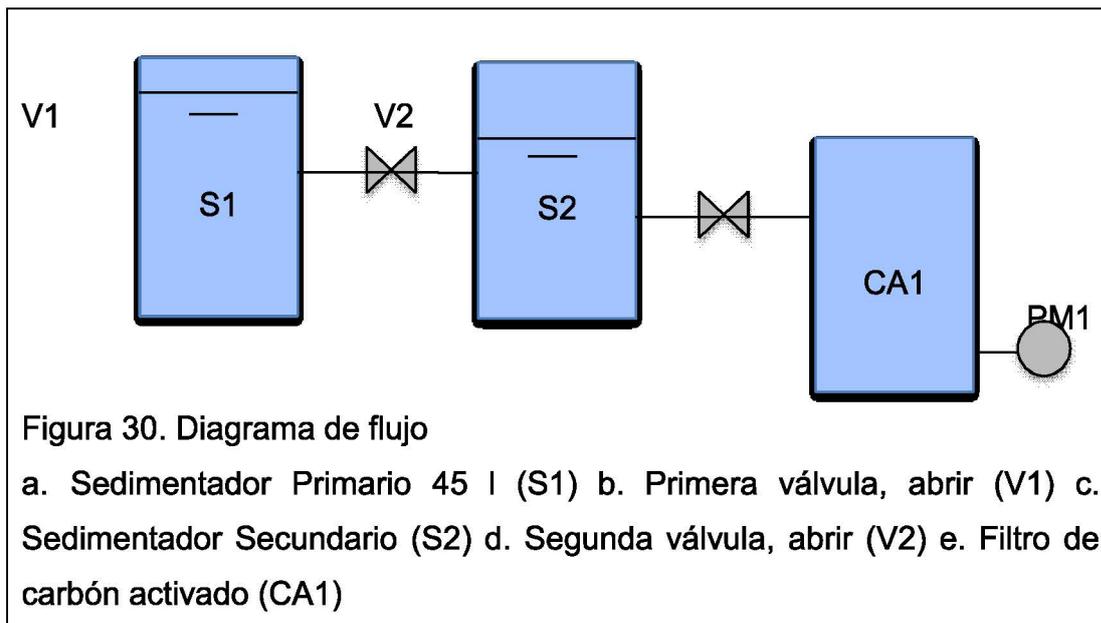
Figura 28. STAR a escala piloto

#### 3.2.3.2.1. Descripción del funcionamiento del STAR a escala piloto

La recolección del agua residual para su respectivo tratamiento se lo realizo en un balde de plástico (B1), Se procedió a descargar el agua residual en el tanque sedimentador primario 45 l (S1), cada válvula de paso y llave que se encuentra en cada etapa se procedió a cerrar (V1, V2, PM1), continuación se abrió la llave de paso (V1), con una presión de un 15% de su capacidad para proceder a llenar el tanque sedimentador secundario (S2), ubicado al mismo nivel de sedimentador primario, al encontrarse lleno en su totalidad, se abrió la siguiente válvula (V2) adaptada a una manguera (M1), para que el agua residual ingrese al filtro de carbón activado (CA1), presentando una forma cilíndrica y su manera de trabajar es en forma cilíndrica, reteniendo los flóculos que no pudieron ser detenidos en el sedimentador primario (S1) y sedimentador secundario (S2). Al llenarse en un 100% la tercera etapa, se abrió la llave de paso (PM1) para la descarga del agua con su respectivo tratamiento.



A continuación en la figura 31, se presenta el diagrama de flujo de la planta piloto:



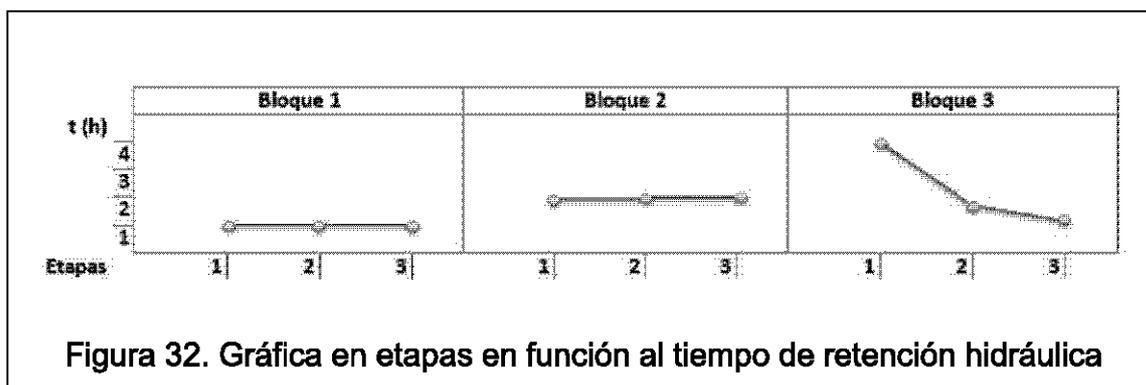
### 3.2.4. Tratamiento del agua residual de la planta piloto

Para analizar la eficiencia del STAR provenientes de la geomembrana se decidió hacer la recolección del agua tratada en bloques debido a que su envío a un laboratorio acreditado conlleva un gasto económico, por lo que se tomó 3 escenarios, como se muestra en la tabla 12, en donde cada bloque tuvo diferentes tiempos de retención en cada etapa, además su principal objetivo de respuesta de los bloques es evaluar la eficiencia de remoción de DQO, surfactantes, sólidos totales e hidrocarburos del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesta

Tabla 12. Tiempos de retención en bloques

Bloque	Tratamiento	Tiempo de Retención (h)	Respuesta
1	Etapa 1	1	Eficiencia de remoción: - DQO - Surfactantes - Sólidos totales - Hidrocarburos
	Etapa 2	1	
	Etapa 3	1	

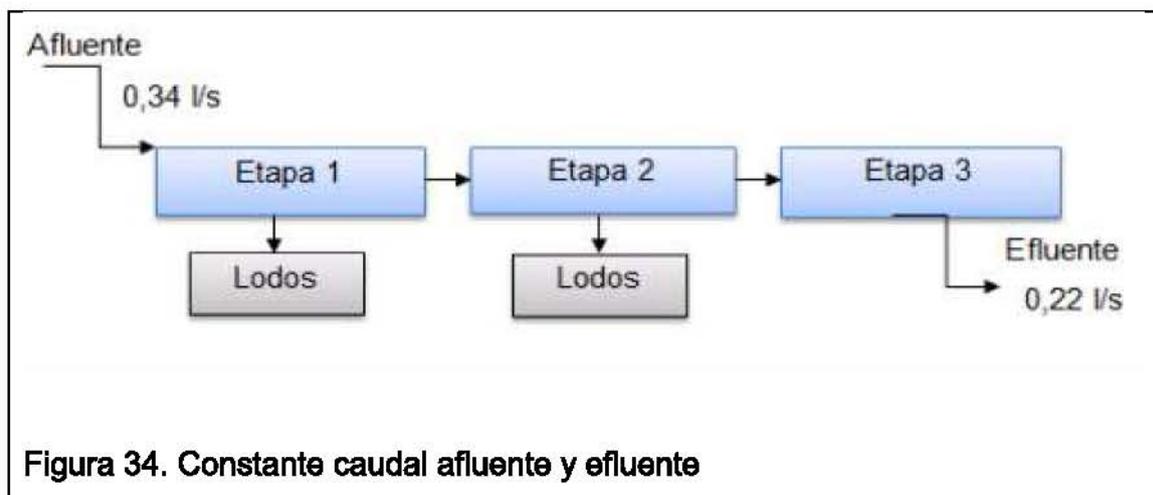
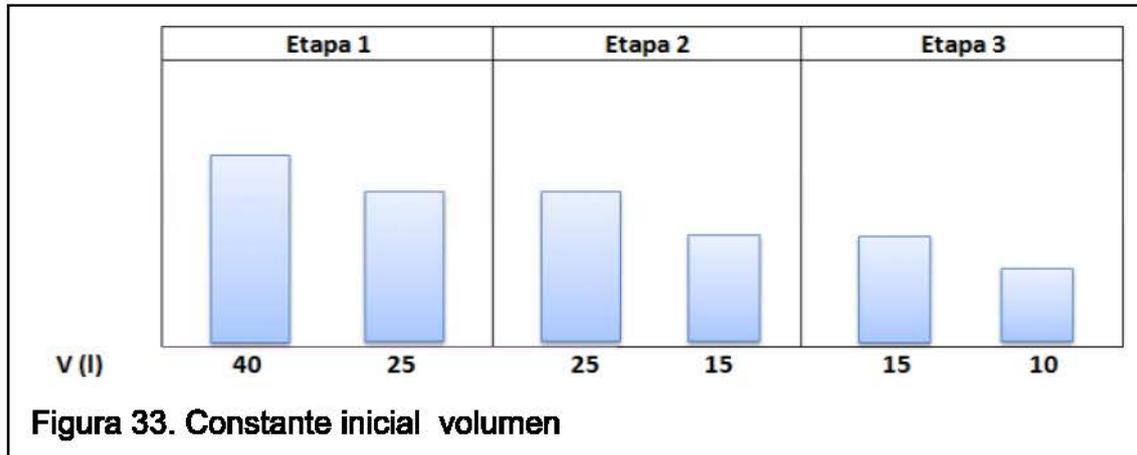
2	Etapa 1	2	Eficiencia de remoción: - DQO - Surfactantes - Sólidos totales - Hidrocarburos
	Etapa 2	2	
	Etapa 3	2	
3	Etapa 1	4	Eficiencia de remoción: - DQO - Surfactantes - Sólidos totales - Hidrocarburos
	Etapa 2	2	
	Etapa 3	1	



### 3.2.4.1. Toma de muestras por bloque a escala piloto

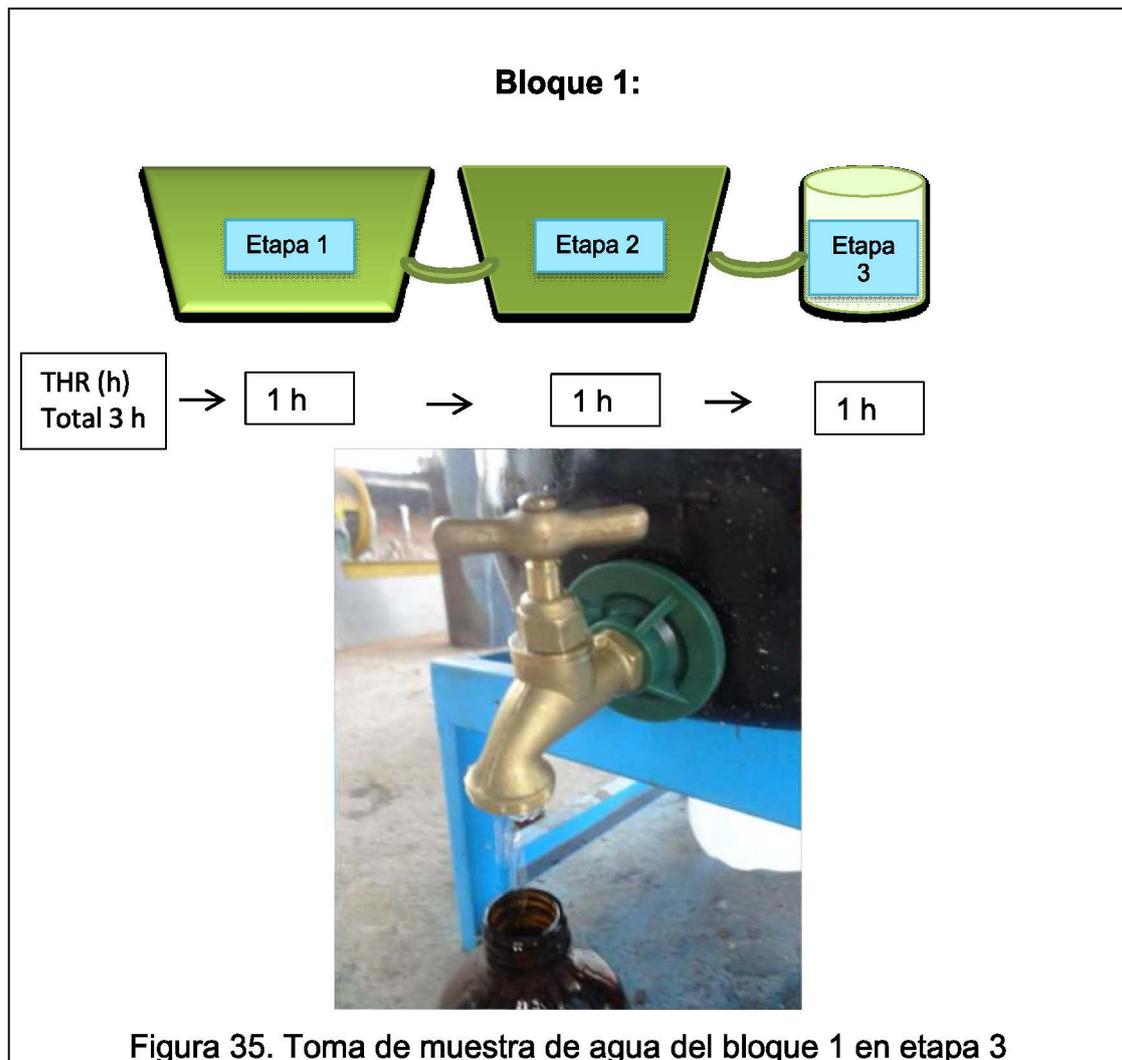
Al concluir con el diseño e implemento de la planta piloto, para una biorremediación escala, se procede a hacer una prueba, volumen de ingreso en la primera etapa es de 45lt, para la etapa 2 el caudal baja en 15 litros, debido a que en la etapa 1, la llave de paso se conectó a la tina a unos 15cm de altura hacia la etapa 2, Buscando como objetivo que en la etapa 1; exista una reducción de partículas en suspensión en el agua residual bajo la acción de la gravedad, por lo tanto se busca pretender una eliminación de sólidos sedimentables. En la etapa 2 se busca la remoción de materia orgánica soluble total que permanece aún después del tratamiento primario, y posterior pasar a la etapa 3, tiene como función adsorber hidrocarburos, detergentes entre otros.

A continuación se presenta en la figura 33, 34 muestra las constantes de las condiciones iniciales para su operación:

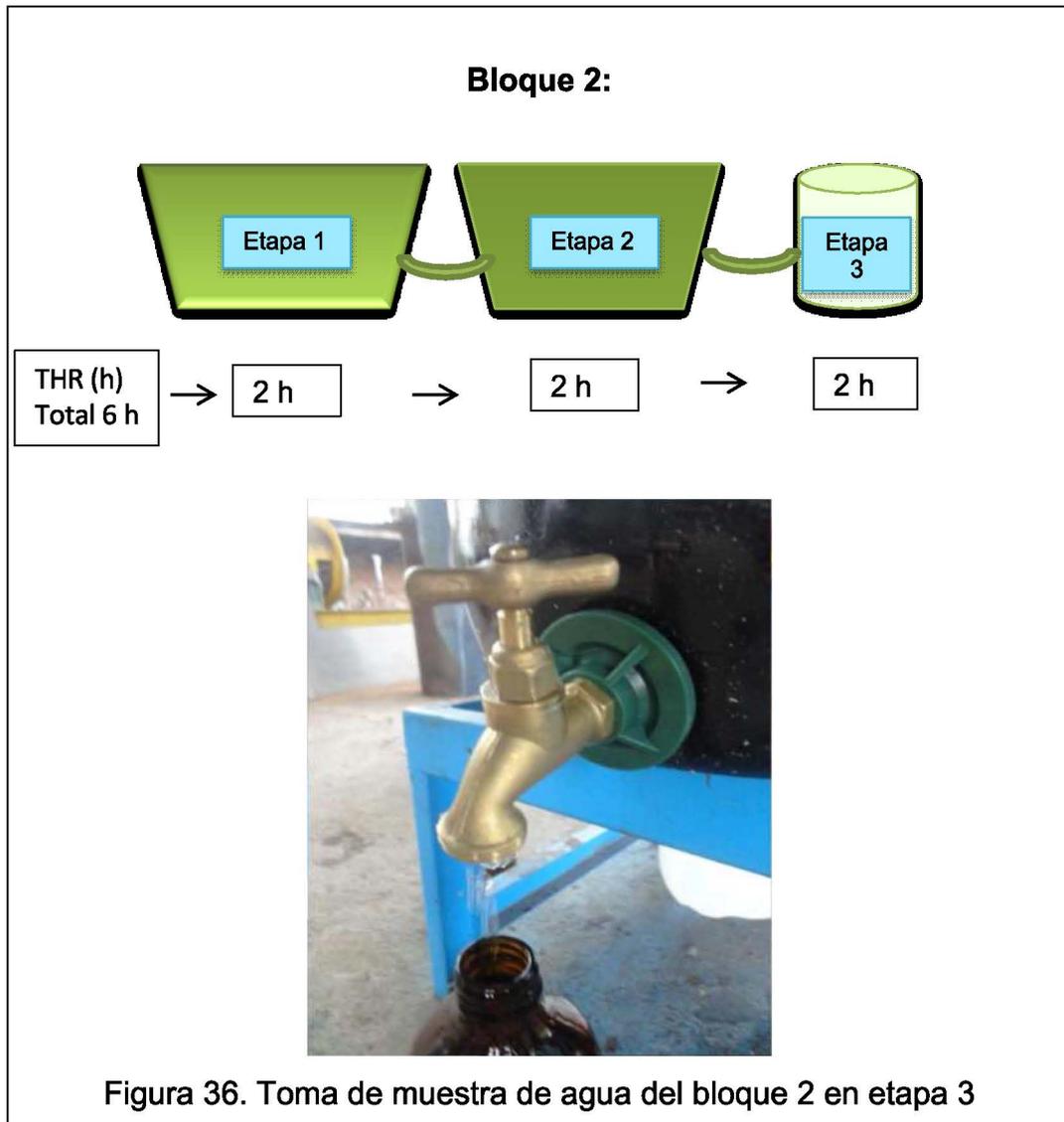


Cada efluente que sale de cada etapa es en menor proporción al volumen que ingresa, y el agua residual que esta inmóvil en la etapa 1 y etapa 2 se utilizará para formar el tratamiento de lodos.

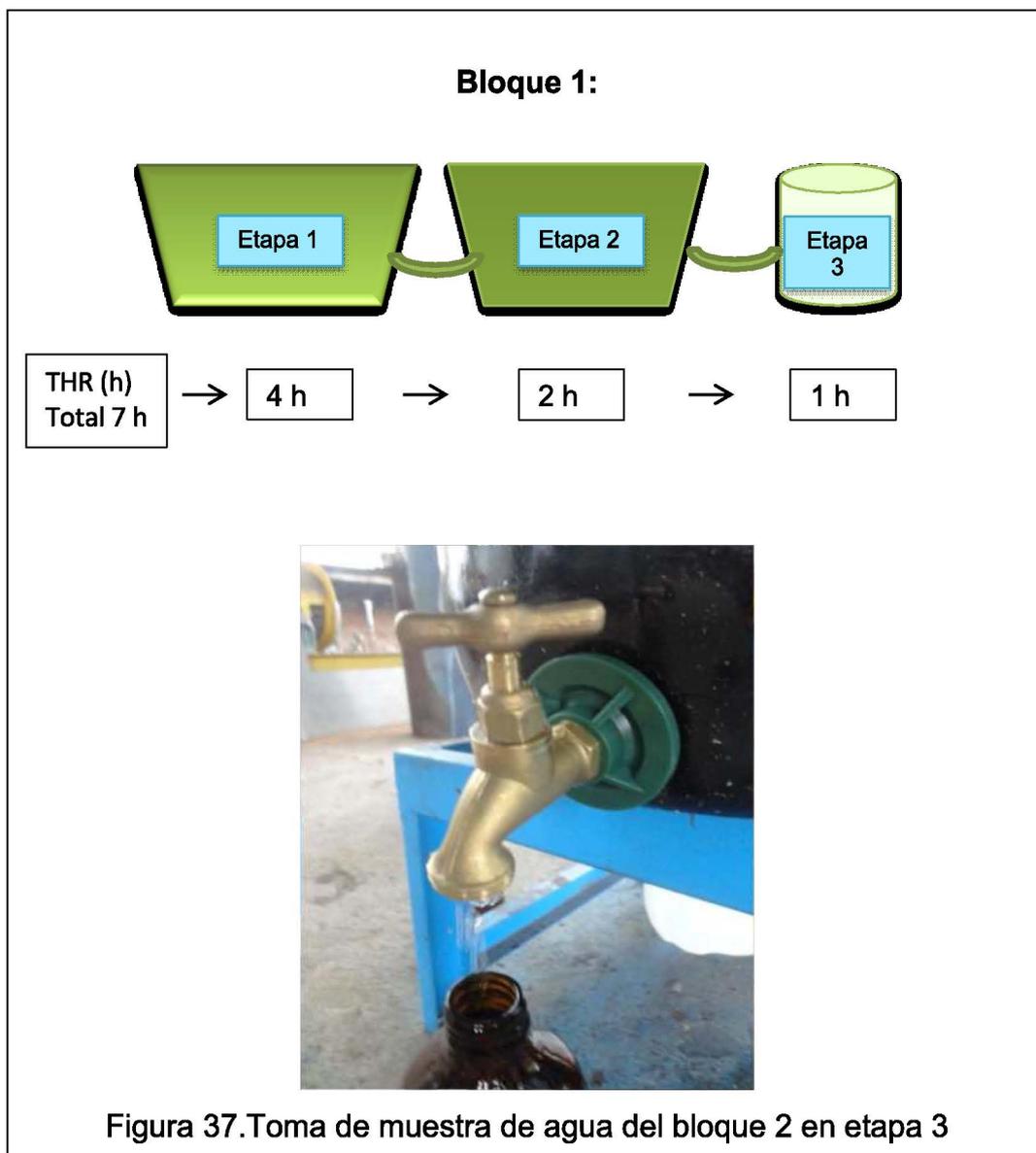
De esta manera, en la figura 35, se procedió a la toma de agua en el primer escenario, en donde en la primera etapa se encontró en reposo 1 hora, después ingresa en la etapa 2 con un reposo de 1 hora, posteriormente en la etapa 3 reposo 1 hora, seguido de la recolección de la primera muestra, a esto se le denominó bloque 1:



En la figura 36, indica para el escenario 2, que la primera etapa se encontró en reposo 2 horas, después ingreso en la etapa 2 con un reposo de 2 horas, posteriormente en la etapa 3 reposo 2 horas, seguido de la recolección de la muestra, a esto se le denominó bloque 2.



En la figura 37, indica para el escenario 3, la primera etapa se encontró en reposo 4 horas, después ingresa en la etapa 2 con un reposo de 2 horas, posteriormente en la etapa 3 reposo 1 hora, seguido de la recolección de la muestra, a esto se le denominó bloque 3.



## 4.- RESULTADOS

El presente capítulo se muestra los resultados de la caracterización Físico-química del agua residual cruda y del agua ya tratada con su respectivo tratamiento y que a su vez fue enviado al laboratorio Labsu para el análisis respectivo de los parámetros solicitados de la tabla 3, del capítulo 2.

### 4.1 Resultados de la caracterización física química del agua residual

Los resultados que se exponen a continuación son a partir de los días Lunes (muestra 1); Viernes (muestra 2), en donde no se genera una alta carga contaminante, como se puede observar en la tabla 13, (Anexo 1).

Tabla 13. Resultados de concentraciones bajas en laboratorio Labsu

Parámetro	Unidad	Días de muestreo con baja contaminante		Promedio
		Lunes Muestra 1	Viernes Muestra 3	
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	8,62	9,53	9,1
Temperatura	°C	25,7	25,2	25,4
Aceites y Grasas	mg/l	0,31	0,20	0,26
DQO	mg/l	95,17	114,22	104,70
DBO	mg/l	12,2	17	14,6
Sólidos totales suspendidos	mg/l	140	213	176,5
Tensoactivos	mg/l	0,24	0,01	0,13
Hidrocarburos Totales	mg/l	1,17	2,2	1,69

#### 4.1.2 Caracterización física química con alta carga contaminante

A continuación en la tabla 14 (Anexo 1), se muestra los resultados con respecto a los días Miércoles (muestra 2) ; Sábado (muestra 4), en donde se considera que existe mayor carga contaminante debido a que son los días en donde se evacua el tanque de área de lavado de geomembrana hacia la parte exterior de las instalaciones:

Tabla 14. Resultados de concentraciones altas en laboratorio Labsu

Parámetro	Unidad	Días de muestreo con alta carga contaminante		Promedio
		Miércoles Muestra 2	Sábado Muestra 4	
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	9,31	8,62	9
Temperatura	°C	25,4	25,5	25,4
Aceites y Grasas	mg/l	3,95	4,2	4,08
DQO	mg/l	199,48	205,03	202,26
DBO	mg/l	47	50	48,5
Sólidos totales suspendidos	mg/l	325	305	315
Tensoactivos	mg/l	0,54	0,205	0,37
Hidrocarburos Totales	mg/l	3,14	4,33	3,74

#### 4.1.3 Caracterización física química de primer bloque de tratamiento

A continuación, en la tabla 15(Anexo 1), se muestra los resultados con respecto al bloque 1, en donde el tiempo de retención hidráulica total fue de 3 horas.

Tabla15. Resultados de bloque 1 en laboratorio Labsu

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Bloque 1</b>
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	9	7,86
Temperatura	°C	25,4	24,8
Aceites y Grasas	mg/l	4,08	3,13
DQO	mg/l	202,26	138,03
DBO	mg/l	48,5	34
Sólidos totales suspendidos	mg/l	315	72
Tensoactivos	mg/l	0,37	0,103
Hidrocarburos Totales	mg/l	3,74	2,04

#### 4.1.4 Caracterización física química de segundo bloque de tratamiento

A continuación, en la tabla 16 (Anexo 1), se muestra los resultados con respecto al bloque 2, en donde el tiempo de retención hidráulica total fue de 6 horas

Tabla16. Resultados de bloque 2 en laboratorio Labsu

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Bloque 2</b>
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	9	6,87
Temperatura	°C	25,4	24,5
Aceites y Grasas	mg/l	4,08	2,35
DQO	mg/l	202,26	91,66
DBO	mg/l	48,5	13,5
Sólidos totales suspendidos	mg/l	315	55
Tensoactivos	mg/l	0,37	0,07
Hidrocarburos Totales	mg/l	3,74	1,24

#### 4.1.5 Caracterización física química de tercer bloque de tratamiento

A continuación, en la tabla 17 (Anexo 1), se muestra los resultados con respecto al bloque 3, en donde el tiempo de retención hidráulica total fue de 7 horas.

Tabla17. Resultados de bloque 3 en laboratorio Labsu

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Concentración inicial</b>	<b>Bloque 3</b>
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	9	5,57
Temperatura	°C	25,4	25,3
Aceites y Grasas	mg/l	4,08	1,08
DQO	mg/l	202,26	31,8
DBO	mg/l	48,5	4,76
Sólidos totales suspendidos	mg/l	315	23
Tensoactivos	mg/l	0,37	0,05
Hidrocarburos Totales	mg/l	3,74	0,82

## **5. ANALISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se hace un análisis de los resultados de las tablas expuestas en el capítulo 4, en la que indica una comparación de cada parámetro que se analizó en relación a la tabla correspondiente, asimismo se comparó la eficiencia de los 3 bloques con tratamiento, para dar a lugar de una manera convincente el mejor bloque en función al tiempo de retención.

Con el análisis que realizó facilito como resultado, que el agua residual ya con su respectivo tratamiento, se puede dar uso para limpieza de las instalaciones o a su vez ya evacuar el agua hacia el cauce de agua.

### **Límites Máximos Permisibles**

La guía que se estableció en el presente proyecto es de los límites máximos permisibles hacia un cuerpo de agua dulce de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Libro VI Anexo 1, encontrándose detalladamente en el capítulo 1, Tabla 3 del capítulo 2.

#### **5.1. Análisis comparativo de muestras de agua residual en el laboratorio**

Se toma en cuenta la tabla 14, en donde se encuentra una baja carga contaminante, tabla 15, alta carga contaminante, para así realizar el respectivo análisis tomando en cuenta su límite máximo permisible de cada parámetro.

### 5.1.1. Variación de concentración de pH en función a muestras iniciales

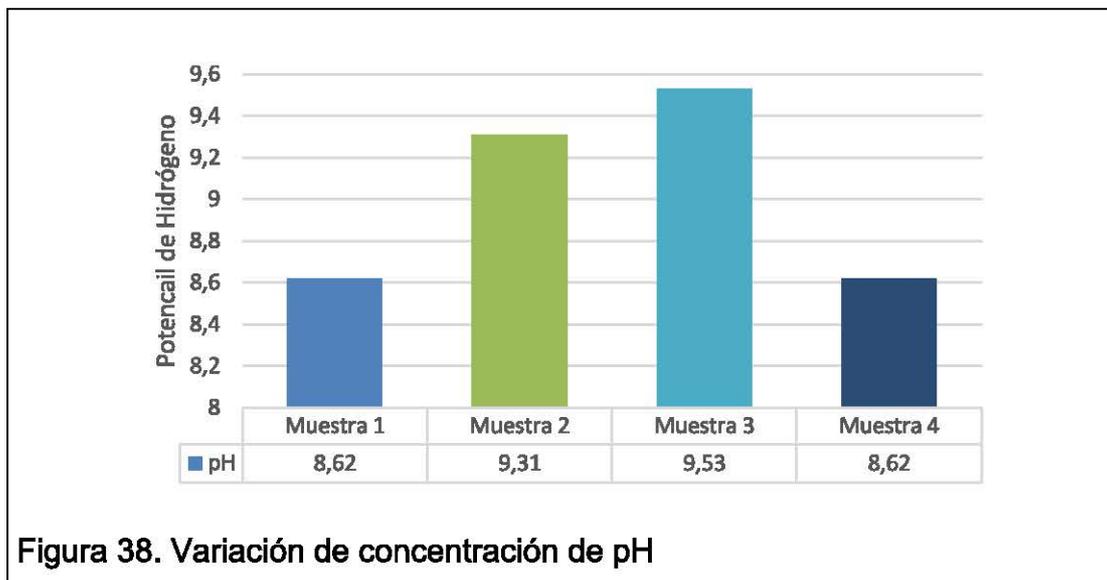


Figura 38. Variación de concentración de pH

Con respecto a las 4 muestras que se analizaron; muestra 1, 2,3, al comparar en la tabla se observa que el pH, no se encuentra en la escala propicia según el límite máximo permisible del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12.

### 5.1.2. Variación de concentración de Aceites y Grasas en función a muestras iniciales

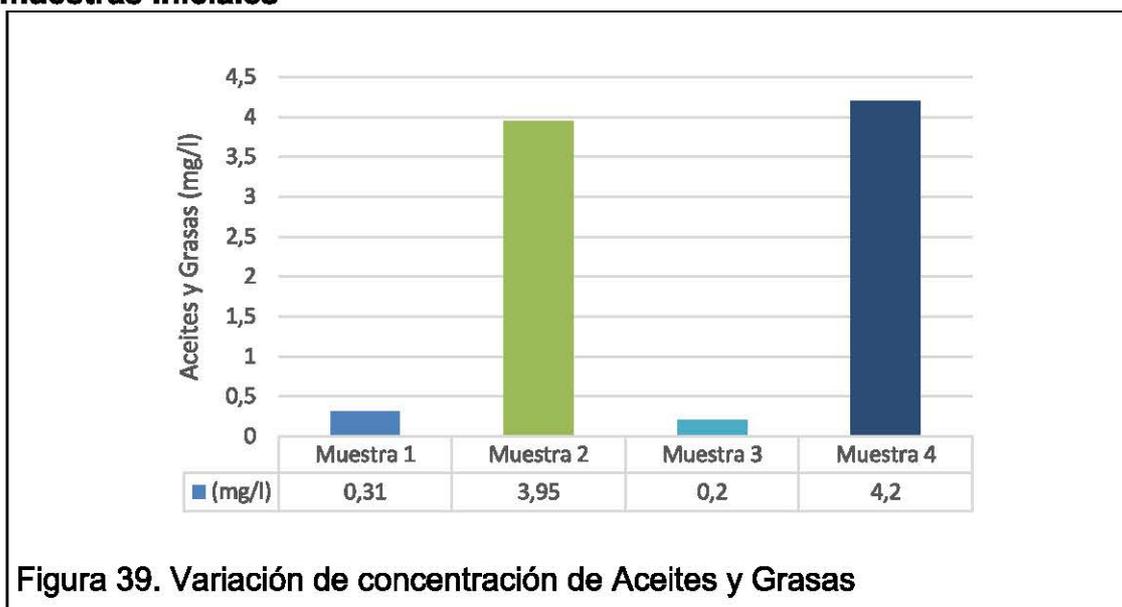


Figura 39. Variación de concentración de Aceites y Grasas

En el gráfico de Aceites y Grasas, sobresale la muestra 2, 4 al comparar en la tabla del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12 no cumple con el límite máximo permisible, siendo el límite descarga a un cuerpo de agua dulce de 0,3 mg/l.

### 5.1.3. Variación de concentración de la DQO en función a muestras iniciales

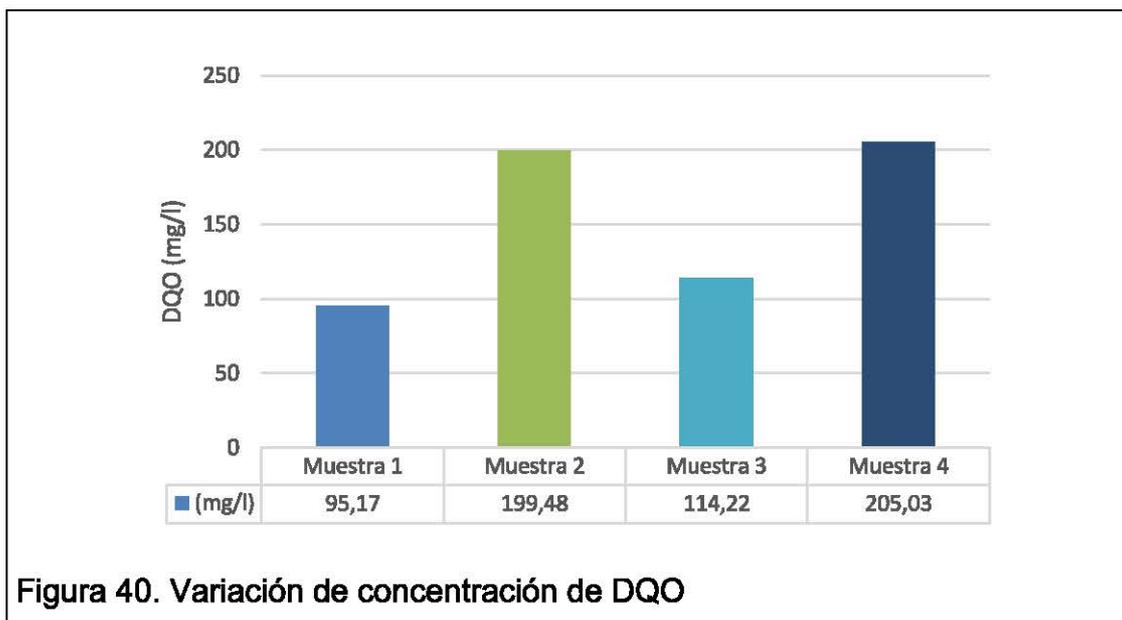


Figura 40. Variación de concentración de DQO

En el gráfico de la Demanda Química de Oxígeno, la muestra 1,2,3, 4 al comparar en la tabla del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12 cumplen con el límite máximo permisible, siendo el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce 250 mg/l.

#### 5.1.4. Variación de concentración de la DBOs en función a muestras iniciales

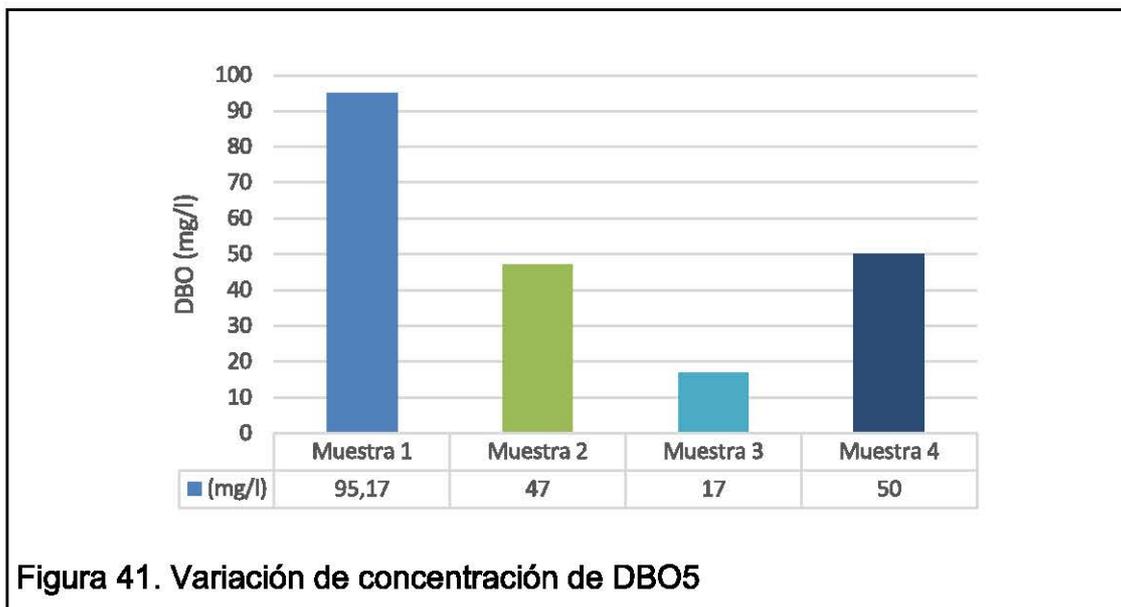


Figura 41. Variación de concentración de DBO5

En el gráfico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, la muestra 1,2,3,4 al comparar en la tabla del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12 cumple con el límite máximo permisible, siendo el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce 100 mg/l.

#### 5.1.5. Variación de concentración de Sólidos totales suspendidos en función a muestras iniciales

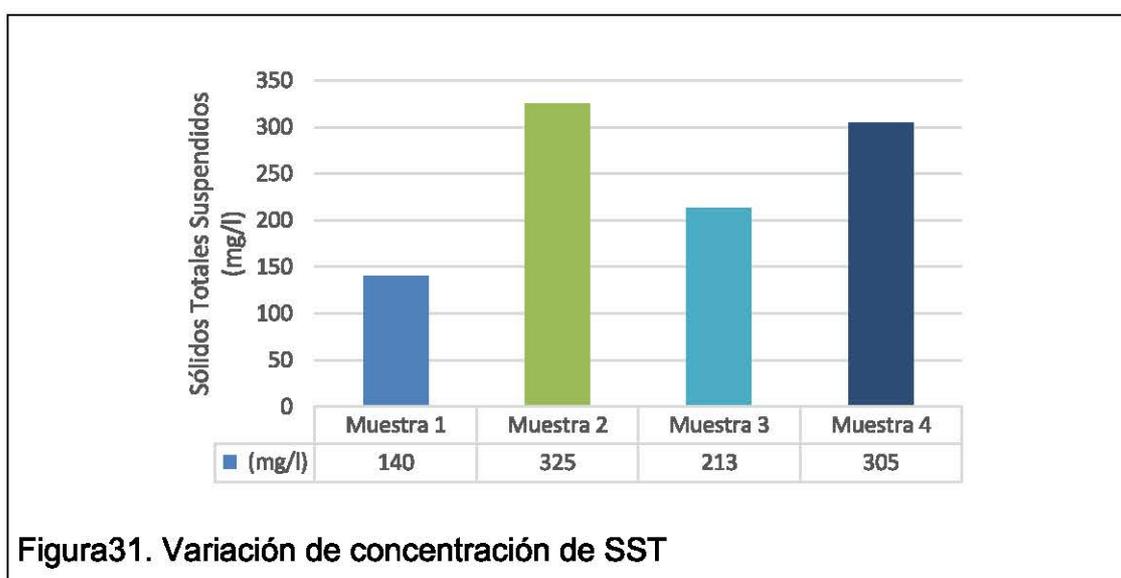


Figura31. Variación de concentración de SST

En el gráfico de sólidos totales suspendidos,, sobresale la muestra 2,3, 4 al comparar en la tabla del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12 no cumple con el límite máximo permisible, siendo el límite descarga a un cuerpo de agua dulce de 100 mg/l.

#### 5.1.6. Variación de concentración de tensoactivos en función a muestras iniciales

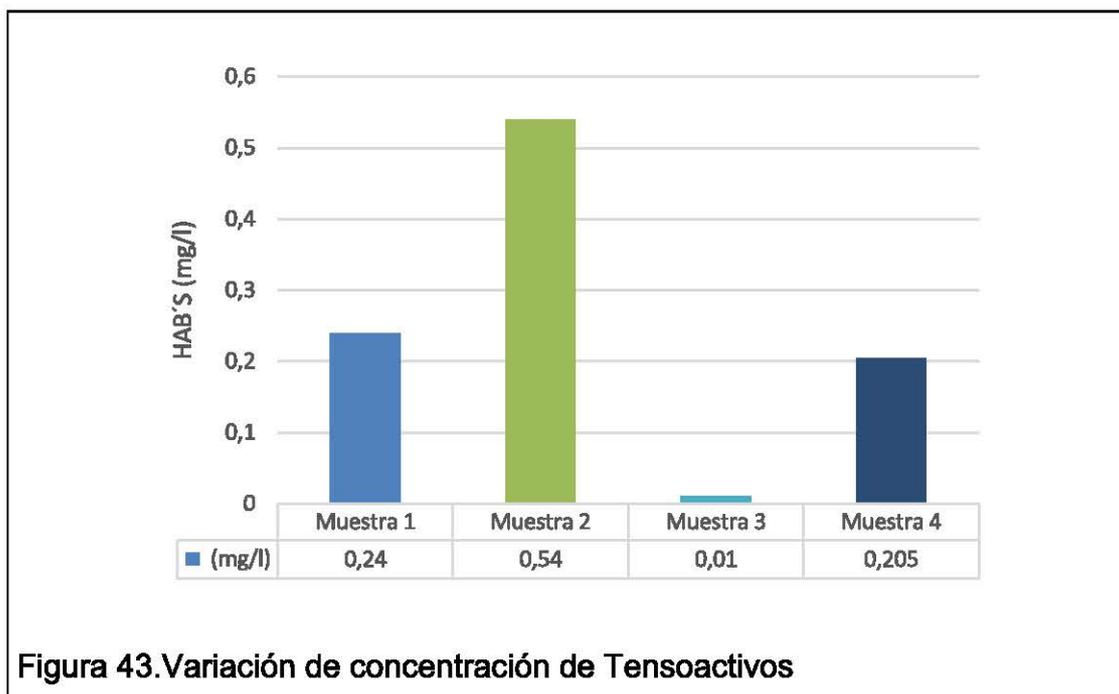


Figura 43.Variación de concentración de Tensoactivos

En el gráfico de tensoactivos, la muestra 2, al comparar en la tabla del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12 no cumple con el límite máximo permisible, siendo el límite descarga a un cuerpo de agua dulce de 0,5 mg/l.

### 5.1.7. Variación de concentración de TPH en función a muestras iniciales

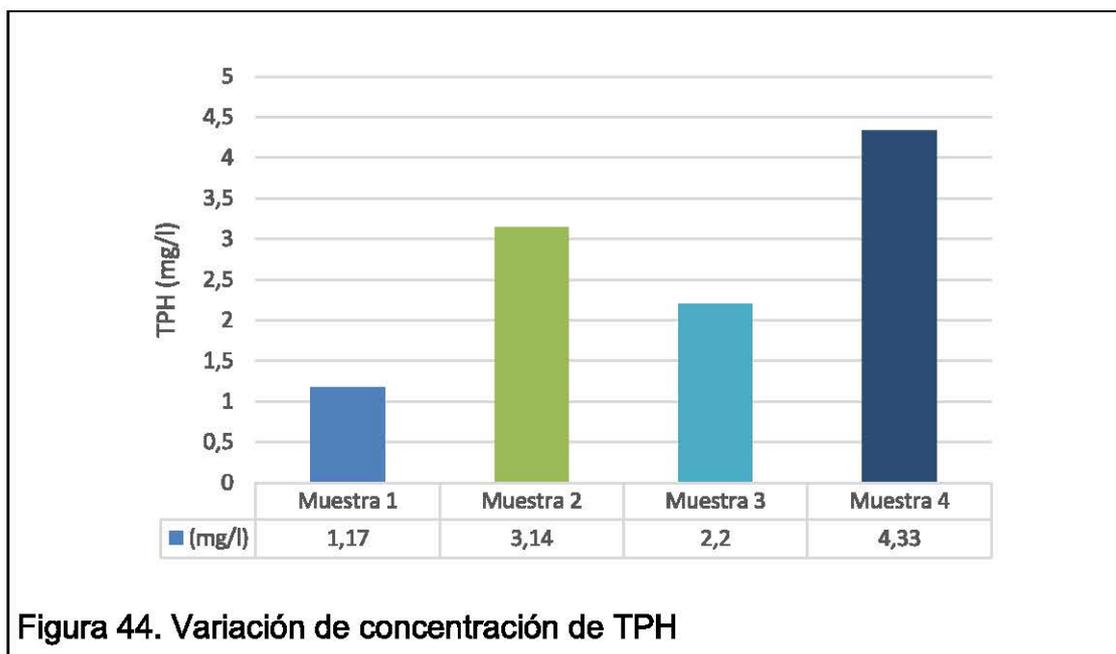


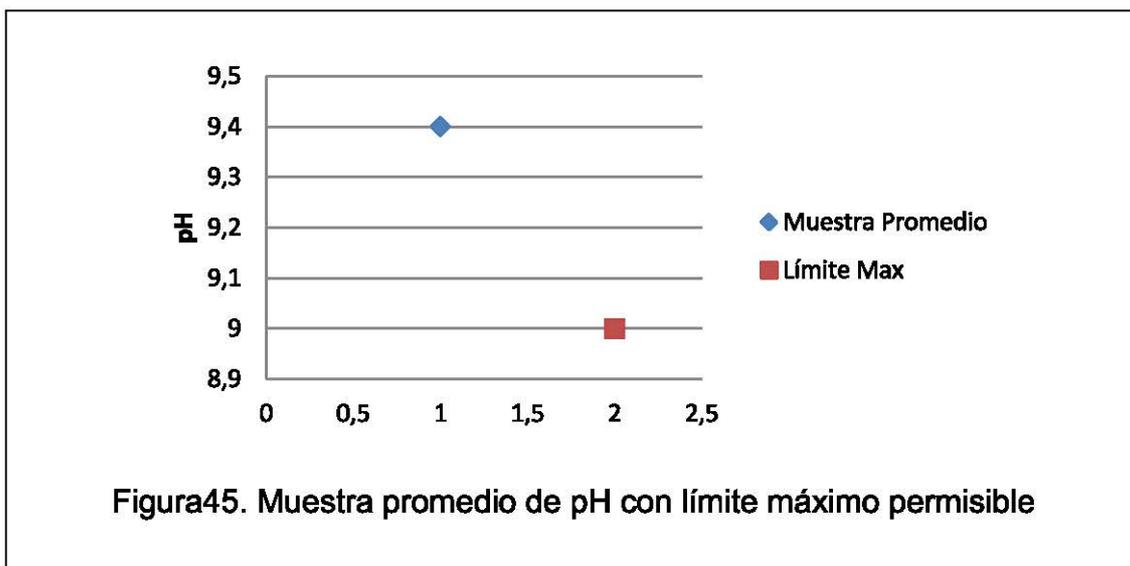
Figura 44. Variación de concentración de TPH

En el gráfico de TPH, la muestra 1,2,3,4, al comparar en la tabla del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12 cumple con el límite máximo permisible, siendo el límite descarga a un cuerpo de agua dulce de 20 mg/l.

## 5.2. Análisis de límites máximos permisibles con muestra como promedio

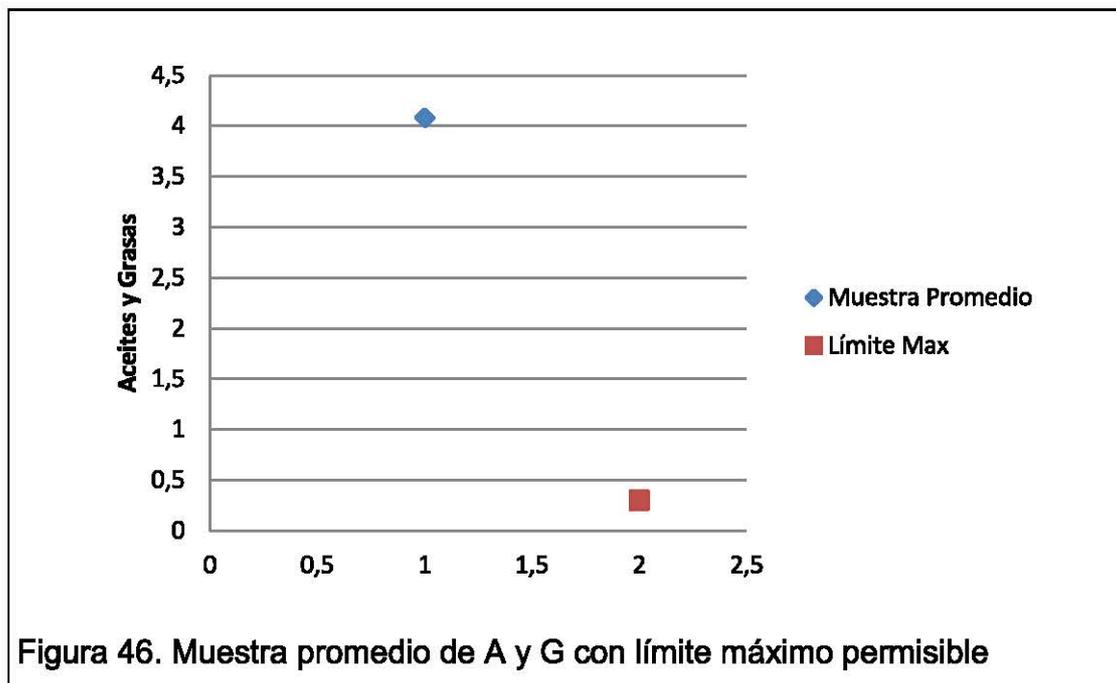
A continuación se presenta un análisis comparativo del promedio de las muestras que contiene una mayor carga contaminante, detallando de cada parámetro analizado el cumplimiento con los límites máximos permisibles hacia un cauce de agua:

### 5.2.1. Parámetro pH en función al límite máximo permisible



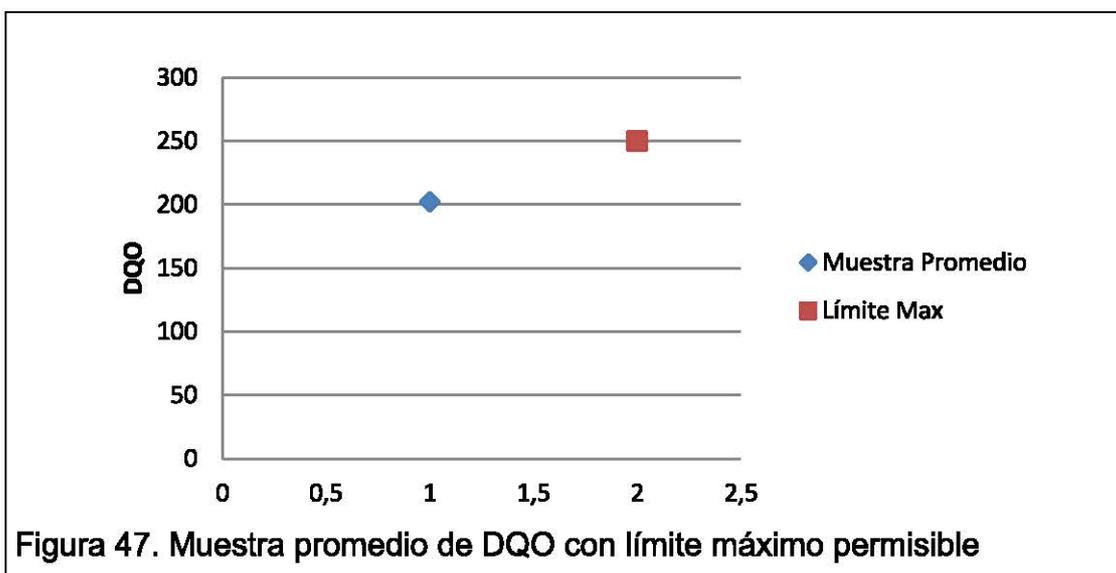
El valor pH según el límite máximo permisible del libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, al comparar en la tabla se observa que el pH es de 9,4 no se encuentra en la escala propicia debido a que al utilizar detergentes existe un nivel alcalino.

### 5.2.2. Parámetro Aceites y Grasas en función al límite máximo permisible



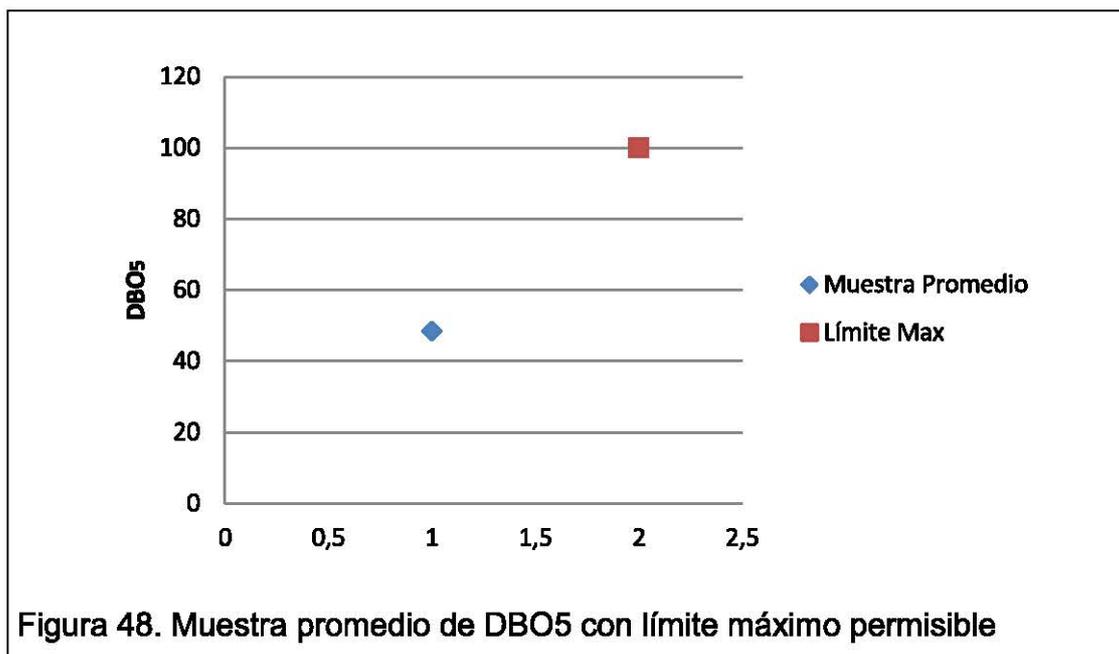
En el gráfico de Aceites y Grasas, el promedio es de 4,08 mg/l, sobresaliendo la muestra entre los límites máximos permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce se debe encontrar en 0,3 mg/l.

### 5.6.2.3. Parámetro de la DQO en función al límite máximo permisible



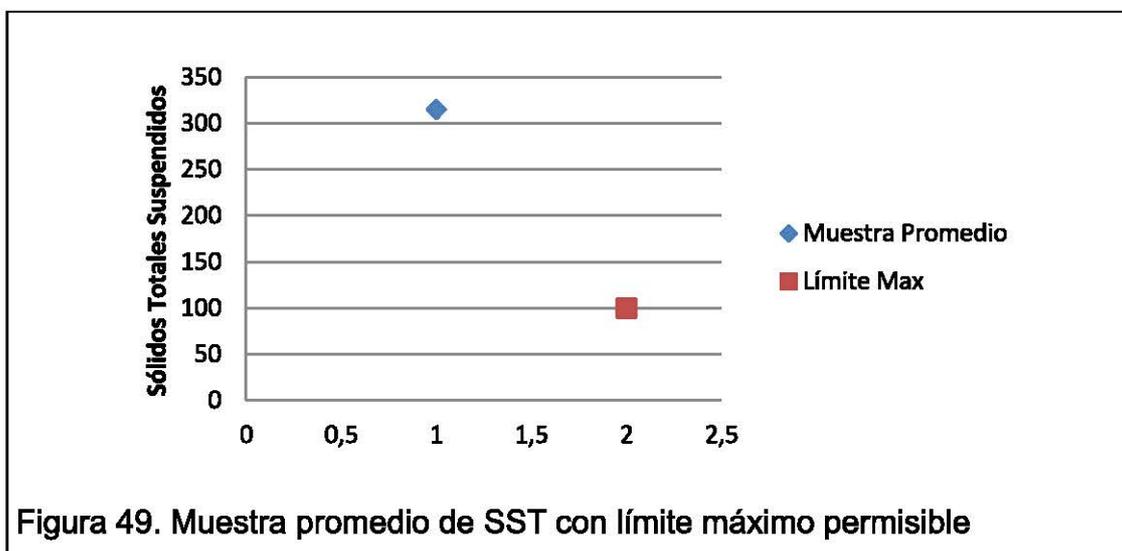
La Demanda Química de Oxígeno obtenida en el gráfico, muestra que en el análisis de la muestra es de 202,26 mg/l, por lo que se encuentra bajo los límites máximos permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce se debe encontrar en 250 mg/l.

#### 5.2.4. Parámetro de la DBO5 en función al límite máximo



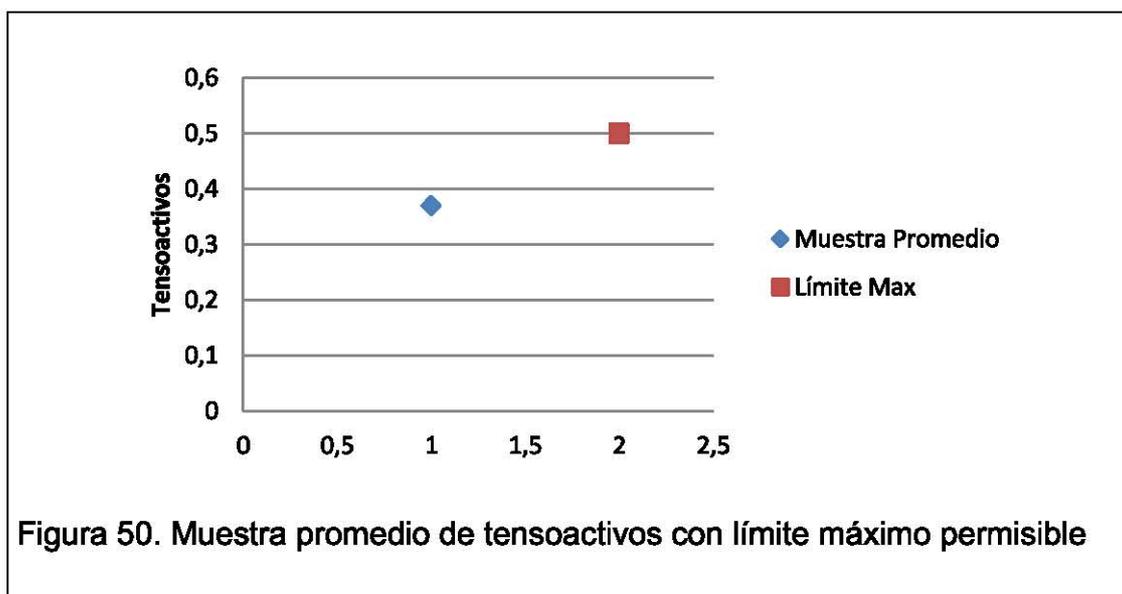
La Demanda Bioquímica de Oxígeno que se observa en el siguiente gráfico, muestra que en el análisis de la muestra es de 48,5 mg/l, por lo que se encuentra bajo los límites máximos permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce se debe encontrar en 100 mg/l.

### 5.2.5. Parámetro Sólidos Totales Suspendidos en función al límite máximo permisible



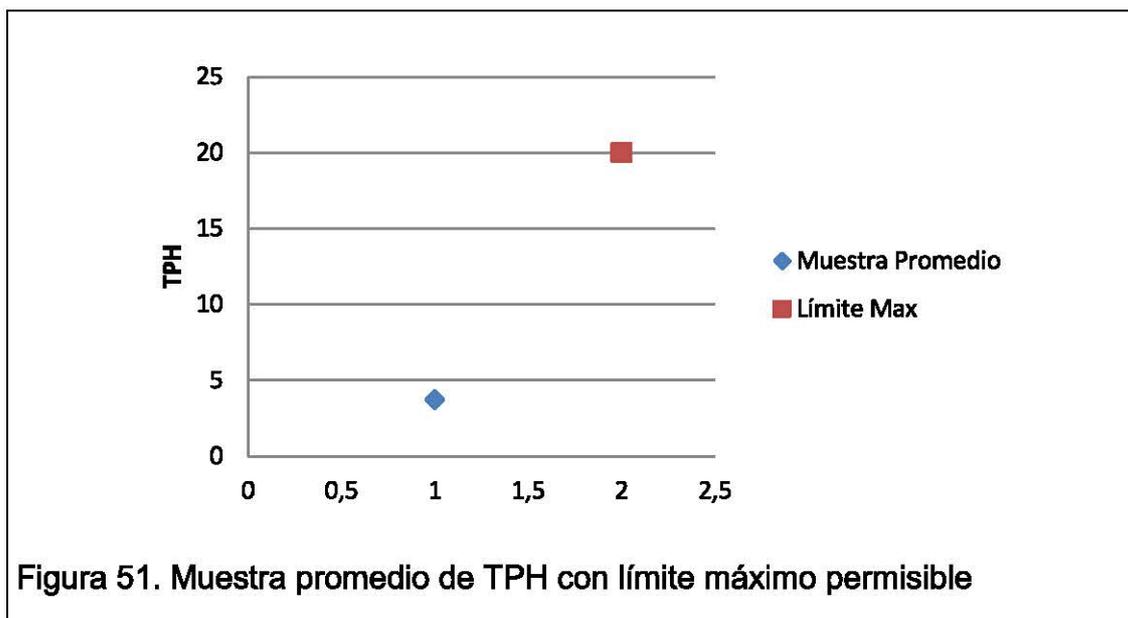
En la figura muestra que los sólidos totales suspendidos, registras valores muy altos de sólidos de 315 mg/l, las cuales superan en la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce se debe encontrar en 100 mg/l.

### 5.2.6. Parámetro tensoactivos en función al límite máximo permisible



El parámetro tensoactivos obtenido en el gráfico, muestra que en el análisis de la muestra es de 0,54 mg/l, por lo que se encuentra bajo los límites máximos permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce se debe encontrar en 0,5mg/l.

### 5.2.7. Parámetro TPH en función al límite máximo permisible



El valor de TPH que se observa en el siguiente gráfico, muestra que en el análisis de la muestra es de 3,74 mg/l, por lo que se encuentra bajo los límites máximos permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce se debe encontrar en 20 mg/l.

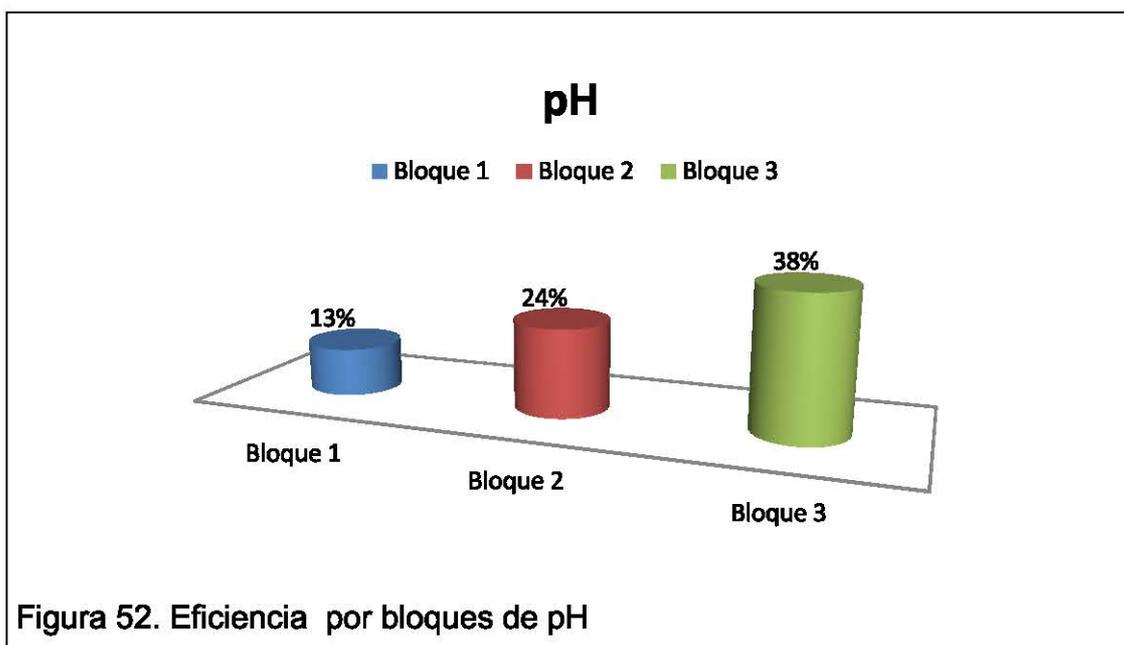
### 5.3. Análisis de eficiencia de cada bloque en función del mejor tratamiento dado en planta piloto

Se considera la eficiencia de cada parámetro analizado bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de eficiencia} = \left(1 - \frac{\text{concentración inicial}}{\text{concentración final}}\right) * 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

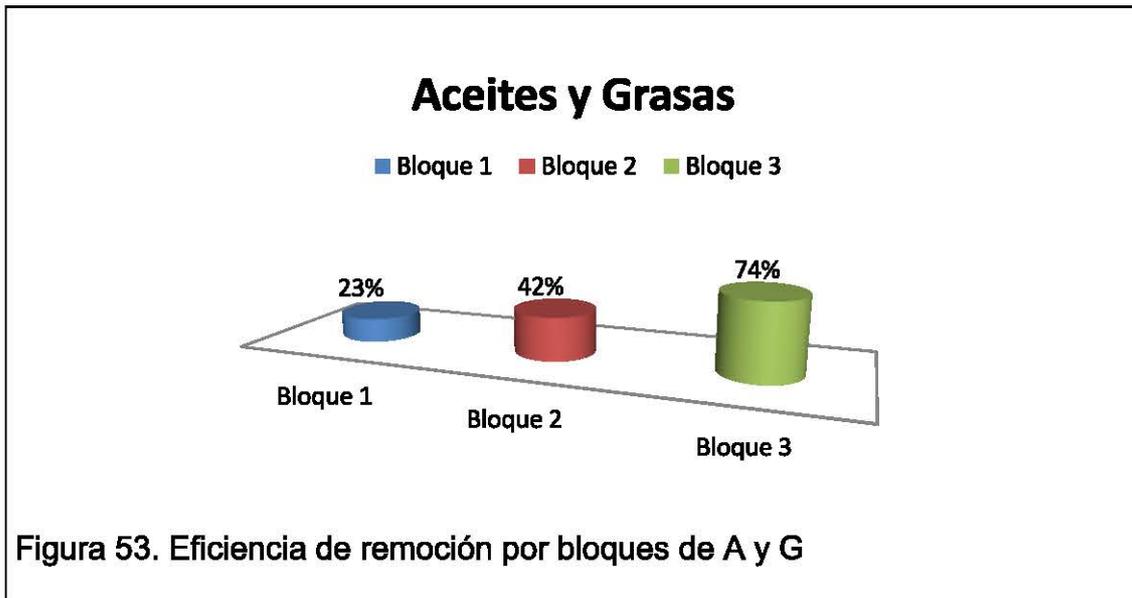
A continuación se presenta un análisis en gráficas sobre los resultados de las tablas 16, 17,18, .que se obtuvieron en el bloque 1, bloque 2, bloque 3; observando ya el mejor bloque en función a la eficiencia para su representación en el diseño de la planta de tratamiento:

#### 5.3.1. Porcentaje de eficiencia de pH en cada bloque



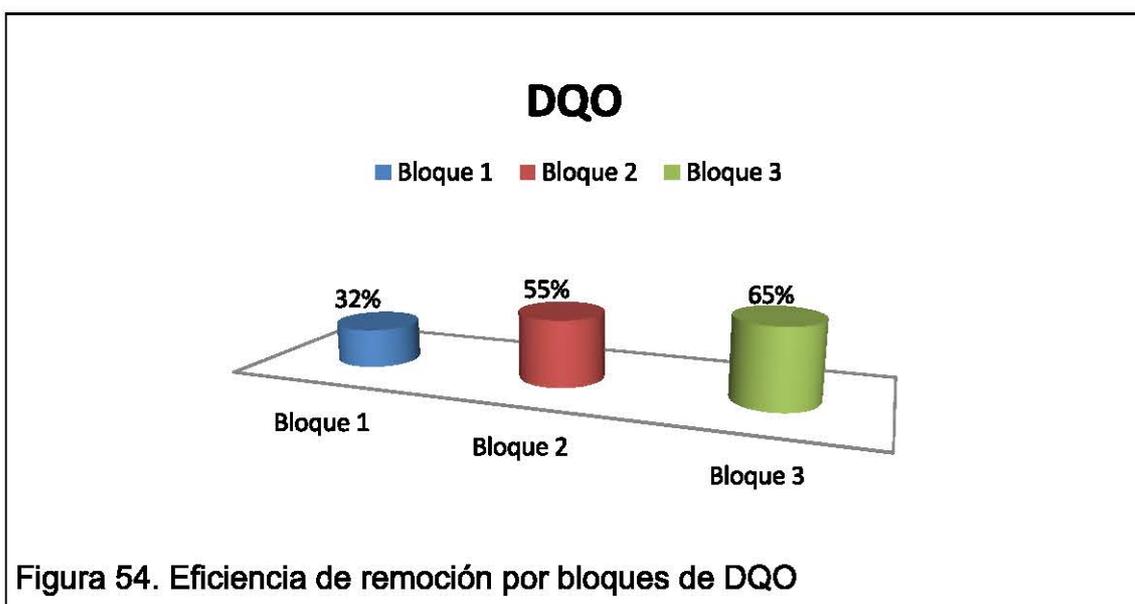
En el gráfico de pH del bloque 1 (7,86mg/l) con eficiencia de remoción de 16%; bloque 2 (6,87 mg/l) con eficiencia de remoción de 26%, bloque 3 (5,57 mg/l) con eficiencia de remoción de 40%, dando a conocer que el mejor rendimiento es el bloque 3.

### 5.3.2. Porcentaje de eficiencia de Aceites y Grasas en cada bloque



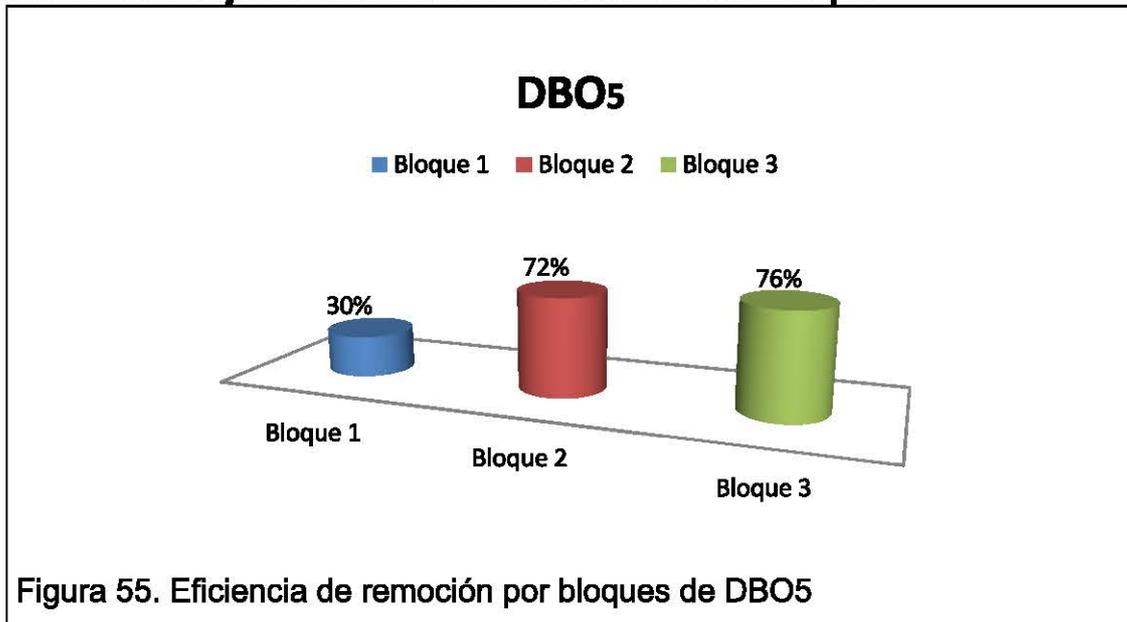
El gráfico del parámetro de Aceites y Grasas del bloque 1 (3,13 mg/l) con eficiencia de remoción de 21%; bloque 2 (2,35 mg/l) con eficiencia de remoción de 41%, bloque 3 (1,08 mg/l) con eficiencia de remoción de 73%, dando a conocer que el mejor rendimiento relevante es el bloque 3.

### 5.3.3. Porcentaje de eficiencia de la DQO en cada bloque



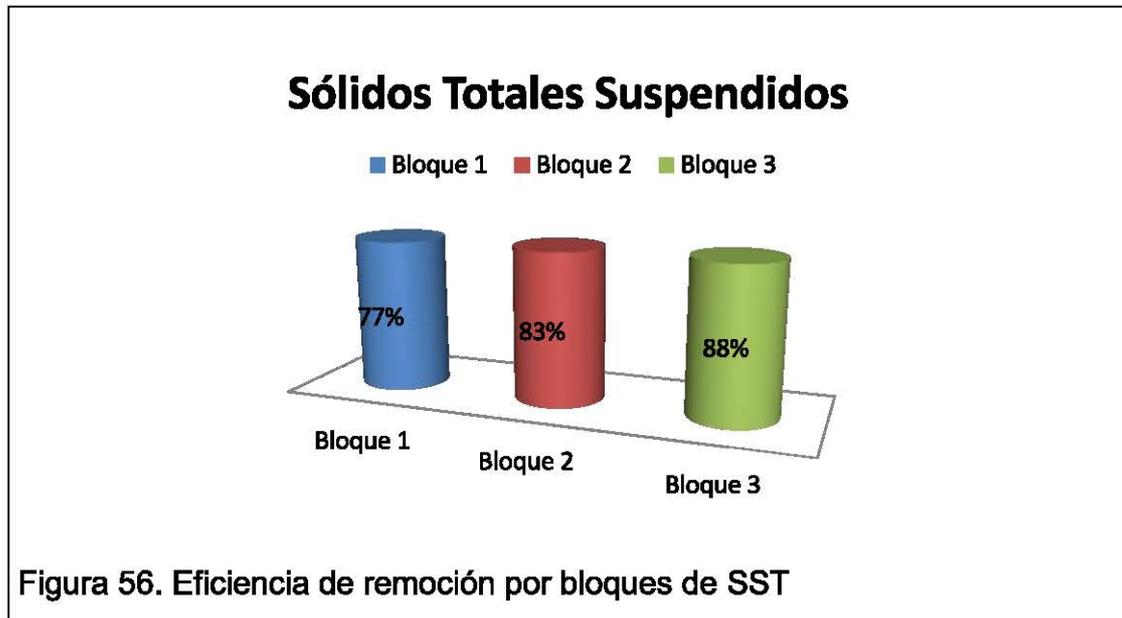
El gráfico del parámetro de Demanda Química de Oxígeno del bloque 1 (138,03 mg/l) con eficiencia de remoción de 31%; bloque 2 (91,66 mg/l) con eficiencia de remoción de 54%, bloque 3(31,8 mg/l) con eficiencia de remoción de 84%, dando a conocer que el mejor rendimiento relevante es el bloque 3.

#### 5.3.4. Porcentaje de eficiencia de la DBO5 en cada bloque



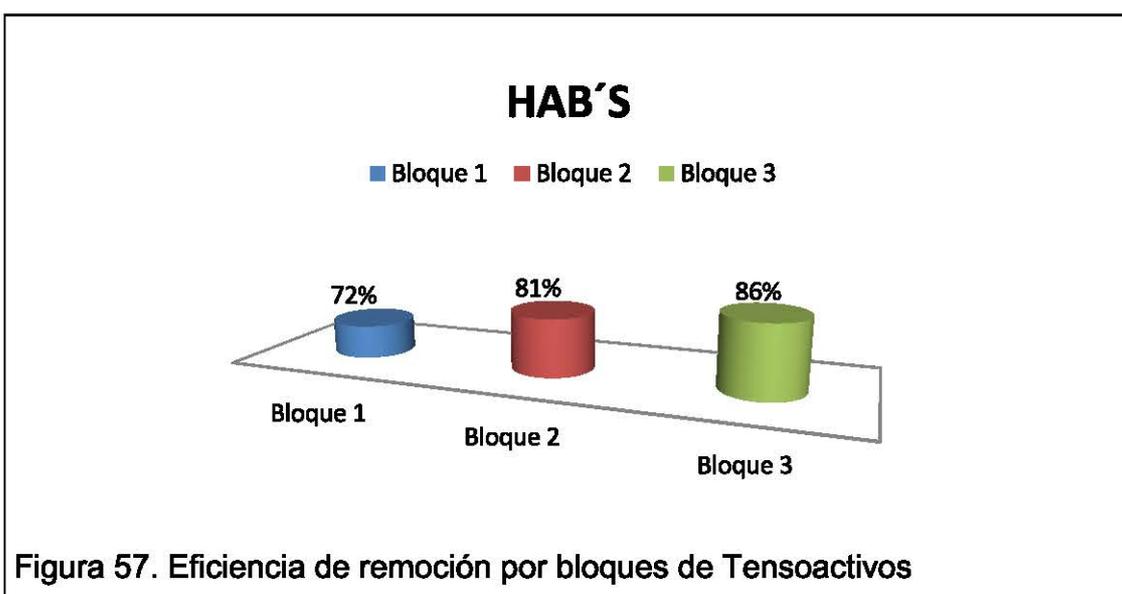
El gráfico del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno del bloque 1 (34 mg/l) con eficiencia de remoción de 34%; bloque 2 (13,5 mg/l) con eficiencia de remoción de 71%, bloque 3(4,76 mg/l) con eficiencia de remoción de 90%, dando a conocer que el mejor rendimiento relevante es el bloque 3.

### 5.3.5. Porcentaje de eficiencia de Sólidos Totales Suspendedos en cada bloque



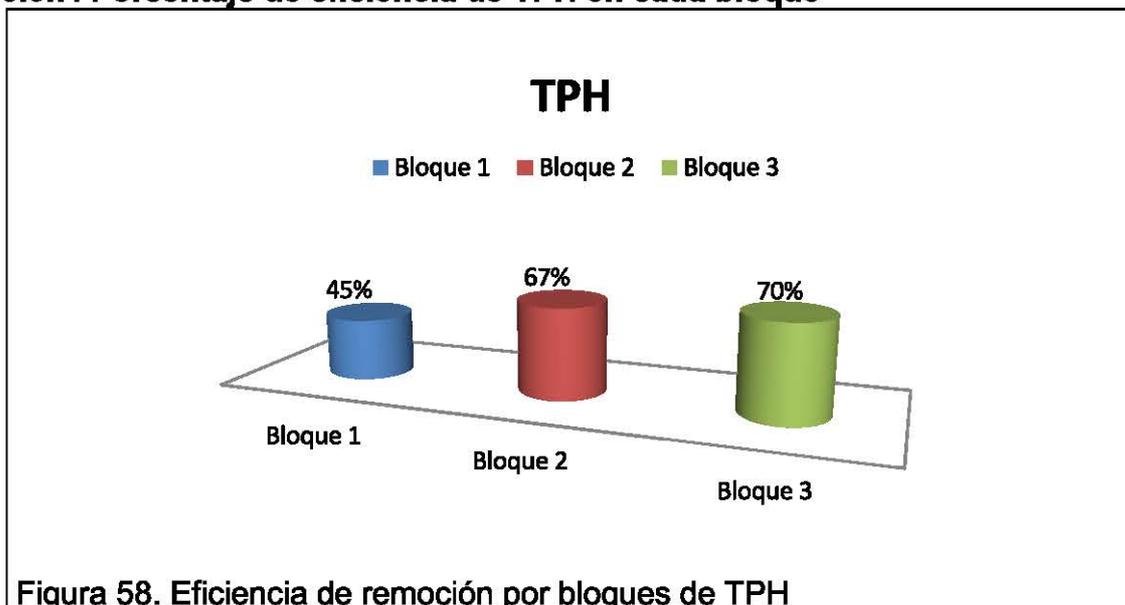
El gráfico del parámetro de sólidos totales suspendidos del bloque 1 (72 mg/l) con eficiencia de remoción de 80%; bloque 2 (55 mg/l) con eficiencia de remoción de 85%, bloque 3(23 mg/l) con eficiencia de remoción de 94%, dando a conocer que el mejor rendimiento relevante es el bloque 3.

### 53.6. Porcentaje de eficiencia de tensoactivos en cada bloque



El gráfico del parámetro de sólidos totales suspendidos del bloque 1 (0,103 mg/l) con eficiencia de remoción de 81%; bloque 2 (0,07 mg/l) con eficiencia de remoción de 91%, bloque 3(0,05 mg/l) con eficiencia de remoción de 94%, dando a conocer que el mejor rendimiento relevante es el bloque 3.

### 5.3.7. Porcentaje de eficiencia de TPH en cada bloque



El gráfico del parámetro de TPH del bloque 1 (2,04 mg/l) con eficiencia de remoción de 22%; bloque 2 (1,24 mg/l) con eficiencia de remoción de 45%, bloque 3(0,82 mg/l) con eficiencia de remoción de 83%, dando a conocer que el mejor rendimiento relevante es el bloque 3.

#### 5.4. Análisis de cumplimiento de estándares de calidad de agua de descargas hacia un cuerpo de agua dulce

Se analiza los límites máximo permisibles de cada uno de los parámetros en función al bloque 3 que se obtuvo resultados con mejor rendimiento, razón por lo cual se denominara concentración final. A continuación, se presenta las siguientes figuras en base a los parámetros analizados.

##### 5.4.1. Análisis comparativo de la reducción del parámetro pH del agua residual y con tratamiento

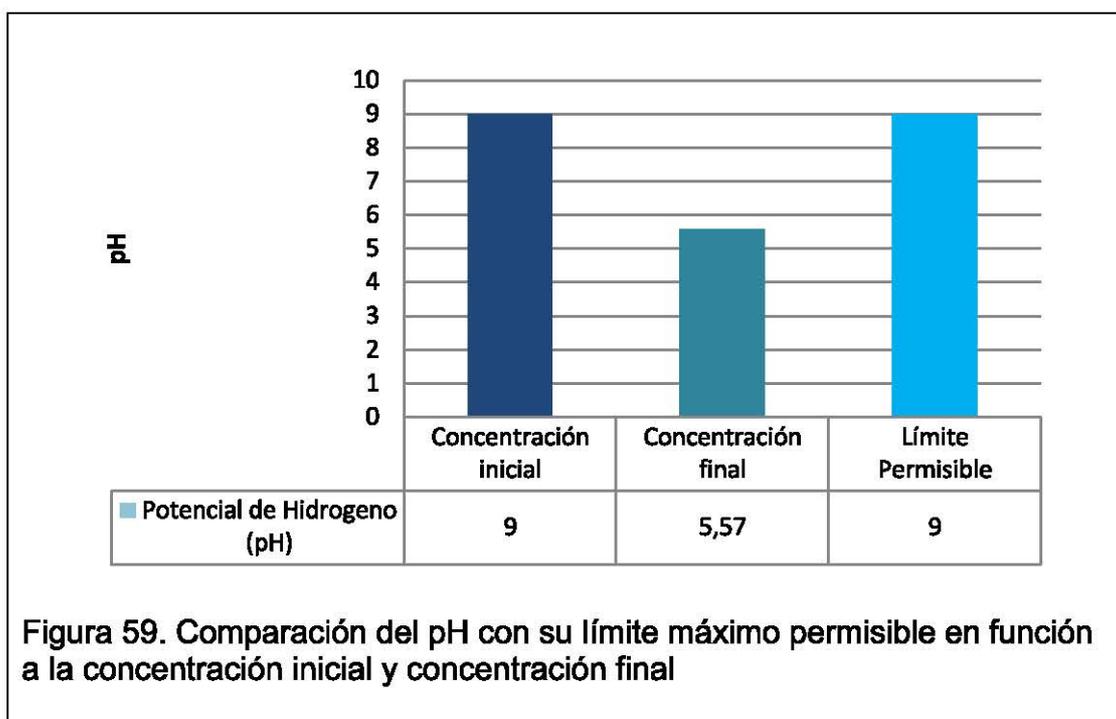
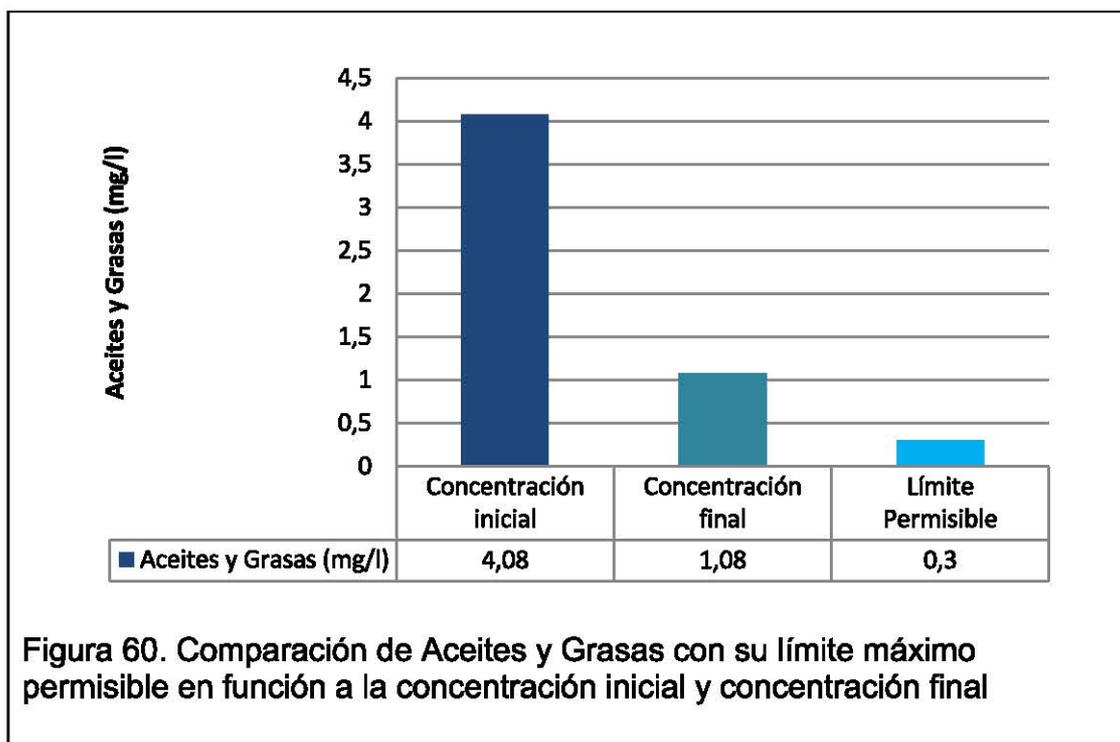


Figura 59. Comparación del pH con su límite máximo permisible en función a la concentración inicial y concentración final

Se alcanza un pH en la concentración inicial de 9, debido al contenido de detergente industrial que agregan para el lavado de geomembrana, logrando una alteración en el agua residual; reflejando un pH alcalino.

El rango del pH óptimo para Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes, hacia un cuerpo receptor establece un pH entre 5- 9, llegando a cumplir después de su tratamiento con un pH de 5,57.

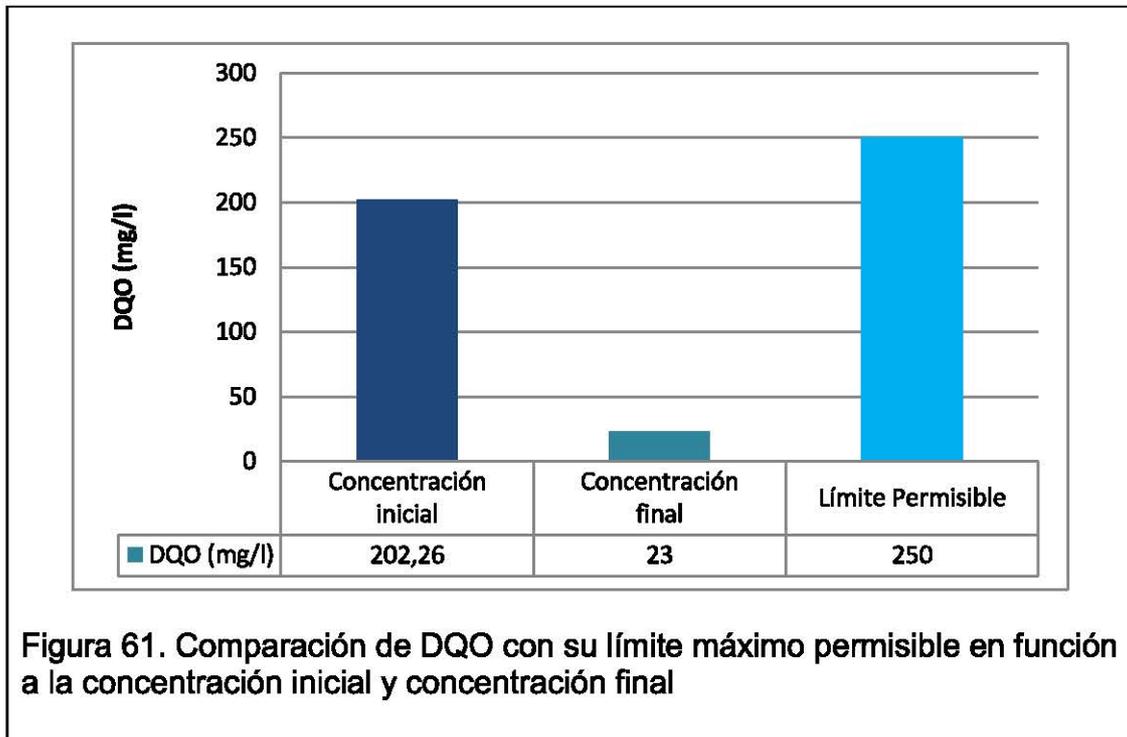
#### 5.4.2. Análisis comparativo de la reducción del parámetro Aceites y Grasas del agua residual cruda y con tratamiento



En el parámetro de aceites y grasas dio una concentración inicial de 4,08mg/l, hay que tener en cuenta que el proceso construido se basó con la reducción de la DQO; Tensoactivos; sólidos totales suspendidos y TPH, dando una eficiencia limitada en la eliminación de aceites grasas, tanto el aceite como la grasa deben eliminarse, ya que este material se impregna en el equipo del sedimentación por gravedad, y se acumula en áreas no esperadas de los tanques de proceso, ocasionando riesgo o problemas de operación. Para una eliminación de aceites y grasas dependerá del acondicionamiento de la mezcla aceite-agua (Corbit, 2003, pp. 176).

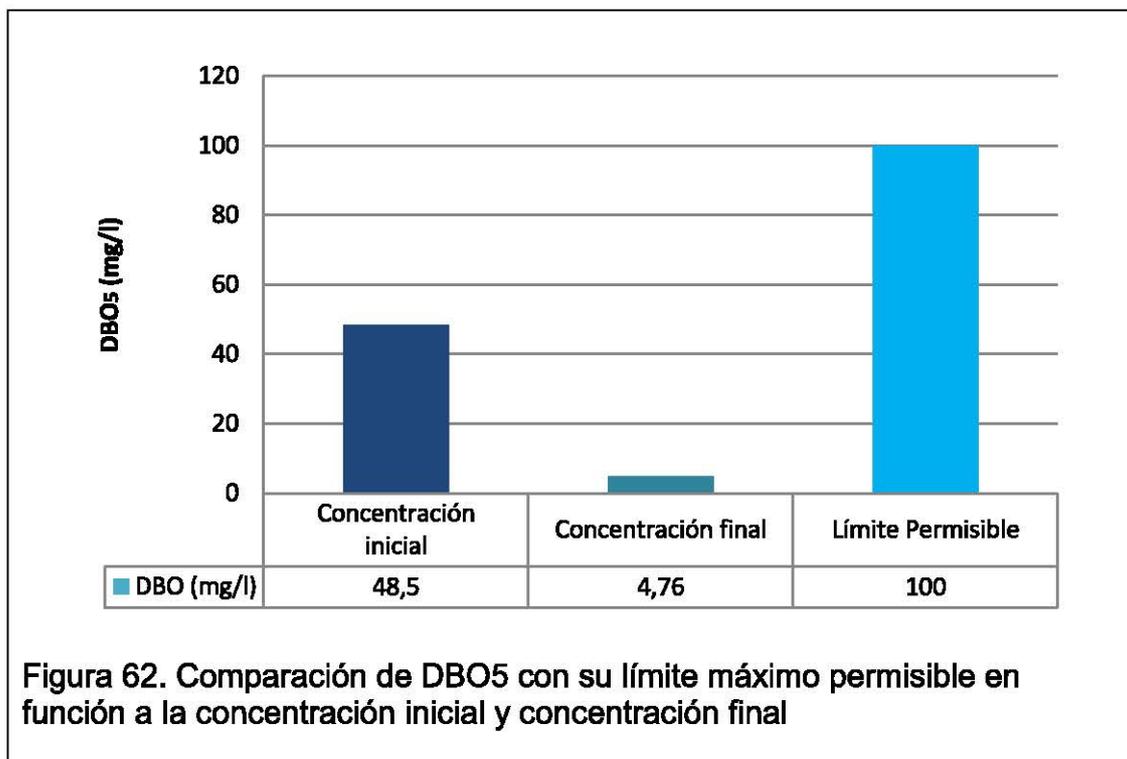
Aunque no cumpla con la concentración de la norma establecida dio una concentración final sea de 1,08 mg/l, logrado una eficiencia de remoción en el proyecto del 73%.

### 5.4.3. Análisis comparativo de la reducción del parámetro DQO del agua residual cruda y con tratamiento



La concentración inicial de la DQO es de 202,20 mg/l, si bien la DQO en este proyecto cumple con los límites máximos permisibles de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Recurso Agua, Tabla 12, estableciendo que la descarga a un cuerpo de agua dulce es de 250 mg/l, con el proceso de filtración y adsorción con carbón activado logra una la remoción de la DQO (Romero, 2010, pp. 659). La DQO filtrada dio una concentración final de 23 mg/l.

#### 5.4.4. Análisis comparativo de la reducción del parámetro DBO5 del agua residual cruda y con tratamiento

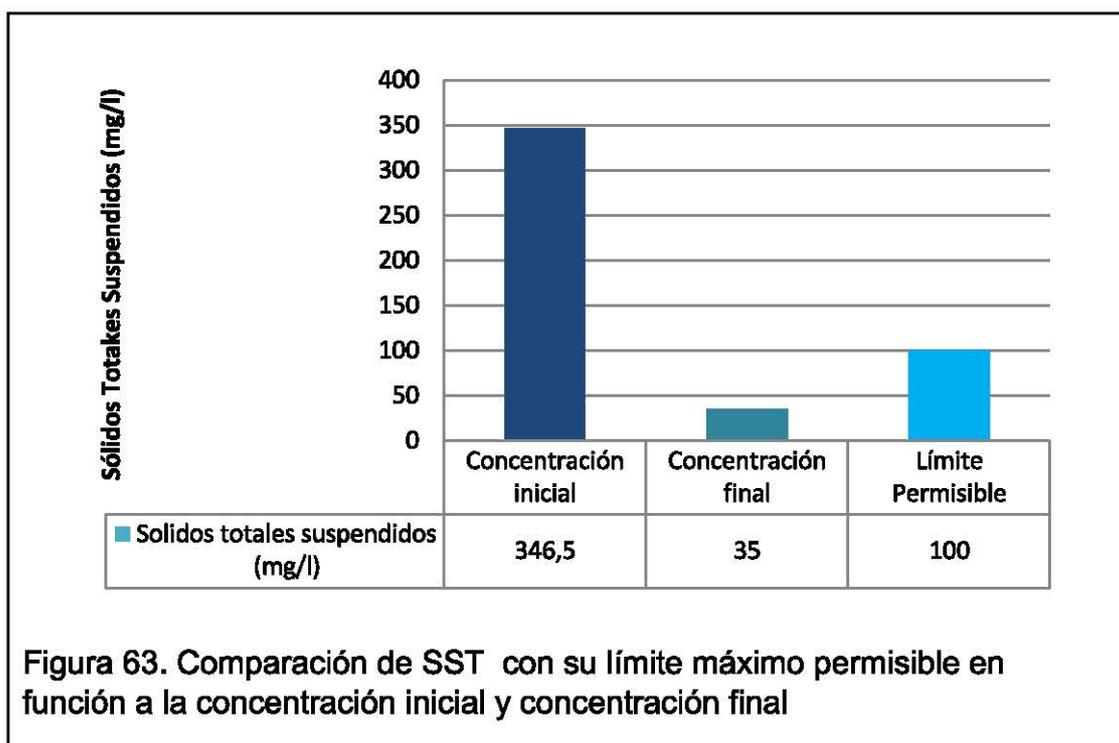


La cantidad de materia orgánica en el lavado de geomembrana dio una concentración inicial de 48,5 mg/l, Para Henry y Heinke (1999, pp. 425) hay que tener en cuenta que esto no indica que las sustancias orgánicas sean degradables o no. Asimismo la velocidad de reacción de la DBO depende de los residuos presentes, en este caso la geomembrana tiene residuos de aceites y grasas, sólidos totales suspendidos, tensoactivos, TPH, por ende con estos parámetros no va a generarse un alta cantidad de microorganismos que degrade la materia orgánica de esta agua residual.

Si el oxígeno total desapareciera, presentaría condiciones anaeróbicas, generando olores desagradables, para este punto también se toma en cuenta que el proceso de lavado de geomembrana se lo hace en una cubierta, teniendo como ventaja principal que la temperatura no pueda aumentar (Henry y Heinke, 1999, pp. 432).

Con el proceso de la filtración con carbón activado que se dio, ayudo a la remoción de la DBO, separando los microorganismos objetables que no han sido retenidos en el proceso de sedimentación (Arboleda, 2011, pp. 363). Dando una como concentración final de 4,76 mg/l.

#### 5.4.5. Análisis comparativo de la reducción del parámetro Sólidos Totales Suspendidos del agua residual cruda y con tratamiento



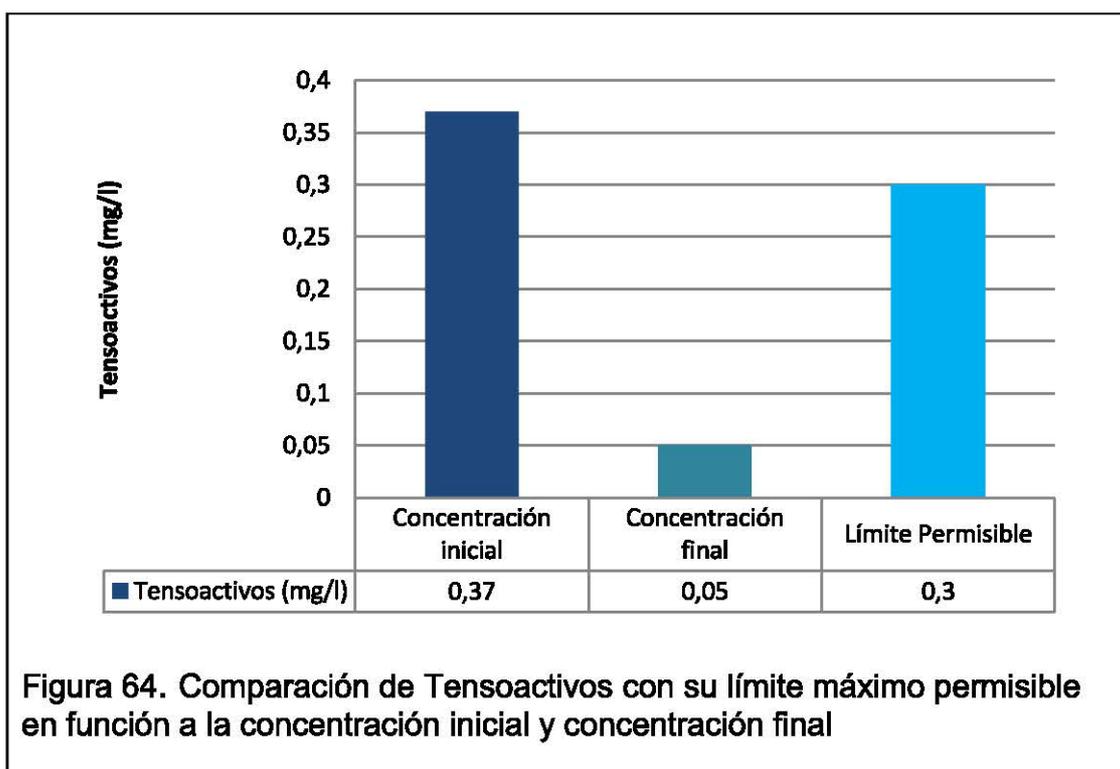
Se determina que las aguas residuales provenientes de lavado de la geomembrana tienen altas concentraciones de sólidos totales suspendidos, dando así una concentración inicial de 346,5 mg/l, como consecuencia de la biorremediación de suelos, antes de que la geomembrana sea desechada, además una vez que ya cumplió el propósito de la biorremediación, este material es almacenado en lugares que tienen contacto con arcillas formando lodos, como respuesta se tiene una concentración alta.

Aunque el sedimentador primario es eficiente, el líquido que se ha clarificado aun suele arrastrarse una parte de los sólidos, tomando en cuenta que no será un líquido en su totalidad, es por eso que se hace uso de un sedimentador

secundario para así obtener un clarificado con una baja contenido de sólidos (Márquez, 2014, pp. 84).

Tomando en cuenta la eficiencia en la remoción de STS de los dos tanques sedimentadores, se obtiene una concentración final de 35 mg/l.

#### 5.4.6. Análisis comparativo de la reducción del parámetro Tensoactivos del agua residual cruda y con tratamiento



La concentración inicial de tensoactivos es de 0,37 mg/l, puesto que para lavar la geomembrana se añade soda caustica, constituyendo la gama de tensoactivos o surfactantes; el agua sola no va a eliminar toda la suciedad que contiene el plástico, en donde la parte hidrófoba de las moléculas del detergente, atrae los componentes grasos y la parte hidrófila interactúa con el agua. Para esto, la eficacia de un lavado demanda de un equilibrio desde la energía química que aporta el detergente, energía térmica siendo en este caso la temperatura del agua, y energía mecánica siendo el movimiento del lavado a mano (biomodel, s.f.).

Al trabajar con un filtro de carbón activado, reduce una gama de parámetros, incluido el porcentaje de tensoactivos que ingresa al filtro, a medida que ingresa el agua en el filtro depura el efluente secundario, dando como concentración final 0,05 mg/l, dando una respuesta favorable en remoción de tensoactivos.

#### 5.4.7. Análisis comparativo de la reducción del parámetro TPH del agua residual cruda y con tratamiento

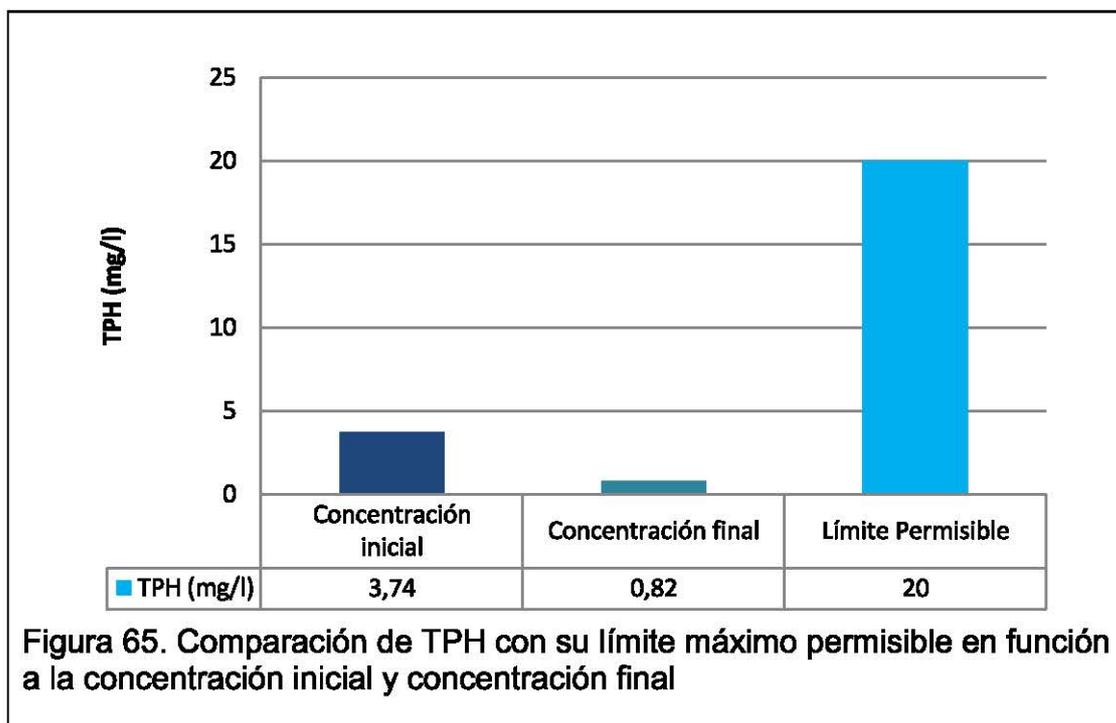
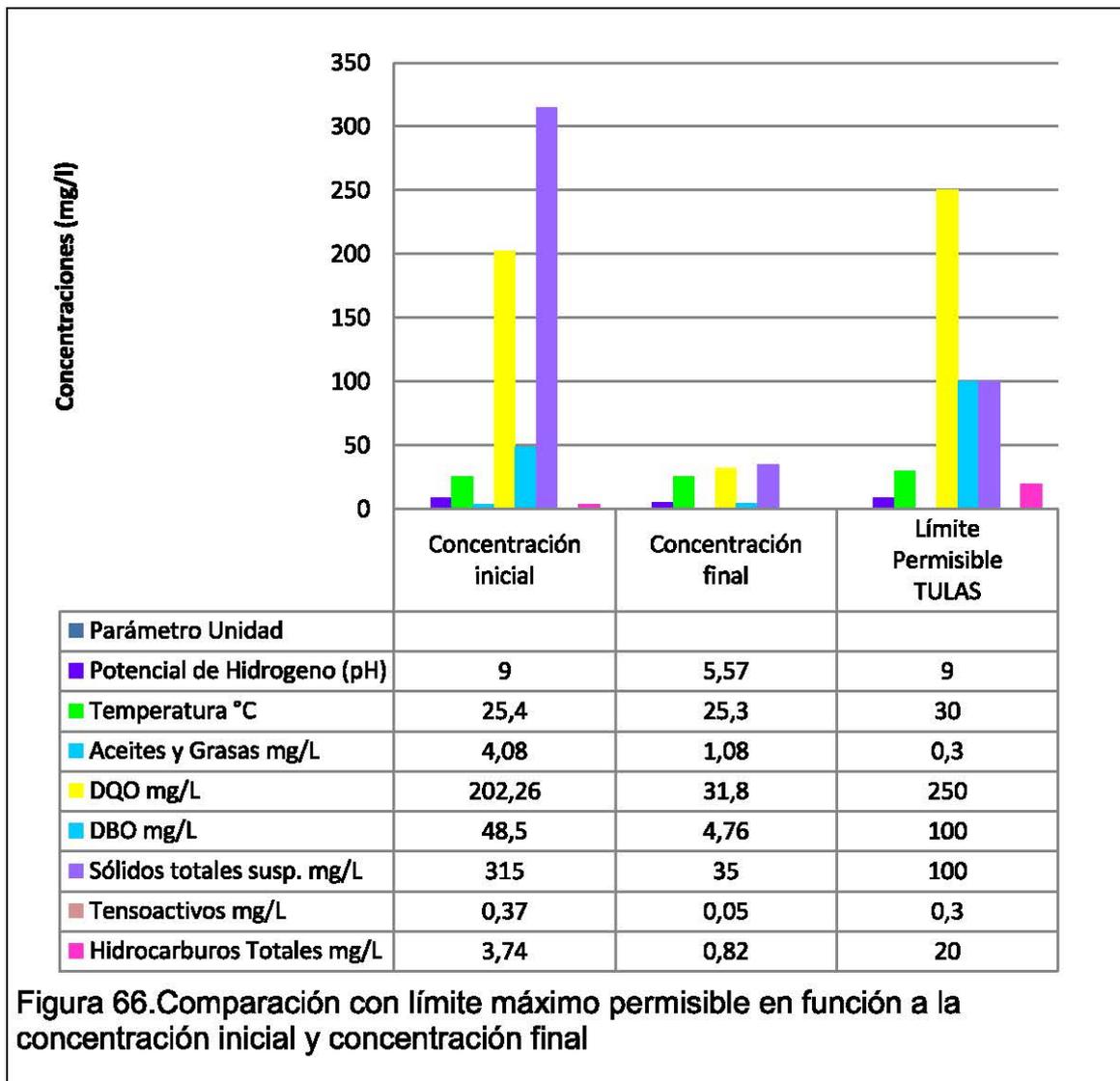


Figura 65. Comparación de TPH con su límite máximo permisible en función a la concentración inicial y concentración final

El TPH aunque cumple con su límite máximo permisible en su concentración inicial de 3,74 mg/l, la cantidad de hidrocarburos que están presentes en el agua no son en mayor cantidad, con el proceso de carbón activado que se realiza tiene como ventaja la eliminación efectiva de los hidrocarburos, incluyendo los solubles (Corbit, 2003, pp. 176).

En la figura 64, muestra un gráfico de los 7 parámetros de análisis de cumplimiento de estándares de calidad de agua de descargas hacia un cuerpo de agua dulce con los resultados de la concentración inicial y concentración final que se obtuvieron, dando como resultado una mejora en la descarga del lavado de geomembrana, cumpliendo a su vez con sus límites máximos establecido por la norma vigente.



## 5.5. Dimensionamiento del Pre diseño del STAR proveniente del lavado de la geomembrana

Con la ejecución del tratamiento en la planta piloto se obtuvo buenos resultados, logrando alcanzar una remoción del 94% en sólidos totales suspendidos, DQO 84%, tensoactivos 91%, e hidrocarburos 83%.

Con el análisis de los mejores resultados en función de eficiencia de remoción, se llega al consenso de proceder a la fase de pre diseño a escala real. De esta manera se determina, que la elección del tratamiento primario está compuesta por tanque sedimentador primario, seguido de tanque sedimentador secundario y en la elección del tratamiento secundario está compuesta por filtro de carbón activado.

A continuación se presenta el equipo que conforma la planta de tratamiento de aguas, en la que se detalla con sus respectivos cálculos para su dimensionamiento, además, el presente diseño está apoyado bajo la guía para el diseño de sedimentadores según la Organización Panamericana de la Salud.

### 5.5.1. Elección de Tratamiento Primario

#### 5.5.1.1. Diseño de tanque sedimentador primario

El caudal de ingreso es de  $Q = 0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ ,

Velocidad de sedimentación  $V_s = 0,010713 \text{ m/s} \rightarrow \emptyset 0.010\text{cm}$  (Anexo 2)

Para determina el área superficial del tanque sedimentador primario ( $A_s$ ).

$$A_s = \frac{Q}{v_{s1}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$A_s = \frac{0.015\text{m}^3/\text{s}}{0,010713\text{m/s}}$$

$$A_s = 1.44 \text{ m}^2$$

Por facilidad constructiva se asume el ancho del sedimentador, cumpliendo con los criterios de diseño de la guía "Diseño de sedimentadores – OPS"

$$B = 1,50 \text{ m}$$

El área superficial es de  $1,44 \text{ m}^2$ , para este caso particular el diseño está en función del volumen a tratar ( $8 \text{ m}^3$ ), y para correlacionar el volumen y el área se necesita un área superficial de  $8 \text{ m}^2$  ( $1,44 < A_s < 8,00$ ), cumpliendo las dos condiciones de diseño. En donde:

$$L2 = \frac{A_s}{B} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$L2 = \frac{8,00 \text{ m}^2}{1,50 \text{ m}}$$

$$L2 = 5,30 \text{ m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora de

$$L1 = 0,7 \text{ m}$$

- Longitud de la unidad:  $L = L1 + L2 = 6,00 \text{ m}$
- Profundidad de sedimentador:  $H = 1,00 \text{ m}$
- Velocidad Horizontal:

$$VH = \frac{100 * Q}{B * H} \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$VH = \frac{100 * 0,015}{1,50 * 1,00}$$

$$VH = 1,03 \text{ cm/s}$$

- Tiempo de retención:

$$To = \frac{A_s * H}{3600 * Q} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$To = \frac{8 * 1,00}{3600 * 0,015}$$

$$To = 8,64 \text{ min}$$

Cabe mencionar que el tiempo de retención calculado  $T_o = 8,64$  min no será considerado como tal para fase de operación, debido a que la planta de tratamiento funcionara como un sistema Batch y no de flujo continuo. Durante la fase experimental y como se determina en el capítulo de metodología y se determinó que el mayor rendimiento del sedimentador primario se obtiene en un tiempo de retención de 4 horas, razón por la cual para la operación del sistema se tomara este dato.

Se asume una pendiente del 10% en el fondo de la unidad, con una altura máxima de:

$$H' = H + 0,1H \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$H' = 1,00 + 0,1(1,00)$$

$$H' = 1,10m$$

- Vertedero de salida:

$$H2 = \left[ \frac{Q}{1,84B} \right] \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$H2 = \left[ \frac{0,015}{1,84(1,50)} \right]$$

$$H2 = 0,03m$$

- Diseño de pantalla difusora:

$$A_o = \frac{Q}{v_o} \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$A_o = \frac{0,015}{0,10m/s}$$

$$A_o = 0,15m^2$$

- Diámetro de orificio:

$$d_o = 0,0750m$$

- Área de cada orificio:

$$a_o = 0,0044m^2$$

- Numero de cada orificio:

$$n = \frac{A_o}{a_o} \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$n = \frac{0,15m^2}{0,0044m^2}$$

$$n = 35$$

Proporción de altura de la pantalla difusora con orificios:

$$h = H - 2/5 H \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$h = 1,00 - 2/5 1,00$$

$$h = 0,60 m$$

- Número de fila con orificio  $n_f = 5$
- Número de columnas  $n_c = 7$

*Espacio entre filas y columnas*

$$a_1 = \frac{h}{n_f} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$a_1 = \frac{0,60 m}{5}$$

$$a_1 = 0,12 m$$

*Espacio entre columnas:*

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$a_2 = \frac{1,50 - 0,12(9 - 1)}{2}$$

$$a_2 = 0,19 m$$

Tabla 18. Datos para el dimensionamiento del sedimentador primario

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal diseño	m <sup>3</sup> /s	0.015
Diámetro de partícula	cm	0.010
Área superficial	m <sup>2</sup>	8
Ancho de sedimentador	m	1,50
Longitud de sedimentador	m	5,30
Profundidad de sedimentador	m	1
Distancia entre la entrada y pantalla difusora	m	0,7
Tiempo de retención	h	4
Pendiente	%	10
<b>Diseño de Pantalla difusora</b>		
Área total de orificios	m <sup>2</sup>	0,15
Diámetro de orificio	n	0,0750
Numero de orificios	-	35
Numero de fila con orificio	-	5
Numero de columna con orificio	-	7

### 5.5.1.2. Diseño del taque sedimentador secundario

El caudal de ingreso es de  $Q = 0.0015\text{m}^3/\text{s}$ ,

Velocidad de sedimentación  $V_s = 0,002678 \text{ m/s} \rightarrow \varnothing 0.005\text{cm}$  (Anexo 2)

Para determina el área superficial del tanque sedimentador primario ( $A_s$ ).

$$A_s = \frac{Q}{v_{s2}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$A_s = \frac{0.015\text{m}^3/\text{s}}{0,002678 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 5,76 \text{ m}^2$$

Por construcción se selecciona el ancho del sedimentador para determinar la zona de sedimentación

$$B = 1,50 \text{ m}$$

El área superficial es de  $5,76 \text{ m}^2$ , para este caso particular el diseño está en función del volumen a tratar ( $8\text{m}^3$ ), y para correlacionar el volumen y el área se necesita un área superficial de  $8\text{m}^2$  ( $1,44 < A_s < 8,00$ ), cumpliendo las dos condiciones de diseño. En donde:

$$L2 = \frac{A_s}{B} \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$L2 = \frac{8,00 \text{ m}^2}{1,50 \text{ m}}$$

$$L2 = 5,30\text{m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora de

$$L1 = 0,7 \text{ m}$$

- Longitud de la unidad:  $L = L1 + L2 = 6,00\text{m}$
- Profundidad de sedimentador:  $H = 1,00\text{m}$
- Velocidad Horizontal:

$$VH = \frac{100 * Q}{B * H} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$VH = \frac{100 * 0,015}{1,50 * 1,00}$$

$$VH = 1,03 \text{ cm/s}$$

- Tiempo de retención:

$$To = \frac{As * H}{3600 * Q} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$To = \frac{8 * 1,00}{3600 * 0,015}$$

$$To = 8,65 \text{ min}$$

Cabe mencionar que el tiempo de retención calculado  $To = 8,65 \text{ min}$  no será considerado como tal para fase de operación, debido a que la planta de tratamiento funcionara como un sistema Batch y no de flujo continuo. Durante la fase experimental y como se determina en el capítulo de metodología y se determinó que el mayor rendimiento del sedimentador secundario se obtiene en un tiempo de retención de 2 horas, razón por la cual para la operación del sistema se tomara este dato.

Se asume una pendiente del 10% en el fondo de la unidad, con una altura máxima de:

$$H' = H + 0,1H \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$H' = 1,00 + 0,1(1,00)$$

$$H' = 1,10 \text{ m}$$

- Vertedero de salida:

$$H2 = \left[ \frac{q}{1,84B} \right] \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$H2 = \left[ \frac{0,015}{1,84(1,50)} \right]$$

$$H2 = 0,03\text{m}$$

- Diseño de pantalla difusora:

$$Ao = \frac{q}{v_o} \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$Ao = \frac{0,015}{0,10\text{m/s}}$$

$$Ao = 0,15\text{m}^2$$

- Diámetro de orificio:

$$do = 0,0750\text{m}$$

- Área de cada orificio:

$$ao = 0,0044\text{m}^2$$

- Numero de cada orificio:

$$n = \frac{Ao}{ao} \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$n = \frac{0,15\text{m}^2}{0,0044\text{m}^2}$$

$$n = 35$$

Proporción de altura de la pantalla difusora con orificios:

$$h = H - 2/5 H \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$h = 1,00 - 2/5 1,00$$

$$h = 0,6 \text{ m}$$

- Número de fila con orificio  $n_f = 5$
- Número de columnas  $n_c = 9$

*Espacio entre filas y columnas*

$$a_1 = \frac{h}{n_f} \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$a_1 = \frac{0,60 \text{ m}}{5}$$

$$a_1 = 0,12 \text{ m}$$

*Espacio entre columnas:*

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} \quad (\text{Ecuación 28})$$

$$a_2 = \frac{1,50 - 0,12(9 - 1)}{2}$$

$$a_2 = 0,19 \text{ m}$$

Tabla 19. Datos para el dimensionamiento del sedimentador secundario

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal diseño	m <sup>3</sup> /s	0.015
Diámetro de partícula	cm	0.005
Área superficial	m <sup>2</sup>	8
Ancho de sedimentador	m	1,50
Longitud de sedimentador	m	5,30
Profundidad de sedimentador	m	1
Distancia entre la entrada y pantalla difusora	m	0,7
Tiempo de retención	h	2
Pendiente	%	10
<b>Diseño de Pantalla difusora</b>		
Área total de orificios	m <sup>2</sup>	0,15
Diámetro de orificio	m	0,0750
Numero de orificios	-	35
Numero de fila con orificio	-	5
Numero de columna con orificio	-	7

## 5.5.2. Elección de Tratamiento Secundario

### 5.5.2.1. Diseño de filtro de carbón activado

Para calcular el volumen de carbón activado por trabajar en la fase experimental en la etapa 3 realizó con el tiempo de retención hidráulica de una hora, dando a lugar el siguiente valor:

$$TRH = \frac{V}{q} \quad (\text{Ecuación 29})$$

$$1 h = \frac{V}{0,015 \frac{L}{s}}$$

$$3600s * 0,015 \frac{L}{s} = V$$

$$V = 54L$$

$$V = 0,054 m^3$$

- Área de carbón activado

$$A = \frac{V_{ca}}{H} \quad (\text{Ecuación 30})$$

$$A = \frac{0,054 m^3}{1,20 m}$$

$$A = 0,45 m^2$$

- Diámetro de carbón activado

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 31})$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,45 m^2}{\pi}}$$

$$D = 0,76 m$$

Tabla 20. Datos para el dimensionamiento de filtro de carbón activado

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal diseño	m <sup>3</sup> /s	0.015
Tiempo de retención	h	1
Volumen	m <sup>3</sup>	0,054
Área de carbón activado	m <sup>2</sup>	0,54
Altura	m	1,20
Diámetro de carbón activado	m	0,76

### 5.5.3. Lechos de secado

#### 5.5.3.1. Diseño de lechos de secado de tanque sedimentador primario

- Carga de sólidos que ingresa en el sedimentador primario

Para calcular el volumen de lodos a extraerse para la etapa 1 se hace una relación en base al volumen que ingresa en el tanque sedimentador primario con el tiempo de retención hidráulica, dando a lugar el siguiente valor:

$$Q = \frac{v}{TRH} \quad (\text{Ecuación 32})$$

$$Q = \frac{8m^3}{4h}$$

$$Q = \frac{8 m^3}{4h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000 L}{1 m^3}$$

$$Q = 0,55 \frac{L}{s}$$

- Carga de sólidos:

$$C = Q * SS \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$C = 0,55 \frac{L}{s} * 315 \frac{mg}{L} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1 Kg}{1000 g} * \frac{86400 s}{d}$$

$$C = 15 \frac{Kg}{d}$$

- Masa de sólidos que conforman los lodos:

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad (\text{Ecuación 34})$$

$$Msd = \left( 0,5 * 0,7 * 0,5 * 15 \frac{Kg}{d} \right) + \left( 0,5 * 0,3 * 15 \frac{Kg}{d} \right)$$

$$Msd = 4,87 \frac{Kg}{d}$$

- Volumen diario de lodos digeridos

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left( \frac{\% Sólidos}{100\%} \right)} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$Vld = \frac{4,87 \frac{Kg}{d}}{1,04 \frac{Kg}{L} * \left( \frac{12\%}{100\%} \right)}$$

$$Vld = 39 \frac{L}{d}$$

- Volumen de lodos a extraerse:

El tiempo de días es por la evacuación de los tanques que se lo hace 2 veces a la semana. En este caso la recolección de un mes, el tiempo en días solo es de 8 días.

$$V_{el} = \frac{V_{ld} * T_d}{1000} \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$V_{el} = 39 \frac{L}{d} * 8 d * \frac{1 m^3}{1000 L}$$

$$V_{el} = 0,31 m^3$$

- Área del lecho de secado.

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{H_a} \quad (\text{Ecuación 37})$$

$$A_{ls} = \frac{0,31 m^3}{0,40 m}$$

$$A_{ls} = 0,78 m^2$$

- Área individual de los lechos de secado:

$$A_{l si} = \frac{A_{ls}}{N^{\circ} \text{ Lechos}} \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$A_{l si} = \frac{0,78 m^2}{1}$$

$$A_{l si} = \frac{0,78 m^2}{1}$$

$$A_{l si} = 0,78 m^2$$

- Longitud del lecho de secado:

$$L = \frac{Al\ si}{b} \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$L = \frac{0,78\ m^2}{1,50}$$

$$Al\ si = 0,55\ m$$

Tomando en cuenta en los criterios de diseño para un lecho de secado según OPS; recomienda que el ancho de los lechos de secado sean de 3 a 6 m. al ser una diseño batch en este proyecto, el volumen del lodos es de  $0,31\ m^3$ , por ende el área de lecho de secado es  $Als = 0,78\ m^2$  notablemente muy bajo, requiriendo un lecho de secado para el tanque sedimentador primario con dimensiones de largo y ancho (L/B) 1,50 x 0,55 m.

Tabla 21. Datos para el dimensionamiento de lechos de secado del sedimentador primario

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal Diseño	L/s	0,55
Sólidos suspendidos	mg/l	315
Porcentaje de sólidos	%	12
Densidad del lodo	Kg/l	1,04
Tiempo de digestión de lodos	Días	8
Profundidad de aplicación	m	0,40
Numero de Lechos	-	1
Ancho del lecho	m	1,50
Longitud del lecho	m	0,55

### 5.5.3.2. Diseño de lechos de secado de tanque sedimentador secundario

- Carga de sólidos que ingresa en el sedimentador secundario

Para calcular el volumen de lodos a extraerse para la etapa 2 se hace una relación en base al volumen que ingresa en el tanque sedimentador secundario con el tiempo de retención hidráulica, dando a lugar el siguiente valor:

$$Q = \frac{V}{TRH} \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$Q = \frac{8m^3}{2h}$$

$$Q = \frac{8 m^3}{2 h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000 L}{1 m^3}$$

$$Q = 1,11 \frac{L}{s}$$

- Carga de sólidos:

$$C = Q * SS \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$C = 1,11 \frac{L}{s} * 189 \frac{mg}{L} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1 Kg}{1000 g} * \frac{86400 s}{d}$$

$$C = 18 \frac{Kg}{d}$$

- Masa de sólidos que conforman los lodos:

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad (\text{Ecuación 42})$$

$$Msd = \left( 0,5 * 0,7 * 0,5 * 18 \frac{Kg}{d} \right) + \left( 0,5 * 0,3 * 18 \frac{Kg}{d} \right)$$

$$Msd = 5,85 \frac{Kg}{d}$$

- Volumen diario de lodos digeridos:

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left( \frac{\% Sólidos}{100\%} \right)} \quad (\text{Ecuación 43})$$

$$Vld = \frac{5,85 \frac{Kg}{d}}{1,04 \frac{Kg}{L} * \left( \frac{12\%}{100\%} \right)}$$

$$Vld = 47 \frac{L}{d}$$

- Volumen de lodos a extraerse:

El tiempo de días es por la evacuación de los tanques que se lo hace 2 veces a la semana. En este caso la recolección de un mes, el tiempo en días solo es de 8 días.

$$V_{el} = \frac{Vld * Td}{1000} \quad (\text{Ecuación 44})$$

$$V_{el} = 47 \frac{L}{d} * 8 d * \frac{1 m^3}{1000 L}$$

$$V_{el} = 0,38 m^3$$

- Área del lecho de secado:

$$Als = \frac{V_{el}}{Ha} \quad (\text{Ecuación 45})$$

$$Als = \frac{0,38 m^3}{0,40 m}$$

$$Als = 0,94 m^2$$

- Área individual de los lechos de secado:

$$Al_{si} = \frac{Als}{N^{\circ} \text{ Lechos}} \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$Al_{si} = \frac{0,78 m^2}{1}$$

$$Al\ si = \frac{0,94\ m^2}{1}$$

$$Al\ si = 0,94\ m^2$$

- Longitud del lecho de secado:

$$L = \frac{Al\ si}{b} \quad (\text{Ecuación 47})$$

$$L = \frac{0,94\ m^2}{1,50}$$

$Al\ si = 0,65\ m$  Tomando en cuenta en los criterios de diseño para un lecho de secado de la Organización Panamericana de la Salud; se estandariza que el ancho de los lechos de secado es de 3 a 6 m. pero al ser una diseño batch en este proyecto, el volumen del lodos es de  $0,38\ m^3$ , por ende el área de lecho de secado es  $Als = 0,94\ m^2$  notablemente muy bajo, requiriendo un lecho de secado para el tanque sedimentador secundario con dimensiones de largo y ancho (L/B) 0,96 – 0,96 m.

Tabla 22. Datos para el dimensionamiento de lechos de secado del sedimentador secundario

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal Diseño	L/s	1,11
Sólidos suspendidos	mg/l	189
Porcentaje de sólidos	%	12
Densidad del lodo	Kg/l	1,04
Tiempo de digestión de lodos	Días	8
Profundidad de aplicación	m	0,40
Numero de Lechos	-	1
Ancho del lecho	m	1,50
Longitud del lecho	m	0,65

## 6. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Se presenta a continuación un análisis económico, para el funcionamiento de una planta de tratamientos de aguas residuales que son provenientes del lavado de la geomembrana, siendo un aspecto esencial; tanto para las fases de selección, diseño y construcción.

### 6.1. Costo de inversión

Tabla 23. Presupuesto referencial de tanque sedimentador primario

IT	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNID.	CANT.	P. UNIT (USD)	TOTAL (USD)
<b>1</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
	Limpieza manual de sitio del proyecto	m <sup>2</sup>	31,50	1,19	37,49
	Replanteo y nivelación.	m <sup>2</sup>	31,50	1,58	49,77
<b>2</b>	<b>CIMENTACION</b>				
	Excavación y desalojo manual de cámaras de sedimentación (h máx.=1,8m)	m <sup>3</sup>	19,80	8,75	173,25
	Relleno compactado suelo natural	m <sup>3</sup>	4,70	4,52	21,24
	Replanteo H.S. f'c= 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,22	108,33	131,95
<b>3</b>	<b>MUROS.</b>				
	Hormigón en muros, f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> , Incluye encofrado. e= 0,20m, h= 1.0m	m <sup>3</sup>	3,35	143,11	479,70
<b>4</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>				
	Hormigón Simple columnas (f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	0,26	143,11	36,71
	Hormigón Simple losa de fondo (f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	3,15	143,11	450,80
<b>5</b>	<b>ACERO DE REFUERZO.</b>				
	Acero de refuerzo estructura l ø 14, 12, 10, 8 mm fy=4200 kg/cm <sup>2</sup>	kg	394,40	1,94	765,14
<b>6</b>	<b>CONECCIONES HIDRAULICAS</b>				
	Tubería Hierro fundido 3"	m	1,00	290,28	290,28
	Unión H.F. d=3"	Unid	1	19,72	19,72
	Codo 90° Hierro fundido 3"	Unid	1	32,48	32,48
	Válvula de descarga, Hierro fundido 3"	Unid	1	120,45	120,45
	Placa de anclaje 20*20 cm e=5mm	Unid	1	70,00	70,00
<b>7</b>	<b>ENCOFRADOS</b>				
	Encofrado-Desencofrado Columnas 15x15 cm	m	1,80	9,82	17,68
	Encofrado-Desencofrado loseta alt. Entrepiso 1m	m	3,75	13,40	50,25
	Encofrado - Desencofrado Muro Tablero contrachapado. Altura Prom=4m	m	30,56	19,89	607,84
				subtotal:	3254,00
				15% sub total:	488,10
				<b>TOTAL:</b>	<b>3742,10</b>

Tabla 24. Presupuesto referencial de tanque sedimentador secundario

IT	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNID.	CANT.	P. UNIT (USD)	TOTAL (USD)
<b>1</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
	Limpieza manual de sitio del proyecto	m <sup>2</sup>	31,50	1,19	37,49
	Replanteo y nivelación.	m <sup>2</sup>	31,50	1,58	49,77
<b>2</b>	<b>CIMENTACION</b>				
	Excavación y desalojo manual de cámaras de sedimentación (h máx.=1,8m)	m <sup>3</sup>	39,60	8,75	346,50
	Relleno compactado suelo natural	m <sup>3</sup>	4,70	4,52	21,24
	Replanteo H.S. f'c= 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,22	108,33	131,95
<b>3</b>	<b>MUROS.</b>				
	Hormigón en muros, f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> , Incluye encofrado. e= 0,20m, h= 1.0m	m <sup>3</sup>	3,86	143,11	552,40
<b>4</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>				
	Hormigón Simple columnas (f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	0,09	143,11	13,52
	Hormigón Simple losa de fondo (f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	3,15	143,11	450,80
<b>5</b>	<b>ACERO DE REFUERZO.</b>				
	Acero de refuerzo estructural ø 14, 12, 10, 8 mm fy=4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	394,40	1,94	765,14
<b>8</b>	<b>CONECCIONES HIDRAULICAS</b>				
	Tubería Hierro fundido 3"	m	1,00	290,28	290,28
	Unión H.F. d=3"	Unid	1	19,72	19,72
	Codo 90° Hierro fundido 3"	Unid	1	32,48	19,72
	Válvula de descarga, Hierro fundido 3"	Unid	1	120,45	32,48
	Placa de anclaje 20*20 cm e=5mm	Unid	1	70,00	70,00
<b>9</b>	<b>ENCOFRADOS</b>				
	Encofrado-Desencofrado Columnas 15x15 cm	m	4,20	9,82	41,24
	Encofrado-Desencofrado loseta alt. Entrepiso 1m	m	1,25	13,40	16,75
	Encofrado - Desencofrado Muro Tablero contrachapado. Altura Prom=4m	m	40,36	19,89	802,76
<b>10</b>	<b>RAMPA DE ACCESO A LA VÁLVULA DE CONTROL</b>				
	Estructura metálica perfil laminado tipo aula (	Kg	46,40	1,92	89,09
				subtotal:	3750,85
				15% sub total:	562,63
				<b>TOTAL:</b>	<b>4313,48</b>

Tabla 25. Presupuesto referencial de filtro de carbón activado

IT	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNID.	CANT.	P. UNIT (USD)	TOTAL (USD)
<b>1</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
	Limpieza manual de sitio del proyecto	m <sup>2</sup>	4,93	1,19	5,87
	Replanteo y nivelación.	m <sup>2</sup>	4,93	1,58	7,79
<b>2</b>	<b>CIMENTACION</b>				
	Excavación y desalojo manual de cámaras de sedimentación (h máx.=1,8m)	m <sup>3</sup>	15,28	8,75	133,73
	Relleno compactado suelo natural	m <sup>3</sup>	0,00	4,52	0,00
	Replanteo H.S. f'c= 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	7,83	108,33	848,22
<b>3</b>	<b>CONTRAPISO.</b>				
	Hormigón, f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,78	143,11	112,06
<b>4</b>	<b>FILTRO ACTIVADO</b>				
	Carbón activado	Kg	455,00	1,75	796,25
	Tanque plástico Capacidad: 0,78 m <sup>3</sup>	Unid.	1,00	30	30,00
<b>5</b>	<b>INSTALACIONES HIDRAULICAS.</b>				
	Válvula 3" H.G.	Unid.	1,00	141,98	141,98
	Codo 3" H.G.	Unid.	1,00	42,3	42,30
	Tubería Polietileno 3" (al estero).	Unid.	16,67	20	333,33
	Tanque plástico Capacidad: 0,78 m <sup>3</sup>	Unid.	1,00	55,00	55,00
				subtotal:	2506,52
				15% sub total:	375,98
				<b>TOTAL:</b>	<b>2882,50</b>

Tabla 26. Presupuesto referencial de lechos de secado

IT	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNID.	CANT.	P. UNIT (USD)	TOTAL (USD)
<b>1</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
	Limpieza manual de sitio del proyecto	m <sup>2</sup>	3,00	1,19	3,57
	Replanteo y nivelación.	m <sup>2</sup>	3,00	1,58	4,74
<b>2</b>	<b>CIMENTACION</b>				
	Excavación y desalojo manual de cámaras de sedimentación (h máx.=1,8m)	m <sup>3</sup>	1,05	8,75	9,19
	Relleno compactado suelo natural	m <sup>3</sup>	1,20	4,52	5,42
	Replanteo H.S. f'c= 140 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1,50	108,33	162,50
<b>3</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>				
	Hormigón Simple losa de fondo (f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	0,48	143,11	68,69
<b>4</b>	<b>ACERO DE REFUERZO.</b>				
	Acero de refuerzo estructural ø 14, 12, 10, 8 mm fy=4200 kg/cm <sup>2</sup>	kg	54,00	1,94	104,76
<b>5</b>	<b>PROTECCIÓN PERIMETRAL</b>				
	Mampostería de bloque	m <sup>2</sup>	1,60	10,65	17,04
	Enlucidos vertical, e = 1,5cm; mortero 1:6	m <sup>2</sup>	1,60	7,91	12,66
	Masillado losa	m <sup>2</sup>	3,00	6,52	19,56
<b>7</b>	<b>CONECCIONES HIDRAULICAS</b>				
	Tubería PVC 4"	m	1,00	290,28	290,28
<b>8</b>	<b>ENCOFRADOS</b>				
	Encofrado - Desencofrado Muro Tablero contrachapado. Altura Prom=4m	m	8,00	19,89	159,12
				subtotal:	857,53
				15% sub total:	128,63
				<b>TOTAL:</b>	<b>986,15</b>

Del presupuesto total se suma un 15% en exceso para relacionar la construcción de la obra en la ciudad de Lago Agrio debido a la falta de información y cooperación del municipio se relacionó con los precios del EMOP-Q. Dando un costo total de la fase de construcción de la planta de tratamiento para el lavado de geomembrana de \$ 11.924,23 dólares.

De esta manera, se deduce que la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de geomembrana será efectiva en costo siempre y cuando la operación de lavado se lo realice constantemente todo el año, esto representara una inversión para la empresa

pero se beneficiara ya que la producción se elevara y la evacuación hacia un cauce de agua no conllevara a casos perjudiciales hacia el medio. La única desventaja que hay que tener en cuenta es que la geomembrana no se logra conseguir frecuentemente, es por esto que se da como opción la construcción a largo plazo.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. Conclusiones**

- Se determinó que el tratamiento óptimo para la reducción de la concentración de los contaminantes del lavado de geomembrana es mediante un sedimentador primario; secundario y un filtro de carbón activado, mismas que cumplen con la normativa vigente del TULAS para descarga de aguas tratadas hacia un cauce de agua que establece los límites máximos permisibles.
- En base a los resultados obtenidos en el análisis físico químico de las aguas residuales, y el análisis bibliográfico determino que el tratamiento óptimo para la reducción de la concentración de los contaminantes antes citados es mediante un sedimentado primario; secundario y un filtro de carbón activado. Dicho tratamiento a escala piloto permitió obtener una eficiencia de remoción de sólidos totales suspendidos 88%, Demanda Química de Oxígeno 65%, Tensoactivos 86% e hidrocarburos 70%.
- El dimensionamiento de la planta a escala fue realizado para un sistema de operación Batch, debido a que las aguas residuales provenientes del lavado de geomembrana de biorremediación no son descargadas de forma continua. Siendo así, se consideró para el diseño en base a técnica y eficiencia: sedimentador primario TRH de 4 horas, sedimentado secundario TRH de 2 horas, y filtro de carbón activado TRH de 1 hora, determinando su fase de construcción ambientalmente viable y económica.

- Los análisis físico químicos del agua residual proveniente del lavado de geomembrana utilizada para la biorremediación, determinaron una concentración de sólidos totales suspendidos (SS) 315mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 202,26 mg/l, tensoactivos (HAB´S) 0,37 mg/l e hidrocarburos (TPH) 3,74 mg/l.
- Del análisis comparativo entre los resultados de la calidad del agua residual obtenida y los límites permisibles establecidos en la normativa vigente se determinó que las concentraciones de los contaminantes considerados en el presente estudio sobrepasaron el límite establecido para la descarga en fuentes superficiales.
- Las concentraciones del efluente obtenidas luego del proceso de tratamiento piloto fueron: sólidos totales suspendidos (SS) 23mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 31,8 mg/l, tensoactivos 0,05 mg/l e hidrocarburos (TPH) 0,82 mg/l, mismas que cumplen con la normativa vigente para descarga de aguas tratadas hacia un cauce de agua que establece los límites máximos permisibles en sólidos totales suspendidos (SS) 100mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 250 mg/l, tensoactivos 0,5 mg/l e hidrocarburos (TPH) 20,0 mg/l, razón por la cual se procedió a realizar el diseño a escala en base a la planta piloto.
- La operación y mantenimiento de dicha planta se lo realizara de forma manual, conforme a lo establecido en el anual de operación y mantenimiento.

## **7.2. Recomendaciones**

- En el caso de realizarse una investigación relacionada con el análisis de eficiencia de remoción de contaminantes en una planta de tratamiento, se recomienda que en la fase experimental se realice el análisis de calidad de agua después de cada uno de los componentes que conforman el sistema de tratamiento, con la finalidad de obtener la eficiencia de cada componente.
- Después de haber concluido el trabajo de investigación y al tener el diseño del sistema óptimo para la descontaminación de las aguas residuales provenientes del lavado de la geomembrana de biorremediación, se recomienda que la empresa Recilago inicie la fase de implementación del sistema de tratamiento de agua residual.
- La planta de tratamiento de agua residual deberá estar ubicada lo más cerca posible a los tanques de lavado, siendo la fuente de evacuación del agua residual.
- El encargado de operar el funcionamiento de la planta, debe tener conocimientos de la guía de operación y mantenimiento de cada proceso del sistema de tratamiento que será implementado.
- Se recomienda hacer un control periódico del funcionamiento de la planta de tratamiento, a través del análisis de calidad de aguas, con la finalidad de evitar la contaminación hacia un cauce de agua al que será descargada el agua tratada.
- Se recomienda hacer un estudio sobre el tratamiento de lechos de secado que generaría el tratamiento y además hacer estudios posteriores sobre la re utilización de los mismos.

## REFERENCIAS

- Bagué, A. Álvarez, N. (2012). Tecnología Farmacéutica. San Vicente. Editorial Club Universitario ECU.
- Biomodel. (s.f.). Tensoactivos. Recuperado el 11 de Septiembre de 2014 de [biomodel.uah.es/model2/lip/surfactantes.htm](http://biomodel.uah.es/model2/lip/surfactantes.htm)
- Carvajal, J. (2011). Fotocatálisis heterogénea para a reducción de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. Recuperado el 23 de Junio de 2014 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190904552011000200009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S190904552011000200009&script=sci_arttext)
- Catells, J. (2012). Tipología de los residuos en orden a su reciclaje: Reciclaje de residuos. Madrid. Ediciones Díaz de Santos.
- Censos, E. (2010). Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado el 12 de Febrero del 2014 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Contreras, A. Molero, M. (2006). Ciencia y tecnología del medioambiente. Madrid: Librería UNED.
- Corbit, R. (2003). Manual de referencia de la ingeniería ambiental. España: McGraw-Hill.
- Díaz, J. (2008). Eliminación del surfactante dodecibencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y fotooxidación. Recuperado el 09 de febrero de 2014 de <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/1916/1/17534033.pdf>
- EPA, (1999). Folleto informativo de aguas residuales desinfección con ozono. Recuperado el 12 de abril de 2014 de [http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-063.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-063.pdf)
- Falcón, C. (2012). Manual de tratamiento de aguas negras. México, D.F: Editorial Limusa.
- Glian, J. Heinke, G. Ingeniería Ambiental. (1999). Ingeniería Ambiental. México: Prentice Hall.
- Gordon, M. Díaz, P. (2000). Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual. Recuperado el 17 de Mayo de 2014 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/residuales.pdf>

- Kimmerling, J. (1993). *Crudo Amazónico*. Ecuador: Federación de Comunas de Nativos de la Amazonia Ecuatoriana.
- Mamani, W. Suárez, N. García, C, (2003). *Contaminación del Agua e Impactos por actividad hidrocarburifera en Aguarague*. Bolivia: Offset Boliviana Ltda.
- Márquez, P. (2014). *Prepara y acondicionar los equipos principales e instalaciones auxiliares de la planta química*. Editorial Innovación y Cualificación S.L.
- Mendoza, M. (2014). *La biorremediación de suelos contaminados*. Recuperado el 13 de febrero de 2014 de [http://www.teorema.com.mx/contaminacion\\_/la-biorremediacion-suelos-contaminados-con-hidrocarburos/](http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/la-biorremediacion-suelos-contaminados-con-hidrocarburos/)
- Muñoz, A. (2008). *Depuración de aguas residuales*. Madrid-España: Paraninfo. S.A.
- Muñoz, A. (2006). *Nuevas aportaciones al desarrollo de metodologías en química verde: eliminación fotocatalítica de contaminantes fenólicos; preparación de fotocatalizadores mediante procesos químicos suaves*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2013, de <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0196.pdf>
- Namming, J. (2003). *Sedimentación secundaria en sistema de lodos activados*. Recuperado el 23 de Mayo de 2014 de <http://es.scribd.com/doc/73586620/Sedimentacion-Secundaria-DISENO>
- Organización panamericana de la Salud. (2005). *Guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores*. Recuperado el 26 de septiembre de 2014 de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/037\\_O&M\\_%20de\\_desarenadores\\_y\\_sedimentadores/O&M\\_%20de\\_desarenadores\\_y\\_sedimentadores.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/037_O&M_%20de_desarenadores_y_sedimentadores/O&M_%20de_desarenadores_y_sedimentadores.pdf)
- Organización panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Recuperado el 20 de Agosto de

- 2014, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- Peña, L., Muñoz, M. y Peña, A. (1999). Tratamiento de aguas residuales y su impacto de aguas residuales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. Recuperado el 18 de Noviembre de 2013, de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/325/477>
- Pérez de la Cruz, F., Urrea, M. y Peña, A. (2008). Abastecimiento de aguas. Recuperado el 17 de Mayo de 2014, de [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)
- Republica de Ecuador. (2008). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (Libro VI, Anexo 1). Ecuador.
- Quiminet. (s.f). Características y recuperación de las geomembranas. Recuperado el 03 de abril de 2014 de <http://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-de-las-geomembranas-2808886.htm>
- Ramalho, R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. Sevilla: Editorial Reverté S.A.
- Ramírez, J. (2006). Detergentes orgánicos sintéticos y ambientes. Revista del Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados.
- Rigola, M. (2005). Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales. Barcelona-España: Marcombo.
- Rodríguez, J., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Susana, V. y Sanz, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid-España: Elecé Industria Gráfica.
- Rodríguez, J. y Sánchez, J. (2012). Aspectos tecnológicos y aplicación al vertido Prestige: Biorremediación. Recuperado el 15 de Mayo del 2014 de [http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/aspectos\\_tecnologicos\\_%20biorremediacion.pdf](http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/aspectos_tecnologicos_%20biorremediacion.pdf)
- Russell, D. (2012). Tratamiento de aguas residuales, Un enfoque práctico. Barcelona, España: Editorial Reverte.

Secretaria de Hidrocarburos. (s.f). Recuperado de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/mapa-de-bloques-petroleros/>

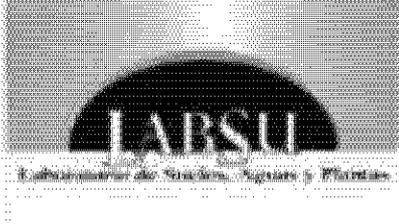
Tecnología para un desarrollo viable. (1996). Recuperado el 15 de Enero de 2014 de <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/tecnologia-para-un-desarrollo-viable-87694.html>

textoscientificos.com. (s.f.) Osmosis Inversa. Recuperado el 16 de Julio de 2014 de <http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>

Valencia, G. (2008). Tratamiento Primario Recuperado el 01 de Febrero de 2014 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/010439/010439-05.pdf>

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Informes de Análisis Laboratorio

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas</p>	<p>VICARIATO APOSTÓLICO DE AGRARIOS Fray P. De Villalonguero S/70 Y Av. La Balsa E-mail: laboratorio@labou.com Caca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: (593) 06-2891105</p>	 <p><b>OAE</b> LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 20 07-093</p>
	<p><b>INFORME DE ENSAYO N°: 88 139</b></p> <p>SPS/ 14 - 3-147      Análisis de agua</p>	

Caca, 12 de Mayo de 2014

**Srta. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

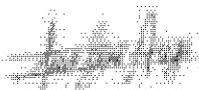
**1.- Datos generales:**

Requerido por: Srta. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra: 2014 05 12 12:30  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio: 2014 05 12 14:21  
 Fecha de análisis: 2014 05 12 a 2014 05 12  
 Condiciones ambientales de Análisis: T. Max. 24,5°C T. Min. 22,0°C  
 Código de Laboratorio: Identificación de la muestra  
 A 88 139 Muestra de Agua Residual, Cód. 001

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetros	Unidad	A 88 139	PEE LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K=2)
1	Potencial hidrogeno	-	8,62	PEE-LABSU-02	SM 4500-H+ B	-
2	Sólidos totales suspendidos	mg/L	140	PEE-LABSU-06	SM 2540 D	-
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	95,17	PEE-LABSU-09	HACH 8000	-
4	*Demanda biológica de oxígeno	mg/L	12,2	PEE-LABSU-09	SM 5210 B	-
5	Detergentes	mg/L	0,24	PEE-LABSU-48	HACH 8020	-
6	Hidrocarburos totales	mg/L	1,17	PEE-LABSU-10	EPA 410.1	-
7	*Aceites y grasas	mg/L	0,31	PEE-LABSU-08	SM 5320	-

**3.- Responsables del informe:**

  
 Autorización: Ing. María José Arrango  
 DIRECTOR TÉCNICO

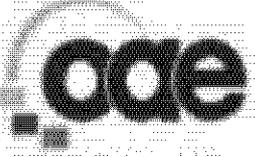


  
 Ing. Gilberto López Pérez  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

M-1321-04

Página 1 de 1

 <b>LABSU</b> Laboratorio de Nuevos Agrios y Plásticos	VICARIATO APOSTÓLICO DE AGRIARDO C/ra F. de Villarquemado 1/16 Y Av. Labata Email: laboratorio@labra.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Telefon: (593)06-2801105	 <b>OAE</b> LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 3C 07-003
	<b>INFORME DE          ENSAYO N°: 88 140</b>	
	SPS: 14 - 31521	Análisis de agua

Coca, 14 de Mayo de 2014

**Sra. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

**1.- Datos generales:**

Recogidas por: Sra. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra: 2014 05 14 12:45  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio: 2014 05 14 14:23  
 Fecha de análisis: 2014 05 14 a 2014 05 24  
 Condiciones ambientales de Análisis: T. Max. 35,0°C T. Min. 23,0°C  
 Código de Labsu: Identificación de la muestra  
 A 01 397 Muestra de Agua Residual, Cód. 003

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetros	Unidad	A.R.R. 977	PRE-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Incertidumbre (M = 1)
1	Fluoruro hidrogeno	-	9,31	PRE-LABSU-02	SM 4500-Fr B	-
2	Sólidos totales suspendidos	mg/L	325	PRE-LABSU-56	SM 2540 D	-
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	198,00	PRE-LABSU-09	RAM 0000	-
4	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	47	PRE-LABSU-09	SM 5210 B	-
5	Detergentes	mg/L	0,58	PRE-LABSU-60	RAM 0000	-
6	Metales pesados totales	mg/L	1,16	PRE-LABSU-10	EPA 418.1	-
7	*Aceites y grasas	mg/L	3,95	PRE-LABSU-90	SM 5520	-

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: Ing. María José Arango  
 DIRECTOR TÉCNICO



  
 Ing. Gilberto López Pérez  
 RESPONSABLE CALIDAD

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohíbese la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos mencionados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación OAE

M03201404

Página 1 de 1

 <b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APÓSTÓLICO DE AGUASCO Fray P. De Villanueva S/N y Av. Lañaka E-mail: laboratorio@labes.com Coca, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: (091)26-2081105	 <b>ode</b> LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAS LE 20.07-093
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 08 141</b> SPC: 14 - 3 005      Análisis de agua	

Coca, 16 de Mayo de 2014

**Srta. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

**1.- Datos generales:**

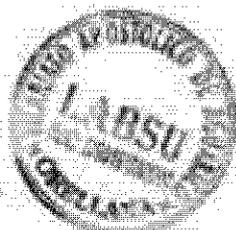
Recibida por ..... Srta. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra ..... 2014 05 16 ..... 14:00  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio ..... 2014 05 16 ..... 15:00  
 Fecha de análisis ..... 2014 05 16 a 2014 05 16  
 Condiciones ambientales de Análisis ..... T. Max. 26,5°C - T.Min. 25,0°C  
 Código de Labra ..... Identificación de la muestra  
 A 08 141 ..... Muestra de Agua Residual, Cód. 093

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetros	Unidad	A 08 141	PER-LABSU	Método Norma Referencia	Interferencia (S+I)
1	Potencial hidrogeno	-	6,51	PER-LABSU-01	SM 4500-H- B	-
2	Sólidos totales suspendidos	mg/L	213	PER-LABSU-06	SM 2540 D	-
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	124,22	PER-LABSU-09	HACH 8000	-
4	*Demanda biológica de oxígeno	mg/L	17	PER-LABSU-09	SM 5210 B	-
5	Intorjentes	mg/L	9,01	PER-LABSU-08	HACH 8020	-
6	Hidrocarburos totales	mg/L	1,2	PER-LABSU-10	EPA 418.1	-
7	*Aceites y grasas	mg/L	9,24	PER-LABSU-08	SM 5320	-

**3.- Responsables del informe:**

  
 Autorización: Ing. María José Arango  
 DIRECTOR TÉCNICO

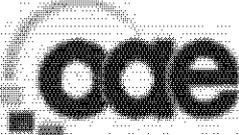


  
 Ing. Roberto López Pérez  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras analizadas a pedido.  
 Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los equipos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAS.

MCS001-04

Página 1 de 1

 <b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas	VICARIATO APOSTÓLICO DE AGRARIO Finca P. De Villalonga 1451 N Y Av. Latacuna Email: laboratorio@labso.com Cajas, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: (593) 06 2981105	 <b>cae</b> LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAK LE 3C 07-003
	<b>INFORME DE          ENSAYO N°: 93 417</b>	
	SPS: 14 - s 439	Análisis de agua

Caja, 28 de julio de 2014

**Srta. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

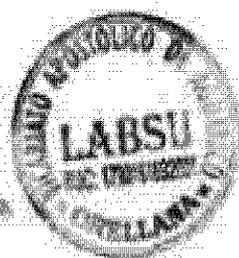
**1.- Datos generales:**

Solicitada por: Srta. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra: 2014 05 28 14:30  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio: 2014 05 28 16:30  
 Fecha de análisis: 2014 05 28 a 2014 05 06  
 Condiciones ambientales de Análisis: T. Max: 26,5°C T. Min: 24,°C  
 Código de Laboratorio: Identificación de la muestra  
 A 88 941 Muestra de Agua Residual, Cód. 004

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetros	Unidad	A 88 941	PSE-LABSO	Métodos / Norma Referente	Incertidumbre (k=2)
1	Protometal hidrogeno	-	4,45	PSE-LABSO-02	SM 4500-H+ B	-
2	Sólidos totales suspendidos	mg/L	305	PSE-LABSO-06	SM 2540 D	-
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	305,03	PSE-LABSO-09	HACH 8000	-
4	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	50	PSE-LABSO-09	SM 5210 B	-
5	Cloruros libres	mg/L	0,205	PSE-LABSO-06	HACH 802B	-
6	Hidrógeno bromo total	mg/L	4,33	PSE-LABSO-10	EPA 410.1	-
7	*Aceites y grasas	mg/L	4,2	PSE-LABSO-06	SM 5520	-

**3.- Responsables del Informe:**


Autorización: Ing. María José Arango  
 DIRECTOR TÉCNICO

Lic. Andrés Solís Plaza  
 RESPONSABLE CALIDAD

Nota: El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del CAE.

MCE001-04

Página 1 de 1

 <b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Agua y Plántulas	VICARIATO APOSTÓLICO DE AGUARIÑO Pray P. De Villapazmado S/N Y Av. Lataña Email: laborsterio@labso.com Cota, Provincia de Orellana - Ecuador Teléfono: (593)06-2802105	 <b>OAE</b> LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 07-003
	<b>INFORME DE          ENSAYO N° 93-410</b>	
	SPE: 14 - 8-835	Análisis de agua

Cota, 28 de julio de 2014

**Srta. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

**1.- Datos generales:**

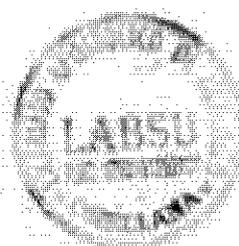
Recogida por: Srta. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra: 2014-05-28 14:30  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio: 2014-05-28 16:30  
 Fecha de análisis: 2014-05-28 a 2014-05-06  
 Condiciones ambientales de Análisis: T. Max. 26,3°C T. Min. 24,3°C  
 Código de Laboratorio: Identificación de la muestra  
 A 00 512 Muestra de Tratamiento 1, Cód. 003

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetro	Unidad	A 00 512	PER-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
1	Potencial hidrogeno	-	7,86	PER-LABSU-02	SM 4500-H+ B	-
2	Sólidos totales suspendidos	mg/L	72	PER-LABSU-56	SM 2540 D	-
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	138,03	PER-LABSU-09	HACH 8000	-
4	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	34	PER-LABSU-09	SM 5210 B	-
5	Democromos	mg/L	0,102	PER-LABSU-48	HACH 8030	-
6	Hidrocarburos totales	mg/L	3,04	PER-LABSU-18	EPA 816.1	-
7	*Aceites y grises	mg/L	3,53	PER-LABSU-00	SM 5520	-

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: Ing. María José Anzures  
 DIRECTOR TÉCNICO

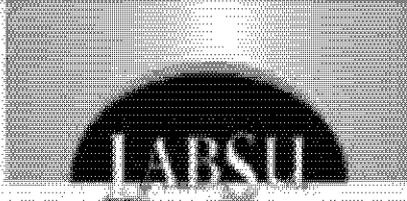


  
 Téc. Andrés Salas Plaza  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo aplica a las muestras sometidas a ensayo.  
 Prohíbese la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

M20201-04

Página 1 de 3

 <p><b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Agua y Plagas</p>	<b>VICARIATO APOSTOLICO DE AGUARICO</b> Fray F. De Villalonga 1/6 Y Av. La India E-mail: laboratorio@labsu.com Cota, Provincia de Orellana - Ecuador Telefon: (092)46-2003103		 <p><b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° OAE LE 20 07-003</p>
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 93 419</b>		
	SPT: 14 - E-473	Analisis de agua	

Cota, 29 de Julio de 2014

**Srta. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

**1.- Datos generales:**

Requerida por: Srta. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra: 2014 05 29 14:30  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio: 2014 05 29 16:36  
 Fecha de análisis: 2014 05 29 a 2014 05 07  
 Condiciones ambientales de Análisis: T. Max. 26.5°C T. Min. 24.0°C  
 Código de Laboratorio: Identificación de la muestra  
 A 98 531 Muestra de tratamiento 2, Cód. 006

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetros	Unidad	A 98 531	PER-LABSU	Métodos / Norma Referencia	Significado (N + T)
1	Pluviómetro hidrométrico	-	4,07	PER-LABSU-01	SM 4500-01-0	-
2	Sólidos totales suspendidos	mg/l	55	PER-LABSU-56	SM 2540 D	-
3	Demanda química de oxígeno	mg/l	91,06	PER-LABSU-09	HACH 8000	-
4	*Demanda biológica de oxígeno	mg/l	4,76	PER-LABSU-09	SM 5210 B	-
5	Dureza total	mg/l	0,07	PER-LABSU-80	HACH 8000	-
6	Metales pesados totales	mg/l	1,24	PER-LABSU-10	EPA 418.1	-
7	*Aceites y grasas	mg/l	2,35	PER-LABSU-80	SM 5520	-

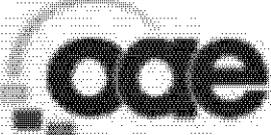
**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: Ing. María José Anraque  
 DIRECTOR TÉCNICO



  
 Tsc. Andriana Plaza  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras comerciales a ensayo.  
 No incluye la reproducción total o parcial, por cualquier medio, sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos realizados por DAE no están incluidos en el alcance de la acreditación del DAE.

 <b>LABSU</b> Laboratorio de Suelos, Agua y Plantas	<b>VICERREATO APOSTÓFICO DE AGUARIACO</b> Frey P. De Villaguardado S/N Y Av. Labales Email: laboratorio@labzu.com Coca, Provincia de Orellana – Ecuador Telefonos: (593)06-2081105	 <b>LABORATORIO DE ENSAYOS</b> N° CAE LE 20.07-003
	<b>INFORME DE ENSAYO N°: 93 420</b>	
	SPS: 14 + 8 433	Análisis de agua

Coca, 30 de Julio de 2014

**Srta. Anita Navarrete**

Dirección: Lago Agrio

**1.- Datos generales:**

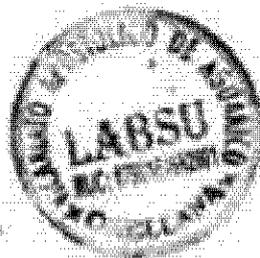
Recogidas por: Srta. Anita Navarrete  
 Fecha hora de toma de muestra: 2014 05 30 14:30  
 Fecha hora de ingreso a laboratorio: 2014 05 30 16:36  
 Fecha de análisis: 2014 05 30 a 2014 05 09  
 Condiciones ambientales de Análisis: T. Max. 26,5°C T. Min. 24,5°C  
 Código de Labes: Identificación de la muestra  
 A 88 512: Muestra de tratamiento 1, Cód.:007

**2.- Parámetros y métodos / Referencias:**

Item	Parámetros	Unidad	A 88 512	PEE-LABSU	Método / Norma Referencia	Incertidumbre (K=2)
1	Potencial hidrogeno	-	5,57	PEE-LABSU-02	SN 4500-H+ B	"
2	Sólidos totales suspendidos	mg/L	23	PEE-LABSU-06	SN 2540 D	"
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	31,8	PEE-LABSU-09	HACH 8000	"
4	*Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	4,76	PEE-LABSU-09	SN 5210 B	"
5	Detergentes	mg/L	0,05	PEE-LABSU-48	HACH 8020	"
6	hidrocarburos totales	mg/L	0,82	PEE-LABSU-10	EPA 418.1	"
7	*Aceites y grasas	mg/L	1,06	PEE-LABSU-60	SN 5520	"

**3.- Responsables del Informe:**

  
 Autorización: Ing. María José Amargó  
 DIRECTOR TÉCNICO



  
 Téc. Andrea Solís Plaza  
 RESPONSABLE CALIDAD

Notas: El informe solo afecta a las muestras sometidas a análisis.  
 Prohíbese la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.  
 Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del CAE.

M/2001-08

Página 1 de 1

**Anexo 2. Relacion entre diametro de la partícula y velocidad de sedimentacion**

**Cuadro 2. Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.**

Material	$\phi$ Limite de las partículas (cm)	# de Reynolds	$V_s$	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes

### Anexo 3. Análisis granulométrico

UNIVERSIDAD CENTRAL FACULTAD DE INGENIERIA		PROYECTO : Diseño de una PTAR Provenientes de lavado de geomembrana	OBRA : Diseño de Tanques sedimentadores		LOCALIZACION : Lago Agrio					
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos		PERFORACION N° : 1	MUESTRA: M1		PROF.: 0,15 m.					
Teléfono: 228-144 www.uca.edu.ec		FECHA : 09-Sep-2014	OPERADOR : S.G.							
<b>GRANULOMETRIA</b>										
MEN		AETN 0.403								
N°	TAMIZ mm	PORCENTAJES			CONTENIDO DE AGUA					
		Masa Retenido Parcial g	Retenido Parcial %	Retenido Acumul. %	Pasa %	RECIPIENTE N°	Masa g	Recip. + s. húmedo g	Recip. + s. seco g	Contenido de agua g
7	2.830	0.00	0.00	0.00	100	48	7.87	40.00	40.00	2.18
8	2.360	0.37	0.25	0.25	100	430	8.14	40.60	40.90	2.39
10	2.000	0.42	0.18	0.43	100	Contenido de agua promedio 2.19 %				
12	1.680	0.38	0.17	0.60	99	CANTIDAD INICIAL				
15	1.190	1.37	0.59	1.19	99					
18	1.000	1.29	0.56	1.75	98					
20	0.840	1.43	0.62	2.37	98					
30	0.590	9.78	4.22	8.59	93	Recipiente N° 131				
40	0.420	10.92	7.52	13.91	88	Masa del recipiente 70.08 g				
50	0.297	19.23	8.32	22.23	78	Masa del recip + suelo húmedo 312.29 g				
60	0.250	19.21	8.31	30.54	69	Masa suelo húmedo W 236.21 g				
80	0.177	21.75	9.41	39.95	60	Masa de suelo seco W <sub>s</sub> 221.14 g				
100	0.149	8.93	3.00	42.95	57					
200	0.074	22.33	9.66	52.61	47					
limpieza		0.28								
CURVA GRANULOMETRICA										
<b>RESULTADOS</b>		D <sub>10</sub> =	D <sub>30</sub> =	D <sub>60</sub> =	C <sub>u</sub> =	#D <sub>40</sub> =				
		#D <sub>10</sub>	Gravel	0	Armen	53	Fines	47		

## **Anexo 4. GUIA DE MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL LAVADO DE GEOMEMBRANA**

### **Mantenimiento de Tanques sedimentadores**

El mantenimiento está basado en la guía de procedimientos para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores según la OPS:

- Actividades periódicas en evacuación de sedimentos que se encuentran acumulados en el fondo de la unidad.
- La evacuación de los sedimentos que se depositan en el fondo de la unidad será dependiendo de la calidad del agua cruda y del volumen del tanque.

<b>Actividad</b>	<b>Acciones claves</b>
<b>Lavado de la unidad</b>	
Cortar el flujo de agua hacia el tanque	- Cerrar la válvula de entrada al tanque.
Limpieza cámara de entrada	- Desprender el material adherido en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando escobilla con cerdas de material sintético.
Limpieza de cámara de sedimentación	- Abrir la válvula de drenaje para la evacuación de lodos y dejar evacuar toda el agua y sedimentos. - Con palas, baldes, tablas y carretilla, remover los sedimentos del tanque, empujándolos hacia el drenaje y llevándolos fuera del lugar. Raspar el fondo del tanque y dejarlo completamente limpio. - Si hubieran una bomba y manguera, rociar los sedimentos del fondo. - Enjuagar completamente el tanque

	antes de restaurar su funcionamiento.
<b>Limpieza cámara de salida</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Desprender el material adherido al fondo y paredes de la cámara.</li></ul>
<b>Poner en funcionamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cerrar los drenajes y abrir las válvulas para llenar el tanque.</li><li>- Una vez limpio el tanque debe volver a sus funciones en cuanto sea llenado. Esto debe ser entre 4 a 6 horas, dependiendo del volumen del tanque.</li></ul>
Tomado de OPS/CEPIS/05.144, 2005, pp. 4.	

### Otros mantenimientos que deben realizarse con periodicidad

Componente	Usualmente	Actividad periódica o permanente	Instrumentos de apoyo	Recomendaciones
Sedimentador	Inspección visual y movimientos de las válvulas.	<p>Retiro de sedimentos (por manejo de Válvulas, accesorio y manual).</p> <p>Limpieza de la estructura (interna, externa).</p> <p>Revisión del estado físico y del funcionamiento (caudal, volumen de agua, rebose, fugas, etc.).</p> <p>Pintura y lubricación de los accesorios.</p>	<p>Registro de la información en libros, bitácoras o formularios.</p> <p>Herramientas (palas, palustres, cepillos metálicos, materiales como postes, mallas o alambres para cerramiento área de localización, estructura, etc.).</p>	<p>Mantenimiento preventivo: semanalmente limpieza estructura o según estado de los sedimentos.</p> <p>Desarenador y sedimentador</p> <p>Inspección visual y movimientos de las válvulas.</p> <p>Mantenimiento correctivo: Periódicamente.</p>

Adaptado de OPS/CEPIS/05.144, 2005, p. 8.

### **Operación y mantenimiento de Filtro de Carbón activado**

Para la limpieza del filtro se raspa uno o dos centímetros de la superficie del lecho y a su vez extrayéndolos, disminuyendo la altura de la capa filtrante en cada raspado. Generalmente se hace un raspado del lecho de 10 a 15 veces, colocando una altura de 60 – 70cm; colocando nuevo material de carbón activado. Además hasta que haya suficiente volumen de CAG se precisa almacenar en un lugar cubierto, para luego lavarlo y retornar al proceso (Arboleda, 2011, pp. 561).

### **Operación y mantenimiento de lechos de Secado**

#### **Criterios de construcción**

La construcción puede ser de mampostería o de concreto, con una profundidad total útil de 50 a 60 cm. El ancho de los lechos de secado es habitualmente de 3 a 6 m., El medio de drenaje en general es de 0,30 de espesor y deberá tener los siguientes mecanismos:

- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm llena de arena.
- La arena es el medio filtrante y deberá tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3 mm y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- Debajo de la arena se deberá colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51 mm (1/6" y 2"), de 0,20 m de espesor.

Tomado de OPS/CEPIS/05.186, 2005, p. 35 – 36.

### **Operación y mantenimiento de lechos de Secado**

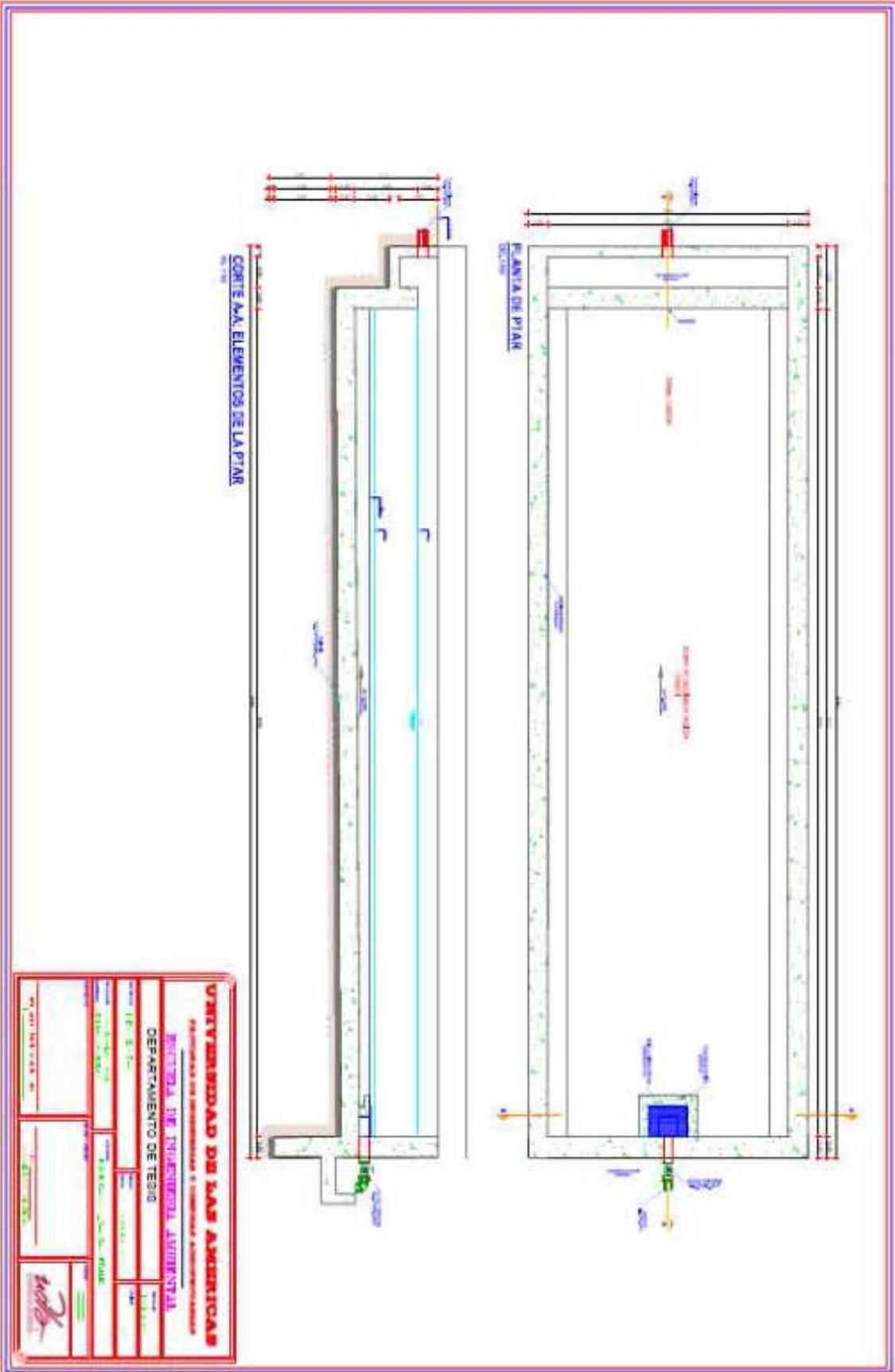
Los lechos de secado de lodos, debe poseer un manual de operación y mantenimiento que contenga, los siguientes elementos:

- Control de olores
- Control del lodo afluyente
- Control de las dosificaciones
- Operación bajo condiciones de carga mínima y máxima.
- Programa de inspección por periodo.
- Control de insectos y crecimiento de plantas.
- Manejo de la torta de lodos seca.
- Programas de muestreos y control de muestras en el laboratorio

Adaptado de Romero 2010, p.1166

### **Anexo 5. PLANOS DEL SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL LAVADO DE GEOMEMBRANA**

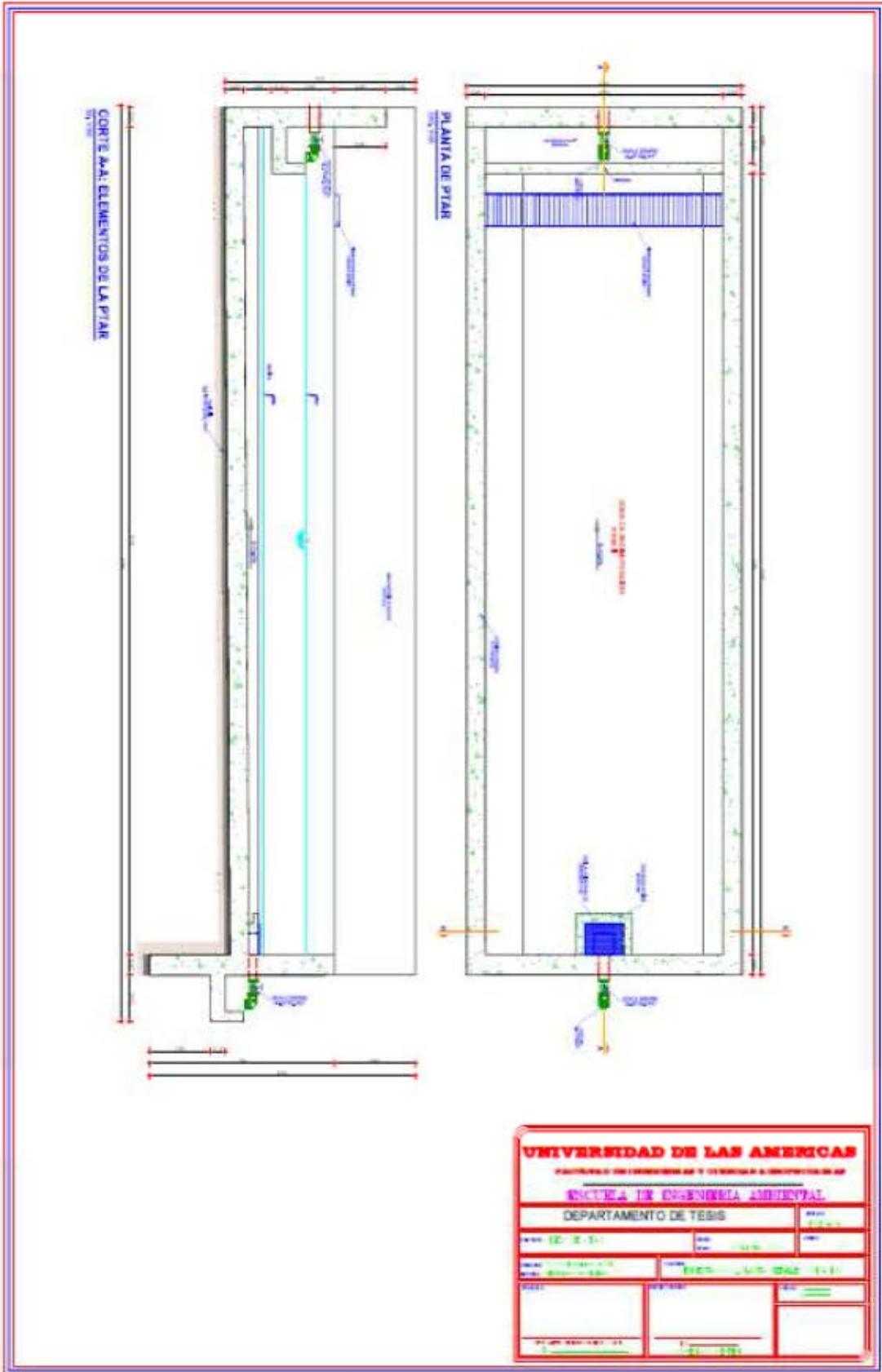
A continuación, se detalla los planos de la planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de lavado de geomembrana con su respectiva dimensión

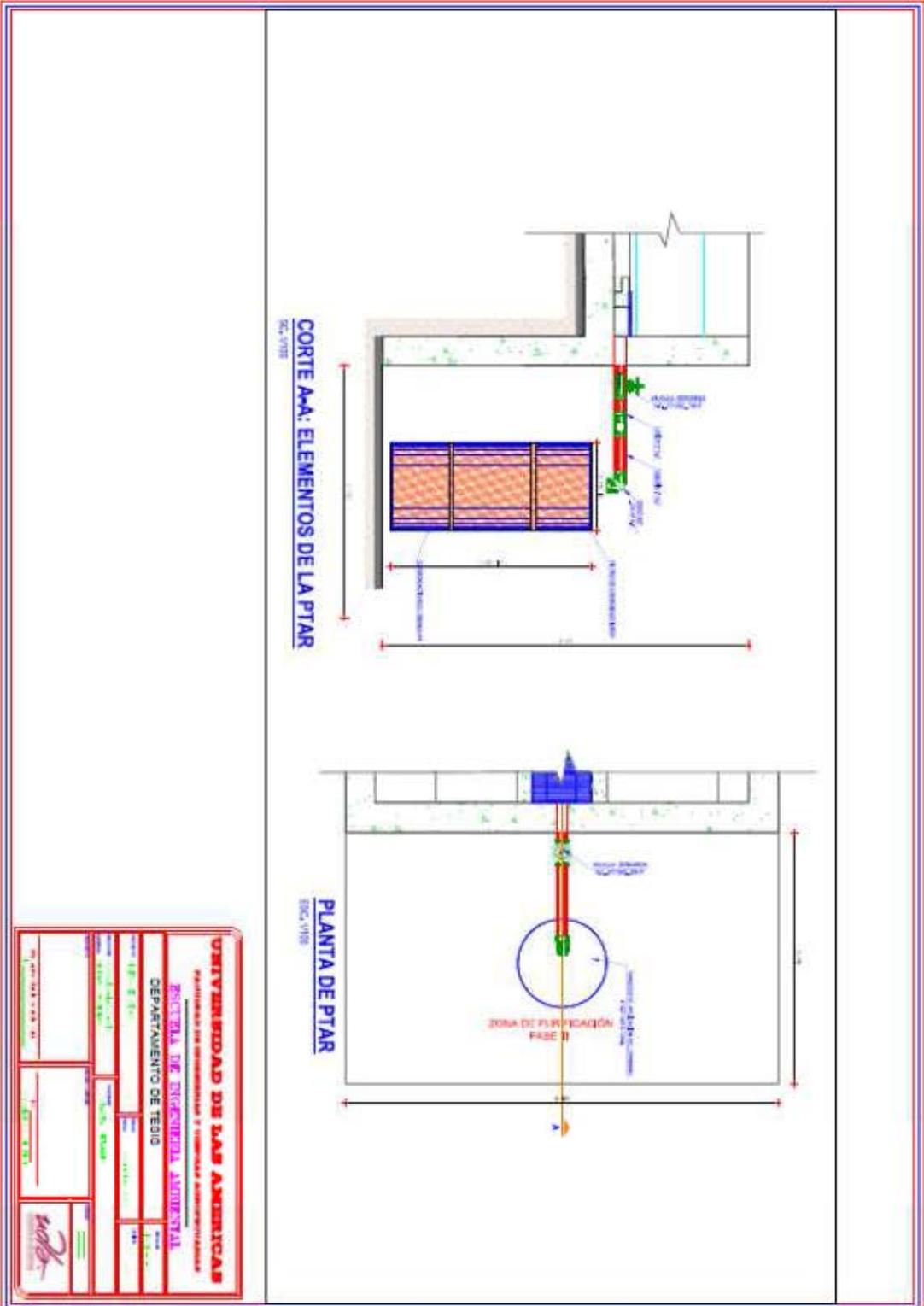


**UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS**  
FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS  
**ESCUELA DE INGENIERIA AERONAUTICA**  
DEPARTAMENTO DE TESIS

PROFESOR:	DR. J. J. GONZALEZ
ALUMNO:	DR. J. J. GONZALEZ
FECHA:	1998
TITULO:	...
ASIGNATURA:	...

Logo: *W*





<b>UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS</b> FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS ADMINISTRATIVAS	
<b>ESCUELA DE INGENIERIA AERONAUTICA</b>	
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA	
PROFESOR: DR. J. J. GARCIA	ALUMNO: J. J. GARCIA
FECHA: 10/01/2010	FECHA: 10/01/2010



