

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE FILTROS ANAEROBIOS DE  
FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DE LA LAVANDERÍA Y DEL CASINO EN EL  
CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.**

**JUAN DIEGO NAVARRO SARMIENTO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2008**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE FILTROS ANAEROBIOS DE  
FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES PROVENIENTES DE LA LAVANDERÍA Y DEL CASINO EN EL  
CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.**

**JUAN DIEGO NAVARRO SARMIENTO**

**Trabajo de grado para optar el titulo de Especialista en Química Ambiental**

**Director:**

**MSc María Kopytko**

**Docente Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2008**

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	3
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 TRATAMIENTO ANAEROBIO .....	4
2.1.1 Filtro Anaerobio .....	6
2.2 DETERGENTES Y SU PROBLEMATICA .....	6
2.2.1 Comportamiento de los jabones en el ambiente.....	7
2.2.2 Aguas residuales de lavandería .....	8
2.2.3 Eutroficación causada por Fosfatos .....	9
2.3 MECANISMOS DE REMOCIÓN DE FÓSFORO EN AGUAS RESIDUALES	10
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>14</b>

3.1	CARACTERIZACIÓN DEL VERTIMIENTO ACTUAL PROVENIENTE DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC. ....	16
3.2	DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	18
3.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.....	19
3.4	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DE ACUERDO AL DECRETO 1594 DE 1984.....	20
<b>4.</b>	<b>DATOS Y ANALISIS.....</b>	<b>21</b>
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL VERTIMIENTO ACTUAL PROVENIENTE DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC .....	21
4.2	DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	27
4.3	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.....	28
4.3.1	Forma.....	28
4.3.2	Capacidad.. .....	27
4.3.3	Dimensionamiento .....	29

4.3.4	Área superficial específica.....	29
4.3.5	Falso Fondo.....	29
4.3.6	Dispositivo de entrada.....	31
4.3.7	Dispositivo de Salida .....	31
4.3.8	Carga Hidráulica Superficial.....	32
4.3.9	Carga Orgánica Superficial.....	33
4.3.11	Manejo de Biogas.....	33
4.3.12	Sistema de bombeo.....	33
4.4	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DE ACUERDO AL DECRETO 1594 DE 1984.....	35
5.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
6.	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>43</b>
7.	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>44</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Metodología Experimental.....	15
Figura 2. Equipos para la medición de pH, conductividad y sólidos disueltos .....	16
Figura 3. Variación horaria del caudal de vertimiento de la lavandería y del casino.....	22
Figura 4. Filtros anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales del casino y lavandería.....	28
Figura 5. Detalle de falso fondo de los filtros anaerobios .....	30
Figura 6. Suministro del medio filtrante de los filtros anaerobios.....	30
Figura 7. Medio filtrante de los filtros anaerobios.....	31
Figura 8. Detalle dispositivo de salida .....	32
Figura 9. Detalle dispositivo de salida .....	32
Figura 10. Sistema para evacuación de biogas.....	33
Figura 11. Tanque subterráneo para el bombeo de las aguas residuales provenientes del casino y la lavandería hacia los filtros anaerobios .....	34

Figura 12. Porcentajes de remoción monitoreo de Febrero 07 de 2008 .....	37
Figura 13. Porcentajes de remoción monitoreo de Abril 08 de 2008.....	40

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Métodos estipulados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.....	17/18
Tabla 2. Tiempos de retención hidraulico para diseño de filtros anaerobios .....	19
Tabla 3. Resultados del monitoreo realizado el 07 de Junio de 2007 al efluente de la lavandería y el casino.....	23
Tabla 4. Resultados del monitoreo realizado el 15 de Agosto de 2007 al efluente de la lavandería y el casino .....	24
Tabla 5. Parámetros de diseño de los filtros anaerobios de flujo ascendente .....	35
Tabla 6. Resultados del monitoreo del 07 de Febrero de 2008 para el afluyente ...	36
Tabla 7. Resultados del monitoreo del 07 de Febrero de 2008 para el efluente ..	36
Tabla 8. Resultados del monitoreo del 08 de Abril de 2008 para el afluyente .....	38
Tabla 9. Resultados del monitoreo del 08 de Abril de 2008 para el efluente .....	39

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Planta y cortes de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente .....	48
Anexo 2. Resultados del monitoreo realizado el 7 de Junio de 2007 .....	49
Anexo 3. Resultados del monitoreo realizado el 15 de Agosto de 2007 .....	50
Anexo 4. RESULTADOS DEL MONITOREO DEL 07 DE FEBRERO DE 2008 .....	51
Anexo 5. RESULTADOS DEL MONITOREO DEL 08 DE ABRIL DE 2008 .....	52

## RESUMEN

**Título:** DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA LAVANDERÍA Y DEL CASINO EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC\*

**Autor:** JUAN DIEGO NAVARRO SARMIENTO\*\*

**Palabras clave:** Detergentes, aguas grises, filtro anaerobio

Las aguas residuales provenientes del casino y de la lavandería del campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc, ingresaban sin tratamiento previo a la planta tipo lodos activados, lo que ocasionaba la generación de espuma en los compartimientos de aireación, generación de olores ofensivos e interferencia con el tratamiento biológico. En el presente trabajo, se diseñaron, construyeron y evaluaron dos filtros anaerobios como sistema de tratamiento pre-liminar para las aguas residuales provenientes de la sección de la lavandería y del casino, antes del ingreso al sistema de lodos activados. El diseño de los reactores a escala real, inició con la caracterización físico-química y la determinación del caudal proveniente de la sección de la lavandería y del casino. Una vez determinada la composición físico-química, se procedió a definir las variables de diseño de los filtros, para el tratamiento de la totalidad del vertimiento generado. Posteriormente, se llevó a cabo la implementación de los reactores en inmediaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Campamento Payoa. Finalmente, se evaluaron las eficiencias de remoción de parámetros físico-químicos en un periodo de 4 meses, para lo cual se realizaron dos jornadas de monitoreo, la primera en la semana 8 y la segunda en la semana 16. Para un tiempo de retención hidráulico de 5,25 horas en los filtros anaerobios de flujo ascendente, se obtuvo una remoción de DBO de 67%, 58% de DQO, 52% de Sólidos Suspendedos, 80% para Grasas & Aceites, 65% para Fósforo total y 58% para tensoactivos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Msc María Kopytko

## ABSTRACT

**Title:** DESIGN, CONSTRUCTION AND EVALUATION OF ANAEROBIC FILTERS FOR WASTEWATER TREATMENT FROM LAUNDRY ROOM AND RESTAURANT AT PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.\*

**Author :** JUAN DIEGO NAVARRO SARMIENTO\*\*

**Keywords:** Detergents, laundry room wastewater, anaerobic filters

Laundry room and restaurant wastewater of PetroSantander (Colombia) Inc, were deposited in the sludge active plant without treatment. This situation used to generate different conditions as the appearance of foam in the aeration compartments, the appearance of odour impact and interference with the biological treatment. Two anaerobic filters were designed, built up and evaluated as a pre-treatment system for the wastewater generated from the laundry room and restaurant, deposited in the sludge active plant. The design of the reactors, began with the physical-chemical characterization and determination of the flow from the section of the laundry room and restaurant. Once the physical-chemical composition was determined, it was proceeded to define the design variables of the filters, for the treatment of the entire flow generated. Later, it carried out the implementation of the reactors near the Wastewater Treatment Plant at Payoa field. Finally, the efficiencies of removal of physical and chemical parameters were evaluated in a period of fourth months, for which it was done two days of monitoring, early in the week 8 and the second in week 16. With hydraulic retention time of 5,25 hours in the anaerobic filters, there was obtained BOD removal of 67%, COD removal of 58%, Suspended Solids removal of 52%, Oil and Grease removal of 80%, total phosphorus removal of 65% and detergents removal of 58%.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ciencias. Escuela de Química. Especialización en Química Ambiental. Director: Msc María Kopytko

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales provenientes de la sección de la lavandería y del casino del campamento Payoa de PetroSantander (Colombia), eran conducidas a la planta de tratamiento tipo lodos activados, generándose espuma en el sistema de aireación, olores ofensivos e interfiriendo con el tratamiento biológico. En el decreto 1594 de 1984, se estipulan unas normas mínimas de vertimiento, siendo necesario el tratamiento pre-liminar de las aguas residuales provenientes de la lavandería y del casino, con el objeto de garantizar la calidad físico-química del efluente de la planta tipo lodos activados, en cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

Tradicionalmente, el tratamiento de tensoactivos se ha realizado en sistemas de lodos activados, el cual permite alternar condiciones anaerobias y condiciones aerobias en un mismo sistema. Adicionalmente, la eliminación de fósforo se ha realizado, mediante operaciones químicas de precipitación con sulfato de aluminio o con cloruro férrico. Recientemente, como alternativa al proceso anaerobio – aerobio para la eliminación biológica de fósforo, se ha propuesto un proceso anaerobio-anóxico-aerobio. Este proceso se basa en la actividad de organismos desnitrificantes capaces de acumular grandes cantidades de polifosfatos. De esta forma, el fósforo y nitrógeno son eliminados simultáneamente por estos organismos.

Para el tratamiento pre-liminar de las aguas residuales provenientes de la lavandería y del casino, se plantea la construcción de dos filtros anaerobios de flujo ascendente, trabajando en paralelo, ubicados antes del sistema de tratamiento por lodos activados. Entre los objetivos del presente estudio, se incluye la caracterización físico-química del efluente a tratar, la determinación de

los parámetros de diseño del sistema a escala real y la implementación de los filtros anaerobios en inmediaciones de la PTAR, para el tratamiento de la totalidad del efluente generado en la sección de lavandería y del casino del campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc. Resultado de la implementación de los filtros anaerobios como sistema de tratamiento pre-liminar para las aguas grises generadas en la sección del casino y de la lavandería, se espera un efluente con bajo contenido de tensoactivos y materia orgánica, para posteriormente ingresar a la planta tipo lodos activados y complementar el tratamiento. La construcción de los filtros anaerobios de flujo ascendente para el tratamiento de tensoactivos en aguas grises, representa una opción tecnológica a bajo costo, y se implementó con el objeto de aumentar las eficiencias de remoción de parámetros de interés en los sistemas de tratamiento.

# **1 OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar, construir y evaluar filtros anaerobios de flujo ascendente para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la lavandería y del casino en el campamento Payoa de Petrosantander (Colombia) Inc.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Caracterizar el vertimiento actual proveniente del casino y de la lavandería en el campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc.

Determinar parámetros de diseño del sistema de tratamiento para las aguas provenientes del casino y la lavandería en el campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc.

Implementar el sistema de tratamiento para las aguas residuales provenientes del casino y de la lavandería en el campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc.

Evaluar la eficiencia de remoción de parámetros físico-químicos de acuerdo al Decreto 1594 de 1984.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 TRATAMIENTO ANAEROBIO

El proceso anaerobio, es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía que el aerobio, puesto que la mayoría de energía liberada en el catabolismo anaerobio proveniente de la sustancia descompuesta aún permanece en los productos finales reducidos como el metano, generándose una cantidad de biomasa mucho menor que la producida en el proceso aerobio. El uso de los sulfatos y del  $\text{CO}_2$ , como aceptores de electrones requiere condiciones estrictamente anaerobias, es decir, ausencia de oxígeno y nitratos. Los carbohidratos contienen oxígeno que pueden emplearse como aceptores de electrones; una porción del carbohidrato es oxidado en  $\text{CO}_2$  y ácidos orgánicos, mientras que otra porción es reducida en aldehídos, cetonas y alcoholes. Prácticamente, la descomposición anaerobia es posible con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas. En el tratamiento anaerobio se puede considerar, por tanto, que ocurren los procesos básicos de la descomposición anaerobia, es decir, desnitrificación de nitratos, respiración de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica<sup>1</sup>.

El proceso microbial es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí. En su forma más elemental, se puede considerar el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica

---

<sup>1</sup> ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales : teoría y principios de diseño. 4 ed. Santa Fe de Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p. 233.

integrado por dos etapas: fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente. En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos de estructura compleja (proteínas, grasas, carbohidratos), son primero hidrolizados en unidades moleculares más pequeñas y sometidos a biooxidación para convertirlos en ácidos grasos de cadena corta, principalmente ácido acético, propionico y butírico, hidrogeno y CO<sub>2</sub>. Durante esta etapa fermentativa no existe realmente estabilización, sino una transformación de material orgánico complejo en compuestos más simples. La población bacteriana formadora de ácidos puede ser facultativa anaerobia, viable en presencia de oxígeno, o anaerobia obligada, para lo cual el oxígeno es tóxico, o incluso una combinación de los dos procesos. En la fermentación metanogénica, los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> principalmente. La estabilización o remoción biológica anaerobia de DBO ocurre en la etapa de formación de metano, porque este es poco soluble en el agua y se evapora con el gas que sale del reactor. El CO<sub>2</sub> producido, también escapa como gas o es convertido en alcalinidad bicarbonatada. La bacteria del metano es estrictamente anaerobia y se cree que solo puede usar ácido acético, formico, metanol o hidrogeno como fuente de energía. La producción de crecimiento biológico es mínima puesto que el oxígeno de los compuestos orgánicos o sustrato, es removido y reemplazado por hidrogeno; el residuo es reducido y la mayoría de la energía liberada en el catabolismo anaerobio permanece en el metano y no se utiliza en síntesis celular.<sup>2</sup>

Las condiciones óptimas para un proceso anaerobio eficiente son las siguientes: 1) nutrientes suficientes; 2) pH entre 6,5 y 7,6; 3) temperatura en el intervalo mesofílico de 30 – 38 °C o en el intervalo termofílico de 50 - 60 °C; 4) ausencia de oxígeno y 5) ausencia de sustancias tóxicas<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Ibid., p. 234 – 237.

<sup>3</sup> Ibid., p.238.

### **2.1.1 Filtro Anaerobio**

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento, el filtro anaerobio es el más sencillo de mantener, porque la biomasa permanece como una película microbiana adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo. El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente clarificado. El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento, que el del proceso de crecimiento suspendido y puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y temperatura baja<sup>4</sup>. En el tratamiento de aguas residuales, la filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO y metales pesados<sup>5</sup>.

## **2.2 DETERGENTES Y SU PROBLEMÁTICA**

El término detergente se aplica a un gran número de sustancias que se utilizan para la limpieza de ropas, platos y de muchos otros elementos. Los componentes básicos de los detergentes son materiales orgánicos con la característica de tener “actividad superficial” cuando están en solución acuosa, y se llaman agentes tensoactivos o surfactantes. Todos los surfactantes tienen moléculas polares

---

<sup>4</sup> Ibid., p. 706, 707.

<sup>5</sup> Ibid., p.659.

bastante grandes. Un extremo de la molécula es especialmente soluble en agua y el otro lo es en aceite. La solubilidad en agua se debe a los grupos carboxilo, sulfato, hidroxilo o sulfonato. Todos los surfactantes con grupos carboxilos, sulfato y sulfonato se presentan como sales de sodio o de potasio. La naturaleza de la parte orgánica de la molécula varía en gran medida con las diferentes clases de surfactantes. El comportamiento bioquímico de los detergentes varía ampliamente dependiendo de su estructura química. Los jabones comunes y los alcoholes sulfatados son rápidamente usados como alimento por las bacterias. Los detergentes sintéticos con uniones amida o éster se hidrolizan fácilmente; los ácidos grasos producidos sirven como fuente de alimento bacteriano<sup>6</sup>.

Los detergentes son ampliamente usados para operaciones de lavado de prendas y existen en las aguas residuales domésticas. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espumas, aún en bajas concentraciones, cuando se acumula en la interfaz aire-agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas. Además, inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del oxígeno. Por otra parte, los detergentes son la fuente principal de fósforo proveniente de las aguas residuales y causantes de la eutrofización en cuerpos hídricos<sup>7</sup>.

### **2.2.1 Comportamiento de los jabones en el ambiente**

El jabón es el tensoactivo de uso más extendido en el mundo. Además de ser el principal ingrediente de las pastillas utilizadas para aseo personal, también encuentra aplicación en la formulación de los detergentes y está incluido en muchos productos industriales de lavandería. El jabón originariamente proviene de

---

<sup>6</sup> SAWYER, Clair; Mc CARTY, Perry y PARKIN, Gene. Química para Ingeniería Ambiental. 3 ed. USA : Mc Graw -Hill, 2001. p. 273-276.

<sup>7</sup> ROMERO, Op. cit., p. 57.

varias fuentes (grasas animales, aceites vegetales) y puede ser fabricado de ácidos grasos de diferente longitud de cadena. Desde el punto de vista ambiental, los jabones al ser vertidos después de su uso, pueden terminar en varias matrices ambientales, bien a través de descargas directas (sin tratamiento) o después de tratamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas duras el jabón tiende a formar sales solubles de calcio y magnesio. Esta tendencia se reduce cuando es usado en formulaciones de detergentes compuestos que contienen secuestrantes de estos iones como son los fosfatos, boratos, policarboxilatos, etc.<sup>8</sup>.

### **2.2.2 Aguas residuales de lavandería**

Entre las aguas residuales industriales que es preciso tratar, por los contaminantes que contienen, se han de incluir las procedentes de la industria de lavado de ropas. Actualmente y como consecuencia de las regulaciones ambientales, así como por la disponibilidad de productos químicos, el mercado de los detergentes se mueve hacia la dirección de emplear componentes biodegradables y de baja toxicidad<sup>9</sup>.

La mayor parte del fósforo de las aguas residuales proviene de los detergentes domésticos e industriales, ya sea en forma inorgánica u orgánica. El fósforo como ortofosfato se origina en las aguas residuales por la degradación de los compuestos que tienen fósforo (ácidos nucleicos, fosfolípidos) y de la hidrólisis de los polifosfatos que son comunes en los detergentes comerciales. En un

---

<sup>8</sup> VARO, P *et al.* Comportamiento de los jabones en el medio ambiente. En : Tecnología del agua. No. 225 (jun. 2002); p. 36,37.

<sup>9</sup>SUSIAL, Pedro; JATO, Iciar y LARRAÑAGA, Ignacio. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales de lavanderías. En : Tecnología del agua. No. 277 (oct. 2006); p. 68,69.

tratamiento biológico de eliminación de materia orgánica, el fósforo es utilizado en la síntesis de nuevos compuestos celulares<sup>10</sup>.

### **2.2.3 Eutroficación causada por Fosfatos**

La eutroficación de las aguas continentales es un proceso natural (fuertemente acelerado por la acción del hombre), que en pocas palabras se puede definir como un aumento de la productividad del sistema, debido a un aporte creciente de nutrientes. Este incremento en la producción tiene como consecuencia directa el desarrollo masivo de algas, lo cual por su parte conlleva una serie de efectos indirectos que inciden en todas las comunidades presentes en la masa acuosa, así como en las características organolépticas del agua, llegando a afectar negativamente al ser humano<sup>11</sup>. El incremento en las descargas de aguas residuales, trae como consecuencia el incremento de fósforo inorgánico a lagos, bahías y aguas superficiales, causando el incremento de fitoplancton<sup>12</sup>.

Muchas investigaciones evidencian que de los principales nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo), el fósforo es el elemento más limitante y por tanto controlador de la población fitoplanctónica. Estos estudios se basan en que mientras para otros nutrientes existen fuentes atmosféricas (el CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> están presentes en el aire), mecanismos físicos (turbulencia e intercambio de gases) y biológicos (fijación del nitrógeno por las algas verde – azuladas) para corregir sus deficiencias, el fósforo carece de dicha fuente externa y mecanismos. Por tanto,

---

<sup>10</sup> ARNAIZ, Carmen; ISAC, Laura y LEBRATO, Julián. Tratamiento biológico de aguas residuales : eliminación de nutrientes. En : Tecnología del agua. No. 199 (abr. 2000); p. 32-36.

<sup>11</sup> BOCARDO, Juan Ramón; SANTILLANA, Julia y ALVAREZ, Esteban. Eliminación biológica del fósforo en aguas residuales. En : Tecnología del agua. No.186 (mar. 1999); p. 33-35.

<sup>12</sup> NOBURO, Takiguchi *et al.* A laboratory- scale test of anaerobic digestion and methano production after phosphorus recovery from waste activated sludge. En : Journal of bioscience and bioengineering. Vol 97, No. 6 (mar. 2004); p.365.

los resultados netos son que la población estable de fitoplancton está muy relacionada con la cantidad total de fósforo en el agua. Cualquier vertido rico en este elemento rompería dicha estabilidad y dispararía el crecimiento algal, trayendo como consecuencia los problemas de eutroficación en los medios receptores<sup>13</sup>. Además, las algas pueden producir toxinas que pueden constituir un serio problema en el abastecimiento de agua potable<sup>14</sup>.

En aguas residuales domésticas el contenido de fósforo oscila entre 6 y 20 mg/L; las formas usuales son los ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos, por ejemplo:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , son aptos para el metabolismo biológico. Los polifosfatos, fosfatos deshidratados molecularmente, se hidrolizan lentamente y revierten a las formas de ortofosfatos<sup>15</sup>. De acuerdo al artículo 45 del decreto 1594 de 1984<sup>16</sup>, se establece como concentración máxima permisible para destinación del recurso para preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías, calidas y en aguas marinas o esturias, el valor de 0,143 multiplicado por la concentración que produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un periodo de noventa y seis (96) horas.

### **2.3 MECANISMOS DE REMOCIÓN DE FÓSFORO EN AGUAS RESIDUALES**

El proceso de lodos activados, ha sido usado para remover fosfatos de aguas residuales, convirtiéndose en un método para la reducción de la eutroficación de

---

<sup>13</sup> BOCARDO, Op. cit., p. 34.

<sup>14</sup> ARNAIZ, Op. cit., p. 32.

<sup>15</sup> ROMERO, Op. cit., p. 58.

<sup>16</sup> REPUBLICA DE COLOMBIA. Decreto 1594 de 1984.

fuentes receptoras<sup>17</sup>. Investigaciones realizadas por Ahn<sup>18</sup>, con el objeto de evaluar la remoción de fosfatos para concentraciones por encima de 10 mg/L en aguas residuales bajo condiciones aeróbicas, señalaron remociones de fosfatos cercanas al 100%, empleando un inóculo proveniente de un sistema de lodos activados y un tiempo de retención hidráulico de 16 horas, a una temperatura de operación de 20 °C.

Los procesos tradicionales para la remoción de fósforo, incluyen la precipitación química, coprecipitación biológica e intercambio iónico<sup>19</sup>. Noburu<sup>20</sup>, realizó estudios en los cuales, el lodo proveniente de un sistema de lodos activados fue sometido a calentamiento a una temperatura de 70 °C, posteriormente, el residuo se sometió a centrifugación y finalmente se aplicó CaCl<sub>2</sub>, obteniéndose una eficiencia de remoción de fósforo del 85%. En un estudio desarrollado a escala de laboratorio por Lee<sup>21</sup>, se evaluó el efecto de aireación intermitente en la remoción de fósforo, empleando diferentes tiempos de retención de sólidos, obteniéndose una eficiencia de remoción del 93% de fósforo, para un tiempo de retención de sólidos de 20 días.

La eliminación biológica de fósforo consiste en el enriquecimiento de un cultivo de bacterias capaces de acumular ortofosfatos a un nivel superior al requerido para el metabolismo celular normal. Este proceso consigue concentraciones de fósforo en peso seco de biomasa 20 veces superior al habitual. Representa además, una vía

---

<sup>17</sup> SHIPENG, Lu *et al.* Analysis of Microbial Communities Using Culture-dependent and Culture-independent Approaches in an Anaerobic/Aerobic SBR Reactor. En: The Journal of Microbiology. Vol. 44, No.2 (apr. 2006); p. 156.

<sup>18</sup> AHN, Johwan *et al.* Ecology of the Microbial Community Removing Phosphate from Wastewater under Continuously Aerobic Conditions in a Sequencing Batch Reactor. En : Applied Environmental Microbiology. Vol. 73, No.7 (apr. 2007); p. 2257-2270.

<sup>19</sup> ROMERO, Op.cit., p. 140.

<sup>20</sup> NOBURU, Op. cit; p. 366 – 367.

<sup>21</sup> LEE, Op. cit; p. 338.

muy eficiente de transferencia de energía entre condiciones de cultivo aerobias y anaerobias. El fósforo capturado en exceso en ambiente aerobio, es almacenado en forma de polifosfatos estabilizados con iones  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$ . Estos polifosfatos, junto con material de naturaleza lipídica y proteica, forman gránulos intracelulares. La función primaria de estos gránulos es servir como fuente de fósforo durante periodos de carencia del mismo. Sin embargo, en algunas bacterias actúan como fuente de energía<sup>22</sup>.

Las bacterias descritas como responsables de la eliminación biológica de fósforo son las PAO (Polyphosphate Accumulating Organisms). Estas bacterias, sometidas a alternancias de condiciones anaerobias-aerobias, son capaces de eliminar el fósforo soluble de las aguas (fosfatos,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), de modo que en la etapa anaerobia toman ácidos grasos de cadena corta presentes en el medio como acetato y propionato y transforman el polifosfato almacenado interiormente en  $\text{PO}_4^{3-}$ , produciendo un incremento de  $\text{PO}_4^{3-}$  en el medio. En la etapa aerobia, las PAO toman el  $\text{PO}_4^{3-}$  del medio, y lo almacenan en forma de polifosfato, resultando en una eliminación neta del fósforo<sup>23</sup>. Se ha reportado que los organismos acumuladores de fosfato, son predominantes en sistemas con largo periodo de retención de sólidos, y se sabe que la tasa de muerte de las PAO, es menor que la de los otros microorganismos. Las bacterias PAO, pueden retener más fósforo que las bacterias normales<sup>24</sup>. Usando aireación intermitente, es posible realizar un control de las fases aeróbicas/anoxicas, con sólo prender o apagar un equipo de aireación. Entre las ventajas de aireación intermitente, se encuentran que se puede generar en un mismo reactor nitrificación y desnitrificación, además tiene la

---

<sup>22</sup> ARNAIZ, Op. cit., p. 35.

<sup>23</sup> FALOMIR, L *et al.* Técnica de detección de polifosfatos intracelulares y cuantificación mediante análisis de imagen. En: Tecnología del agua. No. 253 (oct. 2004); p. 56, 57.

<sup>24</sup> LEE, Doojin; KIM, Moonil and CHUNG, Jinwook. Relationship between solid retention time and phosphorus removal in anaerobic- intermittent aeration process. En : Journal of bioscience and bioengineering. Vol. 103, No. 4 (jan. 2007); p.338.

facultad de remover simultáneamente fósforo y nitrógeno<sup>25</sup>. Gran cantidad de estudios de poblaciones microbiológicas enriquecidas con cultivos de bacterias, con capacidad para remover fósforo en aguas residuales a escala de laboratorio y nivel de planta piloto, indican que bacterias del género ***Rhodocyclus*** son importantes PAO<sup>26</sup>.

Aunque existen estudios en los cuales se enfatiza que la biodegradabilidad primaria de homólogos de alquilbenceno sulfonato lineal (LAS) en condiciones anaerobias es despreciable<sup>27</sup>, se sabe que para favorecer la hidrólisis de los polifosfatos presentes en la mayoría de los detergentes comerciales, es necesaria una primera etapa anaerobia, con el fin de transformar los polifosfatos en ortofosfatos, compuestos fácilmente asimilable por microorganismos en condiciones aeróbicas<sup>28</sup>.

---

<sup>25</sup> LEE, Op. cit; p. 338, 339.

<sup>26</sup> YUNHONG, Kong *et al.* Identity and ecophysiology of uncultured actinobacterial polyphosphate-accumulating organisms in full-scale enhanced biological phosphorus removal plants. En : Applied and Environmental Microbiology. Vol. 71, No.7 (jul. 2005); p. 4076.

<sup>27</sup> GARCÍA, Maria *et al.* Estudio de la biodegradación anaerobia de homólogos e isómeros puros de alquilbenceno sulfonatos lineales (LAS) en digestores discontinuos. En : Tecnología del agua. No. 260 (may. 2005); p. 68, 75, 76.

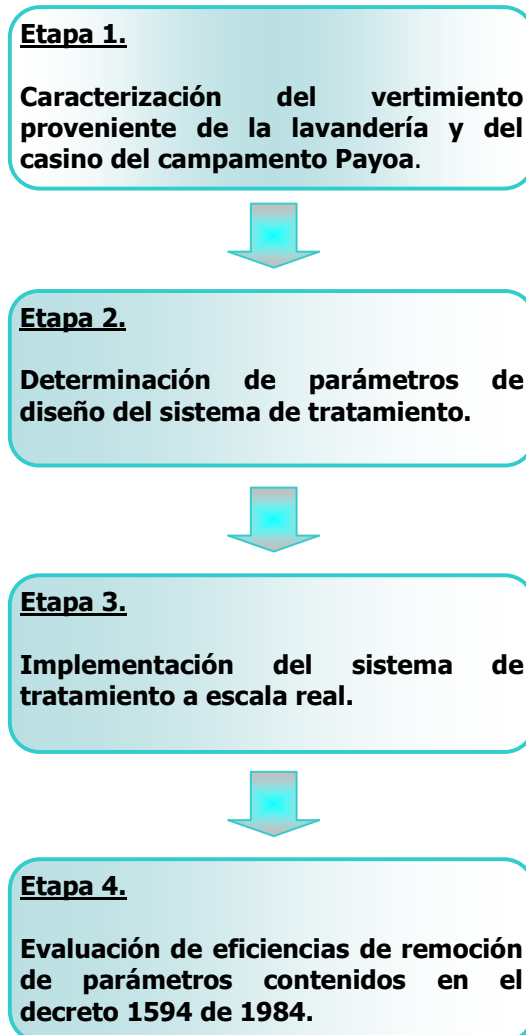
<sup>28</sup> BOCARDO, Op. cit. p. 34, 35

### **3 METODOLOGIA**

El proyecto se ejecutó en el campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc., el cual se encuentra ubicado en Sabana de Torres en el departamento de Santander.

La metodología comprendió 4 etapas como se observa en la figura 1. Para el diseño de los reactores a escala real, se inició con la caracterización físico-química del vertimiento proveniente de la lavandería y el casino de PetroSantander. Una vez determinada la composición físico-química del efluente de lavandería y del casino, se procedió a definir las variables para el diseño de los filtros, para el tratamiento de la totalidad del vertimiento generado. Posteriormente, se llevó a cabo la implementación de los reactores en inmediaciones de la PTAR del Campamento Payoa. Finalmente, se determinaron las eficiencias de remoción de parámetros físico-químicos contenidos en el decreto 1594 de 1984.

**Figura 1. Metodología Experimental**



**Fuente: El Autor.**

### **3.1 CARACTERIZACIÓN DEL VERTIMIENTO ACTUAL PROVENIENTE DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.**

La determinación del caudal promedio diario del vertimiento proveniente del casino y de la lavandería en el campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc, se llevó a cabo mediante el aforo horario del vertimiento durante los meses de Julio y Agosto del 2007. El procedimiento de muestreo consistió en la toma de muestras puntuales cada hora, determinando el caudal correspondiente. El método de aforo aplicado fue el volumétrico. Durante el periodo de aforo comprendido entre los meses de Julio y Agosto de 2007, se llevó a cabo la determinación in-situ de los siguientes parámetros: pH, Temperatura, Conductividad y Sólidos Disueltos. Para la determinación de Conductividad/Sólidos Disueltos Totales, se empleó el equipo de campo modelo ExStik<sup>®</sup> EC400 marca EXTECH Instruments. Para la determinación de pH y temperatura, se empleó el equipo de campo modelo ExStik<sup>®</sup> CL200<sub>A</sub> marca EXTECH Instruments (Ver figura 2).

**Figura 2. Equipos para la medición de pH, conductividad y sólidos disueltos**



**Fuente: Campo**

Adicionalmente, se realizaron dos jornadas de monitoreo, con el objeto de conocer la composición físico-química del efluente compuesto por los vertimientos provenientes de la lavandería y del casino. Para la realización de los monitoreos, se tomaron muestras puntuales cada hora y al final del periodo, se llevó a cabo la composición de las muestras. Los parámetros evaluados en las jornadas de monitoreo fueron los siguientes: Sólidos suspendidos, Sólidos Totales, Conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Alcalinidad, Dureza Total, Dureza Calcica, Acidez Total, Fósforo Total, Ortofosfatos, Detergentes y Grasas y Aceites. La determinación de los parámetros físico-químicos, se llevó a cabo en el Laboratorio Químico de Aguas Residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, el cual se encuentra acreditado bajo la norma ISO 17025, mediante la resolución 0184 del 3 de Agosto del 2005 y la resolución 0085 de Abril 4 de 2008. La determinación de los parámetros físico-químicos, se realizó siguiendo los métodos estipulados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Ver tabla 1).

**Tabla 1. Métodos estipulados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**

ANÁLISIS	UNIDADES	MÉTODO
DQO	MgO <sub>2</sub> /L	5220-B
DBO	Mg O <sub>2</sub> /L	5210-B
Sólidos suspendidos	Mg Sólidos suspendidos/ L	2540-D
Grasas & Aceites	Mg Gy A/L	5520-D
Detergentes	Mg LAS/L	5540-C
Conductividad	μS/Cm	2510- C
Sólidos Totales	Mg/Lsolidos totales	2540-D
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /L	2320-B

Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	2340-C
Dureza calcica	mgCaCO <sub>3</sub> /L	2340-C
Acidez total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	2340-D
Fósforo	mgP/L	4500-P-E
Ortofosfatos	mgPO <sub>4</sub> /L	4500P-E

---

**Fuente: AWWA, APHA. Standard Methods : For the examination of water and waste water. USA: Lenore S, 2005.**

### **3.2 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Con el objeto de establecer el dimensionamiento de las unidades de tratamiento, se determinaron las variables básicas de diseño, siendo estas: caudal, concentración de DBO<sub>5</sub> y tiempo de retención hidráulico. La determinación del tiempo de retención hidráulico, se llevó a cabo siguiendo lo estipulado en la tabla E.4.2 del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS<sup>29</sup> (Ver Tabla 2).

---

<sup>29</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS 2000.

**Tabla 2. Tiempos de retención hidráulico para diseño de filtros anaerobios**

Rango de la concentración orgánica del afluente al filtro anaerobio. Expresada en DBO <sub>5</sub> en mg/L	Rango del tiempo de retención hidráulico en el filtro anaerobio. Se expresa T <sub>min</sub> , T <sub>max</sub> , T <sub>d1</sub> y T <sub>d2</sub> . Donde el tiempo de diseño T <sub>d</sub> es igual a (T <sub>d1</sub> + T <sub>d2</sub> )/2. (horas)				Valores del coeficiente característico del sustrato en digestión, k, para un sustrato "típico" doméstico o municipal, correspondiente a los t expresados en la columna anterior			
	T <sub>min</sub>	T <sub>d1</sub>	T <sub>d2</sub>	T <sub>max</sub>	Para T <sub>min</sub>	Para T <sub>d1</sub>	Para T <sub>d2</sub>	Para T <sub>max</sub>
Minima: 50 Co (media): 65 Máxima: 80	3	4	6,5	12	1,4	1,5	1,6	1,8
Minima: 80 Co (media):190 Máxima: 300	2,5	4	6,5	12	1	1,1	1,3	1,7
Minima: 300 Co (media): 650 Máxima: 1000	2,5	4	6,5	12	1,4	1,6	1,8	2,1
Minima: 1000 Co (media): 3000 Máxima: 5000	3	6	8	12	1,7	1,9	2,1	2,5

**Fuente: Tabla E.4.2 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000.**

Para el cálculo del volumen útil de los filtros anaerobios, se empleó la ecuación 1.1

$$V = Q \cdot T \quad (1.1)$$

**Donde:**

V: volumen útil del medio de soporte, m<sup>3</sup>

Q: caudal de diseño de los filtros anaerobios, m<sup>3</sup>/h

T: tiempo de retención hidráulico, h

El dimensionamiento de las unidades de tratamiento, se llevó a cabo de acuerdo a lo estipulado en las normas técnicas para el diseño, construcción e instalación de tanques sépticos y disposición de efluentes finales<sup>30</sup>.

### **3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.**

<sup>30</sup> COLOMBIA. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Normas Técnicas para diseño, construcción e instalación de tanques sépticos y disposición de efluentes finales. p. 22-25.

Una vez definidos los parámetros de diseño de los filtros anaerobios, se procedió a su implementación en el campamento Payoa, en inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Los sistemas se diseñaron para operar en paralelo, por lo cual cada reactor, trató la mitad del caudal de diseño, permitiendo llevar a cabo la limpieza de los filtros, sacando uno de funcionamiento y el otro funcionando para la totalidad del caudal de diseño. Para el suministro del agua residual a los filtros anaerobios, se adecuó un pozo subterráneo, el cual recibe las aguas provenientes de la cocina y de la lavandería, y posteriormente se realiza el bombeo a los filtros.

### **3.4 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DE ACUERDO AL DECRETO 1594 DE 1984.**

Se llevó a cabo la determinación de la eficiencia de remoción de los siguientes parámetros físico-químicos: DBO, SS, Detergentes, pH, DQO, Fósforo Total, Grasas & Aceites, Alcalinidad Total, Dureza Total. Para la determinación de la eficiencia de los filtros anaerobios, se evaluaron parámetros fisicoquímicos en el afluente y en el efluente. Las muestras del afluente y del efluente de los filtros, se obtuvieron a lo largo de la jornada laboral.

Para el cálculo de las eficiencias de remoción de parámetros físico-químicos, se empleó la ecuación 1.2.

$$E = \frac{Co - Cf}{Co} * 100 \quad (1.2)$$

**Donde:**

E = eficiencia porcentual

Co = concentración en el afluente (ppm).

Cf = concentración en el efluente (ppm).

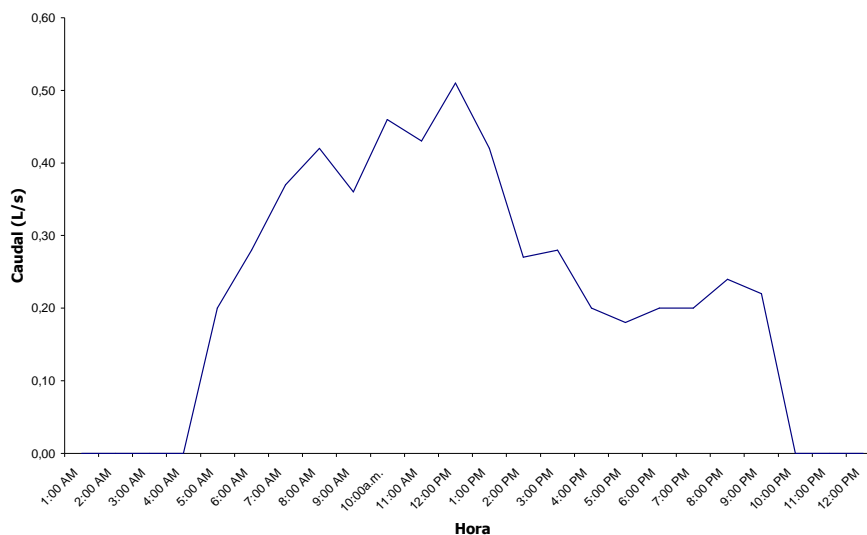
## **4 DATOS Y ANALISIS**

### **4.1 CARACTERIZACIÓN DEL VERTIMIENTO ACTUAL PROVENIENTE DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC**

La temperatura promedio de las aguas residuales de la lavandería y del casino, fue de 27,9°C. El pH promedio durante el periodo de aforo correspondió a 7,94 unidades de pH. La conductividad promedio reportó un valor de 972  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y la concentración promedio de sólidos disueltos fue de 583 ppm.

El caudal promedio diario se determinó en 0,22 L/s. Como caudal de diseño se adoptó el valor de 0,3 L/s, ya que el campo Payoa, no prevé incremento en la población. En caso de incrementarse la población trabajadora, se adecuará un nuevo campamento, lo que conlleva a la implementación de sistemas de tratamiento para aguas residuales domésticas y aguas grises. En la figura 3, se aprecia la gráfica que ilustra la variación horaria del caudal en el efluente de la lavandería y el casino de petrosantander, correspondiente al periodo de Julio y Agosto de 2007.

**Figura 3. Variación horaria del caudal de vertimiento de la lavandería y del casino**



**Fuente: Campo**

Como se observa en la figura 3, durante las primeras horas del día (12:00 am – 4:00 am), no se genera vertimiento proveniente de la sección de la lavandería y del casino. A partir de las 4:00 am, se genera vertimiento, procedente del inicio de lavado de ropas y de la preparación de alimentos en el casino. La figura 4, presenta un comportamiento ascendente entre las 4:00 am y las 8:00 am, periodo en el cual, se presenta la afluencia de personal al casino, además de las actividades de lavado en la sección de lavandería. A la 1:00 pm, se genera el pico del caudal (0,5 L/s), el cual coincide con el periodo de lavado de platos y trastes del almuerzo. A partir de la 1:00 pm, la gráfica tiene un comportamiento descendente hasta las 10:00 pm, periodo en el cual finalizan las actividades de lavado en el campamento Payoa.

En la tabla 3 y 4, se resumen los resultados obtenidos en la determinación de los parámetros físico-químicos en el efluente de la lavandería y del casino. Para el

muestreo, preservación y almacenamiento de las muestras, se siguió lo estipulado por el Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

**Tabla 3. Resultados del monitoreo realizado el 07 de Junio de 2007 al efluente de la lavandería y el casino**

ANÁLISIS	UNIDADES	VALOR	INCERTIDUMBRE	MÉTODO
DQO	Mg O <sub>2</sub> /L	1440	0,95	5220-B
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	560,6	3,5	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos suspendidos/ L	115	5	2540-D
Grasas & Aceites (9:00 am)	mg Gy A/L	36.8	----	5520-D
Grasas & Aceites (12:00 m)	mg Gy A/L	52.2	----	5520-D
Detergentes	Mg LAS/L	12.3	----	5540-C
Conductividad	μS/Cm	1525.0	----	2510- C

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**Tabla 4. Resultados del monitoreo realizado el 15 de Agosto de 2007 al efluente de la lavandería y el casino**

ANÁLISIS	UNIDADES	VALOR	INCERTIDUMBRE	MÉTODO
DQO	MgO <sub>2</sub> /L	1497.6	---	5220-B
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	561.0	---	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos suspendidos/ L	146.8	5.0	2540-D
Grasas & Aceites (10: 00 am)	mg Gy A/L	0.38	----	5520-D
Detergentes	Mg LAS/L	6.34	---	5540-C
Conductividad	μS/Cm	964.0	----	2510- C
Sólidos Totales	mg/Lsolidos totales	1928.0	----	2540-D
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /L	303.0	---	2320-B
Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	31.5	---	2340-C
Dureza calcica	mgCaCO <sub>3</sub> /L	19.10	---	2340-C
Acidez total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	24.2	---	2340-D
Fósforo	mgP/L	3.16	---	4500-P-E
Ortofosfatos	mgPO <sub>4</sub> /L	2.98	---	4500P-E

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

De acuerdo a los monitoreos realizados con el objeto de determinar la composición físico-química del efluente de la lavandería y del casino, se observó lo siguiente:

La DBO<sub>5</sub> del efluente de la lavandería y el casino, en promedio corresponde a 561 mg O<sub>2</sub>/L, encontrándose en el rango del DBO de aguas crudas (250 a 1.000 mg

$O_2/L$ )<sup>31</sup>. La DQO promedio en las muestras corresponde a 1.469 mg  $O_2/L$ , generando una relación entre DQO/DBO de 2,62 , valor que se encuentra por encima del valor reportado por la literatura para aguas residuales domésticas (1,2 y 2,5)<sup>32</sup>. En promedio, la concentración de sólidos suspendidos posee un valor de 131 mg/L, y los sólidos totales, posee un valor de 1.928 mg/L, por lo cual se deduce que la mayor concentración de sólidos, corresponde a sólidos disueltos, con un valor de 1.797 mg/L, valor que representa el material soluble, el cual usualmente requiere para su remoción oxidación biológica o coagulación y sedimentación<sup>33</sup>. La concentración de sólidos suspendidos se encuentra en el rango típico (200 mg/L) para aguas residuales domésticas, siendo este parámetro uno de los más importantes a la hora del diseño de filtros. En los muestreos realizados, se encontró una alta variabilidad en el valor de la concentración de grasas & aceites, siendo el valor en el primer muestreo, en el horario de las 9:00 am de 36,8 mg G y A/L y en la muestra de las 12:00 m, el valor asciende a 52,2 mg G y A/L. En el segundo monitoreo, se tomó la muestra puntual de grasas & aceites a las 10:00 am, registrando un valor de 0,38 mg G y A/L. Teniendo en cuenta, que el contenido normal de grasas & aceites en aguas residuales domésticas, puede ser del orden de 30 a 50 mg/L, se observa que las concentraciones de grasas y aceites, registradas para el efluente compuesto por las aguas residuales de la lavandería y del casino, se encuentra en el rango normal<sup>34</sup>. La variabilidad horaria de la concentración de grasas y aceites, está relacionada con los periodos de descarga de aguas residuales provenientes del casino, siendo mayor el aporte de grasas durante el mediodía, horario en el cual se presenta el lavado de platos y trastes.

---

<sup>31</sup> ROMERO, Op. cit., p. 55.

<sup>32</sup> ROMERO, Op. cit., p. 55.

<sup>33</sup> ROMERO, Op. cit., p. 68.

<sup>34</sup> ROMERO, Op. cit., p. 727.

La alcalinidad presentó un valor de 303 mg CaCO<sub>3</sub>/L, encontrándose por encima del valor común en aguas residuales (50 – 200 mg CaCO<sub>3</sub>/L), evidenciando un aporte de alcalinidad por el uso de detergentes en el área de lavandería. El pH usual del tratamiento anaerobio es 6,5 a 7,5; por ello, el sistema debe contener alcalinidad apropiada para proveer capacidad tampona adecuada para la producción de ácidos volátiles y CO<sub>2</sub> que se disolverán a la presión de operación., siendo la alcalinidad el estándar químico más importante para mantener condiciones estables en el proceso anaerobio.

La dureza total, reportó un valor de 31,5 mg/L, clasificando el grado de dureza del efluente de la lavandería y del casino en blanda y la dureza calcica reportó un valor de 19,10 mg/L, lo cual es favorable por que se evita la formación de precipitados y costras, cuando los iones causantes de la dureza reaccionan con el detergente, aumentando de esta manera los periodos de limpieza de las unidades de filtración<sup>35</sup>. La concentración de fósforo, se determinó en 3,16 mg P/L, encontrándose en el intervalo normal de concentración para aguas grises<sup>36</sup>. La concentración de ortofosfatos en las muestras analizadas corresponde a 2,98 mg P/L, encontrándose por debajo del valor típico registrado para un agua residual domestica típica (10 mg/L- P)<sup>37</sup>. De acuerdo a lo anterior, se evidencia la necesidad de tratamiento con el objeto de mejorar la calidad físico-química del efluente proveniente de la lavandería y del casino.

La determinación de detergentes en la muestra del vertimiento procedente de la lavandería y del casino, presentó resultados variables. Es así, como en la muestra tomada el 07 de Junio de 2007, el valor corresponde a 12,3 mg LAS/L. La muestra

---

<sup>35</sup> ROMERO, Op. cit., p. 23.

<sup>36</sup> ROMERO, Op. cit., p. 23.

<sup>37</sup> ROMERO, Op. cit., p. 23.

obtenida el 15 de Agosto de 2007, reportó un valor de 6,34 mg LAS/L. La variación en la concentración de detergentes, está ligada a las necesidades de lavado de ropas en la sección de lavandería, la cual se encuentra en función de la población de trabajadores que pernoctan en el campamento Payoa de PetroSantander.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es claro que el vertimiento compuesto por las aguas residuales de la lavandería y del casino de petrosantander, presentan viabilidad para su tratamiento por medio de filtros anaerobios de flujo ascendente.

#### **4.2 DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Una vez determinado el caudal de diseño de las unidades de tratamiento, el cual corresponde a 0,3 L/s y determinada la concentración afluente de DBO<sub>5</sub>, la cual corresponde a 561 mg/L O<sub>2</sub>, se procedió a determinar el tiempo de retención hidráulico en los filtros anaerobios. Para una concentración mínima de 300 mg/L de DBO, concentración media de 650 mg/L de DBO y una concentración máxima de 1.000 mg/L de DBO, se establece un tiempo mínimo de 2,5 horas, un tiempo de diseño de 5,25 horas y un tiempo máximo de 12 horas (Ver Tabla 1). Partiendo del caudal de diseño de las unidades de tratamiento (1,08 m<sup>3</sup>/h) y el tiempo de retención hidráulico (5,25 horas), se procedió a calcular el volumen útil de las unidades de tratamiento, para lo cual se empleó la ecuación 1.1.

$$V = Q \cdot T \quad (1.1)$$

$$V = 1,08 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5,25 \text{ horas}$$

$$V = 5,67 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta la porosidad de la grava empleada en los filtros anaerobios (48%), se requiere un volumen útil de medio de soporte de 11,8 m<sup>3</sup>.

#### **4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CASINO Y DE LA LAVANDERÍA EN EL CAMPAMENTO PAYOA DE PETROSANTANDER (COLOMBIA) INC.**

Una vez establecidos los parámetros de diseño de las unidades de tratamiento biológico, se procedió a su construcción. A continuación se describen las características principales del diseño hidráulico y estructural de los filtros anaerobios:

**4.3.1 Forma.** La forma de los reactores corresponde a tanques cuadrados, provistos de un volumen adicional para la acumulación de lodos (Ver figura 4). Los reactores, se construyeron en lámina de hierro

**Figura 4. Filtros anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales del casino y de la lavandería**



**Fuente: Campo**

**4.3.2 Dimensionamiento.** A continuación se describen las principales características de los filtros anaerobios:

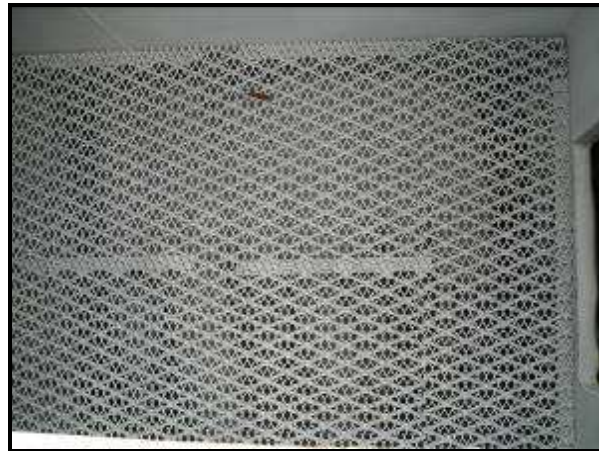
- Ancho Útil: 2,4 m.
- Largo Útil: 2,4 m.
- Altura lecho filtrante: 1 m.
- Altura Total: 1,80 m.
- Lecho filtrante: grava
- Diámetro de la grava: 40 a 80 mm.
- Altura sobre el borde del lecho filtrante: 0,30 m.
- Altura falso fondo: 0,30m.
- Altura de compartimiento para acumulación de biogas: 0,20 m.

Para mayores detalles, se puede observar los planos constructivos incluidos en el Anexo 1.

**4.3.3 Área superficial específica.** El área superficial específica de cada filtro anaerobio, corresponde a 5,76 m<sup>2</sup>.

**4.3.4 Falso Fondo.** Las unidades de tratamiento, poseen un volumen de 1,73 m<sup>3</sup> con el objeto de homogenizar el caudal afluyente a los filtros. La altura de la sección para homogenización del caudal corresponde a 0,30 m. Seguidamente, se encuentra un falso fondo, compuesto por malla y ángulos de hierro, con el objeto de soportar la grava, encargada de realizar la filtración del agua (Ver figuras 5, 6 y 7).

**Figura 5. Detalle de falso fondo de los filtros anaerobios**



**Fuente: Campo**

**Figura 6. Suministro del medio filtrante de los filtros anaerobios**



**Fuente: Campo**

**Figura 7. Medio filtrante de los filtros anaerobios**

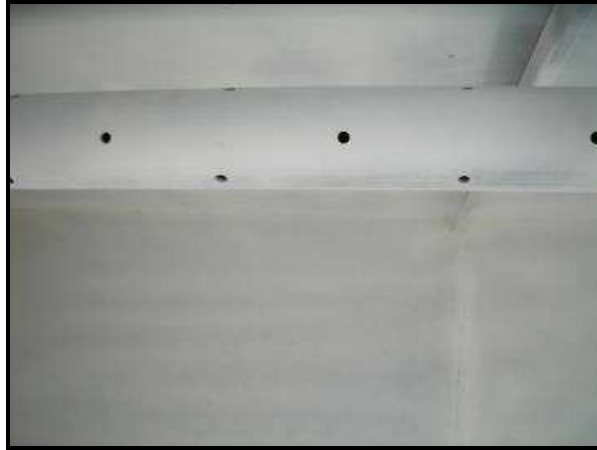


**Fuente: Campo**

**4.3.5 Dispositivo de entrada.** El sistema de entrada a los filtros anaerobios corresponde a tubería sanitaria PVC de diámetro 2”.

**4.3.6 Dispositivo de Salida.** El sistema de salida del efluente de los filtros anaerobios, corresponde a tubería sanitaria de diámetro 2” perforada a nivel longitudinal, con agujeros de  $\text{Ø} = \frac{1}{2}$ ”. El nivel del agua del efluente del filtro, mantiene una altura mínima sobre el lecho filtrante de 0,30 m. Adicionalmente se dejó un volumen de  $1,15 \text{ m}^3$ , entre la tubería del efluente y la parte superior de los filtros, para almacenar el biogas producto de la descomposición bioquímica de la materia orgánica (Ver ilustración 8 y 9).

**Figura 8. Detalle dispositivo de salida**



**Fuente: Campo**

**Figura 9. Detalle dispositivo de salida**



**Fuente: Campo**

**4.3.7 Carga Hidráulica Superficial.** La carga hidráulica superficial de cada filtro, corresponde a  $2,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ .

**4.3.8 Carga Orgánica Superficial.** La carga orgánica superficial para cada filtro, corresponde a 1,26 Kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>d.

**4.3.9 Manejo de Biogas.** En los filtros anaerobios, se instalaron tuberías de evacuación de Ø= 1/2", con el objeto de retirar el biogas producto de la descomposición bioquímica de la materia orgánica (Ver ilustración 10).

**Figura 10. Sistema para evacuación de biogas**



**Fuente: Campo**

**4.3.10 Sistema de bombeo.** El suministro de agua residual, es llevado a cabo por bombeo desde un tanque subterráneo de 33 m<sup>3</sup> (Ver figura 11), donde las aguas de la lavandería y del casino se almacenan. Para el bombeo del agua a los filtros, se adecuaron 2 bombas electrosumergibles de 2 HP, las cuales operan en alternancia. El montaje del sistema de succión para aguas grises, consiste en: 2 electrobombas sumergibles de 2.0 HP trifásicas de 220 voltios, succión en 1 1/2" y descarga en 2" de diámetro, capaz de entregar 180 LPM a 12 metros de altura, y transportar sólidos de un tamaño hasta 50 mm de diámetro, con una altura máxima de bombeo de 16 metros. El sistema posee un tablero de operación y control que permite a las bombas trabajar en forma alternada automática o en

forma manual según la necesidad. Las bombas utilizadas son marca PEDROLLO, bombas especialmente diseñadas para el bombeo de aguas negras.

**Figura 11. Tanque subterráneo para el bombeo de las aguas residuales provenientes del casino y la lavandería hacia los filtros anaerobios**



**Fuente: Campo**

En la tabla 5 se resumen los parámetros de diseño de los filtros anaerobios de flujo ascendente.

**Tabla 5. Parámetros de diseño de los filtros anaerobios de flujo ascendente**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
DBO afluente	380 – 560	mg O <sub>2</sub> /L
DQO afluente	1440 – 1500	mg O <sub>2</sub> /L
Tiempo de retención	5,25	Horas
Carga Orgánica superficial	1,26	Kg DBO/m <sup>3</sup> d
Carga Hidráulica superficial	2,25	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d
Altura medio filtrante	1	metros
Diámetro del medio filtrante	5	Centímetros
Velocidad de flujo	2,25	m/d
Temperatura de operación	27 – 29	°C

**Fuente: El Autor.**

#### **4.4 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DE ACUERDO AL DECRETO 1594 DE 1984**

Con el objeto de establecer la eficiencia de los filtros anaerobios, se procedió a evaluar la concentración de parámetros de acuerdo al decreto 1594 de 1984. El tiempo programado de arranque de los filtros anaerobios correspondió a 4 meses,

razón por la cual, se llevó a cabo un primer monitoreo a las 8 semanas de puesta en operación de los filtros, para evaluar las eficiencias de remoción. Un segundo monitoreo, se llevó a cabo a las 16 semanas de arranque de los filtros anaerobios. El primer monitoreo se realizó el día 07 de Febrero de 2008. Los parámetros evaluados fueron los siguientes: Demanda biológica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos (SS), Detergentes, pH y conductividad.

**Tabla 6. Resultados del monitoreo del 07 de Febrero de 2008 para el afluente**

ANÁLISIS	UNIDADES	VALOR	INCERTIDUMBRE	MÉTODO
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	386,6	3.5	5210-B
Sólidos Suspendidos	mg Sólidos suspendidos/ L	226,8	5	2540-D
pH	UNIDADES DE PH	7,64	----	4500H+B
Conductividad	μS/cm	473	----	2510-B
Detergentes	mg LAS/L	1,95	----	5540-C

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**Tabla 7. Resultados del monitoreo del 07 de Febrero de 2008 para el efluente**

ANÁLISIS	UNIDADES	VALOR	INCERTIDUMBRE	MÉTODO
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	183,2	3.5	5210-B
Sólidos Suspendidos	mg Sólidos suspendidos/ L	175	5	2540-D
pH	UNIDADES DE PH	7,12	----	4500H+B
Conductividad	μS/cm	513	----	2510-B
Detergentes	mg LAS/L	1,51	----	5540-C

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

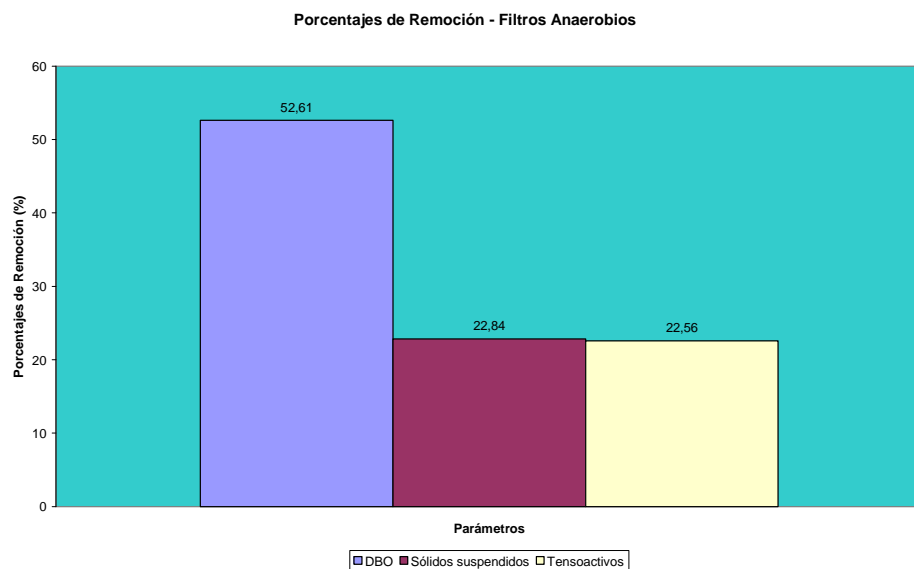
Los anteriores parámetros fueron determinados tanto en el afluente como en el efluente de los filtros. En las tablas 6 y 7 se aprecian los resultados obtenidos para las muestras del afluente y del efluente.

El monitoreo compuesto se realizó entre las 7:00 am y las 4:00 pm. El caudal durante el muestreo, correspondió a 0,27 L/s, tanto para el afluente como para el efluente. La temperatura de las muestras en el afluente en promedio registró un valor de 29 °C. La muestra del efluente, de igual manera al afluente, registro un valor promedio durante el muestreo de 29°C.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el monitoreo para el afluente y el efluente de la lavandería y del casino, se concluye lo siguiente:

Los sólidos suspendidos, reportaron una eficiencia de remoción del orden del 22,84%. El parámetro DBO<sub>5</sub>, reportó una eficiencia de remoción del 52,61%. El parámetro tensoactivos, reportó una eficiencia de remoción del 22,56% (Ver figura 12).

**Figura 12. Porcentajes de remoción monitoreo de Febrero 07 de 2008**



El día 08 de Abril de 2008, se llevó a cabo un segundo monitoreo, con el objeto de establecer las eficiencias de remoción de los siguientes parámetros físico-químicos: pH, conductividad, Grasas y Aceites, Alcalinidad total, Dureza total, Fósforo total, Tensoactivos, DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

La metodología para el desarrollo del monitoreo, fue la misma desarrollada para el monitoreo del 08 de Febrero de 2008.

Los resultados obtenidos para las muestras del afluente y del efluente, se incluyen en las tablas 8 y 9.

**Tabla 8. Resultados del monitoreo del 08 de Abril de 2008 para el afluente**

ANÁLISIS	UNIDADES	VALOR	INCERTIDUMBRE	MÉTODO
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	429	3.5	5210-B
DQO	Mg O <sub>2</sub> /L	736.9	---	5220-B
Sólidos Suspendidos	mg Sólidos suspendidos/ L	92.0	5	2540-D
pH	Unidades de pH	6.90	----	4500H+B
Conductividad	μS/cm	261.0	----	2510-B
Fósforo total	mg/l	2.16	----	4500P-E
Detergentes	mg LAS/L	1.89	----	5540-C
Grasas y aceites	mg/l	32.2	----	5520-B
Alcalinidad total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	342.2	----	2320-B
Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	11.0	----	2340-C

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno      **DQO:** Demanda Química de Oxígeno

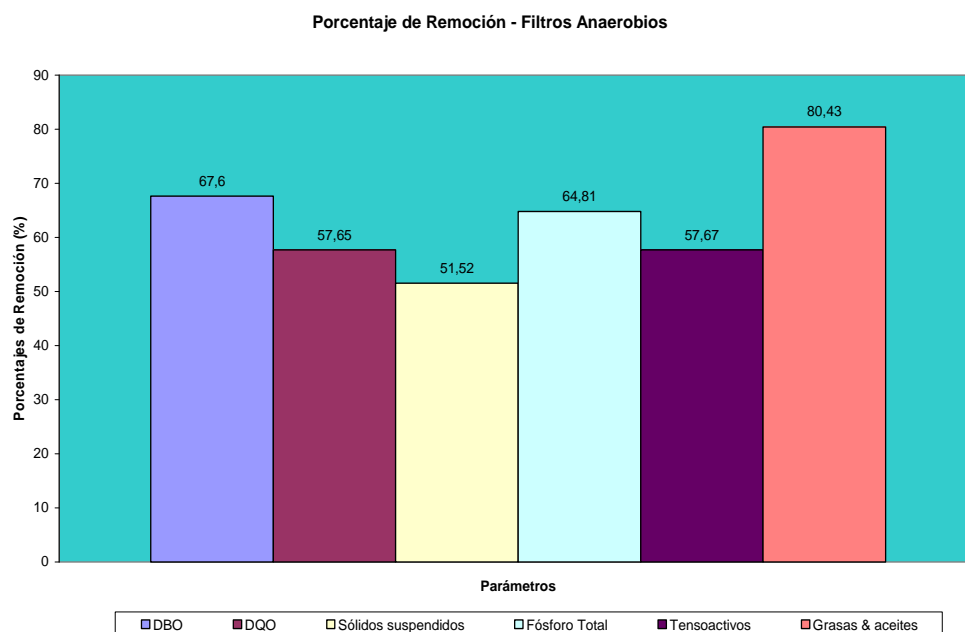
**Tabla 9. Resultados del monitoreo del 08 de Abril de 2008 para el efluente**

ANÁLISIS	UNIDADES	VALOR	INCERTIDUMBRE	MÉTODO
DBO <sub>5</sub>	Mg O <sub>2</sub> /L	139.0	3.5	5210-B
DQO	Mg O <sub>2</sub> /L	312.1	---	5220-B
Sólidos Suspendidos	mg Sólidos suspendidos/ L	44.6	5	2540-D
pH	UNIDADES DE PH	6.91	----	4500H+B
Conductividad	μS/cm	245.0	----	2510-B
Fósforo total	mg/l	0.76	----	4500P-E
Detergentes	mg LAS/L	0.80	----	5540-C
Grasas y aceites	mg/l	6.30	----	5520-B
Alcalinidad total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	274.0	----	2320-B
Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	12.0	----	2340-C

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno      **DQO:** Demanda Química de Oxígeno

De acuerdo a las tablas 8 y 9, se observa un porcentaje de remoción de DBO de 67.60%, 57.65 % para DQO, 51.52 % para Sólidos Suspendidos, 64.81% para fósforo total, 57.67% para Tensoactivos y 80.43% para Grasas & Aceites (Ver figura 13). El valor del parámetro pH, se mantuvo constante en la muestra del afluente y del efluente. El parámetro dureza, al igual que el pH, se mantiene aproximadamente constante. Adicionalmente, se observa un consumo de alcalinidad del 19,93%, probablemente para la neutralización de ácidos orgánicos, por ejemplo ácido propionico, butírico y valerico, así como ácido acético, generados por la hidrólisis de los compuestos orgánicos complejos (carbohidratos, lípidos y proteínas), lo cual puede indicar una biodegradación de la materia orgánica por la biopelícula formada en el medio de soporte fijo instalado en los filtros anaerobios.

**Figura 13. Porcentajes de remoción monitoreo de Abril 08 de 2008**



Al comparar los resultados obtenidos entre el muestreo del 08 de Abril de 2008 y el muestreo realizado el 07 de Febrero de 2008, se observó un aumento en la remoción de DBO de 15%, 28,68% para Sólidos Suspendidos y 35,11% para tensoactivos. Los anteriores resultados, pueden indicar la adaptación de los microorganismos nativos del efluente compuesto por las aguas residuales provenientes de la sección de lavandería y del casino, para la degradación de materia orgánica y tensoactivos.

La disminución en la concentración de tensoactivos, se puede atribuir por la combinación de fenómenos que pueden manifestarse en el reactor, como la biodegradación por la biopelícula formada en el medio de soporte, la adsorción y procesos físico-químicos.

Por otro lado, la disminución de fósforo, se debe probablemente a la captura de fósforo por las bacterias en forma de polifosfato, el cual es almacenado en forma de polifosfatos estabilizados con iones  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+}$ .

Se debe tener en cuenta que el efluente de los filtros anaerobios ingresa posteriormente al sistema de lodos activados de la PTAR del campamento Payoa, para completar el tratamiento. En los primeros cuatro meses de operación de los filtros anaerobios, se observó la ausencia de espumas en el compartimiento de aireación de la planta tipo lodos activados y la ausencia de olores ofensivos en el sistema. De esta manera, la implementación de los filtros anaerobios como sistema de pre-tratamiento para las aguas residuales generadas en la sección de la lavandería y del casino, permitió mejorar las condiciones de operación de la planta tipo lodos activados del campamento Payoa.

## 5 CONCLUSIONES

La caracterización físico-química del efluente del casino y de la lavandería, reportó concentraciones típicas para aguas residuales domésticas de parámetros como DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendidos, Grasas y Aceites, Tensoactivos y Fósforo, determinando la viabilidad técnica para el tratamiento mediante filtros anaerobios, empleando grava como medio de soporte.

Se construyeron dos filtros anaerobios de flujo ascendente, cada uno de un volumen de 10,4 m<sup>3</sup>, funcionando en paralelo, para el tratamiento del 100% de las aguas residuales generadas en el casino y la lavandería de PetroSantander. Para el suministro de las aguas residuales a los filtros anaerobios, se adecuó un pozo subterráneo y se instalaron dos bombas electrosumergibles.

Para un tiempo de retención hidráulico de 5,25 horas en los filtros anaerobios de flujo ascendente, se obtuvo una remoción de DBO de 67%, 58% de DQO, 52% de Sólidos Suspendidos, 80% para Grasas & Aceites y 65% para Fósforo total. Adicionalmente, se obtuvo una remoción del 58% para Tensoactivos, representando una alternativa técnicamente viable y económica para el tratamiento de detergentes en aguas residuales.

La implementación de filtros anaerobios como sistema de pre-tratamiento para las aguas residuales provenientes de la lavandería y del casino, permitió mejorar las condiciones de operación de la planta tipo lodos activados del campamento Payoa de PetroSantander (Colombia) Inc.

## **6 RECOMENDACIONES**

Llevar a cabo un estudio microbiológico de la biopelícula formada en el medio de soporte, con el objeto de obtener una cepa en condiciones de laboratorio y de esta manera proceder a la inoculación de los filtros anaerobios.

Establecer los porcentajes de remoción de DBO, Sólidos suspendidos, grasas y aceites, fósforo total y tensoactivos en función del material de soporte, empleando materiales de mayor porosidad, que a su vez permitan la construcción de filtros anaerobios de menores dimensiones.

## 7 BIBLIOGRAFIA

AHN, Johwan; SCHROEDER, Sarah; BEER, Michael; McILROY, Simon; BAYLY, Ronald; MAY, John; VASILADIS, George and SEVIOUR, Robert. Ecology of the Microbial Community Removing Phosphate from Wastewater under Continuously Aerobic Conditions in a Sequencing Batch Reactor. En :\_Applied Environmental Microbiology. Vol. 73, No.7 (apr. 2007); p. 2257-2270.

AWWA, APHA. Standard Methods : For the examination of water and waste water. USA: Lenore S, 1998.

ARNAIZ, Carmen; ISAC, Laura y LEBRATO, Julián. Tratamiento biológico de aguas residuales : eliminación de nutrientes. En : Tecnología del agua. No. 199 (abr. 2000); p. 32-36.

BOCARD, Juan Ramón; SANTILLANA, Julia y ALVAREZ, Esteban. Eliminación biológica del fósforo en aguas residuales. En: Tecnología del agua. No.186 (mar. 1999); p. 33-35.

COLOMBIA. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Normas Técnicas para diseño, construcción e instalación de tanques sépticos y disposición de efluentes finales. p. 22-25.

REPUBLICA DE COLOMBIA. Decreto 1594 de 1984.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS 2000.

FALOMIR, Luis; MOLINA, José; EGGÖY, Pernilla y POLO, José. Técnica de detección de polifosfatos intracelulares y cuantificación mediante análisis de imagen. En: Tecnología del agua. No. 253 (oct. 2004); p. 56, 57.

GARCIA, M; CAMPOS, E; ILLÁN, P; DALMAU, M y SÁNCHEZ, J. Estudio de la biodegradación anaerobia de homólogos e isómeros puros de alquilbenceno sulfonatos lineales (LAS) en digestores discontinuos. En : Tecnología del agua. No. 260 (may. 2005); p. 68, 75, 76.

LEE, Doojin; KIM, Moonil and CHUNG, Jinwook. Relationship between solid retention time and phosphorus removal in anaerobic- intermittent aeration process. En : Journal of bioscience and bioengineering. Vol. 103, No. 4 (jan. 2007); p.338, 339.

NOBURO, Takiguchi; MACHICO, Kishino; AKIO, Kuroda; KATO, Junichi and OHTAKE, Hisao. A laboratory- scale test of anaerobic digestion and methano production after phosphorus recovery from waste activated sludge. En : Journal of bioscience and bioengineering. Vol 97, No. 6 (mar. 2004); p.365 – 367.

ROMERO ROJAS, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales : teoría y principios de diseño. 4 ed. Santa Fe de Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. p.23, 55, 57, 58, 68, 140, 233 -238, 659, 706, 707, 727.

SAWYER, Clair; Mc CARTY, Perry y PARKIN, Gene. Química para Ingeniería Ambiental. 3 ed. USA : Mc Graw –Hill, 2001. p. 273-276.

SHIPENG, Lu; MINJEONG, Park; HYEON, Su ro; DAE, Sung Lee; WOOJUN, Park and CHE, Ok Jeon. Analysis of Microbial Communities Using Culture-dependent

and Culture-independent Approaches in an Anaerobic/Aerobic SBR Reactor. En: The Journal of Microbiology. Vol. 44, No.2 (apr. 2006); p. 156.

SUSIAL, Pedro; JATO, Iciar y LARRAÑAGA, Ignacio. Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales de lavanderías. En : Tecnología del agua. No. 277 (oct. 2006); p. 68, 69.

YUNHONG, Kong; JEPPE, Lund; PER, HALKJÆR . Identity and ecophysiology of uncultured actinobacterial polyphosphate- accumulating organisms in full-scale enhanced biological phosphorus removal plants. En : Applied and Environmental Microbiology. Vol. 71, No.7 (jul. 2005); p. 4076.

VARO, P; RODRÍGUEZ, M; PRATS, D; MORENO, A; FERRER, J y BERNA, J. Comportamiento de los jabones en el medio ambiente. En : Tecnología del agua. No. 225 (jun. 2002); p. 36,37

# **ANEXOS**



## ANEXO 2.

### RESULTADOS DEL MONITOREO REALIZADO EL 7 DE JUNIO DE 2007



ACREDITADO ISO 17025 RESOLUCION 0184 DE 2005

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01
--


DESCRIPCION DE LA MUESTRA
---------------------------

CLIENTE: PETROSANTANDER
CODIGO: 131
FUENTE: AGUA DE LAVADO
FECHA DE INGRESO: 07-06-07
FECHA DE REPORTE: 10-07-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR		METODO
		131	Incertidumbre	
DQO	mg O <sub>2</sub> / L	1440.0	0.95	5220B
DBO	mg O <sub>2</sub> / L	560.6	3.5	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	115.0	5	2540D
Grasas y aceites 9:00am	mg Gy A/L	36.8	----	5820D
Grasas y aceites 12:00m	mg Gy A/L	52.2	----	5520D
Detergentes	mg LAS/L	12.3	----	5540C
Conductividad	µS/Cm	1525.0	----	2510-C
TPH	mg/l	12.1	----	SM5520-F

DQO: Demanda Química de Oxígeno    DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno    ND: No Detectable

  
**CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE**  
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

  
 UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
 BUCARAMANGA  
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO  
 DE AGUAS RESIDUALES  
 ACREDITADO ISO 17025

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales".

Campus Universitario: Autopista a Piedecuesta Km 7. Bucaramanga - Santander - Colombia  
 PBX: (57-7) 679 6220 - Fax: (57-7) 679 6221 - A.A. 2932 - Sitio web: www.upbga.edu.co

### ANEXO 3.

## RESULTADOS DEL MONITOREO REALIZADO EL 15 DE AGOSTO DE 2007



ACREDITADO ISO 17025 RESOLUCION 0184 DE 2005

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES  
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA

CLIENTE: PETROSANTANDER  
 CODIGO: 260  
 FUENTE: LAVANDERIA CAMPAMENTO PAYOA  
 FECHA DE RECEPCION: 15-08-07  
 FECHA DE REPORTE: 26-09-07

ANALISIS	UNIDADES	VALOR			METODO
		250	Incertidumbre	Límite máximo Decreto 1594/84	
Solidos Suspendidos	mg/Lsolidos suspendidos	146.8	5.0	---	2540-D
Solidos Totales	mg/Lsolidos totales	1928.0	---	---	2540-D
Conductividad	µS/ Cm	964.0	---	---	2510-B
DBO	mgO <sub>2</sub> /L	561.0	---	---	5210-B
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	1497.6	---	---	5220-B
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /L	303.0	---	---	2320-B
Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	31.5	---	---	2340-C
Dureza calcica	mgCaCO <sub>3</sub> /L	19.10	---	---	2340-C
Acidez total	mgCaCO <sub>3</sub> /L	24.2	---	---	2340-D
Fosforo	mgPO <sub>4</sub> /L	3.16	---	---	4500-P-E
Ortofosfatos	mgP/L	2.98	---	---	4500-P-E
Calcio	mg Ca/L	1.089	---	---	3500-Ca
Detergentes	mg Fe/L	6.34	---	---	5840-C
Grasas y aceites	mg Gy/L	0.38	---	---	5520-D

ND: No Detectable

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
 SECCIONAL BUCARAMANGA  
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES  
 CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE  
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales".

## ANEXO 4.

# RESULTADOS DEL MONITOREO DEL 07 DE FEBRERO DE 2008 PARA EL AFLUENTE Y EFLUENTE



ACREDITADO ISO 17025 RESOLUCION 0184 DE 2005

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA
---------------------------

CLIENTE: PETROSANTANDER	CLIENTE: PETROSANTANDER
CODIGO: 14	CODIGO: 15
FUENTE: AFLUENTE LAVANDERIA	FUENTE: EFLUENTE LAVANDERIA
FECHA DE RECEPCION: 07-02-08	FECHA DE RECEPCION: 07-02-08
FECHA DE REPORTE: 18-02-08	FECHA DE REPORTE: 18-02-08

ANALISIS	UNIDADES	VALOR			METODO
		14	15	Incertidumbre	
DBO	mg O <sub>2</sub> / L	386.6	183.2	3.5	5210-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	226.8	175.0	5	2540-D
Detergentes	mg LAS/L	1.95	1.51	----	5540-C
pH	UNIDADES DE PH	7.64	7.12	----	4500H-B
Conductividad	µS/cm	473.0	513.0	----	2510-B

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno ND: No Detectable

  
**CLAUDIA SOFIA QUINTERO DUQUE**  
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
 BUCARAMANGA  
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO  
 DE AGUAS RESIDUALES  
 ACREDITADO ISO 17025

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales".

**ANEXO 5.**  
**RESULTADOS DEL MONITOREO DEL 08 DE ABRIL DE 2008 PARA EL**  
**AFLUENTE Y EFLUENTE**



ACREDITADO ISO 17025 RESOLUCION 0184 DE 2005

LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES
REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO F-5.10-01

DESCRIPCION DE LA MUESTRA
---------------------------

CLIENTE: PETROSANTANDER CODIGO: 110 FUENTE: AFLUENTE LAVANDERIA FECHA DE RECEPCION: 09-04-08 FECHA DE REPORTE: 22-04-08	CLIENTE: PETROSANTANDER CODIGO: 111 FUENTE: EFLUENTE LAVANDERIA FECHA DE RECEPCION: 09-04-08 FECHA DE REPORTE: 22-04-08
---	---

ANALISIS	UNIDADES	VALOR			METODO
		110	111	Incertidumbre	
DBO	mg O <sub>2</sub> / L	429.0	139.0	3.5	5210-B
DQO	mg O <sub>2</sub> / L	736.9	312.1	---	5220-B
Sólidos suspendidos	mg Sólidos susp / L	92.0	44.6	5	2510-D
pH	UNIDADES DE PH	6.90	6.91	---	4500-B
Conductividad	µS/cm	261.0	245.0	---	2510-B
Fosforo total	mg/l	2.16	0.76	---	4500-F
Detergentes	mg LAS/L	1.89	0.30	---	5510-C
Grasas y aceites	mg/l	32.2	6.30	---	5520-B
Alcalinidad total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	342.2	274.0	---	2320-B
Dureza total	mgCaCO <sub>3</sub> /l	1110	12.0	---	2340-C

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno ND: No Detectable

  
**CLAUDIA SOFÍA QUINTERO DUQUE**  
 Coordinadora Laboratorio de Aguas Residuales

  
 UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
 BUCARAMANGA  
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO  
 DE AGUAS RESIDUALES  
 ACREDITADO ISO 17025

"Los resultados reportados corresponden unicamente a las muestras analizadas"  
 "El contenido del reporte no se puede reproducir parcialmente solo en forma total previa autorización del Laboratorio de Aguas Residuales".

SEDE MEDELLÍN Campus de Laureles Circular 1ª N° 70-01 / Teléfono: (057) (4) 4159015 / Fax (057) (4) 2502080 / Apartado aéreo 56006 / E-mail: comrelp@upb.edu.co  
 SECCIONAL BUCARAMANGA Autopista Piedecuesta Km. 7 / Teléfono: (057) (7) 6796220 / Fax (057) (7) 6796221 / E-mail: info@upbga.edu.co  
 SECCIONAL MONTERIA Km. 8 Vía Coreté, Antiguo Colegio de la Presentación / Teléfono: (057) (4) 7860146 / Fax: (057) (4) 7860912 / E-mail: crelinter@upbmonteria.edu.co  
 SECCIONAL PALMIRA Seminario Cristo Sacerdote, Km. 1- Vía Tienda Nueva / Teléfono: (057) (2) 2702545 / Fax: (057) (2) 2723121 / E-mail: upbpalmira@upb.edu.co  
 www.upb.edu.co / Colombia - Suramérica

