

TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES CON ALTOS CONTENIDOS DE  
TENSOACTIVOS ANIONICOS EN EL LABORATORIO CONOSER LTDA.

JEIFFER DANIEL PINTO MONJE

UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
2015

TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES CON ALTOS CONTENIDOS DE  
TENSOACTIVOS ANIONICOS EN EL LABORATORIO CONOSER LTDA.

Jeiffer Daniel Pinto Monje

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental

Asesor

Catalina Hernández Gómez

UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.  
2015

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C., Mayo de 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

El primer agradecimiento es para Dios por brindar esa fuerza espiritual necesaria para culminar esta etapa.

A mis padres Sandra Monje Pérez y German Pinto Cifuentes por su paciencia, cariño y apoyo incondicional en todo momento para la culminación de mi carrera.

A July Camacho por su paciencia, comprensión y ayuda en los momentos más difíciles de la carrera.

A mis familiares, amigos y compañeros que durante toda la vida han creído en mis capacidades.

A Guillermo Sarmiento, gerente del laboratorio CONOSER Ltda. quien en los últimos años me ha dado la oportunidad de trabajar dentro de su laboratorio y quien es la persona que me dio la oportunidad de realizar el periodo de pasantía.

A Andrea Arce, Coordinadora de calidad del laboratorio CONOSER Ltda. quien con su experiencia, paciencia y conocimientos me brindo las herramientas fundamentales para la realización de este proyecto.

En fin, a todas las personas que de una u otra forma han intervenido de manera positiva para que día a día crezca como persona y como profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	12
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>16</b>
5.1 MARCO TEÓRICO .....	16
5.1.1 Laboratorio Conoser Ltda.....	16
5.1.2 Características de los tensoactivos en el agua .....	17
5.1.3 Tensoactivos y su clasificación .....	18
5.1.4 Biodegradabilidad.....	20
5.1.5 Tratamiento de Tensoactivos en aguas residuales .....	21
5.2 MARCO LEGAL.....	28
<b>6. TIPO DE INVESTIGACION.....</b>	<b>29</b>
<b>7. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>30</b>
7.1 FUENTES PRIMARIAS .....	30
7.2 FUENTES SECUNDARIAS .....	31
<b>8. RECURSOS .....</b>	<b>32</b>
8.1 RECURSOS HUMANOS .....	32
8.2 RECURSOS FÍSICOS .....	32
<b>9. CRONOGRAMA .....</b>	<b>34</b>
<b>10. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>35</b>
10.1 MATERIALES Y REACTIVOS.....	35
10.1.1 Materiales.....	35
10.1.2 Reactivos .....	35

10.2	VARIABLES.....	36
10.2.1	Tiempo.....	36
10.2.2	Temperatura.....	37
10.2.3	Aireación.....	37
10.3	ORIGEN DE LA CEPA.....	37
10.4	METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA.....	37
10.4.1	Origen del agua residual.....	37
10.4.2	Determinación inicial de la concentración de SAAM.....	38
10.5	TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	46
10.6	PRUEBA DE EFECTIVIDAD DEL QUÍMICO PARA TRATABILIDAD.....	47
10.7	DETERMINACIÓN DEL QUÍMICO PARA TRATABILIDAD.....	48
10.8	DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN DE SAAM.....	48
10.9	COMIENZO DEL TRATAMIENTO QUIMICO.....	49
10.10	SEGUIMIENTO AL TRATAMIENTO QUÍMICO.....	49
10.11	PRUEBA DE COLIFORMES TOTALES.....	50
10.12	REUTILIZACIÓN DEL AGUA.....	50
<b>11.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
11.1	RESULTADOS DE LA PRUEBA BIOLÓGICA.....	52
11.2	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DEL QUÍMICO.....	52
11.3	RESULTADOS GENERALES DE LA TRATABILIDAD.....	53
11.4	RESULTADOS DE LA PRUEBA MICROBIOLÓGICA.....	53
<b>12.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
12.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRUEBA BIOLÓGICA.....	54
12.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DEL QUÍMICO.....	56
12.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS GENERALES DE LA TRATABILIDAD.....	58
12.4	ANALISIS DE RESULTADOS DE LA PRUEBA MICROBIOLOGICA.....	60
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>14.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
	BIBLIOGRAFÍA.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Laboratorio Conoser Ltda. (Google).....	17
Figura 2: Proceso de Tratamiento Aeróbico. ....	22
Figura 3: Recolección del agua residual. ....	37
Figura 4: Diluciones de los productos. ....	38
Figura 5: Codificación de agua residual.....	38
Figura 6: Calibración del espectrofotómetro. ....	39
Figura 7: (A) Muestra, (B) blanco y (C) estándar. ....	39
Figura 8: Adición de la muestra al embudo de separación .....	40
Figura 9: Proceso de titulación con NaOH 1N. (A) Adición de fenolftaleína. (B) Titulación (C) coloración de la muestra.....	40
Figura 10: (A) Adición de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1N. (B) Eliminación de la coloración. ....	41
Figura 11: (A) Cloroformo. (B) Adición cloroformo. (C) Adición de Azul de Metileno. ....	41
Figura 12: Agitación de la muestra .....	41
Figura 13: Separación de fases. ....	42
Figura 14: Drenaje de fases al siguiente embudo.....	42
Figura 15: Adición de cloroformo al embudo para extracción. ....	42
Figura 16: (A) y (B) Adición de la solución lavadora. (C) Agitación de la muestra. ....	43
Figura 17: Drenaje de la muestra.....	43
Figura 18: (A) y (B) Aforo con cloroformo. (C) Muestras aforadas para lectura de concentración de SAAM. ....	43
Figura 19: Lecturas en el espectrofotómetro. ....	44
Figura 20: Diagrama del procedimiento para determinación de surfactantes aniónicos.....	45
Figura 21: Cepa Río Fucha.....	46
Figura 22: Secuencia de Inoculación de microorganismos.....	46

Figura 23: Secuencia de adición de nutrientes. ....	47
Figura 24: Inyección de oxígeno a la muestra. (A) muestra. (B) Aireador. ....	47
Figura 25: Tratamiento químico. (A) Cloruro Férrico. (B) Hipoclorito de Sodio. (C) Alumbre. (D) Peróxido de Hidrógeno. ....	48
Figura 26: (A) Hipoclorito de sodio al 16% (NaClO) (B) y (C) Dosificación. ....	49
Figura 27: Neutralización de la muestra. ....	49
Figura 28: Muestras para realizar análisis de coliformes totales. ....	50
Figura 29: Diagrama de flujo de la metodología utilizada. ....	51
Figura 30: Evolución de la degradación de LAS en función del oxígeno disuelto en el tanque de aireación. ....	55
Figura 31: Utilización del agua tratada en las instalaciones del laboratorio Conoser Ltda. ....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativo entre ABS y LAS.....	18
Tabla 2: Recursos Humanos utilizados en el periodo de pasantías.....	32
Tabla 3: Recursos físicos utilizados en el periodo de pasantías.....	32
Tabla 4: Intervalos de tiempo en cada prueba.....	36
Tabla 5: Dosificación para la evaluación de efectividad del químico. ....	48
Tabla 6: Prueba de efectividad del químico. ....	52
Tabla 7: Resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el agua. ....	53
Tabla 8: Posibles variables influyentes en la ineficiencia del tratamiento. ....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Porcentajes de remoción por cada químico. ....	56
Gráfica 2: Concentración de SAAM de la muestra.....	58
Gráfica 3: Porcentaje de remoción de cada prueba en función de la prueba anterior.....	59
Gráfica 4: Porcentaje de remoción en cada prueba respecto a la concentración inicial de SAAM.....	60

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día las organizaciones deben acatar con importancia la responsabilidad social empresarial la cual abarca el cumplimiento de la legislación ambiental vigente exigida por las autoridades ambientales, de ésta forma fue posible desarrollar este informe enfocado en el mejoramiento continuo de la organización en el aspecto ambiental, con la implementación de un sistema de tratamiento físico, químico y microbiológico de las aguas residuales generadas por el laboratorio CONOSER Ltda., con altos contenidos de tensoactivos aniónicos, proyecto desarrollado durante el periodo de pasantías comprendido en un tiempo de novecientas horas, en las cuales fue posible desarrollar pruebas de tratamiento a las aguas residuales a diferentes muestras por medio de la utilización de distintos compuestos químicos para finalmente, determinar cuál de los compuestos utilizados era el más efectivo para minimizar las concentraciones de tensoactivos aniónicos en el agua a tratar.

La realización de esta pasantía permitió al laboratorio analizar diferentes opciones de disposición final de sus residuos líquidos, mediante el tratamiento de los mismos ya sea con el fin de verter el agua a la red de alcantarillado cumpliendo con lo exigido por la legislación vigente o reutilizando el agua dentro del laboratorio, así mismo se ayudó al laboratorio a generar un mayor compromiso ambiental cuando se desarrollan sus actividades.

## **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Para la realización del presente informe de pasantía se tomaron en cuenta los dos principales problemas que generan aguas residuales con altos contenidos de tensoactivos aniónicos generados por el laboratorio de Conoser Ltda.

El primer problema está en el aspecto económico, ya que actualmente la empresa paga para disponer las aguas residuales con estas características; y el otro es el aspecto ambiental, ya que uno de los principales problemas al verter aguas residuales con altos contenidos de tensoactivos aniónicos en los cuerpos de agua es que generan espuma que reduce la penetración de la radiación solar y por ende los cuerpos de agua se volverán sistemas acuáticos eutróficos (Vigo S. , 2013).

De acuerdo con lo anterior, es apropiado decir que el problema en el aspecto ambiental es alto, puesto que el laboratorio genera un caudal aproximado de 300 Lt/año, los cuales alteran las condiciones físico químicas de los cuerpos receptores a los cuales se disponen este tipo de aguas y que sin un tratamiento previo alteran considerablemente las condiciones naturales de los cuerpos de agua, debido a que las concentraciones de tensoactivos aniónicos en las aguas generadas son altas, perjudicando a la biota presente e incrementando los niveles de contaminación (Vigo S. , 2013).

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es factible realizar la tratabilidad de aguas residuales producidas en el laboratorio CONOSER Ltda., con altos contenidos de tensoactivos aniónicos (>900mg/L), con el fin de reducir la concentración a lo exigido por la normatividad vigente (<10mg/L) y de esta manera poder verter el agua residual o reutilizarla dentro de las instalaciones?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar tratamiento a las aguas residuales del laboratorio Conoser Ltda., con concentraciones altas de tensoactivos aniónicos, con el fin de reducir la concentración de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) a menos de 10mg/L de acuerdo con lo exigido en la legislación vigente, Resolución 3957 de 2009 y de esta manera, determinar la factibilidad de implementar un sistema que permita reutilizar las aguas residuales tratadas y/o verterlas al sistema de alcantarillado.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar el tratamiento, ya sea químico, físico y/o biológico más óptimo en la reducción de la concentración del contaminante, para tratar las aguas residuales generadas en el laboratorio CONOSER Ltda.
- Realizar diferentes pruebas a las aguas residuales con concentraciones altas de tensoactivos aniónicos que permitan evidenciar el porcentaje de remoción de la concentración de SAAM.
- Implementar una metodología efectiva que asegure la disminución de la concentración de SAAM, permitiendo de esta manera el cumplimiento de la legislación vigente, con el fin de tomar decisiones que permitan una adecuada disposición final y/o reutilización del agua residual generada.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El propósito fundamental al realizar la pasantía en el Laboratorio CONOSER Ltda., fue implementar y realizar un sistema de tratamiento para aguas residuales con altas concentraciones de tensoactivos aniónicos, con el fin de dar solución al problema ambiental que se presenta con la generación de residuos líquidos por parte del laboratorio, puesto que este genera aguas residuales que por sus altas concentraciones de tensoactivos aniónicos no pueden ser vertidas ni tampoco reutilizadas dentro de las instalaciones, por lo cual se hace necesario contar con una entidad externa para la disposición final a estas aguas. Así mismo, se busca dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente y así minimizar los costos producidos por la disposición final de las aguas residuales en el laboratorio, maximizando el aprovechamiento y/o reuso de las aguas tratadas al interior de CONOSER Ltda.

Posteriormente, la realización de la pasantía tuvo como enfoque la importancia de llevar a cabo una gestión ambiental adecuada y sostenible para el laboratorio, que garantice el cumplimiento de la legislación vigente, asegurando unas mejores prácticas ambientales, para así minimizar los impactos que con anterioridad se estaban presentando en el laboratorio por la disposición final de las aguas residuales.

#### **4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Dentro del desarrollo de la pasantía, el punto final del proceso se limita a la reutilización del agua residual dentro del laboratorio CONOSER Ltda., o a verter la misma al alcantarillado, mediante la implementación de un sistema que permita realizar el tratamiento de las aguas residuales con altos contenidos de tensoactivos aniónicos que se generan dentro del laboratorio.

## 5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1 MARCO TEÓRICO

#### 5.1.1 Laboratorio Conoser Ltda.

Es una empresa fundada en 1994, dedicada a la consultoría en aspectos relacionados con medio ambiente y ha tenido como clientes a diferentes empresas tanto del sector público como privado. Cuenta en su personal con ingenieros, químicos, tecnólogos, administradores y personal de apoyo externo que le permiten realizar labores de consultoría ambiental, labores de campo y análisis fisicoquímicos de agua, suelos y residuos peligrosos (Conoser Ltda).

Los principales servicios que brinda el laboratorio son:

- **Control de calidad de aguas/residuos sólidos:** Conoser Ltda., realiza el control de calidad de aguas/residuos que incluyen aforo, muestreo, análisis de campo en industrias, en lagos, humedales y corrientes superficiales.
- **Control de contaminación de aguas/suelos:** Conoser Ltda., realiza planes de manejo ambiental, evaluación de pasivos ambientales y mitigación de la contaminación en industrias.
- **Caracterización y Análisis:** Conoser Ltda. dispone de un laboratorio en el cual se han caracterizado más de 40.000 muestras en desarrollo de sus diversas labores de consultoría ambiental.
- **Consultoría:** Conoser Ltda., ofrece servicios ambientales y servicios de laboratorio en temas relacionados con tratamiento de agua potable, y manejo ambiental de aguas, residuos y suelos. Para ello se rige por las normas establecidas por el IDEAM.
- **Control de Calidad:** Conoser Ltda. Cuenta con la certificación en la norma ISO 9001:2008 para las actividades de muestreo de aguas, residuos sólidos, aire y mediciones de ruido, análisis fisicoquímico y bacteriológico de aguas.
- **Control de calidad:** Conoser Ltda., tiene la acreditación del IDEAM (NTC 17025:2005) para la realización de ciertos análisis físicos, químicos y muestreos en aguas y residuos.

### 5.1.1.1 Ubicación de las instalaciones del laboratorio Conoser Ltda.

El laboratorio Conoser Ltda se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, Localidad de Barrios Unidos, Barrio Alcázares en la dirección Carrera 27B N° 70-10.

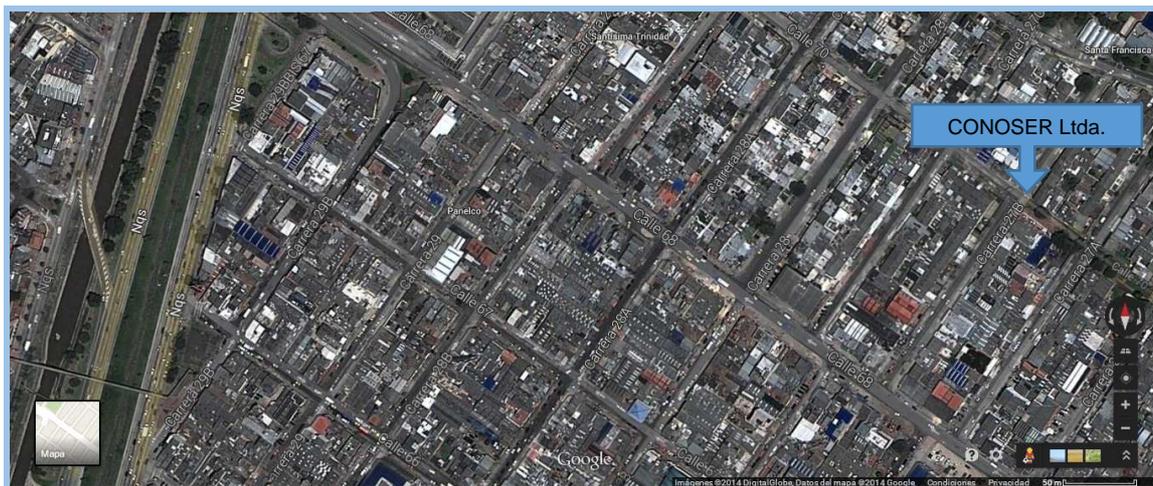


Figura 1: Ubicación del Laboratorio Conoser Ltda. (Google)

## 5.1.2 Características de los tensoactivos en el agua

### 5.1.2.1 Detergentes

Los detergentes son compuestos de materiales orgánicos superficialmente activos en soluciones acuosas y son sustancias usadas para la limpieza. Las moléculas de los compuestos superficialmente activos son grandes, un extremo de la molécula muy soluble en agua y el otro soluble en aceites; generalmente se usan como sales de sodio o de potasio. Los detergentes, en el agua, alteran su tensión superficial y permiten la formación de burbujas estables en el aire, debido a su contenido de agentes superficiales activos o surfactantes, sustancias que combinan en una sola molécula un grupo fuertemente hidrofóbico con uno fuertemente hidrofílico. El grupo hidrofóbico es, generalmente, un radical hidrocarburo de 10 a 20 átomos de carbono, no polar. El grupo hidrofílico polar, es de dos tipos: el que se ioniza en el agua y el que no lo hace. Esto origina los detergentes catiónicos y aniónicos así como los no iónicos o híbridos (Romero, 1996).

Cuando los detergentes forman espuma en el medio acuático genera una capa superficial, esta capa no sólo afecta estéticamente el paisaje sino que altera los procesos termodinámicos entre el aire y el sistema acuático, lo cual genera demanda de oxígeno y por ende eutrofización (Vigo S. , 2013).

### 5.1.3 Tensoactivos y su clasificación

Los tensoactivos también denominados surfactantes o agentes de superficie son moléculas anfifílicas, las cuales contienen una parte hidrófila, es decir, que tienen afinidad por el agua y otra parte lipófila que tiene afinidad por el aceite, estas moléculas por su naturaleza, causan una disminución en la tensión superficial del agua (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2002).

Los tensoactivos, de acuerdo con sus características se clasifican en:

#### 5.1.3.1 Tensoactivos Aniónicos

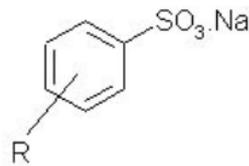
Los tensoactivos aniónicos son sales de sodio que al ionizarse producen iones positivos (sodio  $\text{Na}^+$ ) y negativos (surfactante activo). Los más comunes son el sulfonato de alquil benceno (ABS) y el sulfonato de alquilo lineal (LAS), que se diferencian por su configuración molecular, biodegradabilidad y toxicidad. En la tabla 1 se realiza la comparación entre estos dos tensoactivos (Carvajal, 2011):

**Tabla 1:** Comparativo entre ABS y LAS.

<b>Sulfonato de Alquil Benceno (ABS)</b>	<b>Sulfonato de Alquilo Lineal (LAS)</b>
Posee una estructura molecular ramificada	Posee estructura lineal
Poco biodegradable	Mayormente biodegradable
Muy tóxico	Muy tóxico

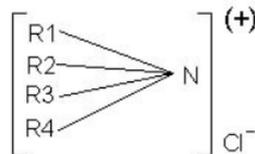
En 1965 se sustituyó oficialmente el ABS por detergentes de cadena lineal como el LAS, debido a su mayor biodegradabilidad (Carvajal, 2011).

Los resultados de la determinación de la concentración de detergentes se reportan como Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), expresadas como Sulfonato de Alquilo Lineal (LAS), ya que en la actualidad este es el detergente más utilizado. Representantes de este grupo son derivados del ión sulfato o de sulfonatos como es el dodecil sulfato de sodio o dodecil bencen sulfonato de sodio, su fórmula química es:



### 5.1.3.2 Tensoactivos catiónicos

Estos tensoactivos son compuestos cuaternarios de amonio o una amina grasa en medio ácido, forman iones cuando se encuentran en soluciones, cargando positivamente el grupo hidrófobo de la molécula, su fórmula química se muestra a continuación (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2002):



Los tensoactivos catiónicos más comunes se denominan sales cuaternarias de amonio porque tienen cuatro grupos unidos a un átomo de nitrógeno que tiene carga positiva. Ejemplos de estos es el cloruro de hexadeciltrimetilamonio. Estos tensoactivos no se consideran buenos detergentes, en ocasiones son combinados con tensoactivos no iónicos para formar limpiadores y desinfectantes usados en las industrias de alimentos y productos lácteos.

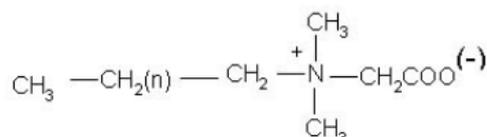
Esta clase de tensoactivos por lo general no se mezclan con los tensoactivos aniónicos, ya que los iones con carga opuesta tienden a unirse y se precipitan en la solución y destruyen la acción detergente de los dos. De todas las clases de tensoactivos, los catiónicos representan aproximadamente el 10% (Hill & Kolb, 1999).

### 5.1.3.3 Tensoactivos anfóteros o anfotéricos

Pueden actuar como tensoactivos catiónicos y aniónicos. Su estructura contiene un centro catiónico (grupo amina) y un centro aniónico (grupo ácido) y su dinámica está regulada por el pH del medio en el que se encuentre. En pH básico actúan como tensoactivos aniónicos y en pH ácido como catiónicos. Los aminoácidos son la materia prima más importante para la preparación de estos tensoactivos.

Algunos de estos compuestos a pH neutro generan gran cantidad de espuma, por tal razón son utilizados en la formulación de productos como el champú (Luis, Burguete, & Altava, 1997).

Su fórmula química es Alquil Dimetil Betaína y se expresa de la siguiente forma (Hill & Kolb, 1999):

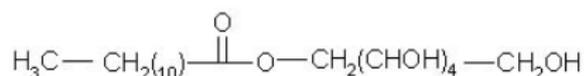


#### 5.1.3.4 Tensoactivos no iónicos

Estos tensoactivos son los que sin ionizarse, se solubilizan mediante un efecto combinado de un cierto número de grupos solubilizantes débiles (hidrófilos) tales como enlace tipo éter ó grupos hidroxilos en su molécula.

Representantes de estos son los alcoholes grasos o fenoles a los que se les agregan una o varias moléculas de óxido de etileno; ejemplo de ellos el nonil fenol etoxilado o el nonanol etoxilado.

Su fórmula química es Laurato de sorbitán y se representa a continuación (Hill & Kolb, 1999):



#### 5.1.4 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad se define como el potencial que posee un agua, un lodo o un producto para desdoblarse por biológicos, es decir, que la biodegradabilidad es una propiedad de las sustancias químicas que determina la persistencia ambiental (Vasquez & Beltran, 2004).

La biodegradabilidad en los tensoactivos desempeña un papel fundamental ya que permite la reducción de su concentración en el medio, ya sea por medios físicos, químicos y/o biológicos, minimizando el impacto de estas sustancias en el medio ambiente receptor (Vasquez & Beltran, 2004).

#### **5.1.4.1 Biodegradabilidad ambiental**

La biodegradabilidad ambiental es un método de ensayo que determina la biodegradabilidad de los productos químicos. Este análisis consiste en la incubación de bacterias con mediciones de la demanda biológica de oxígeno (DBO) (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 1997).

El método más usado para la determinación de la biodegradabilidad ambiental es la relación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) última, sobre la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la cual consiste en realizar el método de ensayo de la DBO en un periodo de tiempo de 21 días, calculando la DBO en diferentes tiempos de lectura (Consultoría y Servicios Conoser Ltda. , 2012).

$$\% \text{ Biodegradabilidad} = \left\{ \frac{\text{DBO}_{21}}{\text{DQO}} \right\} \times 100$$

En este método de ensayo no se determina la concentración de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), la importancia de este método dentro de la pasantía radica en que las diluciones sobrantes de esta prueba fueron recolectadas para realizar la tratabilidad del agua con altos contenidos de tensoactivos.

#### **5.1.5 Tratamiento de Tensoactivos en aguas residuales**

En la actualidad existen diferentes tipos de tratamientos para la remoción de tensoactivos o surfactantes. Entre los que se encuentran: el tratamiento biológico, el sistema aeróbico, la aireación, el tratamiento químico y la oxidación, explicados con más detalle a continuación:

##### **5.1.5.1 Tratamiento biológico**

El objetivo principal de un tratamiento biológico es la utilización de microorganismos que puedan reducir la materia orgánica presente. Para aguas residuales industriales este tratamiento cumple con un propósito fundamental, el cual es la reducción de compuestos orgánicos e inorgánicos (Tchobanoglous, 1998).

Para que un microorganismo pueda funcionar y reproducirse de manera efectiva necesita: Una fuente de energía, carbono y elementos inorgánicos (nutrientes)

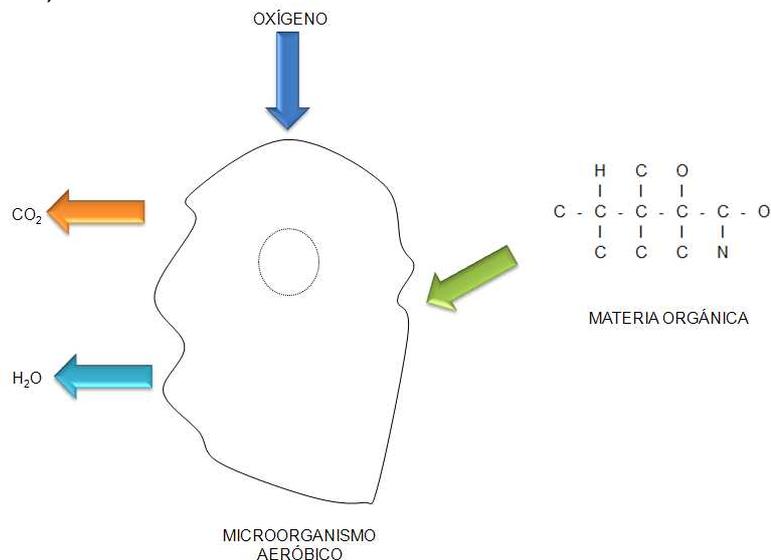
como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio (Tchobanoglous, 1998).

Una base fundamental para la realización del experimento, fue la afirmación realizada por Cubillos y Moncada en el año 2006, en donde plasmaron lo siguiente:

Este tipo de tratamientos resultan adecuados cuando se tratan tensoactivos biodegradables, debido a la incorporación mecánica de oxígeno del aire, sin embargo, se ve favorecida la formación de espumas, fenómeno que puede regularse por el empleo de antiespumantes (generalmente a base de siliconas) o incrementando la población de microorganismos en la cámara de aireación (baja relación alimento/microorganismos). En general este tipo de tratamiento resulta hasta concentraciones máximas de tensoactivos de 25 a 30 mg/l (Cubillos & Moncada, 2006).

#### 5.1.5.1.1 Sistema Aeróbico

Como se muestra en la figura 2, en el sistema aeróbico, los microorganismos requieren del suministro de oxígeno, ya sea por medios naturales o artificiales para su desarrollo y reproducción. Cuando los microorganismos entran en contacto con las aguas residuales industriales (materia orgánica), usan sus cadenas de carbohidratos como alimento. Estas cadenas son utilizadas por su metabolismo generando Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).



**Figura 2:** Proceso de Tratamiento Aeróbico.

#### **5.1.5.1.2 Aireación**

La aireación es un método de tratamiento secundario el cual tiene como objetivo la transferencia de oxígeno por medios mecánicos, de difusión o sistemas híbridos del ambiente a la fase líquida. El oxígeno inyectado desintegra la materia orgánica. Las burbujas de oxígeno generadas durante este proceso también oxidan metales disueltos y elimina compuestos orgánicos volátiles (VOC) del agua (Dailey, 2012).

Hay dos tipos de aireación para el tratamiento de las aguas residuales, uno de los tipos es introduciendo aire al agua por medio de pequeñas burbujas y el otro método de aireación es creando diminutas gotas de agua que caen en cascada a través del aire (Dailey, 2012).

Para el tratamiento de las aguas residuales con altos contenidos de tensoactivos, se utilizó el primer método de aireación, al introducir con un aireador pequeñas burbujas en el agua.

#### **5.1.5.2 Tratamiento químico**

El tratamiento químico de las aguas es considerado como un tratamiento secundario que consiste en la transformación de los compuestos que se encuentran presentes en el agua en forma de sólidos disueltos y coloidales, este tratamiento busca la desestabilización de los coloides utilizando coagulantes químicos como cloruro férrico, sulfato de aluminio, aluminio o hierro.

En este tratamiento la eliminación de los contaminantes es dada por la adición de un producto químico o por otras reacciones químicas. Algunos sistemas de tratamiento químico son:

- **Coagulación-floculación:** Consiste en agregar pequeñas partículas usando coagulantes y floculantes (sales de hierro, aluminio, polielectrolitos, etc.).
- **Precipitación química:** Es la eliminación de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de cal, hidróxido sódico u otros químicos que incrementen el pH.
- **Oxidación-reducción:** Se utilizan oxidantes como el peróxido de hidrógeno, ozono, cloro, permanganato potásico o reductores como el sulfito sódico.

- Reducción electrolítica: Provoca la deposición en el electrodo del contaminante.
- Intercambio iónico: Se utilizan resinas que intercambian iones. Se usa para reducir la dureza del agua.
- Osmosis inversa: Consiste en hacer pasar al agua a través de membranas semipermeables que retienen los contaminantes disueltos (Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD), 2014).

#### 5.1.5.2.1 Oxidación

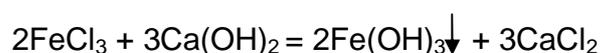
Se entiende por oxidación la transformación de una estructura química que contiene compuestos tóxicos en una estructura de compuestos básicos o cadenas más elementales y de menor impacto nocivo para el ambiente. Entre los compuestos oxidantes más utilizados se encuentran el cloro, ozono, peróxido de hidrógeno, oxígeno y permanganato de potasio (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

Como antecedentes de tratamientos químicos, en el año 2008 Carvajal citó a Díaz, J. quien en su investigación evaluó la eliminación de un tipo de surfactante mediante la degradación del compuesto por medio de adsorción con carbón activado, ozonización catalizada y foto-oxidación. El estudio se basó en comparar la eficiencia de técnicas convencionales de oxidación y procesos de oxidación avanzada. Se emplearon sustancias altamente oxidantes como perclorato de sodio, dióxido de cloro, permanganato de potasio y ozono (Díaz, Scielo, 2008).

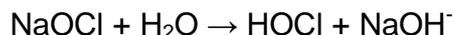
Otra de las fundamentaciones teóricas útiles a tener en cuenta en este informe de pasantías fue lo plasmado por Castellar y Osorio en el año 2012, en donde tomaron como ejemplo la fotocatalisis como tratamiento para aguas residuales y para llevar a cabo este tratamiento fue necesario tener variables como la luz, un sustrato, un oxidante y un fotocatalizador (Castellar & Osorio, 2012).

Entre los oxidantes utilizados para el tratamiento de aguas residuales con contenidos de tensoactivos se encuentran los siguientes:

**Cloruro Férrico (FeCl<sub>3</sub>):** al reaccionar con la alcalinidad del agua o con cal, este forma un floc de hidróxido férrico y entre las reacciones que se dan en este proceso se tienen las siguientes (Romero, 1996):







El ácido hipocloroso se divide en ácido hipoclorito (HCl) que es efectivo contra las bacterias, virus y hongos y en oxígeno (O) el cual es un oxidante muy fuerte (Water Treatment Solutions Lenntech., 2010).

**Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>):** Conocido comúnmente como agua oxigenada, debido a sus buenas características es muy usado ya que es un oxidante seguro. Comparado con el cloro y el dióxido de cloro, el Peróxido de Hidrógeno tiene un potencial de oxidación mayor de 1,8, mientras que los dos anteriores sólo alcanzan el 1,4 y 1,5 respectivamente.

El peróxido de Hidrógeno se utiliza para el control de olor, de la corrosión, el retiro de DBO/DQO, la oxidación orgánica, la oxidación de metales, la oxidación de la toxicidad y la desinfección. El peróxido de Hidrógeno puede ser activado con catalizadores como hierro, cobre, manganeso u otros compuestos del metal de transición con el objeto de oxidar agentes contaminantes complejos (Water Treatment Solutions Lenntech., 2010).

## 5.1.6 Identificación de Coliformes

### 5.1.6.1 Coliformes

Se entiende dentro del grupo de los coliformes las bacterias que fermentan la lactosa con emisión de gases, se encuentran las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram- Negativas y las no formadoras de esporas (Romero, 1996).

Al encontrarse aguas residuales contaminadas con coliformes es válido afirmar que estos pueden provenir de tres fuentes distintas, de humanos a través de sus excretas, de animales de sangre caliente y fría y/o del suelo a través de la erosión del mismo. Sin embargo, no hay ensayos comprobados que demuestren la diferencia entre coliformes de origen animal y humano, pero sí es posible distinguir los provenientes del suelo y son aplicados en estudios de contaminación de fuentes hídricas como ríos, fuentes de agua cruda, recreación y sistemas de tratamiento de aguas residuales (Romero, 1996).

Por otro lado, hay otros tipos de ensayos que se pueden realizar para identificar la presencia de coliformes, entre los que se destacan la técnica de tubos de ensayos múltiples, la técnica de filtro de membrana, el ensayo de presencia- ausencia o mediante la prueba MMO-MUG o Colilert. Una prueba que confirma la presencia de Coliformes en el agua y se hace mediante la preparación de un inóculo de

caldo lactosado fermentado o mediante la generación de gas proveniente de bilis y verde brillante. Se confirmará la presencia de coliformes en el agua, si se forman colonias de *Escherichia coli* (Romero, 1996).

La importancia de realizar la prueba de identificación de coliformes en el agua tratada es que la ausencia o presencia de los mismos definirán el tipo de uso que se le dé al agua. Es decir, si el agua residual tratada contiene coliformes (pero estos se encuentren en una concentración permitida por la norma) el agua deberá ser vertida a la red de alcantarillado, si el agua no presenta coliformes, ésta se podrá re utilizar dentro de las instalaciones del laboratorio Conoser Ltda.

### 5.1.6.2 Número más probable (NMP)

Una vez identificada la presencia de coliformes en el agua, es de igual importancia identificar su Número Más Probable (NMP) por unidad de volumen en el agua. Las variaciones en la distribución de coliformes sigue una curva de probabilidad lo que permite calcular al NMP con la siguiente ecuación:

$$Y = [(1 - e^{-N_1x})^p (e^{-N_1x})^q (1 - e^{-N_2x})^r (1 - e^{-N_2x})^s (1 - e^{-N_3x})^t (e^{-N_3x})^u] / a$$

Donde:

$N_1, N_2, N_3$  = Cantidades de muestras examinadas, en mililitros.

$p, r, t$  = número de tubos con resultado positivo en cada serie.

$q, s, u$  = número de tubos con resultado negativo en cada serie.

$x$  = concentración de coliformes por mililitro.

$Y$  = probabilidad de ocurrencia de un resultado particular.

$e$  = base de los logaritmos neperianos, 2.718

$a$  = constante para condiciones determinadas, la cual puede omitirse en el cálculo de  $x$ . (Romero, 1996).

## 5.2 MARCO LEGAL

**Ley 9 de 1979**, expedida por el Ministerio de Salud. Por la cual se dictan medidas sanitarias. En su título I, de la protección del medio ambiente estipula medidas para el control de vertimientos a las fuentes hídricas y así mismo de la adecuada separación y almacenamiento de los residuos sólidos generados en los establecimientos.

En su título III de la Salud ocupacional establece normas tendientes para preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones.

**Ley 55 de 1993**, expedida por el Congreso de la República. Por medio de la cual se aprueba la Seguridad en la utilización de los Productos Químicos en el trabajo.

**Decreto 1594 de 1984**, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

**Resolución 3957 de 2009**, expedida por la Secretaría Distrital de Ambiente. Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital.

**Acuerdo 043 del año 2006**, expedida por la Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.

## **6. TIPO DE INVESTIGACION**

Para este informe de pasantía se tomó como base dos tipos de investigación, el primero es el Correlacional, ya que en la metodología de la investigación se está midiendo el grado de influencia de varias variables con respecto a una población específica, en este caso, la muestra de agua con altos contenidos de tensoactivos aniónicos generadas en el laboratorio.

El segundo tipo de investigación usado es el Experimental, ya que se está analizando el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes como lo son el tiempo, la aireación y el porcentaje de remoción de SAAM.

## 7. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

### 7.1 FUENTES PRIMARIAS

En la siguiente tabla se presentan las principales fuentes primarias que fundamentaron la realización del presente informe de pasantía:

TIPO DE FUENTE PRIMARIA	REFERENCIA
Entrevistas	Química Andrea Arce
	Doctor Guillermo Sarmiento
Fotografías	Autor (metodología)
Normas	Norma Técnica Colombiana- NTC 4229
	Leyes
	Decretos
	Resoluciones
	Acuerdos
Tesis	Eliminación del surfactante dodecibencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y foto oxidación
	Contribución al estudio de la degradación anaerobia de tensoactivos aniónicos: Alquilbencenosulfonatos lineales, alquil sulfatos y alcoholes etoxilados sulfatos.
	Sistemas de tratamiento de aguas
Investigaciones/ Artículos Científicos	Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales
	Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales
	Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas
	Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de remoción fotocatalítico de tensoactivos aniónicos.
	Estado del arte de la fotocatalisis solar como técnica para la remoción de efluentes químicos provenientes de laboratorios
	Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales
	Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>
	Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio

## 7.2 FUENTES SECUNDARIAS

En la siguiente tabla se presentan las principales fuentes secundarias que fundamentaron la realización del presente informe de pasantía:

TIPO DE FUENTE SECUNDARIA	REFERENCIA
Libros de texto	Acuiquímica
	Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 22nd Edition
	Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización
	Sistemas de pretratamiento de aguas residuales industriales.
	El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis
	Química para el nuevo milenio
	Introducción a la Química Orgánica.
Guías	Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización
	Protocolo de Biodegradabilidad. Relación DQO/DBO
	Sistemas de pretratamiento de aguas residuales industriales

## 8. RECURSOS

### 8.1 RECURSOS HUMANOS

**Tabla 2:** Recursos Humanos utilizados en el periodo de pasantías.

Nombres y Apellidos	Profesión Básica	Función Básica dentro del Proyecto	Dedicación Hr/Semana	Duración (meses)	Costo (miles \$)
Andrea Arce	Química	Jefe directa (Fuente primaria de información)	1 h/ semana	6	200
Guillermo Sarmiento	Ingeniero Químico	Validación pasantía	0,5 h/ semana	5	208
Ana Rosa Escandón	Oficios varios	Reutilización del agua residual	1 h/ semana	0	70
Daniel Pinto Monje	Tecnólogo Ambiental	Autor de la pasantía	3 h/ semana	6	254

Fuente: Autor.

### 8.2 RECURSOS FÍSICOS

**Tabla 3:** Recursos físicos utilizados en el periodo de pasantías.

Descripción del equipo	Propósito Fundamental del equipo en el proyecto	Actividades en las cuales se utiliza primordialmente	Costos (miles de pesos)	
			Propio	Total
Espectrofotómetro	Realiza la medición de la concentración de SAAM	Lecturas de concentración de algunos métodos de ensayo	2.858	2.858
pH metro	Neutralización muestra	Medición de acidez o basicidad de las muestras	450	450
Tanque contenedor	Recipiente de 20 L que contiene la muestra	Recipiente utilizado para contener el agua desionizada	80	80

Descripción del equipo	Propósito Fundamental del equipo en el proyecto	Actividades en las cuales se utiliza primordialmente	Costos (miles de pesos)	
			Propio	Total
Aireadores	Airear muestra	Airea el agua del tanque contenedor	40	40
Material de Vidrio	Recipientes fundamentales para la realización del método de ensayo	Material utilizado para los diferentes métodos de ensayo	1.000	1.000
Instalaciones del laboratorio	Área necesaria para el proyecto	Instalaciones donde se realizan diferentes métodos de ensayo	9.000	9.000

**Fuente:** Autor.

## 9. CRONOGRAMA

Se presenta el cronograma desarrollado durante el periodo de pasantías de 900 horas efectuado en el laboratorio CONOSER Ltda.

Tiempo	AÑO 2014												AÑO 2015																																														
	FEB				MAR				ABR				MAY				JUN				JUL				AGO				SEP				OCT				NOV				DIC				ENE				FEB				MAR				ABR		
<b>Actividades</b>	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Periodo de pasantías	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																																			
Fundamentación teórica	■	■	■	■	■	■	■	■																																																			
Recolección de la muestra		■	■	■	■	■	■	■																																																			
Adecuación para tratabilidad de la muestra						■	■	■																																																			
Recolección de datos y/o literatura						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																																											
Análisis de información y resultados																		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																															
Elaboración del informe																		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																															
Entrega del informe final al director para revisión																																																											
Ajustes al informe final																																																											
Entrega del informe final																																																											
Sustentación																																																											

Fuente: Autor.

## 10. DISEÑO METODOLÓGICO

### 10.1 MATERIALES Y REACTIVOS

#### 10.1.1 Materiales

Los materiales utilizados en el análisis de aguas residuales, basado en el Protocolo para Análisis de Aguas; Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM del laboratorio CONOSER Ltda, son los siguientes:

- Embudos de separación de 1000ml
- Balones aforados de 100ml
- Tubos de borosilicato con tapa rosca recubierta de teflón o viales
- Espectrofotómetro- longitud de onda 660nm
- Contenedor de 20L para recolección del agua residual.
- Aireadores utilizados para inyectar aire al agua.
- Pipetas aforadas
- Embudos de vidrio
- Algodón
- Frascos microbiológicos.
- pH metro marca WTW 3205.

#### 10.1.2 Reactivos

A continuación se presentan los reactivos utilizados en el análisis de aguas residuales, basados en el Protocolo para Análisis de Aguas; Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM del laboratorio CONOSER Ltda.

- Solución estándar LAS (Lauril Alquil Sulfonato) (Dersa)
- Solución indicadora de fenolftaleína: pesar 0,1 gr de Fenolftaleína y diluir en 100ml de etanol al 96%.
- Solución de NaOH 1N
- Soluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N y 6N
- Cloroformo CHCl<sub>3</sub>
- Azul de Metileno: Disolver 100 mg de azul de metileno en 100 ml de agua, transferir 30 ml de esta solución a un frasco volumétrico de 1000 ml, añadir 500 ml de agua, 41 ml de ácido sulfúrico 6N y 50 gr de Fosfato de sodio

monobásico, agitar hasta que la mezcla se disuelva y completar hasta 1000 ml.

- Solución lavadora ( $H_2SO_4$  6N +  $NaH_2PO_4$  +  $H_2O$ ): Adicionar 41 ml de ácido sulfúrico 6N a 500 ml de agua, en un frasco volumétrico de 1000 ml. Añada 50 gr de fosfato de sodio monobásico y agite hasta lograr la disolución, completar el volumen 1000 ml.
- Metanol  $CH_3OH$
- Etanol  $CH_3CH_2OH$
- Peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$
- Nutrientes para la Cepa:
  - Cloruro de Calcio: Disolver 27,5 g de  $CaCl_2$  en agua destilada y diluir a 1L.
  - Sulfato de Magnesio: Disolver 22,5 g de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  en agua destilada y diluir a 1L.
  - Cloruro Férrico: Disolver 0,25 g de  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  en agua destilada y diluir a 1L.
  - Solución Tampón de Fosfato: Disolver 8,5 g de  $KH_2PO_4$ , 21,75 g de  $K_2HPO_4$ , 33,4 g de  $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$  y 1,7 g de  $NH_4Cl$  en aproximadamente 500 ml de agua destilada y diluir a 1L. el pH debe ser 7,2 sin posteriores ajustes. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descartar este o cualquiera de los otros reactivos.

## 10.2 VARIABLES

### 10.2.1 Tiempo

Durante el periodo experimental se manejaron diferentes intervalos de tiempo, los cuales se explican en la tabla 4.

**Tabla 4:** Intervalos de tiempo en cada prueba.

Prueba	Fecha	Intervalo de tiempo
Inicial	15/04/2014	N/A
Biológica	22/04/2014	7 días
Efectividad del químico	22/04/2014	7 días
Química 1	29/04/2014	7 días
Química 2	13/05/2014	14 días
Química 3	27/05/2014	14 días
Química 4	10/06/2014	14 días
Química 5	24/06/2014	14 días
Química 6	01/07/2014	6 días

Fuente: Autor.

### 10.2.2 Temperatura

Durante los análisis realizados en el periodo de pasantías se trabajó a temperatura ambiente y no se manipuló las temperaturas de las muestras.

### 10.2.3 Aireación

Durante toda la fase práctica la aireación fue constante durante todas las pruebas, se realizó una aireación mecánica con la utilización de aireadores marca Aquarium air pumpp RS-610.

## 10.3 ORIGEN DE LA CEPA

Para el tratamiento biológico se escogió una cepa natural aerobia proveniente del río Fucha, ya que ésta cepa demuestra más adaptabilidad para la prueba de biodegradabilidad ambiental y  $DBO_5$ , ésta última tiene como criterio al final de la prueba que la cepa consuma entre 0,6 y 1,2 mg/L de oxígeno. Además, el Laboratorio CONOSER Ltda., ha trabajado con esta cepa ya que es proveniente de un río donde se vierte gran parte de las aguas residuales de la ciudad de Bogotá y debido a lo anterior es la más apta para ser utilizada dentro del tratamiento biológico.

## 10.4 METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA

### 10.4.1 Origen del agua residual

Se recolectaron veinte litros del agua residual (ver figura 3) proveniente de las diluciones de distintos productos (desinfectantes, desengrasantes, blanqueadores, detergentes, champús, cremas, jabones en polvo, jabones de losa, entre otros) utilizados para la prueba de biodegradabilidad ambiental (ver figura 4), la muestra ingresó al laboratorio codificada (ver figura 5).



**Figura 3:** Recolección del agua residual.

Fuente: Autor.



**Figura 4:** Diluciones de los productos.

Fuente: Autor.



**Figura 5:** Codificación de agua residual.

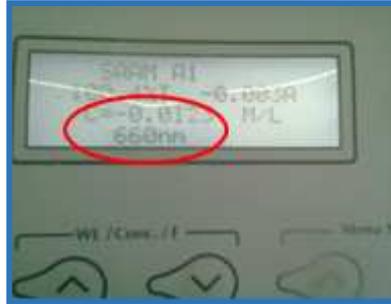
Fuente: Autor.

#### **10.4.2 Determinación inicial de la concentración de SAAM**

Para la determinación de SAAM se utilizó el Protocolo para Análisis de Aguas; Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM del laboratorio CONOSER Ltda, que a su vez está basado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association.

Procedimiento para la determinación de Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM CONOSER Ltda: (American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF)., 2012).

- a. Se preparó la curva de calibración LAS y/o verificación de la autocalibración del espectrofotómetro con soluciones patrón de concentración conocida (estándar). En la figura 6 se evidencia la autocalibración del espectrofotómetro con una longitud de onda de 660 nm.



**Figura 6:** Calibración del espectrofotómetro.  
Fuente: Autor.

- b. Para concentraciones entre 0,2 y 0,4 mg/L se utilizó el método 214 de fotómetro y 250 ml de muestra. Para concentraciones entre 0,4 y 2,0 mg/L se utilizó el método 200 del fotómetro y 100 ml de muestra. En la figura 7 se observan los 100 ml de muestra (A) agua residual, (B) blanco y (C) estándar.



**Figura 7:** (A) Muestra, (B) blanco y (C) estándar.  
Fuente: Autor.

- c. Se adicionó el volumen de muestra apropiado de acuerdo con el numeral anterior en el embudo de separación (ver figura 8) y se ajustó su pH con NaOH 1N hasta alcalinidad, empleando fenolftaleína como indicador. En caso de que se formase un color rosado (ver figura 9), se debía eliminar adicionando 1 o 2 gotas de Ácido Sulfúrico 1N (ver figura 10).



**Figura 8:** Adición de la muestra al embudo de separación  
Fuente: Autor.



**Figura 9:** Proceso de titulación con NaOH 1N. (A) Adición de fenolftaleína. (B) Titulación (C) coloración de la muestra.  
Fuente: Autor.



**Figura 10:** (A) Adición de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N. (B) Eliminación de la coloración.

Fuente: Autor.

- d. Se adicionó 10 ml de cloroformo y 25 ml de reactivo de Azul de Metileno (ver figura 11), se agitó vigorosamente por 30 segundos, dando como resultado la separación de las fases (ver figuras 12 y 13). Si las fases no se separaban bien, se debía agregar un volumen inferior a 10 ml de etanol.



**Figura 11:** (A) Cloroformo. (B) Adición cloroformo. (C) Adición de Azul de Metileno.

Fuente: Autor.



**Figura 12:** Agitación de la muestra

Fuente: Autor.



**Figura 13:** Separación de fases.

Fuente: Autor.

- e. Se drenaron las fases con cloroformo en un segundo embudo (ver figura 14). Se enjuagó el primer embudo con pequeñas cantidades de cloroformo.



**Figura 14:** Drenaje de fases al siguiente embudo.

Fuente: Autor.

- f. Se repitió la extracción dos veces más, usando 10ml de Cloroformo en cada ocasión (ver figura 15).



**Figura 15:** Adición de cloroformo al embudo para extracción.

Fuente: Autor.

- g. Si el color azul era muy pálido o inexistente, se debía repetir el ensayo con una cantidad mayor de muestra. Si el color era muy intenso, se debía descartar y repetir el procedimiento, utilizando menos cantidad de muestra y diluyendo hasta 100ml teniendo en cuenta el factor de conversión en la lectura.
- h. Se combinaron todos los extractos de cloroformo en un embudo de separación. Se adicionó 50 ml de solución lavadora y se agitó por 30 segundos (ver figura 16).



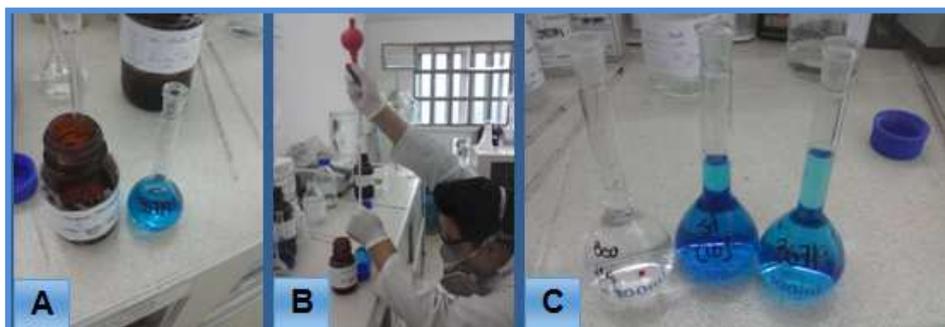
**Figura 16:** (A) y (B) Adición de la solución lavadora. (C) Agitación de la muestra.  
Fuente: Autor.

- i. Se drenó un frasco volumétrico de 100 ml, a través de un embudo con algodón (ver figura 17).



**Figura 17:** Drenaje de la muestra.  
Fuente: Autor.

- j. Se debía completar el volumen a 100 ml con cloroformo y mezclar (ver figura 18).



**Figura 18:** (A) y (B) Aforo con cloroformo. (C) Muestras aforadas para

lectura de concentración de SAAM.

Fuente: Autor.

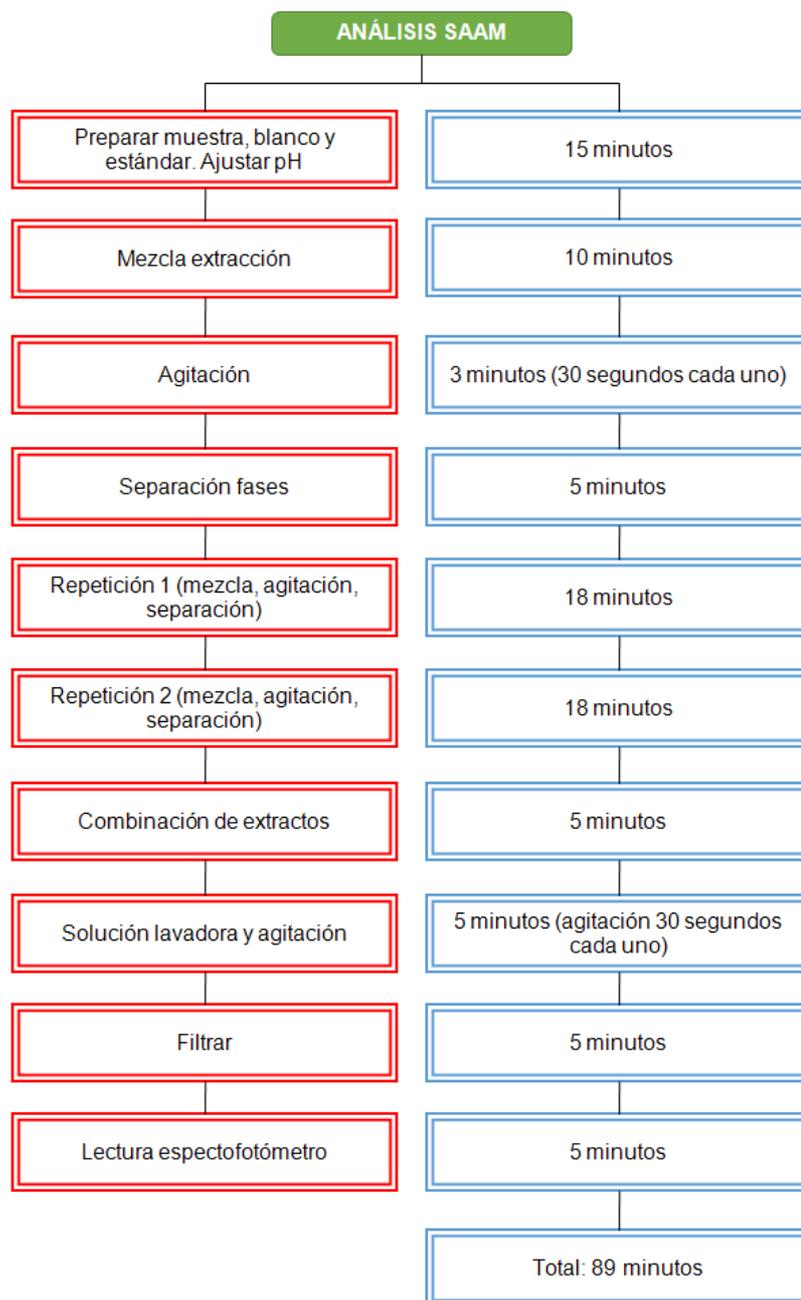
k. Lectura de muestra en el espectrofotómetro (ver figura 19).



**Figura 19:** Lecturas en el espectrofotómetro.

Fuente: Autor.

En la figura 20 se resume el procedimiento del método de ensayo para análisis de Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM.



**Figura 20:** Diagrama del procedimiento para determinación de surfactantes aniónicos.

Fuente: Protocolo para Análisis de Aguas; Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM, Laboratorio CONOSER Ltda.

## 10.5 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Después de determinar la concentración inicial de la muestra se procedió a realizar un tratamiento biológico con bacterias aerobias del río Fucha (ver figura 21). Este tratamiento biológico es basado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4229 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC),, 1997) la cual tiene como objetivo determinar el grado de biodegradabilidad del alquilbenceno sulfonato. El método sirve como un índice de la aptitud del sulfonato para el uso general como tensoactivo.

De acuerdo con el método de ensayo se inocularon los microorganismos (ver figura 22) en un frasco que contenía un medio de crecimiento microbiano definido químicamente (medio básico), adición de nutrientes (ver figura 23) y el tensoactivo que se iba a ensayar. La aireación se logró inyectando oxígeno continuamente al frasco (ver figura 24). Después de dos transferencias de adaptación, se determinó la biodegradación midiendo la reducción en el contenido de tensoactivos durante el periodo de ensayo. Después de 7 días se determinó la concentración de SAAM (mg/L LAS).



**Figura 21:** Cepa Río Fucha.  
Fuente: Autor.



**Figura 22:** Secuencia de Inoculación de microorganismos.  
Fuente: Autor.



**Figura 23:** Secuencia de adición de nutrientes.  
Fuente: Autor.



**Figura 24:** Inyección de oxígeno a la muestra. (A) muestra. (B) Aireador.  
Fuente: Autor.

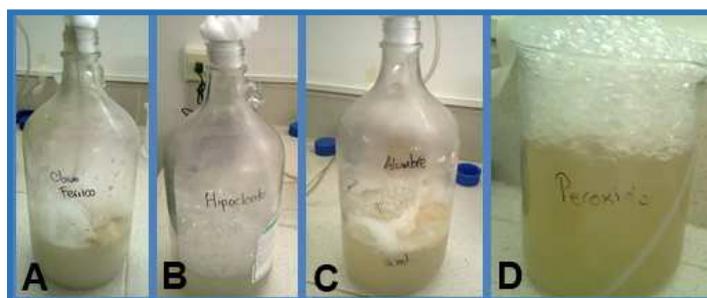
## 10.6 PRUEBA DE EFECTIVIDAD DEL QUÍMICO PARA TRATABILIDAD

Simultáneamente al tratamiento biológico se realizó una prueba de tratamiento químico, utilizando cuatro químicos distintos más inyección de aire durante 7 días. Los químicos utilizados fueron el Alumbre ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), Hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) al 16% y Peróxido de Hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), para un tratamiento complementario. Esta prueba se hizo con el fin de determinar cuál de estos removía mayor concentración de SAAM y posteriormente utilizarlo en las pruebas siguientes. Se reenvasaron 4 litros de muestra en 4 recipientes distintos con capacidad de 1 litro (ver figura 25). Las diluciones que se utilizaron para las cuatro pruebas están relacionadas en la tabla 5.

**Tabla 5:** Dosificación para la evaluación de efectividad del químico.

Químico	Dosificación para 1 Litro
Alumbre ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )	1 gramo
Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ )	1 gramo
Hipoclorito de Sodio 16% ( $\text{NaClO}$ )	10 mililitros
Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	10 mililitros

Fuente: Autor.



**Figura 25:** Tratamiento químico. (A) Cloruro Férrico. (B) Hipoclorito de Sodio. (C) Alumbre. (D) Peróxido de Hidrógeno.

Fuente: Autor.

## 10.7 DETERMINACIÓN DEL QUÍMICO PARA TRATABILIDAD

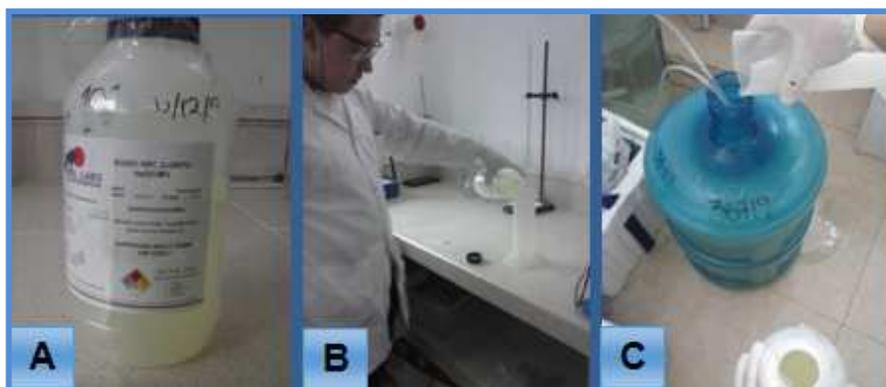
Pasados los siete (7) días, se revisaron de nuevo las concentraciones de SAAM en las cuatro (4) pruebas aplicando procedimiento para la determinación de Detergentes- Surfactantes Aniónicos SAAM CONOSER Ltda. (Ver numeral 9.4.2). Se determinó que el químico más efectivo en la remoción del tensoactivos fue el Hipoclorito de Sodio al 16% ( $\text{NaClO}$ ) ya que este fue el que presentó mayor porcentaje de remoción. Desde este momento se procedió a trabajar con este químico.

## 10.8 DETERMINACION DE LA CONCENTRACIÓN DE SAAM

Inmediatamente después de determinar el químico se aplicó de nuevo el procedimiento (ver numeral 9.4.2) pero esta vez para el agua residual; la cual desde hace siete (7) días se encontraba con inyección de aire y aplicación de cepa. (Tratamiento biológico).

## 10.9 COMIENZO DEL TRATAMIENTO QUIMICO

Después de determinar la concentración de SAAM (numeral 9.8), se determinó que el tratamiento biológico no cumplió con el criterio de calidad de remoción mayor al 30% (ver figura 29, diagrama de flujo de la metodología utilizada). Por esta razón se procedió a realizar la primera dosificación con 200 mililitros de Hipoclorito de sodio al 16% (NaClO) para los 20 Litros de muestra (ver figura 26). Para el tratamiento químico también se continuó con la inyección de aire.



**Figura 26:** (A) Hipoclorito de sodio al 16% (NaClO) (B) y (C) Dosificación.  
Fuente: Autor.

## 10.10 SEGUIMIENTO AL TRATAMIENTO QUÍMICO

Siete (7) días después de la primera dosificación de Hipoclorito de sodio al 16% (NaClO) se neutraliza el pH de la muestra y se realiza la primera lectura de la concentración de SAAM. (Ver numeral 9.4.2).

Posteriormente, se continuó con la inyección de aire y se realizó la respectiva dosificación con los mismos doscientos (200) mililitros de Hipoclorito de Sodio al 16% (NaClO). Después de 14 días se neutralizó el pH de la muestra (ver figura 27) y se realizó de nuevo otra lectura de la concentración de SAAM (Ver numeral 9.4.2). Este procedimiento se repitió en periodos de tiempo de 14 días hasta que la concentración de SAAM fuera menor a 10 mg/L.



**Figura 27:** Neutralización de la muestra.  
Fuente: Autor.

### 10.11 PRUEBA DE COLIFORMES TOTALES

Después de que la muestra tuvo una concentración igual o menor a 10mg/L de SAAM se procedió a realizar un análisis de coliformes totales, con el fin de determinar si todavía habían microorganismos existentes en la muestra (este análisis se subcontrató con un laboratorio acreditado por el IDEAM para este método de ensayo). De acuerdo con este resultado, la alta dirección decidió para que se podía reutilizar el agua. En la figura 28 se observa el agua residual reenvasada en frascos microbiológicos, los cuales fueron enviados a un laboratorio certificado para el análisis de estas muestras.

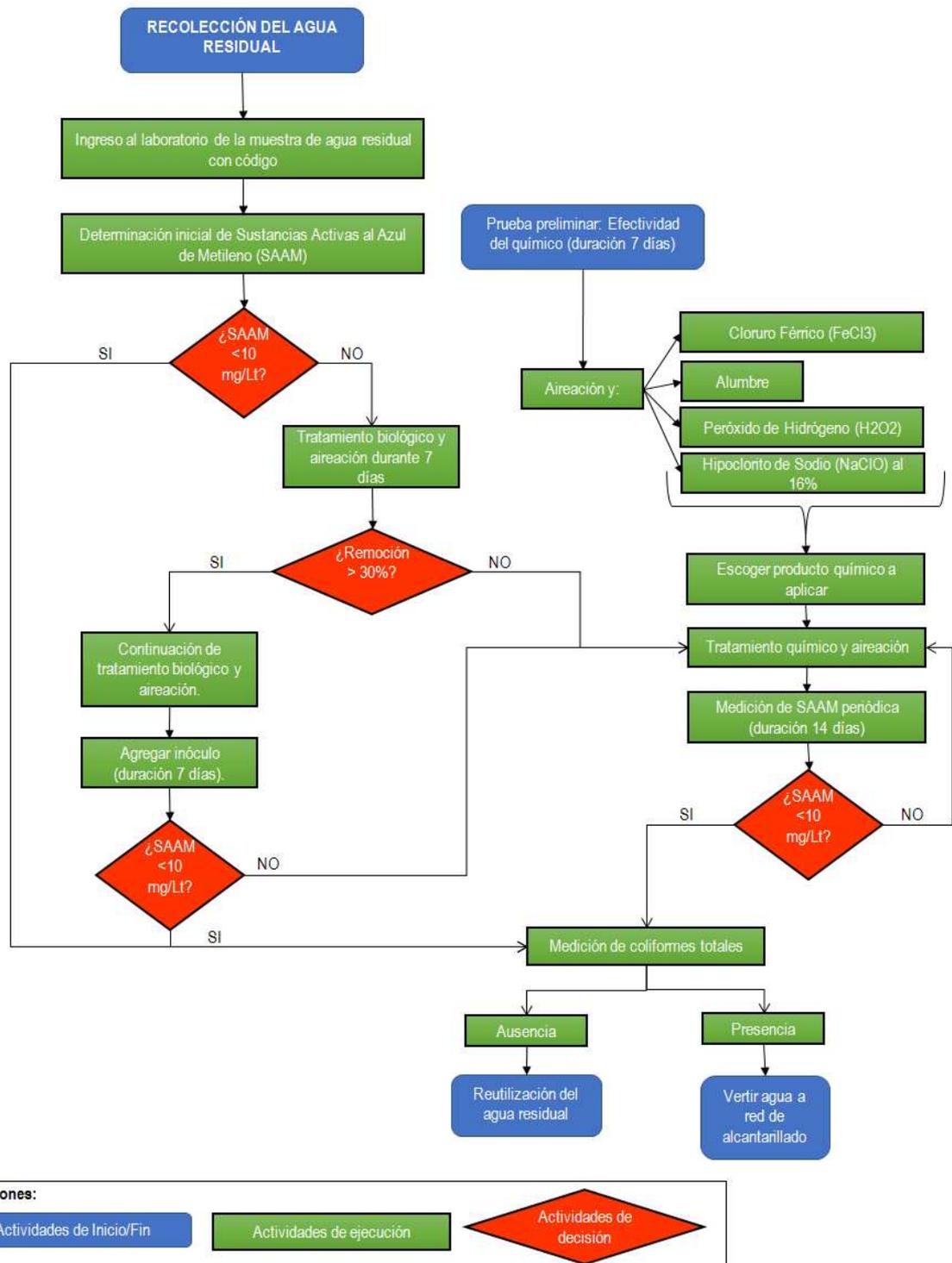


**Figura 28:** Muestras para realizar análisis de coliformes totales.

Fuente: Autor.

### 10.12 REUTILIZACIÓN DEL AGUA

Después de que Conoser Ltda., conoció el resultado de Coliformes totales, la alta dirección decidió la disposición final que se daría a las aguas residuales tratadas.



**Figura 29:** Diagrama de flujo de la metodología utilizada.  
Fuente: Autor.

## 11.RESULTADOS

### 11.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA BIOLÓGICA

En la tabla 7 se observa el resultado de la tratabilidad biológica, la cual se inició el día 15 de abril y finalizó el día 22 de abril de 2014. La concentración inicial de la muestra fue de 930 mg/L de SAAM y al final de la prueba se redujo la concentración de la muestra a 870 mg/L, es decir que se obtuvo un porcentaje de remoción del 6%, el cual no cumple con el criterio establecido en la metodología utilizada (ver figura 29), por lo cual fue necesario realizar un tratamiento químico con aireación.

### 11.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DEL QUÍMICO

**Tabla 6:** Prueba de efectividad del químico.

Químico	Concentración inicial de SAAM (mg/L)	Concentración final de SAAM (mg/L)	% Remoción
Alumbre ( $Al_2(SO_4)_3$ )	930	906	3%
Cloruro Férrico ( $FeCl_3$ )	930	822	12%
Hipoclorito de Sodio 16% ( $NaClO$ )	930	510	45%
Peróxido de Hidrógeno ( $H_2O_2$ )	930	708	24%

**Fuente:** Autor

En la tabla 6 se observan las concentraciones finales y su respectivo porcentaje de remoción por cada químico respecto a la concentración inicial de la muestra. Después de realizadas las pruebas de efectividad del químico se determinó que el químico más efectivo para realizar las siguientes pruebas, era el Hipoclorito de Sodio ( $NaClO$ ) al 16% ya que obtuvo el mayor porcentaje de remoción (45%) respecto a los otros químicos utilizados.

### 11.3 RESULTADOS GENERALES DE LA TRATABILIDAD

En la tabla 7 se muestra el resumen de los resultados obtenidos durante todas las pruebas de la concentración de SAAM en la muestra, los intervalos de tiempo de cada prueba y el porcentaje de remoción de las mismas en función del SAAM inicial.

**Tabla 7:** Resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el agua.

<b>Prueba</b>	<b>Fecha</b>	<b>Concentración (mg/L)</b>	<b>% Remoción total en función del SAAM inicial</b>
Inicial	15/04/2014	930	0
Biológica	22/04/2014	870	6%
Química 1	29/04/2014	407	56%
Química 2	13/05/2014	226	76%
Química 3	27/05/2014	108	88%
Química 4	10/06/2014	31,3	97%
Química 5	24/06/2014	15,7	98%
Química 6	01/07/2014	8,91	99%

**Fuente:** Autor

### 11.4 RESULTADOS DE LA PRUEBA MICROBIOLÓGICA

Al final de la prueba microbiológica, la concentración de coliformes totales fue de <1 NMP/100 ml cumpliendo con la Resolución 3957 de 2009.

## 12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 12.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRUEBA BIOLÓGICA

Después de revisados los resultados de la prueba biológica es posible afirmar que su porcentaje de remoción total en función del SAAM inicial fue de tan sólo un 6% lo que permite brindar diferentes supuestos respecto a la ineficiencia de este tratamiento en la remoción de SAAM.

En la tabla 8 se representan las diferentes variables que probablemente fueron las que influyeron en la ineficiencia del tratamiento.

**Tabla 8:** Posibles variables influyentes en la ineficiencia del tratamiento.

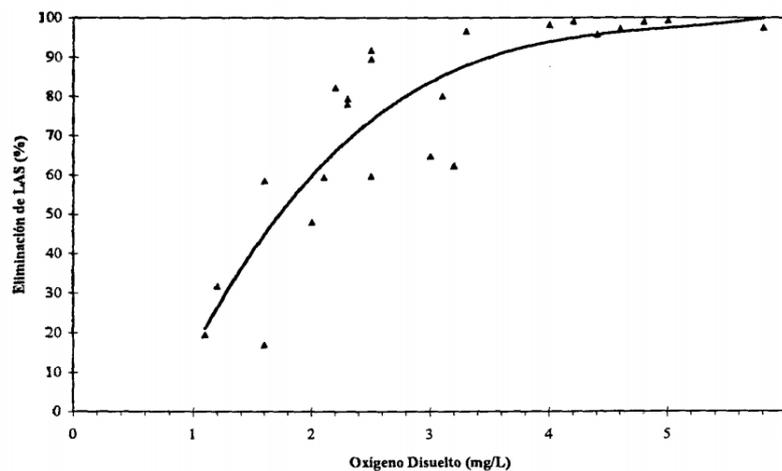
VARIABLE	OBSERVACIONES
Temperatura	Fuera de los rangos óptimos
pH	Fuera de los rangos óptimos
Aireación	Insuficientes
Nutrientes	Insuficientes
Tiempo del tratamiento (Tiempo de retención hidráulico)	Muy corto

Fuente: Autor

Las bacterias utilizadas para la prueba biológica fueron las mismas que las utilizadas en la prueba de DBO<sub>5</sub> y de acuerdo a esta prueba, el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater afirma que las condiciones óptimas de temperatura para el crecimiento bacteriano debe estar entre 19°C a 21°C, sin embargo durante el tratamiento del agua no se controló este parámetro, por lo cual es probable que la ineficacia en la remoción de tensoactivos aniónicos estuviera asociada a la temperatura.

De las anteriores variables que posiblemente influyeron en la muerte de los microorganismos, es posible afirmar que el pH no estuvo relacionado con la muerte de los mismos, ya que esta variable fue medida durante el tratamiento del agua y siempre se mantuvo controlado este parámetro bajo condiciones óptimas, es decir en un rango entre 6 y 8 unidades, según lo especificado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater para la prueba de DBO<sub>5</sub> y SAAM.

La aireación mecánica que se aplicó al agua fue constante, sin embargo no fue una variable controlada. De acuerdo al estudio realizado por la facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante, España (Rodríguez, 1996) el cual estudió el efecto del oxígeno en un tanque de aireación de la Depuradora de Rincón de León sobre la degradación de LAS, en Alicante, España. El estudio demostró que el oxígeno es de importancia en la degradación de LAS (a mayor oxígeno, mayor degradación), en la figura 30 se explica lo enunciado anteriormente:



**Figura 30:** Evolución de la degradación de LAS en función del oxígeno disuelto en el tanque de aireación.

Fuente: Tesis doctoral: Contribución al estudio de la degradación anaerobia de tensioactivos aniónicos: Alquilbencenosulfonatos lineales, alquil sulfatos y alcoholes etoxilados sulfatos. Manuel Rodríguez. 1996. Pág. 81.

De acuerdo a lo anterior, es posible que esta variable al no haberse controlado haya afectado en la remoción de LAS.

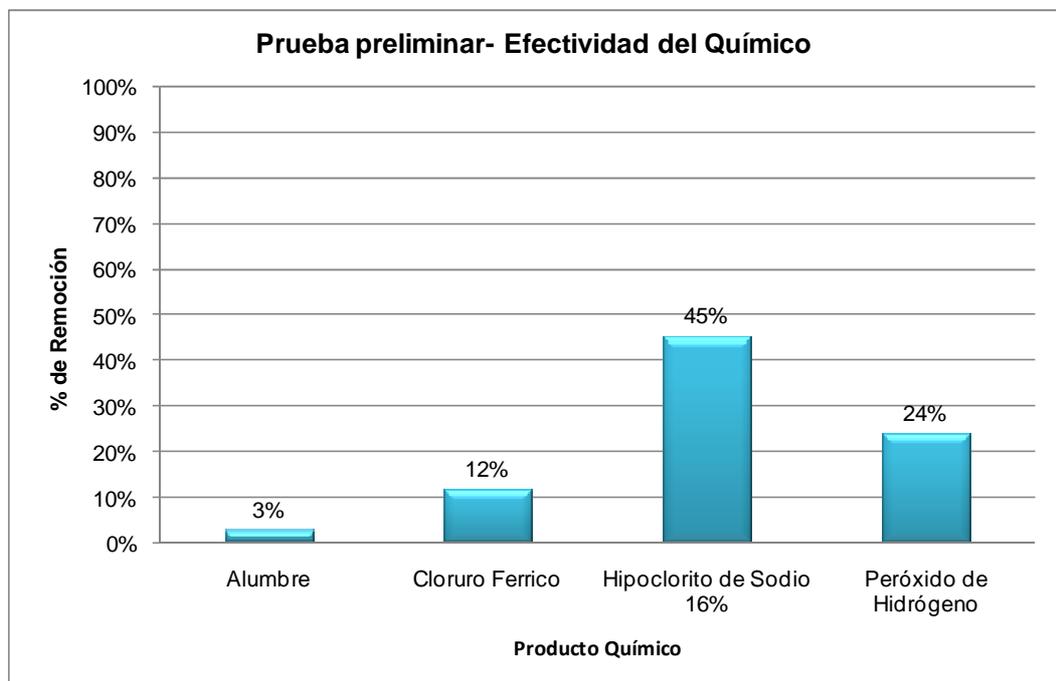
La disponibilidad de nutrientes (materia orgánica) disueltos como alimento probablemente fue una de las variables que también influyó en la ineficiencia del tratamiento y es probable que los microorganismos hayan muerto por la ausencia de los nutrientes. Esta afirmación concuerda con lo plasmado por Tchobanoglous en su libro Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales, en donde afirma que la ausencia de materia orgánica disuelta es la causa principal de muerte de las bacterias.

En cuanto al tiempo de duración del tratamiento, éste fue determinado subjetivamente, no hubo fundamento teórico que soportara el tiempo de 7 días que se empleó en el mismo, es por esto que quizá fue otra de las variables que influyó en la ineficiencia del tratamiento. En otros tipos de tratamientos biológicos que si han sido efectivos, se ha tenido en cuenta el tiempo de retención, algunos ejemplos son:

El plasmado por Balaguer, E. (2011), en su trabajo de Maestría llamado “Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales procedentes de una tenería y optimización de la fase de sedimentación”, en el cual optimizó el tiempo de retención para este tipo de tratamiento (Balaguer, 2011).

En el estudio de Varila y Diaz (2008) denominado “Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio”, en el que demuestra que con un adecuado manejo del tiempo de retención, la remoción de algunos parámetros es más efectiva (López, Varila, & Díaz, 2008).

## 12.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EFECTIVIDAD DEL QUÍMICO



**Gráfica 1:** Porcentajes de remoción por cada químico.

Fuente: Autor

En la gráfica 1 se evidencia la efectividad de cada químico usado en el tratamiento de aguas con altos contenidos de tensoactivos, el Alumbre alcanzó un 3% de remoción siendo este un porcentaje bajo para el tratamiento del agua, el Cloruro Férrico alcanzó un 12% de remoción, sin embargo, comparado con el Peróxido de Hidrógeno resultó ser más bajo, ya que éste último alcanzó un 24% de remoción, el doble de remoción que el Cloruro Férrico, por otro lado, el Hipoclorito de Sodio al 16% obtuvo el mayor porcentaje de remoción alcanzando un 45% lo que permitió que fuese el producto químico utilizado en la tratabilidad de las aguas con altos contenidos de SAAM.

Las posibles causas asociadas a las bajas remociones de los productos químicos usados en el tratamiento químico del agua se explican a continuación:

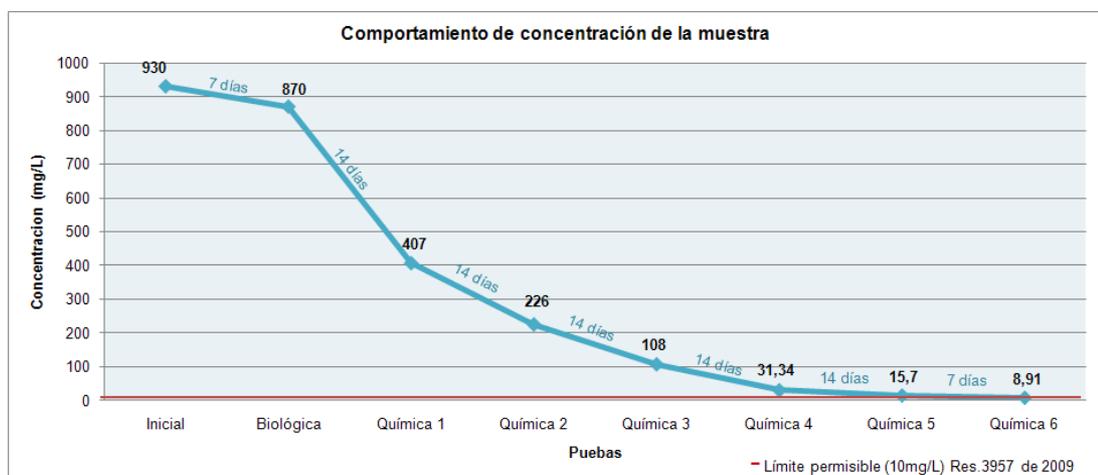
El Alumbre es un coagulante químico utilizado para la clarificación del agua y eliminación de la turbidez, procesos mediante los cuales también ayudan a remover la concentración de microorganismos, puesto que las bacterias, virus y parásitos son partículas coloidales que pueden adherirse a otro tipo de materia en suspensión, generando el aumento de la turbidez. La aplicación de alumbre en el agua es muy efectiva porque remueve la concentración de microorganismos entre un 90 y 99% (Olivero, Mercado, & Montes, 2013). De acuerdo con lo anterior es posible afirmar que el alumbre es más usado en la eliminación de turbidez y no como un oxidante de materia presente en el agua, factor por el cual demostró una baja remoción en el agua con concentraciones altas de tensoactivos.

En cuanto al Cloruro Férrico, tiene un alto poder de formación de flóculos, lo que permite que este producto químico sea usado en diferentes aplicaciones, como por ejemplo coagulante en el tratamiento de aguas residuales, industriales y potables, también es utilizado como un acondicionador de lodos, agente lixivante, entre otros, además es muy utilizado en aguas que tienen un pH elevado (Occidental Chemical Chile Limitada, 2008). Posiblemente, las anteriores razones no lograron que su eficiencia en la remoción de tensoactivos aniónicos fuera la esperada, además de que el pH se manejó en condiciones que quizá no fueron óptimas para este químico

Respecto a los dos últimos productos químicos utilizados, el Peróxido de Hidrogeno y el Hipoclorito de Sodio al 16%, se demostró que alcanzaron los porcentajes más altos de remoción para el tratamiento de aguas con altos contenidos de tensoactivos. Aunque el Peróxido de Hidrogeno tiene un potencial mayor de oxidación, es más versátil y el más utilizado, no alcanzó un óptimo desempeño en el agua residual a tratar y el que mejor se comportó fue el Hipoclorito de Sodio al 16% ya que se adaptó más a las características y condiciones del agua residual a tratar.

## 12.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS GENERALES DE LA TRATABILIDAD

En la gráfica 2 se observan las concentraciones (mg/L) finales de cada prueba realizada al agua residual con altos contenidos de tensoactivos, lográndose en la prueba química 6 una concentración de 8,91 mg/L, situándose por debajo del límite máximo permisible en la norma, el cual es de 10mg/L.



**Gráfica 2:** Concentración de SAAM de la muestra.

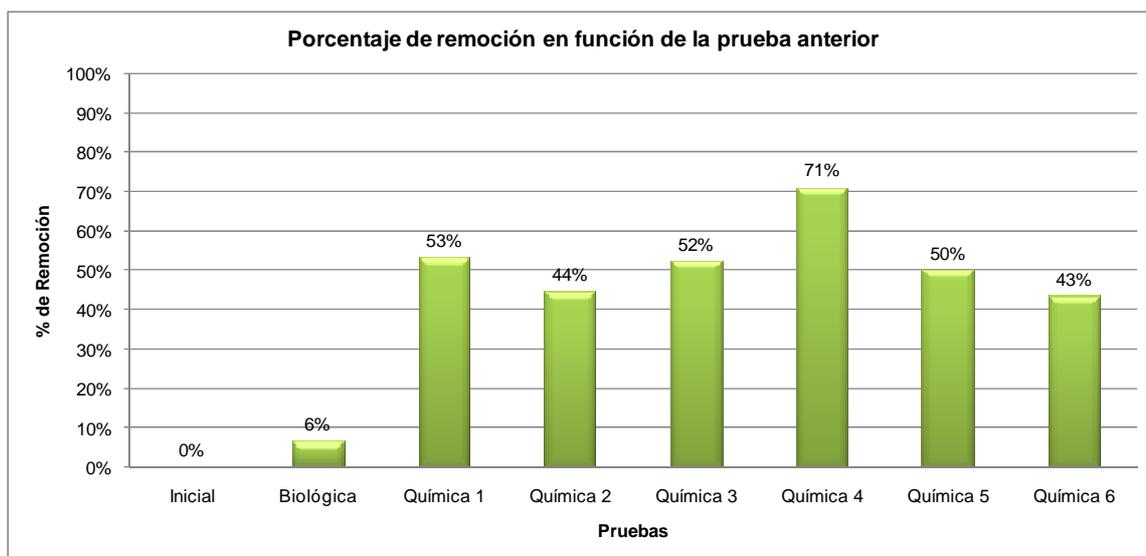
Fuente: Autor.

En la gráfica 3 se pueden observar los porcentajes de remoción de tensoactivos en cada prueba realizada respecto a la prueba inmediatamente anterior, la prueba biológica alcanzó tan sólo un 6% de remoción con una concentración de 870 mg/L, pasados 7 días se realizó la prueba química 1, la cual alcanzó un 53% de remoción respecto a la prueba biológica, con una concentración de 407 mg/L.

Pasados los 14 días para realizar la prueba química 2, esta logró un porcentaje de remoción de 44% respecto a la prueba química 1, logrando una reducción en la concentración de SAAM y alcanzando los 226 mg/L. Trascurridos otros 14 días se realizó la prueba química 3, la cual obtuvo un porcentaje de remoción respecto a la prueba anterior de 52%, alcanzando una concentración de 108 mg/L.

Pasados otros 14 días se procedió con la prueba química 4, la cual obtuvo un porcentaje de remoción de 71% respecto a la prueba anterior, el más alto de todas las pruebas y una concentración de 31,34 mg/L. En la prueba química 5 se logró un porcentaje de remoción de 50% y una concentración de 15,7 mg/L y finalmente, después de trascurridos 7 días de ésta prueba se realizó la prueba

química 6 la cual obtuvo un porcentaje de remoción respecto a la anterior de 43% y logró cumplir con el objeto, reducir la concentración de SAAM a una concentración menor de 10 mg/L, alcanzando una concentración final de 8,91 mg/L y permitiendo que las aguas sean posiblemente reutilizadas o vertidas por el laboratorio Conoser Ltda.

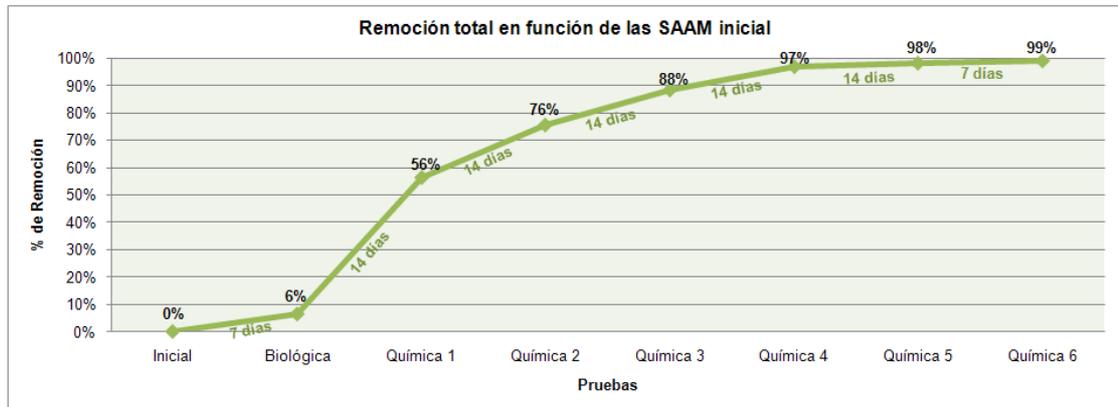


**Gráfica 3:** Porcentaje de remoción de cada prueba en función de la prueba anterior.

Fuente: Autor

Durante las 6 pruebas químicas realizadas, el porcentaje de remoción osciló entre 43% y 71%, con un porcentaje promedio de remoción de 52%, lo que permitió la eficiencia en el tratamiento y lograr cumplir con el objetivo propuesto.

La gráfica 4, muestra la eficiencia de cada prueba realizada respecto a la concentración de SAAM inicial. Se evidencia una tendencia ascendente durante la realización de todas las pruebas y es posible demostrar que al final de las pruebas químicas se logró una remoción del 99% de la concentración inicial de SAAM.



**Gráfica 4:** Porcentaje de remoción en cada prueba respecto a la concentración inicial de SAAM.

Fuente: Autor.

Los óptimos resultados obtenidos de las pruebas químicas realizadas permitieron realizar una última prueba asociada a la determinación de coliformes totales en el agua residual.

De acuerdo a los resultados presentados anteriormente es posible afirmar que el tratamiento químico realizado con hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) consistió en la oxidación del Lauril Alquil Sulfonato LAS, el cual es el compuesto que determina la concentración de los tensoactivos aniónicos, por ende determina la concentración de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). Gracias a esta oxidación se evidenció la remoción en la concentración de los tensoactivos aniónicos presentes en el agua tratada, alcanzando una concentración por debajo de lo permitido en la norma ( $<10\text{mg/L}$ ). Esta afirmación concuerda con lo expuesto por Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez y Rosero, en el 2009, los cuales comprobaron que el hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) y el hipoclorito de calcio ( $\text{CaClO}$ ) son efectivos para la oxidación de compuestos químicos, en su caso oxidación de cianuro.

## 12.4 ANALISIS DE RESULTADOS DE LA PRUEBA MICROBIOLÓGICA

Una vez terminados los análisis de las pruebas químicas y obtenida una concentración por debajo de límite máximo permisible en la norma se procedió con la realización de la prueba microbiológica para la determinación de la presencia o ausencia de coliformes totales, esto con el fin de determinar el uso que se le daría al agua tratada en el laboratorio Conoser Ltda, de evidenciarse presencia de coliformes el agua se debía verter a la red de alcantarillado, de no encontrarse presencia de coliformes el agua podría ser reutilizada en el laboratorio para la limpieza de las instalaciones.

El resultado de la prueba microbiológica arrojó un valor de  $<1$  NMP/100ml y de acuerdo con la norma se encuentra por debajo del límite máximo permisible, es decir la presencia de coliformes fue nula para las aguas residuales tratadas. La ausencia de coliformes en el agua tratada fue debido a que el Hipoclorito de Sodio al 16% actúa como desinfectante y ésta fue la causa de muerte de los coliformes en el agua.

El resultado de la prueba microbiológica permite identificar el uso que se le dará al agua en el Laboratorio Conoser Ltda., la cual se reutilizará para limpieza de las diferentes áreas del laboratorio. Al haber ausencia de coliformes en el agua se garantiza que el agua no va a dejar residuos de organismos patógenos cuando se utilice la misma en la limpieza de las instalaciones (ver figura 31).



**Figura 31:** Utilización del agua tratada en las instalaciones del laboratorio Conoser Ltda.

Fuente: Autor

### 13. CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo de reducir la concentración inicial de SAAM a 8,91 mg/L, lo que quiere decir que se cumple con la Resolución 3957 del 2009 la cual exige una concentración máxima permisible de <10 mg/L y rige en Bogotá. Esto conllevó a poder realizar el análisis microbiológico de coliformes totales.
- Fue posible determinar un tratamiento óptimo en la reducción de la concentración de SAAM en el agua residual del laboratorio, para el cual se utilizaron pruebas químicas con Hipoclorito de Sodio al 16%.
- Fue posible realizar varias pruebas químicas al agua, que permitieron evidenciar porcentajes óptimos de remoción una a una logrando reducir la concentración de SAAM al objetivo deseado.
- Con base en los resultados obtenidos al final de la tratabilidad, se puede decir que si es factible en el aspecto ambiental implementar una metodología que conlleve al tratamiento de las aguas residuales con altos contenidos de tensoactivos aniónicos dentro de las instalaciones de Conoser Ltda.. Por otra parte, se pudo llevar a cabo la reutilización del agua para la desinfección de las instalaciones. dado que la prueba microbiológica resultó negativa para coliformes.
- Aunque ya existan otros tipos de tratamiento más efectivos, sería posible tratar aguas con estas características dentro de los diferentes laboratorios de la ciudad y del país con tratamientos más convencionales y más económicos; en donde el caudal que se maneje no sea mayor a 100 litros por año.

## 14.RECOMENDACIONES

- Para próximas tratabilidades tener en cuenta el análisis de otras variables como temperatura y el caudal de aireación con el fin de determinar si con la medición de estas es más efectivo el tratamiento del agua con altos contenidos de tensoactivos.
- Para tratabilidades futuras no utilizar hipoclorito analítico, sino hipoclorito industrial ya que éste es de menor costo y reduciría los costos de tratabilidad de estas aguas dentro del laboratorio Conoser Ltda.
- Al realizar el tratamiento, buscar recipientes que sean aforados, para que la medida del agua a tratar sea más exacta y así buscar mayor exactitud en el tratamiento.
- Para próximas tratabilidades de aguas con altos contenidos de tensoactivos, capacitar a los demás empleados del laboratorio Conoser Ltda para que puedan efectuar la tratabilidad del agua.

## BIBLIOGRAFÍA

American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF). (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*.

Balaguer, A. (Septiembre de 2011). *Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales*. Recuperado el 12 de Febrero de 2015, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/15367?show=full>

Carvajal, J. (2011). *Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552011000200009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552011000200009&script=sci_arttext)

Castellar, & Osorio. (2012). *Estado del arte de la fotocatalisis solar como técnica para la remoción de efluentes químicos provenientes de laboratorios*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de [http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co:8080/jspui/bitstream/10819/1144/1/Estado%20del%20arte%20de%20la%20fotocat%C3%A1lisis\\_Mar%C3%ADa%20Irene%20Castellar%20Ramos\\_USBCTG\\_2012.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co:8080/jspui/bitstream/10819/1144/1/Estado%20del%20arte%20de%20la%20fotocat%C3%A1lisis_Mar%C3%ADa%20Irene%20Castellar%20Ramos_USBCTG_2012.pdf).

Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo (CIMAD). (2014). *Sistemas de tratamiento de aguas*. Obtenido de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/AVA\\_II-SEM-2014/Unidad\\_2/s.f\\_Sistemas\\_tratamiento\\_de\\_aguas.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/AVA_II-SEM-2014/Unidad_2/s.f_Sistemas_tratamiento_de_aguas.pdf)

Conoser Ltda. (s.f.). *Conoser Ltda*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de [www.conoser.com.co](http://www.conoser.com.co)

Consultoría y Servicios Conoser Ltda. . (2012). *Biodegradabilidad Relación DQO/DBO*. Bogotá D.C., Colombia: Laboratorio Conoser Ltda.

Cubillos, & Moncada. (2006). *Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de remoción fotocatalítico de tensoactivos aniónicos*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/14837/1/T41.06%20C891e.pdf>.

Dailey. (2012). *¿Qué es la Aireación del Agua?* Recuperado el 8 de Septiembre de 2014, de [//www.rwlwater.com/que-es-la-aireacion-del-agua/?lang=es](http://www.rwlwater.com/que-es-la-aireacion-del-agua/?lang=es)

Díaz. (2008). *Scielo*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de Eliminación de Surfactante dodecilbencensulfonato sódico de las aguas mediante adsorción en carbones activados, ozonización catalizada y foto oxidación.: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552011000200009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552011000200009&script=sci_arttext)

Google. (s.f.). *Google maps*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de <https://www.google.com.co/maps/@4.7115143,-74.0705049,15z>

Hill, J., & Kolb, D. (1999). *Química para el nuevo milenio. Productos químicos para el hogar*. México D.F.: Prentice Hall Inc.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1997). Método de ensayo para determinar la biodegradabilidad del alquilbenceno sulfonato. *NTC 4229*. Colombia: ICONTEC.

López, J., Varila, A., & Díaz, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*.

Luis, S., Burguete, M., & Altava, B. (1997). *Introducción a la Química Orgánica*. Castelló de la Plana. Publicaciones de la Universidad Jaume.

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Sistemas de pretratamiento de aguas residuales industriales. En: Ministerio del Medio Ambiente. Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales*. Bogotá D.C: Fitolito América Ltda.

Occidental Chemical Chile Limitada. (2008). *Manual Cloruro Férrico*. Recuperado el 5 de Marzo de 2015, de [http://www.oxychile.cl/rps\\_oxychile\\_v56/OpenSite/Oxy%20Espa%C3%B1ol/Productos%20y%20Servicios/Cloruro%20F%C3%A9rrico/20080408143356/ManualCloruroF%C3%A9rrico\\_OFICIAL.pdf](http://www.oxychile.cl/rps_oxychile_v56/OpenSite/Oxy%20Espa%C3%B1ol/Productos%20y%20Servicios/Cloruro%20F%C3%A9rrico/20080408143356/ManualCloruroF%C3%A9rrico_OFICIAL.pdf)

Olivero, R., Mercado, I., & Montes, L. (Junio de 2013). *Remoción de la Turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica**. Recuperado el 5 de Marzo de 2015, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552013000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552013000100003&script=sci_arttext)

Ramos, F., Sepúlveda, R., & Villalobos, M. (2002). *El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis*. Baja California: Plaza y Valdez. Universidad Autónoma de Baja California.

Rodriguez, M. (1996). *Tesis doctoral: Contribución al estudio de la degradación anaerobia de tensioactivos aniónicos: Alquilbencenosulfonatos lineales, alquil sulfatos y alcoholes etoxilados sulfatos*. España.

Romero, J. (1996). *Acuiquímica*. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Secretaría Distrital de Ambiente. Resolución 3957 de 2009. Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital.

Tchobanoglous, B. (1998). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Procesos biológicos unitarios*. España.: Metcalf & Eddy.

Vasquez, & Beltran. (2004). *Scielo*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2014, de Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas.: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442004001000005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442004001000005&script=sci_arttext)

Vigo, S. (2013). *Ambientes limpios vida sana. Impacto ambiental y uso de detergentes*. Recuperado el 18 de Agosto de 2014, de <http://www.panoramacajamarquino.com/noticia/impacto-ambiental-y-uso-de-detergentes/>

Water Treatment Solutions Lenntech. (2010). *Water Treatment Solutions Lenntech*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2014, de Tratamiento y purificación del agua. Desinfectantes Hipoclorito de Sodio.: <http://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/quimica/desinfectantes-hipoclorito-de-sodio.htm#ixzz3CSZqmwCV>