

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA
AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN UNA
LAVANDERÍA INDUSTRIAL**

ZULELLY VANEGAS FORERO

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y
ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO
AMBIENTE
MANIZALES
2019**

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA
AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN UNA
LAVANDERÍA INDUSTRIAL**

**Proyecto para optar al título de Magister en Desarrollo
Sostenible y Medio Ambiente, del estudiante:
ZULELLY VANEGAS FORERO**

**Directora:
GLORIA MARÍA RESTREPO FRANCO Ph.D.
Línea de investigación:
Biosistemas Integrados**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y
ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO
AMBIENTE
MANIZALES
2019**

Acta de calificación

Evaluación de un sistema de tratamiento para aguas residuales no domésticas en una lavandería industrial

ZULELLY VANEGAS FORERO

**Tesis para optar el título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

Nota de aceptación Jurado:

Jurado 1

Jurado 2

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo en este proyecto, a mi docente directora por su paciencia y buena interpretación de mis ideas para esta investigación y a Dios por permitirme realizar cosas como ésta.

Tabla de contenido

Lista de tablas.....	1
Lista de figuras	2
Lista de anexos.....	3
Resumen	4
Abstract	4
1. Introducción	5
2. Objetivos.....	7
2.1. Objetivo general.....	7
2.2. Objetivos específicos	7
3. Referente teórico	8
3.1. Generalidades y antecedentes.....	8
3.2. Marco teórico	9
3.2.1. Aguas residuales	9
3.2.2. Métodos de tratamiento del agua residual	10
3.2.3. Proceso industrial de lavado de textiles	13
3.2.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas provenientes del lavado de textiles en una lavandería industrial.....	15
3.2.5. Parámetros de interés para los efluentes generados a partir de la actividad de lavado de textiles según la norma nacional	20
4. Materiales y métodos	26
4.1. Área de estudio.....	26
4.2. Población y muestra	26
4.3. Verificación del cumplimiento de la normatividad nacional vigente en relación con ciertas sustancias de interés sanitario presentes en el agua residual no domestica tratada de una lavandería	27
4.4. Valoración del efecto de los procesos de aireación y de biorremediación adaptados al sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de una lavandería	28
4.4.1. Establecimiento de la efectividad de los procesos	30

4.5. Diseño de propuesta metodológica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento en estudio.....	31
5. Resultados y discusión.....	33
5.1. Verificación del cumplimiento de la normatividad nacional vigente en relación con indicadores de interés sanitario presentes en el agua residual no doméstica tratada de una lavandería.....	33
5.2. Valoración del efecto de los procesos de aireación y de biorremediación adaptados al sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de una lavandería	33
5.2.1. Análisis de resultados por parámetro.....	36
5.3. Propuesta metodológica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento en estudio	44
6. Conclusiones	46
7. Recomendaciones.....	47
8. Referencias bibliográficas	48
ANEXOS	53

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros y valores límites máximos permisibles según la Resolución 0631 de 2015 - Art 15 y 16.....	20
Tabla 2. Parámetros de muestreo.....	27
Tabla 3. Características del aireador.....	29
Tabla 4. Resultados del muestreo 1.....	33
Tabla 5. Resultados del muestreo 2.....	34
Tabla 6. Resultados del muestreo 3.....	34
Tabla 7. Comparación de los muestreos 1, 2 y 3.	35

Lista de figuras

Figura 1. Dimensiones y volumen del interceptor de grasa de una lavandería industrial, 2017.....	15
Figura 2. Diseño del interceptor de grasa de una lavandería industrial, 2017.	16
Figura 3. Localización geográfica de una lavandería industrial, ArcGIS, 2017.	26
Figura 4. Vista de perfil interceptor de grasa con el proceso de aireación.....	28
Figura 5. Aplicación de bacterias en las recámaras 1 y 2 del interceptor de grasa	30
Figura 6. Muestreos realizados y cronología.	31
Figura 7. Comportamiento del parámetro DBO_5 en los muestreos realizados.	36
Figura 8. Comportamiento del parámetro DQO en los muestreos realizados.	37
Figura 9. Comportamiento del parámetro sólidos suspendidos totales, en los tres muestreos realizados.	39
Figura 10. Comportamiento de los sólidos sedimentables, en los muestreos realizados.	40
Figura 11. Comportamiento del parámetro grasas y aceites, en los muestreos realizados.	41
Figura 12. Comportamiento del parámetro tensoactivos SAAM en los muestreos realizados.	43
Figura 13. Procesos de osmosis y osmosis inversa.	45

Lista de anexos

Anexo I. Acuerdo de confidencialidad.	53
--	----

Resumen

El recurso hídrico ha sido uno de los más afectados por la industria textil, en especial por la actividad de lavado de textiles. La mayoría de este recurso luego de ser utilizado es vertido en alcantarillados públicos y/o fuentes hídricas sin ningún tratamiento. La presente investigación está relacionada con la determinación del efecto del tratamiento del agua residual no doméstica generada por una lavandería industrial mediante la incorporación de los procesos de aireación y biorremediación. Se aplicó investigación bibliográfica, experimental de campo y cualitativa. Para ello se tomaron tres muestreos del efluente y fueron caracterizados seis parámetros fisicoquímicos como lo son DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites y tensoactivos a través de laboratorio acreditado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Estos resultados fueron comparados con la normatividad vigente en Colombia relacionada con caracterización de vertimientos y la actividad económica de lavandería. Con respecto a las características del efluente antes de la incorporación de los nuevos procesos, se incumplía la norma por valores altos en algunos de los parámetros analizados, aunque luego de la inclusión de los procesos adicionales al sistema de tratamiento, se identificó una disminución de sus concentraciones, aunque en algunos de los parámetros aún incumplieron la norma. Finalmente se definió una propuesta metodológica para mejorar aún más la efectividad de este tipo de sistemas de tratamiento de aguas residuales no domésticas.

Palabras clave: Lavandería; Agua residual; Efluente; Sistema de tratamiento; Biorremediación; Aireación.

Abstract

The water resource has been one of the most affected by the textile industry, especially by the activity of washing textiles and most of this resource after being used is discharged into public sewers and / or water sources without any treatment. The present investigation is related to the determination of the effect of the treatment of non-domestic wastewater generated by an industrial laundry by incorporating the processes of aeration and bioremediation. Bibliographic, experimental field and qualitative research was applied. To do this, three samples of the effluent were taken and six physicochemical parameters were characterized, such as COD, BOD₅, total suspended solids, settle able solids, fats and oils and surfactants through laboratories accredited to the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies - IDEAM. These results were compared with the regulations in force in Colombia related to the characterization of dumping and the economic activity of laundry. With regard to the characteristics of the effluent before the incorporation of the new processes, it violated the norm by high values in some of the analyzed parameters, although after the inclusion of the additional processes to the treatment system, a significant decrease of its concentrations although in some of the named parameters have not yet complied with the norm, there was defined a methodological proposal to further improve the effectiveness of this type of non-domestic wastewater treatment systems..

Keywords: Laundry; Wastewater; Effluent; Treatment system; Bioremediation; Aeration.

1. Introducción

Las lavanderías en la actualidad son muy comunes a nivel mundial, debido a la necesidad del lavado y limpieza de textiles, no solo de prendas de vestir, sino de ropa de cama, menaje, cortinas y demás textiles de uso diario. Esta necesidad ha llevado a la creación de lavanderías de gran envergadura.

De acuerdo con el periódico colombiano El Tiempo (1994) en Colombia las lavanderías parecen grandes empresas de lavado de ropa, puesto que se esfuerzan por importar tecnología y dar una mejor atención a los clientes, aunque también consumen recursos naturales, en especial agua. Igualmente referencian que en Bogotá existen cerca de 450 lavanderías y se calcula que en el país hay aproximadamente 8.000, es decir que el sector prestador del servicio de lavado de textiles es amplio y genera variedad de impactos ambientales derivados del desarrollo de sus actividades.

Estas lavanderías industriales, necesitan una gran cantidad de energía y agua para funcionar. Los distintos equipos eléctricos que se utilizan para lavar, secar y planchar la ropa son maquinaria pesada que está conectada la mayor parte de día y que requiere un importante aporte energético. Adicionalmente, el proceso de lavado de textiles acarrea una alta demanda sobre el recurso hídrico teniendo en cuenta el número de industrias que prestan este servicio.

Debido a los grandes consumos de agua empleada en la actividad, y dado que los textiles proceden de diferentes fuentes, se da lugar a que el agua residual de los procesos de lavado se encuentre contaminada con distintos tipos de compuestos. Igualmente, se emplean insumos en el lavado para facilitar su limpieza, los cuales aportan en la contaminación que se genera a través del proceso. De esta manera el agua residual de las lavanderías industriales puede contener contaminantes como metales pesados, aceites, grasas, materiales orgánicos y sólidos en suspensión, principalmente (Lizarazo B. & Orjuela G., 2013).

Como se puede apreciar, el tratamiento del agua residual proveniente del lavado textil es uno de los más difíciles de implementar, la presencia de los compuestos contaminantes se ve reflejada en las altas concentraciones de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), en consecuencia el pH del agua residual también varía a lo largo de un periodo de tiempo, y teniendo en cuenta el volumen y la composición de sus efluentes, estas aguas residuales no domésticas son unas de las más contaminantes de los sectores industriales (Sen & Demirer, 2003).

Dado lo anterior, para las lavanderías industriales es necesario contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales efectivo según con el volumen de lavado, el agua utilizada y el agua vertida, de modo que se mejore la calidad del efluente y se mitiguen los impactos ambientales generados al recurso hídrico. Por lo cual se adicionaron procesos de aireación y biorremediación a un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas provenientes de una lavandería industrial con el fin de optimizar su función y mejorar la calidad del efluente.

El desarrollo de este proyecto está enfocado en el sector textil, específicamente en el lavado en base húmeda. La evaluación de un sistema de tratamiento de aguas no domésticas provenientes de una lavandería industrial aspira proporcionar a ésta y otras industrias un tipo de alternativas para mitigar los impactos causados al recurso hídrico, por el desarrollo de sus procesos. Adicionalmente, se espera apoyar en el fortalecimiento del sistema para el cumplimiento de las normas ambientales vigentes.

Este estudio permitirá conocer el efecto de la adición de nuevos procesos como aireación y biorremediación con aplicación de bacterias para la adecuación del sistema de tratamiento de aguas no domésticas y el mejoramiento de la calidad del agua del efluente generado por la lavandería. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales para este tipo de industrias contemplan únicamente tratamientos primarios y en menor medida tratamientos secundarios, mientras que los planteados en esta investigación funcionan como un apoyo o refuerzo a estos sistemas convencionales.

Además, el estudio será una referencia para el sector de lavado de textiles y otros sectores de la industria en los temas de descontaminación de aguas con niveles elevados de DBO o DQO₅ ya que podrá incluirse como línea base o apoyo para nuevos proyectos relacionados con el mejoramiento de calidad del recurso a través de la aireación o la biorremediación. El trabajo realizado permitirá retroalimentar la línea de investigación en Biosistemas Integrados, en el aporte en la evaluación e implementación de procesos biológicos en el tratamiento de aguas residuales no domésticas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, en una lavandería industrial.

2.2. Objetivos específicos

- Verificar el cumplimiento de la normatividad nacional vigente en relación con indicadores de interés sanitario presentes en el agua residual no doméstica tratada en una lavandería.
- Valorar el efecto de los procesos de aireación y de biorremediación adaptados al sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de una lavandería.
- Diseñar una propuesta metodológica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento en estudio.

3. Referente teórico

3.1. Generalidades y antecedentes

Las aguas residuales son aquellas que han sido manipuladas por diversas actividades humanas y que debido a la naturaleza de su uso presentan una composición variada. La disposición final de estos efluentes ocurre en cuerpos de agua superficiales o a alcantarillados públicos (Espinoza, 2016). En Colombia para evacuar estos efluentes, de acuerdo con la actividad productiva de las industrias, se deben cumplir con la normatividad vigente, aunque en muchos casos es común que se incumplan las regulaciones por no llevar a cabo tratamientos efectivos o suficientes para los efluentes (Organización Mundial de la Salud-OMS, 2015).

En el rastreo bibliográfico realizado se evidenciaron escasos estudios que tienen como objeto el tratamiento de los vertimientos generados en lavanderías. Se encuentran algunos estudios, relacionados con el diseño de plantas de tratamiento, análisis de la inclusión de filtros de grava en sistemas de tratamiento, caracterización de aguas residuales no domésticas provenientes de lavanderías, sistemas de reciclaje de agua residual de lavanderías, entre otros. No se rastrearon estudios en los cuales se incluyeran procesos adicionales, para optimizar la acción del sistema de tratamiento de estas aguas residuales.

En Bogotá el sector de lavanderías se ha desarrollado de manera informal en su mayoría. Sin embargo, la Secretaría Distrital de Ambiente-SDA, creó la ventanilla Acercar, como una unidad técnica asistencial para micro, pequeñas y medianas empresas y en su tercera fase realizó el Manual de Servicio de Lavanderías, con el fin de incentivar programas de minimización de residuos, tecnologías limpias y eco-eficiencia dentro del proceso productivo del sector (Daza, Gómez, Palacios, & Tabares, 2005).

Igualmente, la SDA como autoridad ambiental realiza seguimiento a varias lavanderías de la ciudad con el fin de identificar su condición ambiental evaluando aspectos como emisiones atmosféricas, vertimientos y ruido, con el objeto de dar cumplimiento a la normatividad ambiental vigente. Según estudios realizados por la misma entidad (antiguo Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente-DAMA), para el año 2005 en la ciudad se registraron 141 lavanderías convencionales, 11 lavanderías industriales, 62 agencias de lavandería, 121 empresas de lavado a domicilio

de tapetes, 5 agencias de servicio de aseo y 10 lavanderías autoservicio (Daza, Gómez, Palacios, & Tabares, 2005).

3.2. Marco teórico

3.2.1. Aguas residuales

Son aquellas aguas que por el uso del hombre representan un peligro y deben recibir algún tipo de tratamiento de acuerdo con su composición, con el fin de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar la contaminación de fuentes o sistemas receptores y un posterior impacto a la salud pública y al ambiente (Espigares & Pérez, 1985).

De acuerdo con Reynolds (2002) en general, las aguas residuales contienen dos componentes, un efluente líquido constituido por aproximadamente un 99,9% de agua y un constituyente de materia sólida, conocido como lodo. Estos residuos sólidos de las aguas residuales están conformados por materia mineral y materia orgánica. De acuerdo con la Resolución 0631 de 2015 las aguas residuales se clasifican en aguas residuales domésticas y aguas residuales no domésticas.

3.2.1.1. Aguas residuales domésticas

Según Christova-Boal, Eden, & Mcfarlane (1996) estas son las aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado; su caudal y composición son variables, pueden tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos.

También son aguas residuales domésticas las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a: descargas de los retretes y servicios sanitarios, descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial) (Resolución 0631, 2015).

3.2.1.2. *Aguas residuales no domésticas*

Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas, (ARD). (Resolución 0631, 2015). Las aguas residuales no domésticas también son conocidas como aguas residuales industriales las cuales provienen de industria o fabricación de productos y en algunos casos de la prestación de servicios. La cantidad y composición de estas aguas es bastante variable, pues dependiente de la actividad productiva y de muchos otros factores como tecnología empleada, calidad de la materia prima, entre otros. Así estas aguas pueden variar desde aquellas con alto contenido de materia orgánica biodegradable como mataderos, industria de alimentos, etc., otras con materia orgánica y compuestos químicos como curtiembres, industria de celulosa etc., y finalmente industrias cuyas aguas residuales contienen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables como metalúrgicas, textiles, químicas, mineras entre otros (Yaulema, 2015).

Según Espigares & Pérez López (1985) las aguas residuales no domésticas o industriales además de que provienen de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales, contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal razón por la cual su composición es muy variable, depende directamente de las diferentes actividades industriales.

3.2.2. *Métodos de tratamiento del agua residual*

El grado de tratamiento para las aguas residuales está relacionado con los límites de vertido para el efluente. En la actualidad existe la tendencia a agrupar los métodos de tratamiento en grupos de acuerdo con la eficiencia remocional de carga orgánica (procesos unitarios) (Jimenez, De Lora , & Sette Ramalho, 1996). Los sistemas de tratamiento se clasifican de acuerdo con el tipo de proceso o por el grado de tratamiento.

De acuerdo con Collazos (2008) los sistemas de tratamiento de agua residual clasificados por tipo de proceso pueden ser:

- Procesos físicos: Remoción de material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentador primario, espesadores y filtración.

- Procesos químicos: Aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Se aplican los procesos de precipitación, adsorción y desinfección.
- Procesos biológicos: Se llevan a cabo gracias a la actividad biológica de los microorganismos. Su fundamento se basa en la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación del N y P y producción de gases.

Los procesos y las operaciones unitarias también se han agrupado bajo la denominación de tratamiento primario, secundario y terciario. En el tratamiento primario se agrupaban las operaciones del tipo físico para eliminar sólidos en suspensión y materiales flotantes que en algunos casos incluye neutralización u homogenización, en el secundario los procesos biológicos de asimilación de la materia orgánica y el término terciario o tratamiento avanzado se ha aplicado a las operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes no removidos por el tratamiento primario o secundario (Rojas, 2002) (Jimenez, De Lora , & Sette Ramalho, 1996).

3.2.2.1. *Tratamientos preliminares*

Según Rojas (2002) este tipo de tratamientos están destinados a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el fin de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de los sistemas de tratamiento.

Para Metcalf & Eddy (2003) el pretratamiento se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia puede provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

El objetivo de este tipo de tratamientos es eliminar sólidos gruesos, desmenuzamiento de sólidos, eliminación de arenas, gravillas, aceites y grasas y control de olores para el mejoramiento del comportamiento hidráulico. Teniendo en cuenta los postulados de Lizarazo & Orjuela (2013) los tratamientos preliminares son: rejillas o cribado, tamices, trituradores, homogenización o tanques de igualación, desarenadores, desengrasadores, pre aireación, entre otros.

3.2.2.2. *Tratamientos primarios*

Para Metcalf & Eddy (2003) en el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual, esta supresión generalmente se lleva a cabo mediante operaciones físicas como sedimentación y tamizado. Las aguas residuales del tratamiento primario suelen contener gran cantidad de materia orgánica y una DBO alta.

Este tratamiento tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica, reduce los sólidos en suspensión del agua residual y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (Rojas, 2002). Entre los tipos de tratamiento primario se encuentran la sedimentación, flotación, coagulación, floculación, precipitación química, filtros gruesos y trampas de grasa, principalmente (Lizarazo B. & Orjuela G., 2013).

3.2.2.3. *Tratamientos secundarios*

El objetivo del tratamiento secundario es la remoción de la DBO soluble y de sólidos suspendidos que no son removidos en los procesos anteriores; aproximadamente el 85% de componentes orgánicos como DBO y Sólidos Suspendidos son removidos, aunque la remoción de nutrientes, nitrógeno, fósforo, metales pesados y patógenos es baja. Las reacciones que generan estos procesos son generalmente biológicas (Aldana, Zuluaga, & Arredondo, 2011).

Este tipo de tratamiento tiene como objetivo eliminar sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables, algunas veces este tipo de tratamiento incluye desinfección y eliminación de nutrientes. El tratamiento secundario también se conoce como la combinación de diferentes procesos para la eliminación de los constituyentes anteriormente nombrados e incluye tratamiento biológico (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).

Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aireadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. De

acuerdo con Rojas (2002) los tratamientos secundarios son: filtración biológica, lodos activados, lagunas aireadas y anaerobias, difusión de oxígeno, entre otros.

3.2.2.4. *Tratamientos avanzados o terciarios*

Este tipo de tratamientos buscan complementar los procesos mencionados anteriormente para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que puedan ser utilizados para diferentes usos. Las sustancias o compuestos comúnmente removidos mediante estos métodos, son: fosfatos y nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tensoactivas, algas, bacterias y virus (desinfección), radionúclidos, sólidos totales y disueltos, temperatura (Rojas, 2002).

El tratamiento avanzado hace referencia a un nivel de tratamiento necesario más allá del tratamiento secundario para la eliminación de nutrientes, compuestos tóxicos y excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión, este tipo de tratamientos son: coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración, carbono activado. Para la eliminación de iones específicos y la reducción de sólidos disueltos se utilizan métodos como intercambio iónico y osmosis inversa. Otros tratamientos avanzados conocidos son separación fase gas, electrodiálisis, reducción, asimilación bacteriana, nitrificación y desnitrificación (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).

3.2.3. *Proceso industrial de lavado de textiles*

Los procesos de lavado de las lavanderías industriales varían de unas a otras de acuerdo con el flujo de prendas, tipo de prendas y el tipo de lavado. Sin embargo, se mencionan a continuación las principales actividades del proceso de lavado y la descripción de estas (Lavaseco Calamo Bogotá, 2017).

- **Recepción, marcado y separado:** Es el proceso mediante el cual se reciben las diferentes prendas y se clasifican según el tipo de tela y el tipo de lavado a realizar (lavado en agua y lavado en seco) y se marcan para su correspondiente lavado.
- **Remojo (lavado en agua):** Esta actividad aplica para lavado en agua, aquí las prendas son sumergidas por un periodo determinado en agua con jabones o productos químicos para suavizar el posterior retirado de la mugre.

- Pre-desmanche (lavado en seco): Es la actividad en la cual aplican las prendas que corresponden a lavado en seco, en ella se hace uso de productos químicos únicamente para suavizar manchas o mugre. En comparación al remojo esta actividad es más corta.
- Lavado en agua: En este tipo de lavado ingresan prendas que fueron remojadas y prendas que requieren de este tipo de lavado, en este punto todas las prendas son puestas en máquinas de lavado requeridas con el modo apropiado y agua. Se tiene en cuenta la capacidad de cada máquina para realizar la carga. Según el tipo de prendas a lavar se realizan dos o tres ciclos a las mismas prendas, para garantizar la limpieza de las mismas.
- Lavado en seco: El proceso de lavado en seco empieza con el pretratamiento de manchas utilizando sustancias limpiadoras especiales (pre-desmanche). Las prendas se cargan en una máquina secadora que se asemeja a una lavadora industrial. Durante el proceso de limpieza se utiliza un líquido que es filtrado y destilado para asegurar su claridad y pureza. El solvente utilizado por la mayoría de las tintorerías se llama Percloroetileno.
- Secado: Es el proceso mediante el cual se remueve el agua sobrante de las prendas que fueron lavadas en agua, en esta actividad se utilizan maquinas secadoras que succionan. Esta actividad también es conocida como centrifugado.
- Planchado y doblado: En esta actividad las prendas secas provenientes del lavado en agua y el lavado en seco reciben un acabado al ser alisadas mediante el uso de planchas industriales a vapor lo cual acondiciona la prenda para el uso. Las prendas que lo requieren son dobladas luego de ser planchadas.
- Acoplado y embolsado: Corresponde a la organización de prendas en ganchos y cubiertas de plástico con el fin de mantener las condiciones de higiene, limpieza y características físicas.

3.2.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas provenientes del lavado de textiles en una lavandería industrial

Actualmente existen varios sistemas de tratamiento de agua residual usados para tratar aguas residuales producto de la actividad de lavado industrial de textiles, como lo son trampas de grasa, Plantas de Tratamiento de Agua Residual – PTAR, sistemas de reciclaje de agua con desinfección por ozono, entre otros (Ruíz, Otalvaro, & Holguín, 2012). Las lavanderías industriales generalmente cuentan con el sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas tradicional, conformado por rejillas perimetrales en el área de operación e interceptor de grasa compuesto por tres recámaras como es el caso del Lavaseco Calamo Bogotá.

De acuerdo con la información obtenida de una lavandería industrial el interceptor de grasa que allí funciona posee las características relacionadas en la Figura 1.

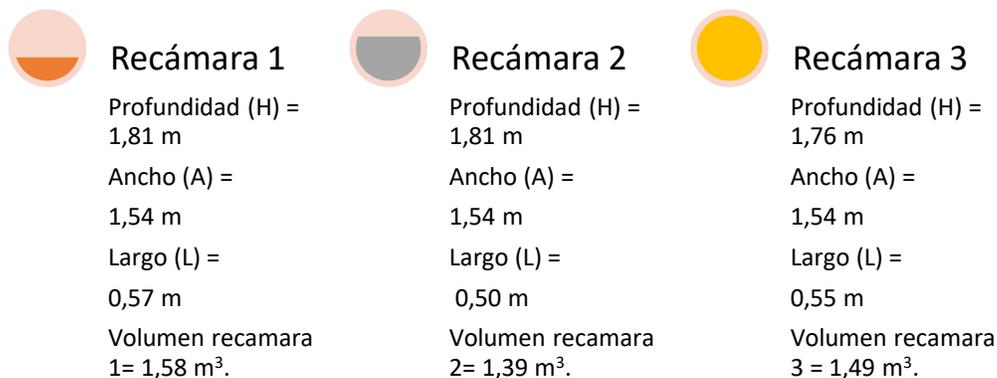


Figura 1. Dimensiones y volumen del interceptor de grasa de una lavandería industrial, 2017.

Fuente: Autor.

Es decir que este sistema de tratamiento maneja un volumen total de agua residual no doméstica de 4,46 m³ con un tiempo de retención hidráulico de 30 o 40 minutos por recámara (Lavaseco Calamo Bogotá, 2017). En la Figura 2 se presenta el diseño del interceptor de grasa de una lavandería.

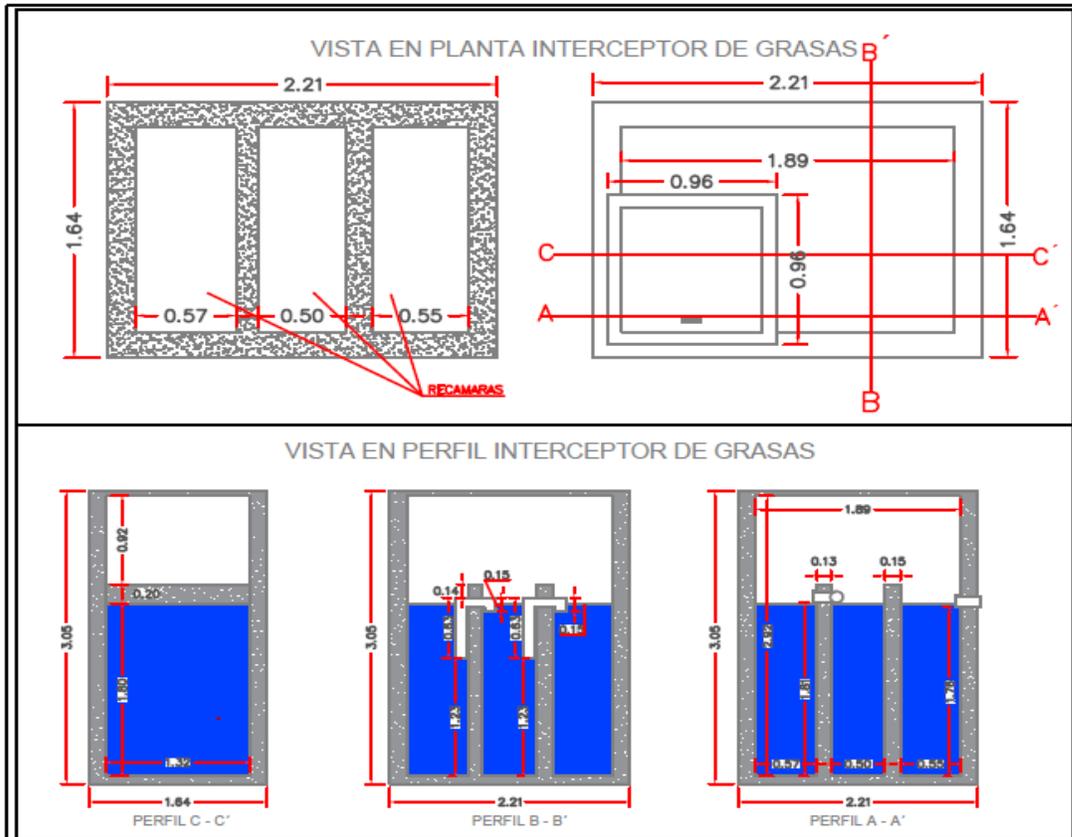


Figura 2. Diseño del interceptor de grasa de una lavandería industrial, 2017.

Fuente: Autor.

El interceptor de grasa es básicamente una estructura rectangular de funcionamiento mecánico para flotación. El sistema se fundamenta en el método de separación gravitacional, el cual aprovecha la baja velocidad del agua y la diferencia de densidades entre el agua, sedimentos, materiales flotantes y las grasas para realizar la separación de los mismos. Adicionalmente realiza en menor grado, retenciones de sólidos (lodos) (López & Nuñez, 2014).

El sistema de tratamiento de aguas residuales puede ser optimizado mediante la integración de otros procesos que permitan mejorar la remoción de los contaminantes presentes en el efluente y de esta manera disminuir el impacto de la contaminación generada. De acuerdo con lo anterior se deben tener en cuenta criterios para su implementación y evaluación. En el desarrollo del presente trabajo se considerará la valoración de la efectividad y la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en una lavandería industrial.

En el día a día siempre se está buscando optimizar ya sea el tiempo, el dinero, la producción, etc. En el área ambiental este desafío está asociado a la prevención, mitigación y corrección de los impactos ambientales causados por la industria (Paredes, 2016), ya que las empresas desean generar cero impactos o el menor impacto ambiental posible derivado de las actividades industriales puesto que son tiempos de desarrollo sostenible, en donde se pretende además de mejorar la eficiencia y/o minimizar costos incluir aspectos relacionados con el entorno, el ambiente y las relaciones entre los individuos, cumpliendo las exigencias de las regulaciones ambientales (Holguín & Sánchez, 2015).

De acuerdo con Porras (2014) optimizar es implementar medidas de eficiencia en los sistemas de tratamiento de agua residual con el fin de cumplir con las regulaciones de los diferentes gobiernos en cuanto a usos de materia prima, recursos naturales y energía incluyendo insumos de buena calidad y de bajo costo, lo cual incluye verificar la efectividad del funcionamiento de los sistemas mencionados analizando unidades que lo componen, volúmenes, caudales, estado de las unidades, estado de los dispositivos utilizados en tratamiento y químicos usados.

La optimización dentro de la ingeniería se enfoca en utilizar de forma eficiente recursos limitados (recursos naturales no renovables) que pueden ser gestionados con alternativas de manejo en donde se analiza e identifica la mejor opción posible, entre soluciones potenciales. La idea de aplicar los diferentes métodos de optimización es potenciar, facilitar o simplificar el manejo de los parámetros que componen un sistema o proceso. Es frecuente que no exista una solución de diseño que funcione bien en todos los casos, dado que las cantidades de recursos usados varían y las condiciones suelen ser distintas, por tanto, en esos casos los análisis de ingeniería brindan las herramientas necesarias para poder optimizar tomando los tributos de mayor interés y eficiencia (Pertuz, 2014). Para la presente investigación, se tomará el concepto de optimización como una mejora, un perfeccionamiento o un favorecimiento con efectos positivos hacia el objetivo que se desea perseguir, para este caso, la mejora en la efectividad de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas generadas por una lavandería industrial

De acuerdo con Lam y Hernández (2008) la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera en algo, está directamente relacionado con la realidad y validez en donde se persiguen resultados según objetivos planteados previamente. Igualmente, Bouza (2000) se refiere a la efectividad como los efectos de una actividad y sus

resultados finales, beneficios y consecuencias para una población en relación con los objetivos establecidos, es decir, la relación objetivos/resultados bajo condiciones reales.

Para efectos de la presente investigación, la efectividad se consideró como el propósito que se ha logrado bajo las condiciones reales bajo una acción que se llevó a cabo. Dicho de otra manera, cuando se llevan a la práctica acciones para lograr el propósito que previamente se alcanzó bajo condiciones ideales y este se consigue en las condiciones reales existentes, entonces los recursos puestos en función para ese fin fueron efectivos.

Los procesos que se integraron al sistema de tratamiento en la lavandería industrial correspondieron a la aireación y biorremediación, descritos a continuación:

3.2.4.1. *Proceso de aireación*

La aireación es un proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ellas y transferir oxígeno al agua. Las funciones más importantes de la aireación son para aumentar el oxígeno disuelto, disminuir la concentración de CO₂, disminuir la concentración de H₂S, remover gases como metano, cloro y amoníaco, oxidar hierro y manganeso, remover compuestos orgánicos volátiles y remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores (Campos, 2015).

En los sistemas de aireación, el aire atmosférico se introduce debajo de la superficie del agua y se mezcla por medio de una hélice giratoria o un difusor. Este difusor tiene aberturas en la parte que permanece en el interior del agua y a través de ellas entra el aire atmosférico en las recámaras o trampas a airear. El difusor succiona el aire atmosférico y hace que el flujo de aire circule por el agua gracias a la presión y forma burbujas finas. El tamaño medio de las burbujas producidas es de 2,0 mm, que es aproximado al tamaño recomendado para difusores de burbuja fina por la Agencia para la Protección al Ambiente de E.E.U.U. (Valdez & Vásquez, 2003).

El oxígeno es absorbido por el agua y la biomasa durante el tiempo que tienen contacto con las burbujas finas; éstas se dispersan en una gran zona de influencia por lo que el tiempo de contacto es largo. Las zonas de influencia del aireador para la mezcla y dispersión de oxígeno varían con el tamaño de la unidad. Se pueden instalar unidades aireadoras múltiples para mezclar y dispersar oxígeno en todo un sistema de tratamiento. El rendimiento en la transferencia de oxígeno está correlacionado con el tamaño de la

unidad de aireación. También influyen la relación entre la potencia y el volumen del estanque, las dimensiones de éste y la relación entre el área superficial y la potencia. La determinación del rendimiento permite obtener la potencia del aireador adecuada y predecir el coeficiente de transferencia en la planta (Valdez & Vásquez, 2003).

3.2.4.2. *Proceso de biorremediación*

La biorremediación es un tratamiento biológico que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos fundamentalmente de bacterias, con el fin de transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples como agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) (Silva Cabra, 2018), razón por la cual es utilizada para mitigar los impactos generados por el uso de jabones, detergentes, suavizantes y productos de limpieza en los procesos de lavado.

Las tecnologías de biorremediación tienen como objetivo degradar contaminantes orgánicos a concentraciones indetectables, o por debajo de los límites establecidos como seguros o aceptados por las agencias de regulación (Gilbert & Crowley, 1998). Por su parte los autores Adams, Domínguez, & García, (1999) establecen que esta tecnología surgió del conocimiento empírico de los operadores de las refinerías del petróleo, quienes desecharon los lodos de los separadores tipo API (Instituto Americano del Petróleo) y otros residuos aceitosos en forma de una capa delgada sobre la parte superior del suelo en un sitio próximo a la refinería. Se dieron cuenta que estos residuos desaparecían durante el curso de varios meses.

El tratamiento biológico de aguas residuales tuvo el objetivo de eliminar materia orgánica de las aguas residuales, posteriormente se ha empleado para oxigenación del nitrógeno amoniacal (nitrificación), eliminación de nitrógeno de las aguas residuales mediante la conversión de formas oxidadas en N_2 o eliminación de fósforo (Polo, Seco, & Robles, 2018).

Según Polo, Seco y Robles (2018) los organismos utilizados para tratamiento biológico de aguas podrían clasificarse de manera trófica e importancia, dado que los microorganismos necesitan para su crecimiento: carbono, nutrientes inorgánicos, energía y poder reductor. Los microorganismos obtienen la energía y el poder reductor de las reacciones de oxidación de sustrato. Así cuando mayor es la cantidad de sustrato o carbono mayor es la capacidad de biosíntesis de las bacterias para generar efecto en la concentración de la DQO.

3.2.5. *Parámetros de interés para los efluentes generados a partir de la actividad de lavado de textiles según la norma nacional*

Al vertimiento generado por la actividad de lavado industrial de ropa debe realizársele seguimiento a través de un muestreo compuesto y evaluar el cumplimiento de los valores límites máximos permisibles, establecidos en los artículos 15 y 16 de la Resolución 0631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”. En la Tabla 1 se presentan los parámetros correspondientes.

Tabla 1. Parámetros y valores límites máximos permisibles según la Resolución 0631 de 2015 - Art 15 y 16.

Parámetro	Unidad	Valores límites máximos permisibles
Caudal	L/Seg,	Análisis y reporte
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00*
Temperatura	°C	30*
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	225
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	75
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	75
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	1,5
Grasas y aceites	mg/L	15
Compuestos semi-volátiles fenólicos	mg/L	Análisis y reporte
Fenoles	mg/L	0,20
Formaldehido	mg/L	Análisis y reporte
Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)	mg/L	10*
Hidrocarburos totales (HTP)	mg/L	10
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, y Xileno)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y reporte
Fósforo total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno amoniacal (N-HO ₃)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno total (N)	mg/L	Análisis y reporte
Cianuro total (CN ⁻)	mg/L	0,1
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250

Parámetro	Unidad	Valores límites máximos permisibles
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	5
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	250
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1
Aluminio (Al)	mg/L	10*
Antimonio (Sb)	mg/L	0,3
Arsénico (As)	mg/L	0,1
Bario (Ba)	mg/L	1
Berilio (Be)	mg/L	Análisis y reporte
Boro (Bo)	mg/L	5*
Cadmio (Cd)	mg/L	0,01
Zinc (Zn)	mg/L	2*
Cobalto (Co)	mg/L	0,1
Cobre (Cu)	mg/L	0,25*
Cromo (Cr)	mg/L	0,1
Estaño (Sn)	mg/L	2
Hierro (Fe)	mg/L	1
Litio (Li)	mg/L	10*
Manganeso (Mn)	mg/L	1*
Mercurio (Hg)	mg/L	0,002
Molibdeno (Mo)	mg/L	10*
Níquel (Ni)	mg/L	0,1
Plata (Ag)	mg/L	0,2
Plomo (Pb)	mg/L	0,1
Selenio (Se)	mg/L	0,1*
Titanio (Ti)	mg/L	Análisis y reporte
Vanadio (V)	mg/L	1
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436nm, 525 nm 620 nm)	m-1	Análisis y reporte

*Concentración sujeta a aplicación de Rigor Subsidiario aplicable en el Distrito Capital – Resolución 3957 de 2009.

Los principales parámetros a monitorear para generar la línea base del vertimiento generado por una lavandería industrial son: DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites y tensoactivos – SAAM. A continuación, se presenta la descripción de los principales parámetros.

3.2.5.1. Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Es el parámetro de contaminación orgánica más empleado, tanto en aguas residuales como en aguas superficiales. Es un parámetro que mide el oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia

orgánica (Metcalf & Eddy, Inc., 2003), dicho de otra manera, es la medición de la cantidad de oxígeno que necesitan los organismos presentes en el agua residual para biodegradar la materia orgánica que contiene dicha agua. De este modo se puede conocer la cantidad de materia que puede ser consumida u oxidada biológicamente (Díaz, 2017).

De acuerdo con Díaz (2017) la prueba que se realiza para calcular dicha demanda biológica de oxígeno dura 3 o 5 días, por lo que se expresa como DBO_3 (3 días) o DBO_5 (5 días), esta última es la más aplicada y los valores que se desprenden de dicha prueba se expresan en mgO_2/L .

Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para: determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento, y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).

3.2.5.2. *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Es la medida de capacidad del agua para consumir oxígeno por medios químicos debido a y durante la descomposición de materia orgánica y la oxidación de los compuestos inorgánicos tales como amoníaco o nitrito. Las medidas de DQO se hacen normalmente en muestras de aguas residuales o corrientes naturales contaminadas por aguas industriales o aguas domésticas (Velasco, 2015).

En el ensayo, se emplea un agente químico oxidante fuerte en un medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). La DQO del agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

De acuerdo con Espigares & Pérez (1985) este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Habitualmente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO. Este parámetro se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($mg O_2/L$).

3.2.5.3. *Sólidos suspendidos totales (SST)*

Según Metcalf & Eddy (2003), la característica física más importante del agua residual es el contenido de sólidos totales, los cuales están compuestos de material flotante, materia sedimentable, material coloidal y materia en solución. Esta materia es conocida como sólidos suspendidos los cuales son conocidos por ser visibles y por lo regular flotan en las aguas residuales entre la superficie y el fondo. Estos pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o sedimentación.

Los sólidos suspendidos totales hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. Los sólidos suspendidos totales son la fracción de sólidos totales (ST) retenidos en un filtro con un tamaño de poro específico, medido después de que ha sido secado a una temperatura específica y se expresa en mg/L (Martínez, García, & López, 2014).

Según (Rojas, 2002), los sólidos suspendidos totales están compuestos por partículas orgánicas o inorgánicas fácilmente separables del líquido por sedimentación, filtración o centrifugación. Estos sólidos generalmente son de tamaño superior a 1 μm de diámetro. Se pueden eliminar por procesos físicos sencillos, tales como la decantación (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).

Los SST incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y otros microorganismos en el agua. Pueden originarse en fuentes alóctonas o autóctonas, de levantamiento de tierra o re-suspensión (Håkanson, (2004).

3.2.5.4. *Sólidos sedimentables (SS)*

Se consideran sólidos sedimentables aquellos sólidos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). En lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales, este parámetro se utiliza para conocer el volumen y la densidad que se obtendrá de la decantación primaria del agua. Su análisis se realiza por volumetría y gravimetría, previa decantación y tamizado. Los tamaños de estos sólidos suelen ser mayores a 0,01mm. Los sólidos sedimentables pueden ser expresados en unidades de ml/L o mg/L (Delgadillo, Camacho , Pérez, & Andrade, 2010).

De acuerdo con Ramos, Sepúlveda, & Villalobos (2003) los sólidos sedimentables son las partículas sólidas que se depositan en el fondo de un recipiente por la acción de la

gravedad, el método referido se basa en la propiedad que tienen los materiales sólidos de asentarse a niveles progresivos según sus densidades. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.

3.2.5.5. *Grasas y aceites*

De acuerdo con Metcalf & Eddy, (2003) el término grasa engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Estas grasas son compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que se presentan en estado líquido son aceites y los que se presentan en estado sólido son grasas. Si no se eliminan estas grasas o aceites del vertido del agua residual, puede interferir con la vida biológica en aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables.

Las grasas y aceites tienen como característica principal la insolubilidad en agua y se encuentran presentes siempre en el agua residual doméstica debido al uso de aceites vegetales y mantequillas en cocinas y en el agua residual industrial debido a algunos derivados del petróleo. La importancia de la determinación de grasas y aceites radica en que estos compuestos generan la formación de natas y limitan la transferencia de oxígeno de la atmósfera al agua (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Es de utilidad conocer la cantidad de aceites y grasas presentes en las aguas residuales para de esta forma tenerlo en cuenta para el diseño del sistema de tratamiento de las mismas debido a que puede ocasionar dificultades en el tratamiento. La presencia de este tipo de sustancias en el agua residual en cantidades excesivas puede interferir con los procesos biológicos aerobios y anaerobios y reducir la eficiencia del tratamiento (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003).

3.2.5.6. *Tensoactivos SAAM*

Los tensoactivos también son conocidos como detergentes, estos son moléculas orgánicas grandes que se componen de dos grupos uno insoluble en agua y el otro soluble. Los tensoactivos provienen de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Estos pueden ocasionar la aparición de espumas en el agua de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y/o la superficie de las fuentes receptoras (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

Metcalf & Eddy, (2003), indican que los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño y ligeramente solubles en agua. Usualmente se concentran en la interfase aire-agua y presentan gran resistencia a la descomposición por medios biológicos. Durante el proceso de aireación del agua residual se concentran en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable. La determinación de la presencia de elementos tensoactivos se realiza analizando el cambio de color de una muestra normalizada de azul de metileno razón por la cual los tensoactivos también reciben el nombre de sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

La acción de los tensoactivos en el agua tiene un efecto doble, positiva debido a que disminuye el tamaño de las burbujas aumentando la superficie de contacto con el aire-agua y como consecuencia la disolución de oxígeno y negativa por la creación de una barrera a la difusión de oxígeno (Ronzano & Dapena, 2002).

4. Materiales y métodos

4.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en una lavandería industrial ubicada en el departamento de Cundinamarca, en la ciudad de Bogotá, localidad de Tunjuelito, la cual opera al interior de la Escuela de Cadetes de Policía “General Francisco de Paula Santander” mostrada en la Figura 3.

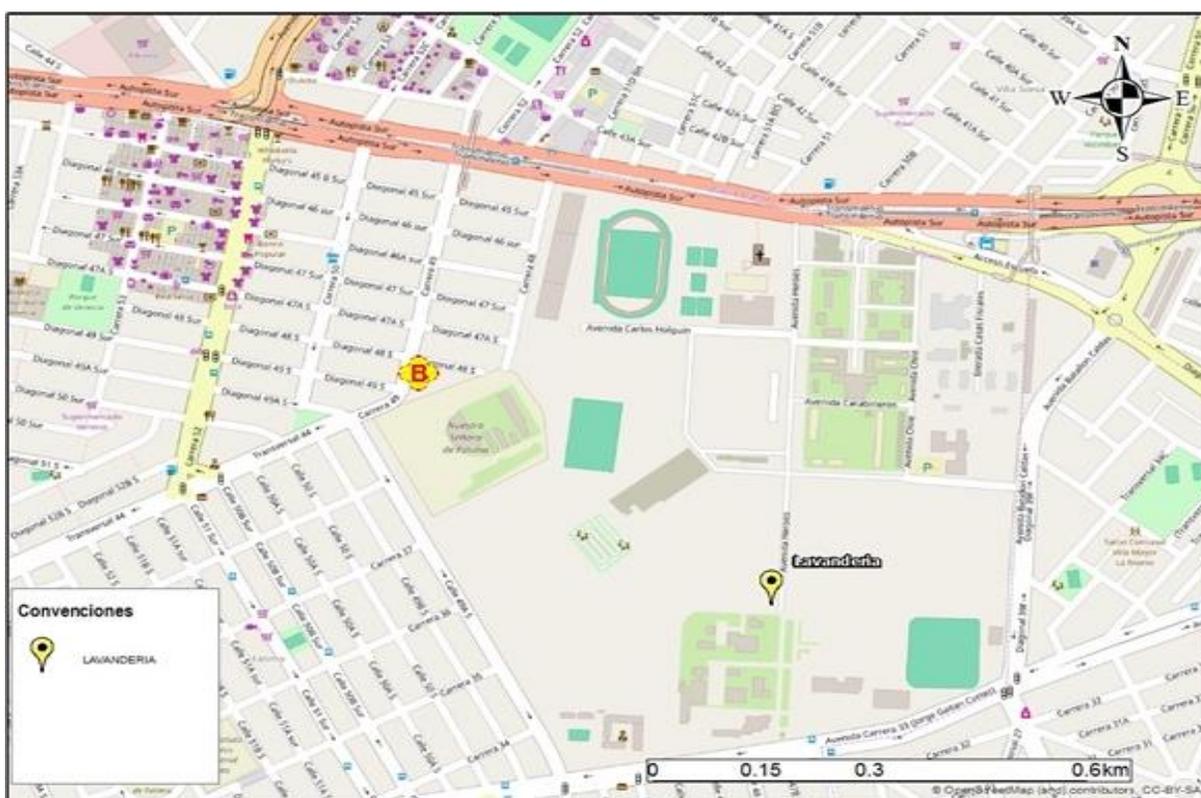


Figura 3. Localización geográfica de una lavandería industrial, ArcGIS, 2017.

Fuente: Autor.

4.2. Población y muestra

Mediante esta investigación se pretendió adecuar el sistema tratamiento para las aguas residuales no domésticas provenientes de una lavandería industrial, por tanto, estas mismas constituyeron la población de este estudio.

Durante la investigación se tomaron tres muestras compuestas de agua residual no doméstica proveniente del efluente de una lavandería industrial a través de un periodo de 13 meses, con tiempos de muestreo en los meses 1, 7 y 13 de duración del estudio. El volumen de cada muestra compuesta correspondió a 1.000 mL. Las muestras fueron tomadas y analizadas por dos laboratorios acreditados ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, con el fin de establecer la calidad del agua en dichas muestras. La comparación o control para determinar la efectividad de la optimización del sistema de tratamiento de las aguas residuales no domésticas, se realizó con base en la Resolución 0631 de 2015, norma nacional relacionada con el muestreo de vertimientos y límites máximos permisibles de los diferentes parámetros.

4.3. Verificación del cumplimiento de la normatividad nacional vigente en relación con ciertas sustancias de interés sanitario presentes en el agua residual no domestica tratada de una lavandería

Mediante un muestreo compuesto se realizó el análisis del agua residual de una lavandería industrial, tomando la muestra justo después de que el efluente transitó por el sistema de tratamiento presente en las instalaciones de una lavandería (interceptor de grasas compuesto por tres recámaras), con el fin de identificar resultados de parámetros que se encontraran en altas concentraciones en el agua.

Los parámetros que fueron analizados en laboratorio se relacionan en la Tabla 2, teniendo en cuenta los valores límites máximos permisibles establecidos en los artículos 15 y 16 de la Resolución 0631 de 2015.

Tabla 2. Parámetros de muestreo.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	50,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,0
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	1,0
Grasas y aceites	mg/L	10,0
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	10*

Fuente: Resolución 0631 de 2015.

4.4. Valoración del efecto de los procesos de aireación y de biorremediación adaptados al sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de una lavandería

El sistema de tratamiento de una lavandería industrial se complementó con un proceso de aireación continuo (24 horas) el cual consistió en la instalación de una bomba eléctrica de pistón con capacidad de generar un volumen de aire de 70 litros/minuto y una presión de 0,5 mpa o 5 Bar. El volumen de aire fue distribuido equitativamente en las tres recámaras directamente en la fase líquida por medio de difusores, generando un proceso de flotación y oxidación húmeda. En la Figura 4, allí se identifican la turbina aireadora, las mangueras conductoras de aire y los discos difusores al interior de cada una de las recamaras del interceptor de grasa, de modo que el aire entra en contacto directo con el agua.

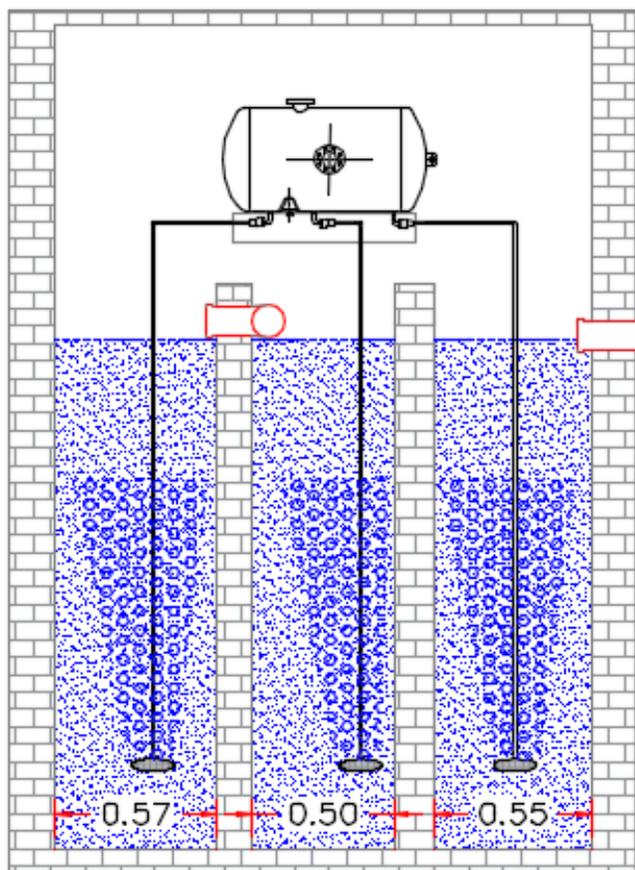
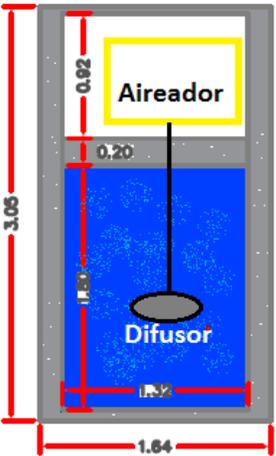


Figura 4. Vista de perfil interceptor de grasa con el proceso de aireación

Fuente: Autor.

En la Tabla 3 se presentan las características del aireador utilizado para el proceso de aireación en el sistema de tratamiento de agua residual de una lavandería.

Tabla 3. Características del aireador.

CARACTERÍSTICAS DEL AIREADOR	
<p>Turbina aireadora con capacidad de 70 litros/minuto y una presión de 0,5 mpa o 5 Bar. Diseñada para permanecer funcionando de forma continua durante varios años sin requerir ningún tipo de mantenimiento. Es muy silenciosa y su consumo de electricidad es bajo.</p>	
<p>El aireador conduce el aire por una manguera de 1/2 pulgada a un difusor de disco con burbuja fina ubicado en la parte media de cada una de las recámaras del interceptor de grasa.</p>	<p style="text-align: center;">Recámara</p> 

Fuente: Autor.

Seguidamente se realizó la toma de una segunda muestra de agua residual mediante un muestreo compuesto, de igual forma tomando la muestra justo después de que el efluente transitó por el sistema de tratamiento y el proceso de aireación y se analizaron los resultados de laboratorio en los parámetros específicos de interés.

Posteriormente, se incluyó la biorremediación *in situ* en el sistema de tratamiento de agua residual no doméstica, exactamente en las dos primeras recámaras del interceptor de grasa, tal como se muestra en la Figura 5. Lo anterior se realizó mediante la aplicación de microorganismos fabricados por el laboratorio Biodyne®, Inc. (Sarasota - Estados Unidos), cuyo inóculo posee una concentración no menor de 1×10^9 bacterias/mL. Las cepas contenidas en el inóculo poseen habilidad de degradar contaminantes presentes en plantas de tratamiento de aguas residuales, pozos sépticos e interceptores de grasa.

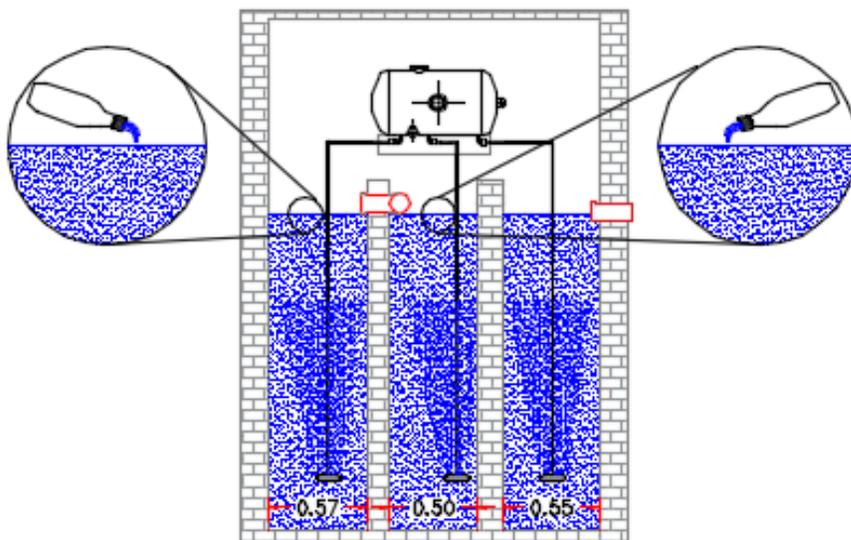


Figura 5. Aplicación de bacterias en las recámaras 1 y 2 del interceptor de grasa

Fuente: Autor.

Los microorganismos utilizados se encuentran registrados como Biodyne® 301, el cual es un producto que cuenta con todos los permisos de la Agencia del Medio Ambiente del Estado de la Florida (EPA) para ser usado en proyectos de biorremediación de suelos y aguas contaminadas y cuenta con las respectivas licencias de importación por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, teniendo en cuenta que la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA estableció que la importación de microorganismos no modificados genéticamente, no requiere de un permiso no CITES con fines de investigación científica.

La dosis se determinó teniendo en cuenta que para tratar un kilo de suelo contaminado se requiere 1 millón de bacterias, es decir que para tratar una tonelada de suelo contaminado se requiere aproximadamente 1.000 millones de bacterias. De acuerdo con lo anterior, en un galón de bacterias se encuentran aproximadamente 907,185,000,000 UFC (Unidades Formadoras de Colonia). Es decir que una dosis de un galón semanal, permite tratar aproximadamente 7 metros cúbicos de agua contaminada por mes (Comunicación personal agente comercial Biodyne, 2017).

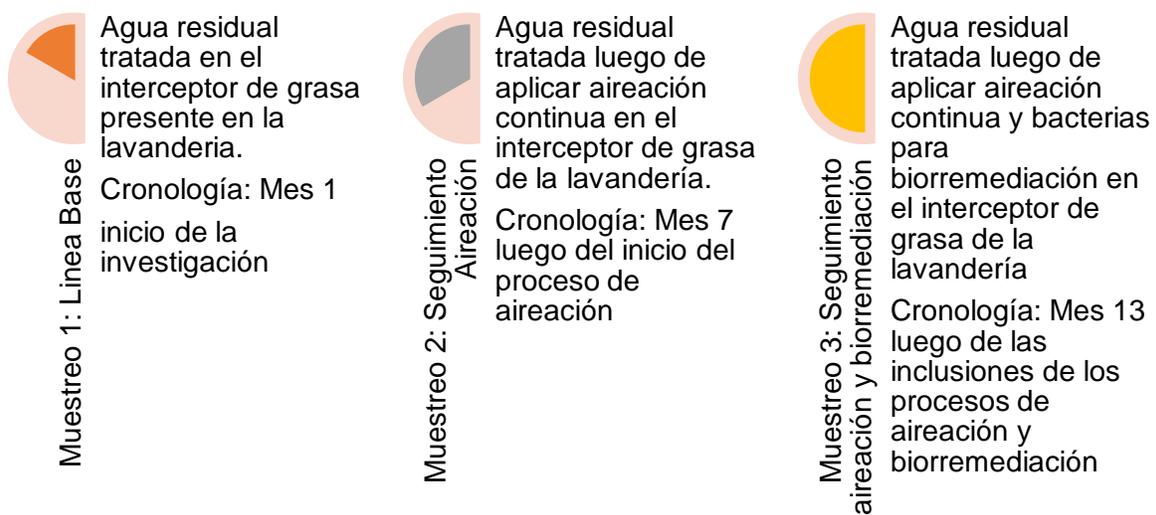
4.4.1. Establecimiento de la efectividad de los procesos

Para evaluar la efectividad de cada uno de los procesos incluidos en el sistema, se tomó una muestra inicial como línea base del proceso (muestra 1). Posteriormente se

adaptó al sistema la turbina aireadora, y se tomó la segunda muestra con el fin de determinar el impacto de esta inclusión en la calidad del vertimiento (muestra 2). Finalmente, se estableció el proceso de biorremediación en el cual se realizó el último muestreo (muestra 3) para analizar la efectividad del sistema en su totalidad. La Figura 6 muestra el esquema de los muestreos establecidos para la investigación.

Los datos se analizaron a través de la comparación con los datos obtenidos en la línea base (primer muestreo) y con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad ambiental nacional para la actividad de lavado industrial, esto con el fin de establecer la incidencia de los procesos incluidos en el sistema de tratamiento y su impacto en la calidad del agua residual no doméstica.

Figura 6. Muestreos realizados y cronología.



Fuente: Autor.

4.5. Diseño de propuesta metodológica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento en estudio

Luego de analizar los resultados obtenidos en los tres muestreos y realizar su correspondiente comparación, se diseñó una propuesta metodológica para mejorar la

eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de lavandería industrial, con base en los resultados obtenidos.

5. Resultados y discusión

5.1. Verificación del cumplimiento de la normatividad nacional vigente en relación con indicadores de interés sanitario presentes en el agua residual no doméstica tratada de una lavandería

La determinación de la calidad de las aguas residuales no domésticas posterior al sistema de tratamiento, se ejecutó con el fin de contar con una línea base (primer muestreo) previo a la inclusión de los procesos de aireación y biorremediación. Los parámetros evaluados fueron DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites y tensoactivos en donde se identificó el cumplimiento normativo, como se presenta en la Tabla 4. De acuerdo con los datos obtenidos en laboratorio se identificó el incumplimiento de la norma con respecto a los parámetros de DQO, DBO₅, y tensoactivos. En los demás parámetros de interés se cumplió con los niveles máximos establecidos por la norma colombiana.

Tabla 4. Resultados del muestreo 1.

Parámetro	Resultados primer muestreo	Límites máximos permisibles. Resolución 0631 de 2015 (Art. 15-16)	Cumplimiento
DBO ₅	123 mg/L	75 mg/L	No cumple
DQO	316 mg/L	225 mg/L	No cumple
Sólidos suspendidos totales	58 mg/L	75 mg/L	Cumple
Sólidos sedimentables	0,1 – 0,3 mL/L	1 mL/L	Cumple
Grasas y aceites	13 mg/L	10 mg/L	Cumple
Tensoactivos - SAAM	41,76 mg/L	10* mg/L	No cumple con rigor subsidiario

*Concentración sujeta a aplicación de Rigor Subsidiario aplicable en el Distrito Capital – Resolución 3957 de 2009.

5.2. Valoración del efecto de los procesos de aireación y de biorremediación adaptados al sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de una lavandería

Luego de la inclusión del proceso de aireación el cual se implementó durante los meses 1 al 6 de duración del experimento, se llevó a cabo el segundo muestreo. Igualmente se evaluaron los parámetros DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites y tensoactivos, con respecto a la norma. De acuerdo con

los datos obtenidos se incumplieron los parámetros de DBO₅, grasas y aceites y tensoactivos. En los demás parámetros de interés se cumplieron los niveles máximos establecidos por la norma colombiana. Lo anterior se evidencia en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados del muestreo 2.

Parámetro	Resultados segundo muestreo	Límites máximos permisibles. Resolución 0631 de 2015 (Art. 15-16)	Cumplimiento
DBO ₅	119 mg/L	75 mg/L	No cumple
DQO	180 mg/L	225 mg/L	No cumple
Sólidos suspendidos totales	56,8 mg/L	75 mg/L	Cumple
Sólidos sedimentables	1 mL/L	1 mL/L	Cumple
Grasas y aceites	33,7 mg/L	10 mg/L	No cumple
Tensoactivos - SAAM	23,9 mg/L	10* mg/L	No cumple con rigor subsidiario

*Concentración sujeta a aplicación de Rigor Subsidiario aplicable en el Distrito Capital – Resolución 3957 de 2009.

Del mismo modo, luego de la inclusión del proceso de biorremediación, el cual se llevó a cabo durante los meses 7 al 12, con la dosificación relacionada en numeral 3.4., se ejecutó el tercer muestreo de las aguas residuales, los cuales se observan en la Tabla 6. Los parámetros analizados fueron iguales a los dos muestreos anteriores. En este muestreo se valoró el efecto de los dos procesos incluidos en el sistema y se identificó el cumplimiento normativo.

De acuerdo con los datos se evidenció el incumplimiento de los parámetros de DBO₅, DQO, grasas y aceites y tensoactivos. Los parámetros de sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables cumplieron con los niveles máximos establecidos por la norma colombiana.

Tabla 6. Resultados del muestreo 3.

Parámetro	Resultados tercer muestreo	Límites máximos permisibles. Resolución 0631 de 2015 (Art. 15-16)	Cumplimiento
DBO ₅	118 mg/L	75 mg/L	No cumple
DQO	317 mg/L	225 mg/L	No cumple
Sólidos suspendidos totales	56 mg/L	75 mg/L	Cumple
Sólidos sedimentables	0,1 – 0,3 mL/L	1 mL/L	Cumple
Grasas y aceites	12 mg/L	10 mg/L	No cumple
Tensoactivos - SAAM	10,1 mg/L	10* mg/L	No cumple con rigor subsidiario

*Concentración sujeta a aplicación de Rigor Subsidiario aplicable en el Distrito Capital – Resolución 3957 de 2009.

Luego de realizados los tres muestreos se obtuvo la información presentada en la Tabla 7, la cual corresponde a una comparación de los resultados de los parámetros de interés en los tres muestreos realizados. Se identifica que los parámetros DBO₅, DQO, grasas y aceites y tensoactivos SAAM, nunca llegaron a las concentraciones mínimas requeridas por la norma nacional.

Tabla 7. Comparación de los muestreos 1, 2 y 3.

Parámetro	Resultados primer muestreo	Resultados segundo muestreo	Resultados tercer muestreo	Límites máximos permisibles. Resolución 0631 de 2015 (Art. 15-16)
DBO ₅	123 mg/L	119 mg/L	118 mg/L	75 mg/L
DQO	316 mg/L	180 mg/L	317 mg/L	225 mg/L
Sólidos suspendidos totales	58 mg/L	56,8 mg/L	56 mg/L	75 mg/L
Sólidos sedimentables	0,1 – 0,3 mL/L	1 mL/L	0,1 – 0,3 mL/L	1 mL/L
Grasas y aceites	13 mg/L	33,7 mg/L	12 mg/L	10 mg/L
Tensoactivos SAAM	41,76 mg/L	23,9 mg/L	10,1 mg/L	10* mg/L

*Concentración sujeta a aplicación de Rigor Subsidiario aplicable en el Distrito Capital – Resolución 3957 de 2009.

De acuerdo con la tabla anterior el parámetro DQO nuevamente aumentó y no cumplió con la norma. Los demás parámetros presentaron disminución en sus concentraciones por la acción de los procesos de aireación y biorremediación incluidos dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, con relación a los dos muestreos anteriores.

Según lo evidenciado en los muestreos 1 y 2 el parámetro DQO no se comportó de la misma forma que los demás parámetros, frente a la acción de los procesos de aireación y biorremediación incluidos dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas provenientes de lavandería industrial. Lo cual puede relacionarse con la dosis de bacterias empleadas en el sistema, debido a que en el segundo muestreo ejecutado se presentó una disminución en sus valores.

También se puede evidenciar que la acción de la aireación tuvo mayor efecto que la biorremediación, puesto que es mayor la disminución en los niveles de los parámetros analizados luego de la inclusión del proceso de aireación que luego de la inclusión de la biorremediación.

5.2.1. Análisis de resultados por parámetro

5.2.1.1. DBO₅

En la Figura 7 se aprecia el cumplimiento legal por parte del parámetro DBO₅ en las diferentes muestras de agua residual analizadas, en relación con el límite máximo permisible estipulado por la norma colombiana.

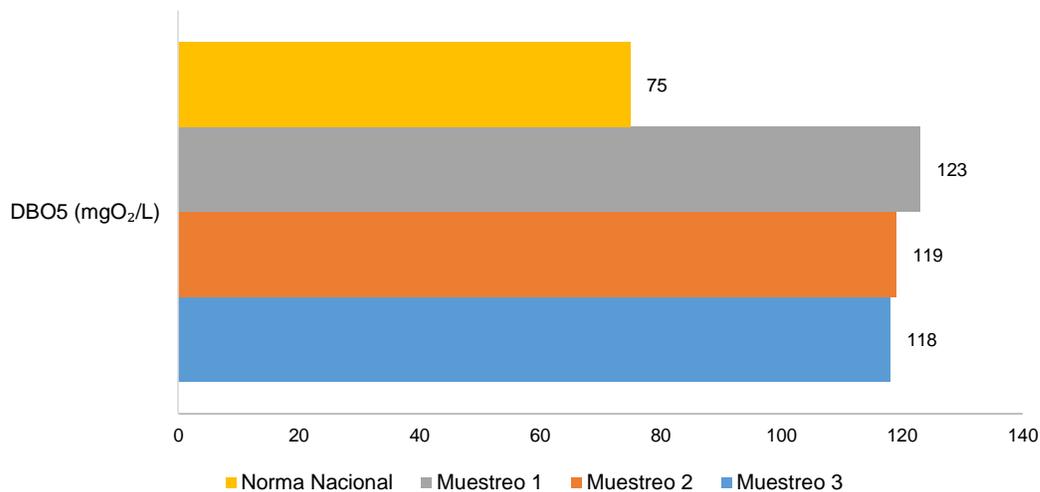


Figura 7. Comportamiento del parámetro DBO₅ en los muestreos realizados.

Fuente: Autor.

La DBO₅ tiene un comportamiento de disminución, debido a que en el resultado del primer muestreo se presentó el valor de 123 mgO₂/L en comparación con el muestreo 2 que correspondió a 119 mgO₂/L y el muestreo 3 con 118 mgO₂/L. Lo anterior indica que luego de 6 meses de incluir el proceso de aireación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 4 mgO₂/L de DBO₅ y luego de 13 meses de incluir el proceso de aireación y 6 meses de incluir el proceso de biorremediación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 5 mgO₂/L de DBO₅ respecto al primer muestreo o línea base.

En relación a la comparación de los dos tipos de procesos incluidos se podría afirmar que el proceso de aireación resultó ser más efectivo que el proceso de biorremediación para la generación de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).

En general el valor promedio de la DBO_5 durante la investigación fue de $120 \text{ mgO}_2/\text{L}$. A pesar del comportamiento de disminución presentado durante el experimento por parte de la DBO_5 no se logró en ninguno de los muestreos llegar al límite permisible establecido en la normatividad colombiana para este parámetro, lo cual indica la necesidad de modificar nuevamente el sistema si se quiere alcanzar el cumplimiento normativo, que es de $75 \text{ mgO}_2/\text{L}$ para la actividad de lavandería industrial.

Con respecto a la efectividad de remoción de la DBO_5 a partir de la aireación y la biorremediación implementadas, Marín & Correa (2010) mencionan que la remoción de DBO se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacterial, donde el crecimiento biológico de organismos es sensible a la temperatura. Los organismos alcanzan un crecimiento óptimo a temperaturas relativamente altas, pero su reproducción es continua inclusive a temperaturas muy bajas (Crites & Tchobanoglous, 2000).

De acuerdo con lo anterior, los procesos de aireación y biorremediación se emplearon para remover la DBO de las aguas residuales, sin embargo, los valores de DBO durante la investigación no variaron mucho, lo cual puede relacionarse con la influencia de la temperatura en dichos procesos.

5.2.1.2. DQO

En la Figura 8 se aprecia el cumplimiento legal por parte del parámetro DQO en las diferentes muestras de agua residual que se tomaron, en relación con el límite máximo permisible estipulado por la norma colombiana.

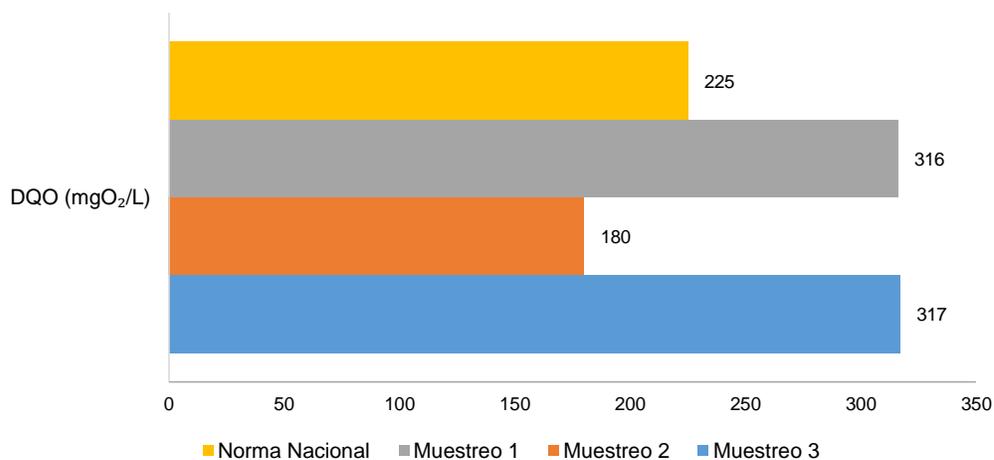


Figura 8. Comportamiento del parámetro DQO en los muestreos realizados.

Fuente: Autor.

La DQO tuvo un comportamiento atípico de disminución y aumento; se observó que en el primer muestreo se presentó un valor de 316 mgO₂/L de DQO en comparación con el muestreo 2 que presentó disminución a 180 mgO₂/L y finalmente en el muestreo 3 se alcanzó un aumento a 317 mgO₂/L.

Lo anterior indica que luego de 6 meses de incluir el proceso de aireación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 136 mgO₂/L en la DQO. Sin embargo, luego de 13 meses de incluir el proceso de aireación y 6 meses de incluir el proceso de biorremediación en el interceptor de grasa de la lavandería se aumentó 1 mgO₂/L de DQO respecto al primer muestreo y 137 mgO₂/L con respecto al segundo muestreo.

Al comparar los dos tipos de procesos incluidos se podría afirmar que el proceso de aireación fue más efectivo que el proceso de biorremediación para la disminución de la DQO. En general el valor promedio de la DQO durante la investigación fue de 271 mgO₂/L. Es de resaltar que la tendencia a la disminución presentada con el proceso de aireación en el muestreo 2 (180 mgO₂/L), permitió alcanzar el límite máximo permisible establecido en la normatividad colombiana para este parámetro en la actividad de lavandería industrial (225 mgO₂/L). Lo anterior indica que, para alcanzar el cumplimiento legal de este parámetro, solo se requirió el proceso de aireación.

Con respecto a la DQO, esta remoción se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica del sistema de tratamiento y la actividad biológica del sistema. La disminución de la concentración de DQO se debe al metabolismo de los microorganismos, que utilizan los compuestos orgánicos del agua para la producción de biomasa. La remoción de la DQO es afectada por los microorganismos cuya presencia y actividad es exaltada por procesos relacionados con la oxidación o el oxígeno disuelto (Rincón & Millán , 2013).

Lo anterior confirma que la remoción de la DQO ocurre bajo la presencia de oxígeno u oxigenación y también de microorganismos; según los resultados obtenidos, la oxigenación directa resultó ser más eficiente que la biorremediación, o esta, se vio afectada con el tiempo de retención en el sistema de tratamiento.

5.2.1.3. *Sólidos suspendidos totales*

En la Figura 9 se aprecia el cumplimiento legal por parte del parámetro Sólidos suspendidos totales en las diferentes muestras de agua residual que se tomaron, en

relación con el límite máximo permisible estipulado por la norma colombiana. (Resolución 0631, 2015)

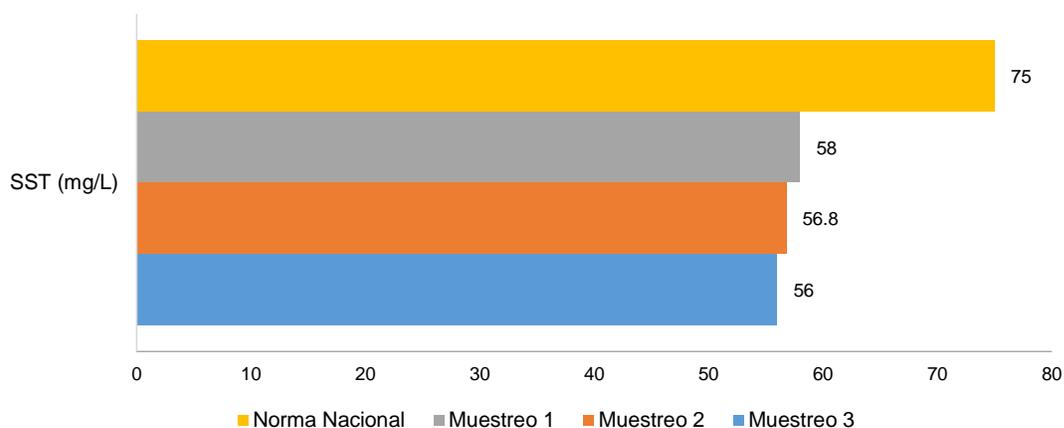


Figura 9. Comportamiento del parámetro sólidos suspendidos totales, en los tres muestreos realizados.

Fuente: Autor

Los sólidos suspendidos totales tienen una tendencia a la disminución, debido a que en el resultado del primer muestreo se presentó un valor de 58 mg/L en comparación con el muestreo 2 (56,8mg/L) y el muestreo 3 (56mg/L). Lo anterior indica que luego de 6 meses de incluir el proceso de aireación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 1,2 mg/L de sólidos suspendidos totales y luego de 13 meses de incluir el proceso de aireación y 6 meses de incluir el proceso de biorremediación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 2 mg/L de sólidos suspendidos totales, respecto al primer muestreo.

Para este parámetro los dos procesos resultaron efectivos en la remoción de sólidos suspendidos totales en las aguas residuales no domésticas de la lavandería. En general el valor promedio de sólidos suspendidos totales durante la investigación fue de 56,93 mg/L. Es de importancia relacionar que se logró llegar por debajo del límite máximo permisible establecido en la normatividad colombiana para este parámetro (75 mg/L), lo cual indica que se alcanzó el cumplimiento normativo en los muestreos realizados.

En la remoción de Sólidos suspendidos totales la oxidación biológica es uno de los procesos más eficientes para la eliminación de la fracción orgánica en el agua residual (ETAP, 2010), siendo el tratamiento de la degradación biológica, uno de los procesos más utilizados en la última década, debido a su alta eficiencia en la remoción de materia

orgánica y de sólidos suspendidos (Turca , 2016). Finalmente se puede plantear que la mezcla entre procesos de aireación, oxigenación del agua y la biorremediación (procesos biológicos) es adecuada para remoción de contaminantes en el agua, lo cual se evidenció en la investigación según los resultados obtenidos.

5.2.1.4. Sólidos sedimentables

En la Figura 10 se aprecia el cumplimiento legal por parte del parámetro Sólidos sedimentables en las diferentes muestras de agua residual que se tomaron en relación con el límite máximo permisible estipulado por la norma colombiana.

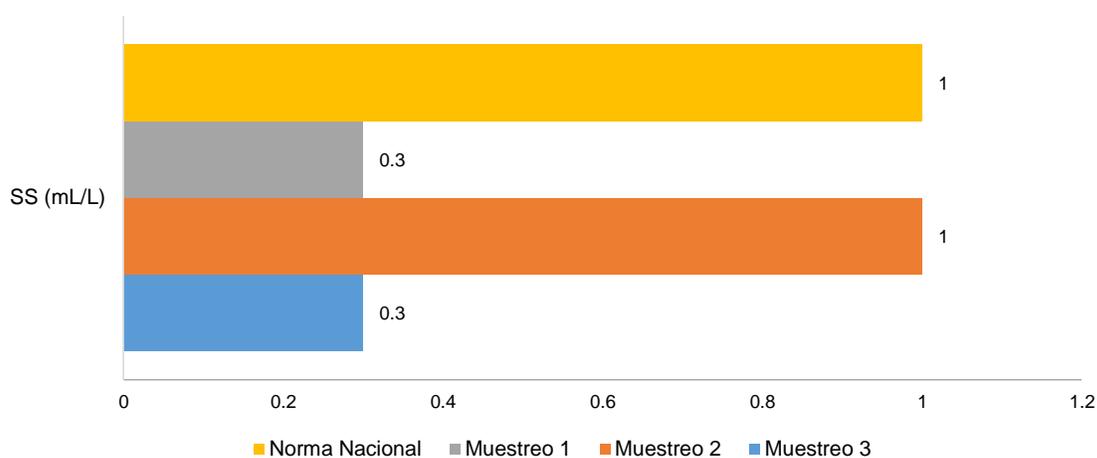


Figura 10. Comportamiento de los sólidos sedimentables, en los muestreos realizados.

Fuente: Autor

Los sólidos sedimentables tuvieron un comportamiento estable. En el resultado del primer muestreo se presentó un valor entre 0,1 y 0,3 mL/L en comparación con el muestreo 2 que correspondió a 1 mL/L y el muestreo 3 con 0,1 – 0,3mL/L. Lo anterior indica que durante los tres muestreos los resultados del parámetro estuvieron por debajo de los límites de detección establecidos para el mismo, por parte del laboratorio de acuerdo con sus métodos de análisis.

Luego de 6 meses de incluir el proceso de aireación en el interceptor de grasa de la lavandería y luego de 13 meses de incluir el proceso de aireación y 6 meses de incluir el proceso de biorremediación, en el interceptor de grasa de la lavandería se mantuvo estable el resultado del parámetro respecto al primer y segundo muestreo.

De acuerdo con lo anterior, no es posible establecer la comparación de los dos tipos de procesos incluidos, y tampoco se puede establecer la efectividad de cada uno en

la remoción de sólidos sedimentables en las aguas residuales no domésticas de la lavandería. Sin embargo, se plantea la hipótesis de que la inclusión de estos dos procesos al sistema de tratamiento no tuvo efecto de aumento en el parámetro.

En general el valor promedio de sólidos suspendidos totales durante la investigación fue de 0,53 mL/L. Es de importancia relacionar que durante toda la investigación el parámetro permaneció por debajo o fue igual al límite máximo permisible establecido en la normatividad colombiana para este parámetro (1mL/L), lo cual indica que se alcanzó el cumplimiento normativo en cada uno de los muestreos realizados.

Los sólidos sedimentables, generalmente son removidos mediante los pre-tratamientos y tratamientos primarios de los sistemas, sin embargo, al ser compuestos por materiales orgánicos y estar en contacto directo con los microorganismos del proceso de biorremediación de la investigación, se logra disminuir la alta cantidad de los sólidos sedimentables en el agua residual, siendo un proceso que generalmente es muy eficiente (Martínez, Murcia, & Suárez, 2015).

5.2.1.5. *Grasas y aceites*

En la Figura 11 se aprecia el cumplimiento legal por parte del parámetro Grasas y aceites en las diferentes muestras de agua residual que se tomaron en relación con el límite máximo permisible estipulado por la norma colombiana.

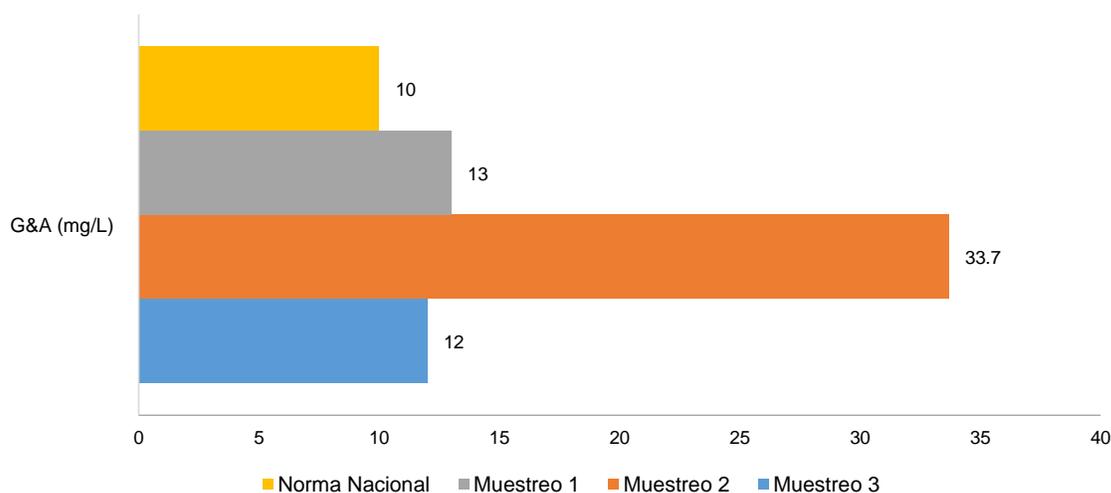


Figura 11. Comportamiento del parámetro grasas y aceites, en los muestreos realizados.

Fuente: Autor.

Las grasas y aceites presentaron un comportamiento de aumento y disminución en los muestreos. En el primer muestreo se presentó un valor de 13 mg/L de DQO en comparación con el muestreo 2 que tuvo un aumento hasta 33,7 mg/L y el muestreo 3 en el cual se alcanzó un valor de 12 mg/L.

Lo anterior indica que luego de 6 meses de incluir el proceso de aireación en el interceptor de grasa de la lavandería se aumentó 20,7 mg/L en grasas y aceites, sin embargo luego de 13 meses de incluir el proceso de aireación y 6 meses de incluir el proceso de biorremediación en el interceptor de grasa de la lavandería se disminuyó 1mg/L de grasas y aceites respecto al primer muestreo, y de 21,7 mg/L con respecto al segundo muestreo.

En relación a la comparación de los dos tipos de procesos incluidos se podría afirmar que el proceso de aireación fue menos efectivo, que el proceso de biorremediación para la disminución de grasas y aceites.

El valor promedio de grasa y aceites durante la investigación fue de 19,56 mg/L. En las evaluaciones con el proceso de biorremediación no se logró en ninguno de los muestreos llegar al límite máximo permisible establecido en la normatividad colombiana para este parámetro (10mg/L), lo cual indica que para alcanzar el cumplimiento legal de este parámetro es necesario modificar nuevamente el sistema de tratamiento.

El parámetro grasas y aceites según los resultados de la investigación reacciona de mejor manera cuando se implementa el producto remediador (Suarez, 2013), el cual se aplica para mejorar la calidad orgánica. Se observa un incremento del contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo total; así como una disminución de la relación de adsorción de sodio, pH, y contenido de aceites y grasas.

5.2.1.6. *Tensoactivos SAAM*

En la Figura 12 se aprecia el cumplimiento legal por parte del parámetro Tensoactivos SAAM en las diferentes muestras de agua residual que se tomaron en relación con el límite máximo permisible estipulado por la norma colombiana.

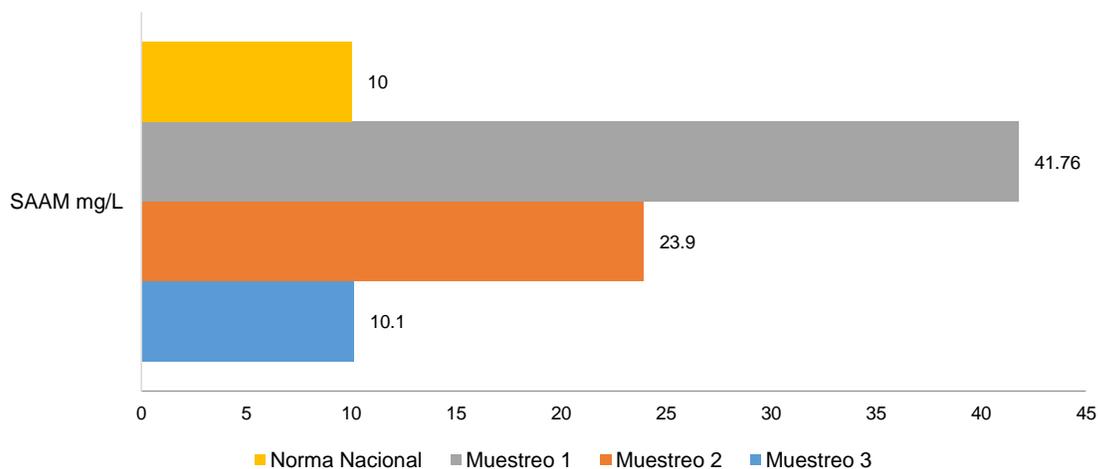


Figura 12. Comportamiento del parámetro tensoactivos SAAM en los muestreos realizados.

Fuente: Autor

Los agentes tensoactivos tienen una tendencia a la disminución en los muestreos realizados. En el primer muestreo se presentó un valor de 41,76 mg/L, en comparación con el muestreo 2 que correspondió a 23,9 mg/L y el muestreo 3 con 10,1mg/L. Lo anterior indica que luego de 6 meses de incluir el proceso de aireación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 17,86mg/L de agentes tensoactivos y luego de 13 meses de incluir el proceso de aireación y 6 meses de incluir el proceso de biorremediación en el interceptor de grasa de la lavandería se lograron disminuir 31,66 mg/L de agentes tensoactivos respecto al primer muestreo y 13,8mg/L de agentes tensoactivos respecto al primer muestreo. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede apreciar que los dos procesos resultaron efectivos para la remoción de agentes tensoactivos en las aguas residuales no domésticas de la lavandería.

El valor promedio de agentes tensoactivos durante la investigación fue de 25,25 mg/L. Es de importancia relacionar que casi se logró llegar por debajo del límite máximo permisible establecido en la normatividad colombiana para este parámetro aplicando el rigor subsidiario para el distrito capital (10 mg/L), lo cual indica que casi se alcanzó el cumplimiento normativo con el resultado del muestreo 3 el cual fue 10,1mg/L de agentes tensoactivos.

De acuerdo con Cubillos y Moncada (2006), el tratamiento de aireación descompone gran parte de los tensoactivos biodegradables y no biodegradables, transformándolos en estructuras más simples para su biodegradación como se evidenció

en el segundo muestreo de la investigación. En cambio la biorremediación tiene en cuenta la resistencia de los tensoactivos a su biodegradación, en este proceso los microorganismos (bacterias) utilizan los compuestos presentes en el agua (tensoactivos en este caso) como fuente de carbono y energía, transformándolos en biomasa, gas carbónico y otros intermediarios, lo cual se identificó en los resultados del tercer muestreo.

5.3. Propuesta metodológica para el mejoramiento de la eficiencia del sistema de tratamiento en estudio

De acuerdo con los resultados obtenidos y la necesidad del cumplimiento de la normatividad ambiental vigente relacionada con los efluentes generados por la actividad de lavandería industrial, es requerido un cambio en la metodología empleada en el proceso de biorremediación, en relación a periodicidad de aplicación de las bacterias y la dosis implementada o realizar un cambio en relación al agente bacteriano o producto utilizado. Dentro de la línea de productos de la empresa Biodyne®, Inc., se encuentra un producto para usos similares, Biodyne®101. Este producto es utilizado para mejorar la calidad de aguas residuales de empresas que manejan hidrocarburos, razón por la cual su acción suele ser más potente.

También sería interesante, la inclusión de un proceso extra que establezca los niveles de cada parámetro y permita el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos a nivel nacional. Según indica Rojas (2002) una de las formas de seleccionar el mejor tipo de tratamiento de aguas residuales no domésticas, es teniendo en cuenta la eficiencia de remoción de los procesos de tratamiento. En este caso se plantea la propuesta de la inclusión del proceso de tratamiento conocido como ósmosis inversa o filtración por ósmosis inversa debido a su gran potencial para remoción de componentes o sustancias de interés sanitario. El objetivo de este proceso sería complementar los procesos anteriormente indicados, para lograr un efluente más puro, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos.

La ósmosis inversa consiste en el transporte espontáneo de un disolvente de una solución diluida a una disolución concentrada a través de una membrana semipermeable microporosa simétrica con tamaños de poro de 0,1 a 10 μm ideal, que impide el paso del soluto, pero deja pasar el disolvente. Este flujo de disolvente puede reducirse si se aplica una presión en el lado de la membrana (Freire & Pacheco, 2017).

Para una cierta presión llamada presión osmótica, se alcanza el equilibrio y la cantidad del disolvente que pasa para ambas direcciones es la misma. Si la membrana es idealmente semipermeable, la presión osmótica es una propiedad de la solución solamente. Si la presión en el lado de la solución se incrementa por encima de la presión osmótica, la dirección de flujo se invierte como puede observarse en la Figura 13. Entonces el disolvente puro pasará desde la solución hacia el solvente. Este fenómeno constituye la base de la ósmosis inversa aplicada en el tratamiento del agua y agua residual (Walter, 1979).

De acuerdo con Rojas (2002) la ósmosis inversa hace parte del grupo de los tratamientos avanzados o terciarios, debido a que involucra procesos físicos (filtración por membrana y presión osmótica) y químicos (disolvente o solución diluida). La eficiencia remocional es la siguiente:

- Sólidos sedimentables: 95%-98%
- DBO: 95%-99%
- DQO: 90%-95%
- NH₃: 95%-99%
- Norg: 95%-99%
- NO₃: 95%-99%
- PO₄: 95%-99%
- Sólidos totales y disueltos: 95%-99%

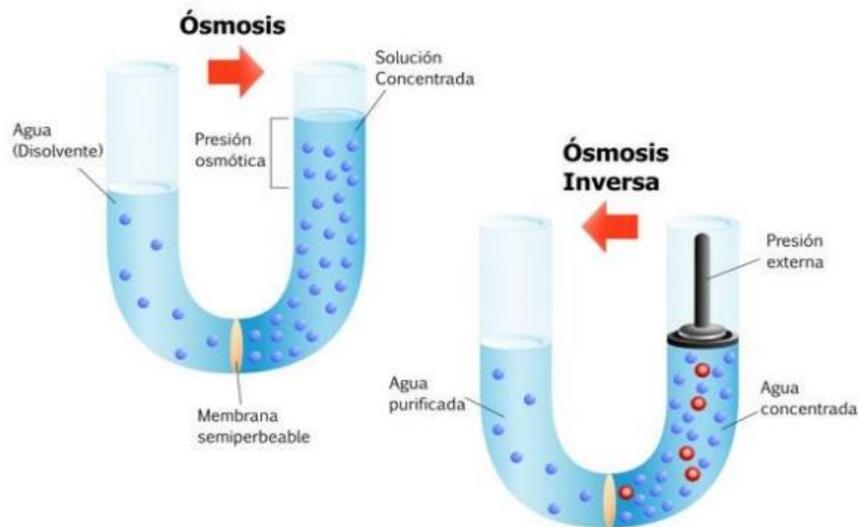


Figura 13. Procesos de osmosis y osmosis inversa.

Fuente: (Walter, 1979).

6. Conclusiones

- De acuerdo con los resultados el parámetro DQO finalmente aumentó y no cumplió con la norma. Los demás parámetros presentaron disminución de los niveles con la acción de los procesos de aireación y biorremediación incluidos dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, con relación a los muestreos 1 y 2.
- De acuerdo con los resultados los parámetros sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables desde el momento de línea base hasta el muestreo final presentaron cumplimiento frente a la norma, de lo cual podría afirmarse que el efecto de los procesos incluidos en el sistema fue de estabilizar un poco los niveles de dichos parámetros y no los afectaron de modo que aumentaran.
- Según lo evidenciado en los resultados el parámetro DQO no se comportó de la misma forma que los demás parámetros frente a la acción de los procesos de aireación y biorremediación incluidos dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la lavandería industrial, lo cual puede relacionarse con la dosis de bacterias empleadas en el sistema, debido a que en el segundo muestreo ejecutado se presentó una disminución en sus valores, lo cual se pudo afectar adicionalmente la periodicidad con la que se aplicaron las bacterias puede influir en el efecto de las mismas.
- También se puede concluir que la acción del proceso de aireación resultó más eficiente que el proceso de biorremediación dados los resultados, puesto que es mayor la disminución en los niveles de los parámetros analizados luego de la inclusión del proceso de aireación, que luego de la inclusión de la biorremediación.
- El experimento no arrojó los resultados esperados en cuanto a efectividad de los procesos implementados en el sistema, de allí se puede retomar el sistema para identificar fallas o posibles optimizaciones tanto en los procesos individuales como en el sistema de tratamiento en general.

7. Recomendaciones

Se recomienda optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas de la lavandería industrial teniendo en cuenta la propuesta metodológica en la cual se incluye el proceso de filtración por ósmosis inversa mediante el uso de membrana para microfiltración semipermeable microporosa simétrica con tamaños de poro de 0,1 a 10 μm .

8. Referencias bibliográficas

- Resolución 0631, Diario Oficial No. 49.486 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 18 de Abril de 2015).
- Aldana, M., Zuluaga, N., & Arredondo, S. (2011). Manejo integrado del agua: Tratamiento de aguas residuales. *Seminario*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Bouza , A. (2000). Reflexiones acerca del uso de los conceptos de eficiencia, eficacia y efectividad en el sector de la salud. *Revista Cubana de Salud Pública*, 50-56.
- Campos, A. (2015). *Potabilización del agua para suministro en la ciudad de México*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Christova-Boal, D., Eden, R. E., & Mcfarlane, S. (1996). *An Investigation into Greywater Reuse for Urban Residential Properties* (Vol. 106). Desalination.
- Clark, M., & Herington, J. (1989). *The Role of Environmental Impact Assessment in the Planning Process*. Londres, New York: Mansell Publishing Limited.
- Collazos, C. J. (2008). *Tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales*. (F. d. Ingeniería, Ed.) Cátedra Internacional: Universidad Nacional de Colombia.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Santa fe de Bogotá: Mc GrawHill Interamericana. S. A.
- Cubillos, D. R., & Moncada, J. E. (2006). *Evaluación a nivel de laboratorio de un sistema de remoción fotocatalítico de tensoactivos aniónicos*. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle.
- Daza, L., Gómez, D., Palacios, V., & Tabares, M. (2005). *Diagnostico Ambiental del Sector de Lavanderías en el Distrito Capital*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Delgadillo, O., Camacho , A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).

- Díaz, I. S. (2017). *Tratamiento y vertido de aguas residuales por buques en zonas especiales: gestión de lodos generados por el proceso*. Santander, España: Universidad de Cantabria .
- El Tiempo. (28 de Abril de 1994). Las Lavanderías, Grandes Empresas. *EL TIEMPO*, págs. 1-2.
- Espigares, M., & Pérez, J. A. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada: Universidad de Granada.
- Espinoza, E. (2016). *Caracterización de aguas residuales de lavandería y de la planta de poscosecha de Zamorano para el riego de áreas verdes*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.
- ETAP. (2010). *Características de las aguas residuales*. Recuperado el 09 de Abril de 2019, de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
- FAO. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/003/v8490s/v8490s06.htm>
- Freire, T. C., & Pacheco, C. V. (2017). *Estudio del consumo de energía en el proceso de osmosis inversa utilizando un filtro de membrana de grafeno para la desalinización del agua del mar* . Quito: Universidad Central de Ecuador.
- Garcia, J. (Enero de 1993). Estado actual del manejo de efluentes en Colombia. *Revista Palmas*, 14.
- Håkanson, L. (2004). *Internal loading: A new solution to an old problem in aquatic sciences. Lakes & Reservoirs*. Uppsala, Sweden: Uppsala University.
- Holguín, M. T., & Sánchez, M. d. (2015). La gestión integrada de los recursos naturales, agua y suelo, como estrategia para mitigar el impacto del cambio climático. *Mundo Siglo XXI*, X, 41-45.
- IDEAM. (10 de Septiembre de 2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Instructivo para la toma de muestras de Aguas Residuales:
http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

- Jimenez, D., De Lora , F., & Sette Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona, España: Reverté S.A.
- Lam Díaz, R. M., & Hernández Ramírez, P. (2008). Los términos: eficiencia, eficacia y efectividad ¿son sinónimos en el área de la salud? *Cubana Hematol Inmunol Hemoter*, 24(2), 1-3.
- Lavaseco Calamo Bogotá. (2017). *Procedimiento general de lavado de prendas*. Bogotá D.C.
- Lizarazo B., J., & Orjuela G., M. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional.
- López, E., & Nuñez, E. (2014). *Rediseño y mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de producción textil de la empresa "ENKADOR"*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional .
- Marín, J. P., & Correa, J. P. (2010). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia kunth*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Martínez, J. G., García, J. L., & López, E. (2014). *Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) . Puerto Ángel, México*.
- Martínez, M. K., Murcia, D. A., & Suárez, Y. H. (2015). *Evaluación de un sistema de biorremediación de aguas residuales porcolicas en la finca el porvenir, vereda suncunchoque, sector la laja, Ubate-Cundinamarca, y su reutilización con fines agroambientales . Bogotá D.C.: Corporación Universitaria Minuto de Dios*.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering treatment and reuse (Vol. IV)*. Boston: McGraw-Hill.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 631 de 2015. Bogotá D.C., Colombia.
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (2015). *Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos*. Recuperado el 10 de Abril de 2018, de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment20157pdf/04%20risk_water_quality_esp_web.pdf

- Pertuz, M. (2014). *Enfoque de la Optimización en el Campo de la Ingeniería*. Mérida, Venezuela: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño.
- Polo, J. F., Seco, A., & Robles, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. España: Universitat Politècnica de València.
- Porras, J. A. (2014). *Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Empresa Cactomer I.N. Ubicada en la Parroquia Bolívar del Cantón Pelileo*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ramos , R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003). *El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis*. Mexicali, Baja california: Universidad Autónoma de Baja California.
- Reynolds, K. A. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica, Identificación del problema. *De la llave*, 50.
- Rincón, J. A., & Millán , N. F. (2013). *Evaluación de un humedal artificial de flujo superficial para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Libre*. Bogotá D.C.: Universidad Libre.
- Rojas, R. (2002). Curso Internacional Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales* (págs. 11-17). Organización Mundial de la Salud: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Ronzano, E., & Dapena, J. L. (2002). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Madrid, España: PRIDESA.
- Ruíz, M. F., Otalvaro, J., & Holguín, H. (2012). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa representante de un sistema de reciclaje de agua para lavanderías en Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad EAN.
- Sen, S., & Demirer, G. (Abril de 2003). *Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor*. University Middletown , EPP, D. Middletown, Ohio : The Chemistry of Vat Dyes.
- Silva Cabra, B. A. (2018). *Apoyo técnico proyecto No. 140917: Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos en un predio ubicado en la localidad de Fontibón*. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Suarez, R. M. (2013). *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Bogotá D.C.: UNIVERSIDAD LIBRE.
- Turca , J. (2016). *Comportamiento de la eficiencia de remoción de materia orgánica en un bioreactor de lecho móvil alimentado con agua residual doméstica, con variación del volumen del lecho*. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle.
- Valdez, E. C., & Vásquez, A. B. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México: Fundación ICA, A.C.
- Velasco, F. (2015). *Analizadores de proceso en línea, Introducción a sus técnicas analíticas*. Madrid, España: DíasdeSantos.
- Walter, W. (1979). *Control de la calidad del agua procesos fisicoquímicos*. Barcelona: Reverté.
- Yaulema, A. N. (2015). *Dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales para la cabecera parroquial de Juan de Velasco*. Riobamba, Ecuador : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo .

ANEXOS

Anexo I. Acuerdo de confidencialidad.

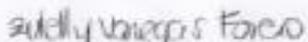
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

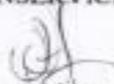
El presente Acuerdo de Confidencialidad (el "Acuerdo"), se celebra con fecha 15 de Febrero de 2018 entre, por una parte, Zulelly Vanegas Forero, identificada con cédula de ciudadanía No.10018.462.999 de Bogotá, obrando en el presente acto en su calidad de Coordinadora de Proyectos de la empresa Greenservices S.A.S y estudiante de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales (en adelante, "parte receptora") y, por la otra parte, LAVASECO CALAMO, con NIT 2.979.004-9 debidamente representada por Viviana Ostos como Gerente, ambos domiciliados para estos efectos en la ciudad de Bogotá, Colombia (en adelante, "parte reveladora"). En adelante colectivamente denominadas las "Partes" y cada una de ellas, la "Parte".

1. La parte receptora manifiesta su compromiso de no utilizar con fines de difusión, publicación, protección legal por cualquier medio, licenciamiento, venta, cesión de derechos parcial o total o de proporcionar ventajas comerciales o lucrativas a terceros, con respecto a los materiales, datos analíticos o información de toda índole, relacionada con los intercambios de información derivados de la relación de consultoría y asesoría desarrollada entre las partes serán parte confidencial de este acuerdo. Durante la vigencia del presente Acuerdo, toda la información compartida por una Parte (la "Parte Reveladora") a la otra (la "Parte Receptora") tendrá el carácter de confidencial, cualquiera que sea el medio de comunicación utilizado para transmitir o entregar dicha información (oral, escrita, por medios físicos, electrónicos u otros) y, por lo tanto, ninguna de las Partes podrá sin el consentimiento expreso y por escrito de la otra revelar dicha información confidencial a terceras personas o usarla para un propósito distinto al establecido como académico.
2. La confidencialidad considera, a mayor abundamiento, a la existencia de este Acuerdo, el detalle y descripción de su sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas, así como la identidad de las Partes. Las Partes acuerdan que ninguna información proveniente de la ("Parte Reveladora"), no será usada para otro fin distinto a uso académico, en general, de la propiedad intelectual e industrial de la esta Parte, podrá ser realizada sin autorización previa.
3. La obligación de confidencialidad de la Parte Receptora podrá cesar cuando información:
 - a) es conocida por la Parte Receptora al momento de recibirla;
 - b) es requerida por una autoridad en uso de sus facultades legales, pero sólo respecto a esa autoridad y sus facultades;
 - c) es desarrollada por alguno de los Terceros Relacionados de la Parte Receptora con independencia de la información confidencial recibida de la Parte Reveladora;

4. Las Partes sólo revelarán la información confidencial a sus empleados, asesores, directores y, en general, a los terceros que dependan o tengan un vínculo legal o académico con la Parte Receptora (los "Terceros Relacionados"), de acuerdo con la necesidad estricta que dichas personas tengan de conocerla, con el propósito único y específico del uso académico. Adicionalmente, esa Parte Receptora deberá informar sobre la naturaleza confidencial de la información a los Terceros Relacionados y tomar, en definitiva, los resguardos necesarios para el uso de la información confidencial en el marco de este Acuerdo.
5. Este Acuerdo contiene la declaración completa y exclusiva de los acuerdos entre las Partes sobre el objeto del que trata, reemplazando cualquier comunicación, intercambio o convención entre ellas, oral o escrito. En complemento, nada en este Acuerdo constituye ni debe interpretarse, bajo ningún respecto, como una oferta a firme para la realización de un negocio, ni crea o implica ninguna obligación o responsabilidad de una Parte hacia la otra, no otorgando más derechos que los que expresamente se acuerdan. A mayor abundamiento, el presente no genera ni debe interpretarse que implica o constituye sociedad, asociación o cuentas en participación o cualquier figura contractual asociativa similar ("joint venture"), ni entrega a ninguna de las partes mandato, representación o encargo alguno respecto de la otra o de sus negocios, ni transfiere u otorga derechos de naturaleza intelectual, industrial u otra.
6. Ninguna modificación o enmienda a este Acuerdo será vinculante salvo que las Partes las acuerden por escrito, debidamente firmadas por sus representantes. La omisión de cualquiera de las Partes de ejecutar sus derechos bajo este Contrato no constituirá una renuncia a esos derechos.
7. Este Acuerdo se suscribe en único beneficio de las Partes. Ninguna de las Partes tendrá derecho a ceder todo o cualquier parte de su interés bajo este Acuerdo sin el consentimiento previo y por escrito de la otra Parte.
8. Este Acuerdo tendrá una vigencia dos (2) años.

En fe de lo anterior, las Partes han acordado suscribir este Acuerdo en dos ejemplares, en el día y año indicados al inicio.


Nombre: 102296299 Bta.
Zuleily Vanegas Forero
GREENSERVICES


Nombre: Viviana Ostos cc. 53063779 Bta.
Viviana Ostos
LAVASECO CALAMO