

**TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE LAVANDERIA POR MEDIO DE UN
REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS
(UASB) HIBRIDO**



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ**

**TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE LAVANDERIA POR MEDIO DE UN
REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS
(UASB) HIBRIDO**

**CARLA MILENA YEPES POLANÍA
TRABAJO DE GRADO**

**DIRECTOR DE TESIS
INGENIERA ADELA TATIANA RODRIGUEZ CHAPARRO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ**

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente quiero agradecerle a mi familia por su apoyo incondicional durante todo el pregrado y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles de mi vida. También quiero agradecer a mis amigos por sus valiosos aportes a lo largo de toda la carrera universitario, especialmente durante el proyecto de grado. A la directora de mi tesis, Ing. Tatiana Rodríguez Chaparro por su guianza y colaboración durante mi paso por el seminario de investigación y durante la realización de mi proyecto de grado. Adicionalmente a Andrea Hurtado y Margarita Hernández por su ayuda durante mis pruebas de laboratorio.

A todos muchas gracias, ya que la mayor parte de este trabajo no será posible sin ustedes.

¡Muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVO GENERAL	9
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
3. PROBLEMA	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. ANTECEDENTES	12
6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
6.1. DIGESTION ANAEROBIA	15
6.1.1. FASES DE LA DIGESTION ANAEROBIA.....	16
6.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	17
6.2. REACTORES UASB	18
6.2.1. DEFINICION Y COMPONENTES.....	18
6.2.2. FUNCIONAMIENTO GENERAL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.2.3. PARAMETROS DE OPERACION	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.3. TRATAMIENTOS A AGUAS GRISES.....	20
6.3.1. CARACTERISTICAS Y COMPOSICION DE AGUAS GRISES DE LAVANDERIA	22
6.4.2. DETERGENTES.....	23
7. MATERIAL Y METODOS	24
7.1. MONTAJE DEL REACTOR	24
7.2. FRECUENCIA DE PARAMETROS MEDIDOS	25
7.3. AFLUENTE SINTETICO	26
7.4. ENSAYOS REALIZADOS	28
8. RESULTADOS PRINCIPALES	30
8.1. CARACTERIZACION AGUA GRIS.....	30
8.2.1. PH.....	33
8.2.2. ALCALINIDAD Y RELACION AI/AP	33
8.2.3. DQO Y REMOCION DQO.....	34
8.2.4. SÓLIDOS.....	36
9. CONCLUSIONES	37
10. REFERENCIAS	38
11. ANEXOS	40

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales es una de las piedras angulares para el reúso de las fuentes hídricas y la reducción del impacto ambiental del ser humano. Los reactores UASB híbridos han emergido como una tecnología de alta impacto, importante eficiencia y bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales, especialmente las aguas grises. Dentro de las principales fuentes productoras de aguas grises se posicionan las relacionadas con la industria y el uso doméstico de la lavandería. Por medio del presente proyecto se pretende evaluar la eficiencia y el comportamiento del reactor UASB híbrido en la remoción de materia orgánica, en el tratamiento de aguas grises, especialmente de lavandería.

El estudio contó de 3 fases: 1) caracterización del agua de la lavandería, 2) Climatización del reactor UASB híbrido con soluciones de concentraciones cambiantes de agua de lavandería y agua sintética de laboratorio, 3) Evaluación de los parámetros de efectividad en el tratamiento de aguas grises de lavandería: pH, DQO, DBO, nitrógeno, fósforo, UV254, cloruros y alcalinidad. Se observan remociones de la materia orgánica en términos de Demanda Química de oxígeno (DQO) de hasta el 58 ± 0.1 %. Los valores del índice buffer indican que el proceso es estable. En la Segunda y quinta fase de la climatización del reactor, con 25% de ARL y 75% AS, se presentan contrastes en su remoción de DQO, aclarando que la fuente de agua de lavandería fueron de lugares diferentes, queda claro que los productos y tecnologías empleadas en el proceso de lavado influyen de manera directa con la capacidad que pueda tener el proceso anaerobio con este tipo de agua. A pesar de que el proceso anaerobio fue estable, pero no hubo degradación significativa de la materia orgánica.

ABSTRACT

The treatment of wastewater is one of the cornerstones for the reuse of water sources and the reduction of the human environmental impact. The hybrid UASB reactors have emerged as a high impact technology, with important efficiency and low cost for the treatment of wastewater, especially gray water. Among the main sources of gray water production are those related to the industry and domestic use of the laundry. The aim of this project is to evaluate the efficiency and behavior of the hybrid UASB reactor in the removal of organic matter, in the treatment of gray water, especially laundry water.

The study has 3 phases: 1) characterization of the laundry water, 2) conditioning of the hybrid UASB reactor with solutions of changing concentrations of laundry water and synthetic water to work it, 3) Evaluation of the parameters of effectiveness in the Laundry gray water treatment: pH, COD, BOD, nitrogen, phosphorus, UV254, chlorides and alkalinity. Removals of organic matter are observed in terms of Chemical Oxygen Demand (COD) of up to $58 \pm 0.1\%$. The values of the buffer index indicate that the process is stable. The second and fifth phases of the reactor conditioning, with 25% of ARL and 75% AS, present contrasts in the removal of COD, claiming that the source of laundry water were different places, it is clear that the products and technologies used in the washing process influence directly with the capacity that the anaerobic process may have with this type of water. Although the anaerobic process was stable, but there was no significant degradation of organic matter.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas grises son definidas como efluentes generados de acciones efectuadas en cocina, ducha y lavaderos. Estas aguas grises son dispuestas de manera separada de las aguas residuales que contienen materia fecal, y que son denominadas aguas negras. Por lo tanto, las aguas grises residuales no poseen organismos coliformes (Nuñez *et al.*, 2014). Actualmente las aguas grises conforman el 75% de la recolección estimada de los alcantarillados combinados, y de forma importante este porcentaje de aguas grises tiene el potencial de ser tratado con sistemas tecnológicos, económicos y enfocados al lugar de producción.

Una de las características más relevantes del manejo de las aguas grises radica en los sistemas de tratamientos que se pueden ser usados de acuerdo con su origen de producción. Por ejemplo, un sistema de tratado simple - como filtración de arena/grava - será suficiente para el tratamiento de aguas provenientes de lavamanos para un posterior uso en riego de plantas (Christova-Boal, *et al.*, 1996); a diferencia de las aguas grises provenientes de lavanderías, que debido a su alta concentración de sulfonatos de alquilbenceno lineales (LAS) proveniente de los productos de limpieza doméstica, requieren de un sistema de tratamiento más sofisticado (T.P.Delforno *et al.*, 2014).

Existen diferentes niveles en el tratamiento de agua como los preliminares, primarios, primarios avanzados, secundarios y terciarios, todos estos se diferencian por los mecanismos predominantes en el proceso y las eficiencias de reducción. Dentro de los mecanismos predominantes, se encuentran los físicos, físico-químicos y biológicos. Los biológicos tienen presencia de microorganismos, los cuales consumen y estabilizan la materia orgánica, removiendo los sólidos que no se sedimentaron en niveles anteriores.

En Europa y Norteamérica han sido muy empleadas para el tratamiento de aguas industriales los sistemas anaerobios y aerobios (Digestión de lodos). En países como Portugal, México, China, Portugal, Colombia entre otros se han implementado tecnologías anaerobias, especialmente reactores de flujo ascendente con manto de lodos UASB, debido a su clima tropical y subtropical (Torres, 2012). La tecnología anaerobia es más sostenible que la aerobia, debido a que no requiere de energía para aireación, requiere de menor área y costo para su implementación, el lodo no requiere de estabilización, su generación de gases de efecto invernadero es baja, entre otras (Torres, 2012).

Para el caso de Colombia, registros de 1996 demuestran que 154 municipios hacían uso de sistemas de tratamiento de aguas servidas, de los cuales 96 implementaban lagunas de estabilización, seguido por 26 municipios con aireación extendida, y en tercer lugar 17 municipios que trataban sus aguas con reactores anaerobios UASB. En ese año existían

solo 80 reactores anaerobios para tratar los aproximadamente 855l/seg, de efluentes industriales, agroindustriales y domesticas de todo el pais (Diaz *et al*, 2002).

En Colombia el tratamiento de las aguas grises de lavanderia es casi nulo, desaprovechando asi la oportunidad de reuso y su capacidad de reduccion del impacto a nivel ambiental. El objetivo del presente estudio es evaluar la eficiencia de un reactor UASB hibrido, en el tratamiento de aguas grises provinientes de una lavanderia de la capital del pais. Iniciando con la caracterizacion de cuatro tipos de aguas grises, hasta llegar al agua de lavanderia seleccionada. Su puesta en marcha y operaci3n se dio mediante diferentes fases, que tienen como fin climatizar el reactor para la llegada del agua a tratar. En cada fase se controlaron parametros como pH, alcalinidad, relacion AI/AP, DQO, remocion de DQO, entre otros, para asi monitorear todas las alteraciones presentadas en el sistema y evaluar aquellos que generen mayor eficacia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia y el comportamiento del reactor UASB híbrido en la remoción de materia orgánica, en el tratamiento de aguas grises, especialmente de lavandería.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer las características fisicoquímicas y la composición del agua residual doméstica gris de lavandería.
- Evaluar la remoción de materia orgánica en las diferentes fases del proceso.
- Realizar seguimiento a la estabilidad del reactor por medio de la relación AI/AP

3. PROBLEMA

El crecimiento poblacional de forma desmedida y no controlada, el uso indiscriminado y sin conciencia de los recursos y la desertización, son factores importantes para preocuparse por el aprovechamiento de los recursos, especialmente del recurso hídrico. Durante millones de años el planeta tierra se ha encargado de reutilizar y reciclar el agua en su ciclo hidrológico, sin embargo, estos sistemas naturales han sido sobrepasados por la contaminación humana.

La industria textil y de lavanderías, es una de las mayores consumidoras de agua en el mundo, produciendo aguas residuales que contienen diversos contaminantes como detergentes, sustancias orgánicas degradables, colorantes, agentes que alteran el pH, sales, azufre, sustancias tóxicas y compuestos orgánicos refractarios. (Somasiri W, 2001) Los detergentes son sustancias o preparados que contienen jabones u otros agentes tensioactivos destinados a facilitar los procesos de lavandería. Los tensioactivos pertenecen a un grupo de productos químicos de alta relevancia ambiental debido a sus grandes volúmenes de producción y a su influencia medio ambiental en el agua dulce (cuerpo de agua y sedimento), el suelo contaminado con lodo de aguas residuales y el ambiente marino (Merrettig-Bruns U, 2009).

Debido a esta problemática, a nivel mundial se han implementado mecanismos para el reúso de las aguas residuales, después de una línea de tratamiento que permita devolverle características y condiciones adecuadas al agua para cumplir con los alineamientos y normas de cada país.

El agua residual se puede reusar en forma directa e indirecta, por ejemplo, para uso industrial, líneas de incendios, sanitarios, talleres, lavaderos, entre otros (J. Manga, 2001). Este proyecto abordara el tema dándole un tratamiento al agua domestica gris, específicamente el agua de lavandería, entiéndase como aguas grises todas aquellas provenientes de uso doméstico distinguiéndose de las aguas negras (contaminadas por bacterias fecales).

En Colombia no hay una ley que regule el uso de estas aguas, ni para su reutilización ni para su vertimiento, incrementando así la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Por tal motivo se hace inminente el desarrollo de nuevos estudios con el objetivo de caracterizar este tipo de aguas y tratarlas por medio sistemas eficientes, como el uso de reactores anaeróbico de Flujo Ascendente con Manto de Lodos Hibrido.

4. JUSTIFICACIÓN

Las regiones de Latinoamérica son las que menos realizan recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel mundial (Torres, 2012), ya sea por temas financieros, malas administraciones o la falta de conocimiento de tecnologías de bajo costo. Los reactores anaeróbicos UASB han tenido muy buena acogida, especialmente en América Latina, debido a su clima favorecedor. En Colombia desde hace un par de décadas se han venido implementando la tecnología anaeróbica, por su clima tropical, la cual es propicia para el tratamiento para la digestión de lodos y tratamiento de aguas residuales industriales.

La falta del recurso hídrico en muchas regiones y municipios del país es alarmante, al igual que la falta de un buen sistema de saneamiento. Como opciones para ello se encuentra la reutilización del agua en procesos que no requieren de altos parámetros de calidad como lo son el vaciado de sanitarios, o implementar un tratamiento económico que permita su uso en otras actividades que no estén relacionadas con el consumo humano, como lo son el riego de zonas verdes.

Entre las aguas residuales domésticas se encuentra el agua de lavandería, las industrias de lavandería tienen un alto consumo de agua, pudiendo generar un gran impacto sobre el medio ambiente. Por medio de la facturación de Acueducto y alcantarillado de Bogotá se determinaron los consumos de agua de estas empresas, siendo entre 50-60 m³ diarios y al mes pueden alcanzar 1800 m³ (Bedoya, 2005). Este consumo no solo tiene efecto en el medio ambiente por la gran demanda, si no en la productividad de empresa.

El propósito de este proyecto es evaluar de eficiencia de un tipo de tratamiento de agua de bajo costo, para la reutilización de aguas de lavandería en diferentes procesos, por medio de un reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos híbrido.

5. ANTECEDENTES

Las problemáticas de saneamiento y pocos recursos que se presentan en muchas regiones del país hacen un llamado al desarrollo de tecnologías que mitiguen el impacto ambiental con el uso de los recursos disponibles (Sánchez-Triana, 2008). Colombia, por ser un país con un clima tropical y subtropical tiene condiciones favorecedoras para la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con el uso de tecnología anaerobia. Este tipo de tratamiento de aguas residuales, además de generar un gran efecto al ecosistema, tiene el potencial de generar valor agregado a los subproductos del tratamiento, como es el caso de la bioenergía y los nutrientes.

Desde su desarrollo en Holanda hacia finales de los setenta, el reactor UASB ha sido aplicado en varios sectores como el tratamiento de efluentes de plantas químicas y petroquímicas, industrias textiles y tratamiento de lixiviados y aguas grises (Tabla 1). En las últimas décadas el número de reactores anaeróbicos en el mundo se ha venido incrementado, y cerca del 72% de estos son reactores basados en la tecnología UASB. Así, los reactores UASB se han posicionado como tecnología efectiva, con capacidades de reducción que van desde el 65% hasta el 80% de la demanda química de oxígeno (DQO) (Torres, 2012).

Una encuesta realizada en 6 países de América Latina (Brasil, Colombia, Chile, República Dominicana, Guatemala y México) logró identificar las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales más utilizadas dentro de la región. Los reactores UASB ocuparon el tercer puesto, que es bastante significativo teniendo en cuenta que esta tecnología es relativamente nueva en el campo, con no más de 30 años de aplicación. (Ribeiro, 2015, pág. 2).

Particularmente en Colombia existe una moderada experiencia en el uso de reactores UASB desde el año 1982 cuando las Empresas Municipales de Cali participaron en el proyecto “Planta piloto UASB de Cañaveralejo” (Vasquez, 2013). Posteriormente, la Corporación Autónoma de Bucaramanga realizó un convenio con Holanda, para la evacuación de un sistema de lagunas y reactores anaerobios UASB, permitiendo el diseño y construcción de la actual planta de aguas residuales PTAR Río Frío. Además del uso de estos reactores para el tratamiento de aguas domésticas, esta tecnología se ha implementado para vertimientos industriales, tales como Alpina y la industria Cervecera.

El éxito de esta tecnología para su uso en los efluentes municipales radica en el diseño específico de cada reactor. Es esencial que se cuente con una distribución homogénea para la alimentación por el fondo del reactor y la velocidad ascendente del flujo a través

del lecho de lodos. Para una óptima operación se recomienda un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 4 a 6 horas.

Tabla 1. Resumen de recopilación de experiencias en tratamientos anaerobios en América Latina. (Torres, 2012, pág. 10)

PTAR	País	Inicio	T (°C)	% Reducción DQO
Cañaveralejo	Cali, Colombia	1982	25	75-86
La Rosita	Bucaramanga, Colombia	1986	23-26	66
Río frío	Bucaramanga, Colombia	1990	23-26	65-70
Vivero	Cali, Colombia	1994	24-30	67
Restrepo	Valle del Cauca, Colombia	1998	20	70-88
Calima	Valle del Cauca, Colombia	2007	20	67-83
Riofrio	Valle del Cauca Colombia	2008	22	78-83
Sao Paulo	Sao Paulo, Brasil	1986	-	60
Pedregal	Campiña Grande, Brasil	1989	-	75
Magueira	Recife, Brasil	1997	30.8	75
Piracicamirim	Brasil	2000	-	65
Onca	Brasil	2006	-	72
Tepeyanco Atlamaxac	Tlaxcala, México	1990	20	75-80
Fideicomiso Alto Río Blanco	México	1992	22.5	80

En forma general esta tecnología ha tenido gran acogida en nuestro país. Sin embargo, algunos inconvenientes se han presentado por la falta de criterios para el diseño apropiado de los sistemas y la escogencia de materiales no adecuados o no compatibles con la agresividad de los efluentes de la región, la mala planeación en la ubicación de las plantas y el rechazo desde algunos sectores de la comunidad (Vasquez, 2013).

Tabla 1. Resumen de las Tecnologías más usadas para el tratamiento de aguas residuales en América Latina. (Ribeiro, 2015, pág. 3)

Tecnología	# Instaladas	Porcentaje
Tanque Estabilización	1106	38%
Lodos activados	760	26%
UASB	493	17%
Tanques Aireados	140	5%
Humedal	137	5%
otros	297	10%

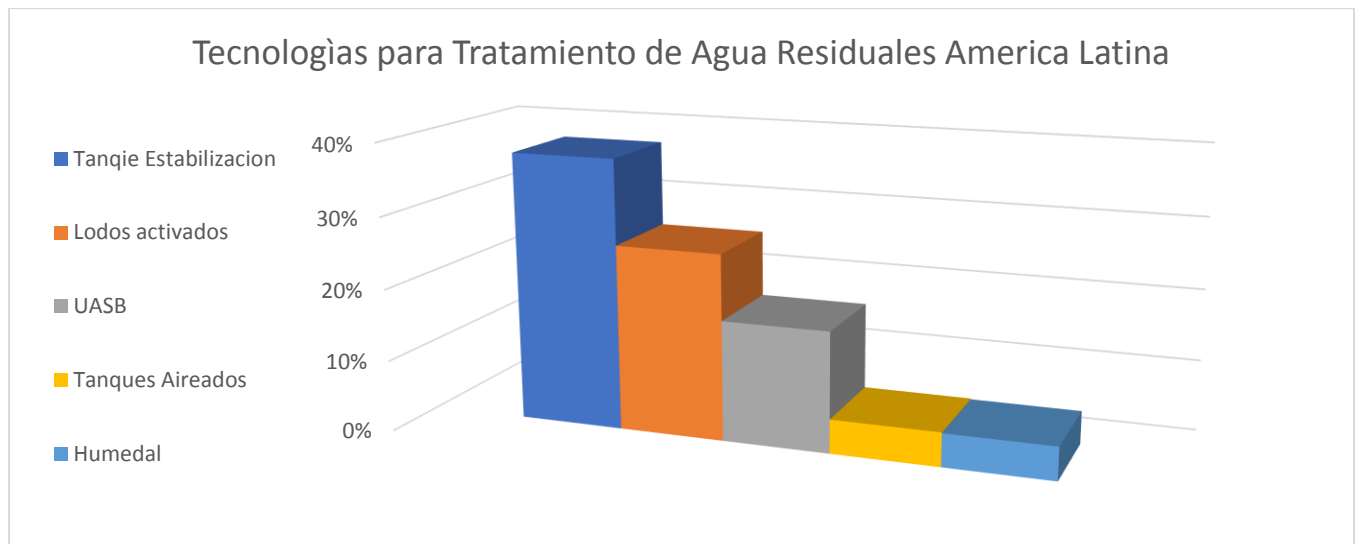


Figura 1. Tecnologías más usadas para el tratamiento de aguas residuales municipales en América Latina. (Ribeiro, 2015, pág. 3)

En nuestro conocimiento no han sido publicados trabajos acerca del uso de la tecnología de los reactores anaerobios UASB para el tratamiento de aguas grises residuales de lavandería en Colombia. Por lo cual se ha relevante el estudio de la potencial utilidad del reactor UASB para tal fin.

6. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

6.1. DIGESTION ANAEROBIA

La digestión anaerobia consiste en la descomposición de materia orgánica biodegradable en ausencia de oxígeno, mediante la acción de algunos tipos de bacterias. Este proceso produce una mezcla de gases llamada biogás, que está compuesta de metano y dióxido de carbono principalmente. El proceso de degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas: Hidrolisis, Oxidación anaerobia (etapa acidogénica y etapa acetogénica) y etapa metanogénica, aunque algunos autores mencionan procesos adicionales.

La digestión anaerobia está regulada por diversos factores dentro de los que se encuentra el pH, la alcalinidad, el tipo de nutriente a degradar, el potencial reducción/oxidación, la temperatura, el tiempo de retención hidráulico y carga orgánica volumétrica. (AGROWASTE).

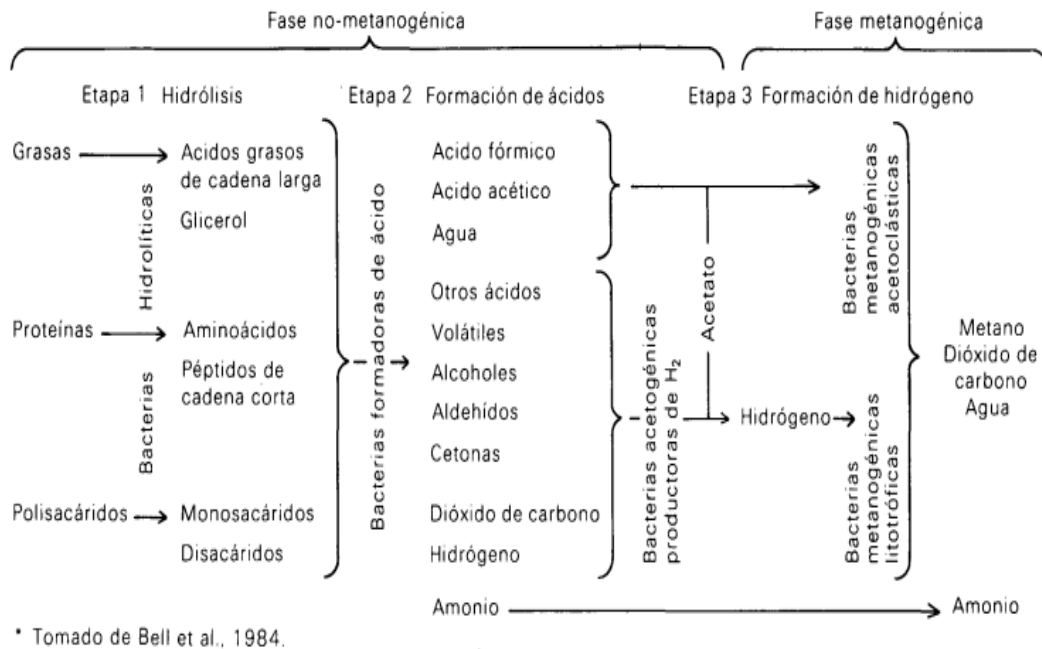


Figura 2. Degradación del material orgánico (Díaz Baez, 1987, pág. 12)

En términos de costos, el tratamiento anaerobio de aguas residuales ha demostrado una alta efectividad en efluentes con alta carga orgánica, ya que hay ahorro en el volumen del reactor, adición y de nutrientes y energía. Cuando se requiere la remoción de alta materia orgánica, el tratamiento anaerobio solamente puede constituir una parte del proceso, ya que por sí mismo con poca frecuencia llega a una remoción mayor a 80-90% (Malina & Pohland, 1992).

6.1.1. FASES DE LA DIGESTION ANAEROBIA

Hidrolisis

Durante este proceso, las enzimas producidas por los microorganismos transforman los nutrientes en moléculas de un menor tamaño. Todo esto es posible gracias a las bacterias acidogénicas (Mendes Predolin, 2015). La hidrolisis puede producirse en proteínas, carbohidratos y lípidos, convirtiéndose así al degradarse en aminoácidos, azúcares y ácidos grasos respectivamente. Posteriormente estas moléculas se transforman en productos intermedios como el acetato e hidrogeno, y luego hasta su producto final que es el Metano. (BERMUDEZ, CANOVAS, MANJON, IBORRA, & HOWELL, 1988). La hidrolisis es el paso limitante cuando lo que se pretende degradar tiene grandes cantidades de materia insoluble (Boone, Archer, & Kirsop, 1990).

Oxidación Anaerobia

En este proceso, también llamado fermentación, la materia disuelta sufre su transformación a productos finales: gases y/o ácidos de cadena corta (Mendes Predolin, 2015). Este es un proceso microbiano que requiere de la reducción de la alcalinidad. En la primera etapa del proceso se producen monómeros por las bacterias hidrolíticas, estos son degradados en productos intermedios como propionato, acetato e hidrogeno. En esta fase entran a jugar dos grupos de bacterias, las acidógenas y las acetógenas. Estas bacterias se encargan de producir productos como hidrogeno, dióxido de carbono y acetato (Mara & Horan, 2003).

Metanogénesis

En este proceso intervienen las bacterias metanógenas, con el uso de ácidos orgánicos volátiles, nitrógeno en metano, dióxido de carbono, agua, amonio, que permiten la obtención del metano (Mendes Predolin, 2015). En esta fase requiere un aumento de alcalinidad del medio, y es la más lenta en todo el proceso de la digestión anaerobia. Las bacterias que intervienen en esta fase son muy sensibles a las condiciones ambientales, por lo que cualquier cambio puede llevar a la reducción significativa en la producción de metano. Para estas bacterias el rango propicio de pH para el correcto funcionamiento esta entre 6.5 a 8.2 (Speece, 1983).

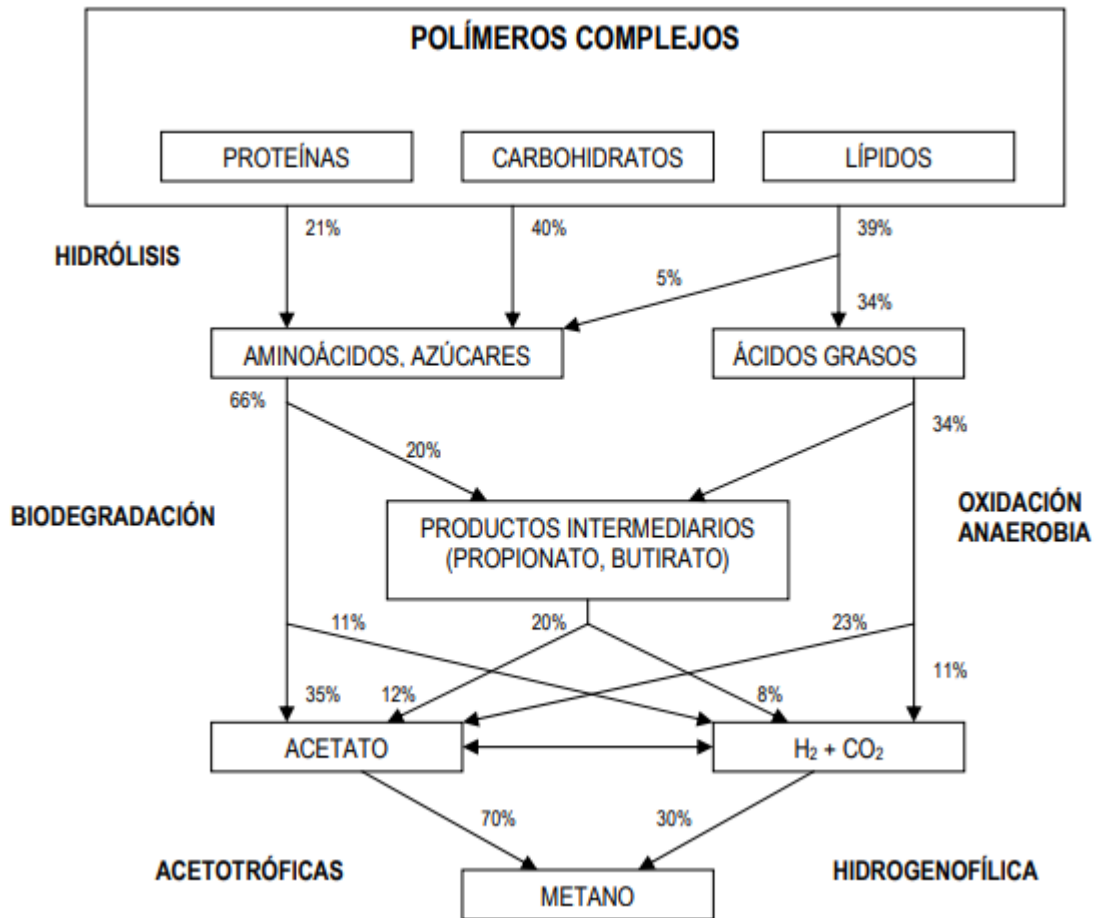


Figura 3. Esquema de los procesos de la digestión anaerobia (Reyes Pantoja, 2009).

6.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas (Reyes Pantoja, 2009)

- Los procesos anaerobios permiten cargas orgánicas hasta 10 veces mayores comparativamente con los procesos aerobios
- La reducción en la adición de nutrientes puede estar entre un 80 a 95%
- La biomasa no presenta un deterioro severo en su actividad, como si es evidente en los procesos aerobios
- No requiere de aireación, por lo tanto, es menos requirente de energía

Desventajas (Reyes Pantoja, 2009).

- Debido al desarrollo de la biomasa se requieren tiempos de arranque muy largos
- Los efluentes requieren de un post tratamiento para ser descargador en aguas superficiales

- Generan malos olores
- No se puede llevar a cabo la nitrificación
- Requiere de alcalinidad
- A bajas temperaturas la tasa cinética es baja

6.2. REACTORES UASB

6.2.1. DEFINICION Y COMPONENTES

En Holanda en 1970, Lettinga y colaboradores desarrollaron un reactor sin empaque alimentado con flujo ascendente y con un sistema de separación gas-líquido-sólido que permite la salida del biogás y limita la salida del material en suspensión. El afluente a ser tratado en el reactor, ingresa por el fondo y recorre en un flujo ascendente, inicialmente el agua residual atraviesa una cámara de lodo biológico, donde ocurre una transformación de materia orgánica.

También conocidos como reactores anaeróbicos de alta carga, estos reactores permiten el tratamiento de altas concentraciones de carga orgánica con bajos consumos de energía y con reducción de lodos. No obstante, esta tecnología tiene una serie de factores dependiente como lo es la capacidad de granulación de lodos, la composición de las aguas residuales, si el afluente viene de un tratamiento aeróbico requiere de un pulido previamente y se debe de tener en cuenta que los reactores anaerobios no eliminan nutrientes (UPE, 2018).

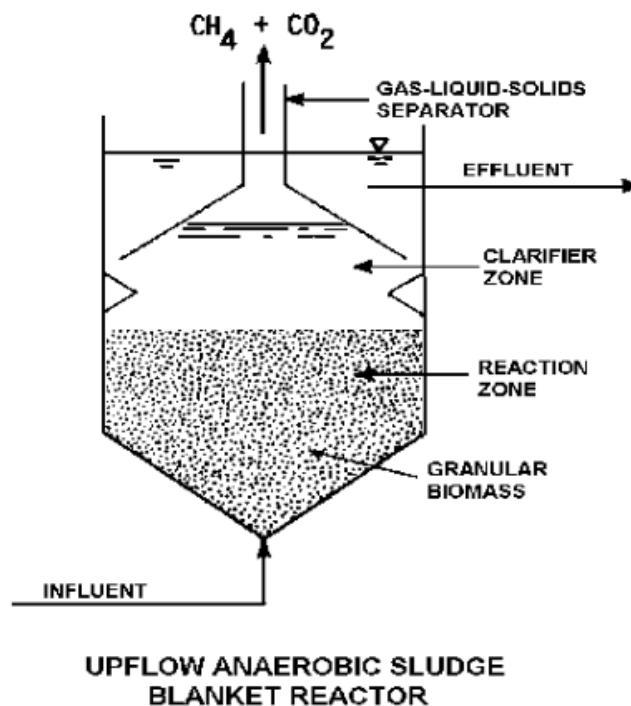
El reactor UASB consiste en un tanque *Imhoff* “al revés” con cámaras de decantación y digestión anaeróbica superpuestas (Lorenzo & Obaya, 2006). Estos digestores constan de tres zonas, zona de lecho de lodos, zona media donde están dispersos los microorganismos y la zona de separación gas-liquido-solido.

El agua residual fluye en sentido ascendente por el manto de lodos, constituido por gránulos, los cuales se formaron y se mantienen por la circulación interna por los gases, producidos por el contando del agua residual y del lodo microbiológico. El gas queda adherido a las partículas biológicas, hasta ascender a la parte superior del reactor, donde estas se desprenden y las partículas caen a la superficie del manto nuevamente.

Para que ocurra una buena operación del reactor UASB se deben cumplir ciertos aspectos según Lorenzo & Obaya (2006):

- Buena formación de los gránulos, lo cual depende de la disponibilidad de nutrientes, temperatura, tipo de agua residual, sedimentación y pH.
- Concentración de biomasa en el reactor
- Actividad biológica del lodo
- Tiempo de adaptación del lodo
- Tiempo de retención de sólidos
- Tiempo de retención hidráulico
- Propiedades de sedimentación del lodo, lo cual determinara su eficiencia

El afluente ingresa por la parte inferior del reactor y asciende con la ayuda de una bomba peristáltica. En el interior del reactor hay una circulación del agua residual, debido al biogás, el cual ayuda para la formación de los gránulos. El gas generado se encuentra de dos formas: libre o adherido a las partículas. Sin importar la forma al llegar a la parte superior del reactor se libera cuando entra en contacto con los desgasificadores. Este gas queda capturado en una campana. Las partículas liberadas al irse el gas caen de nuevo hasta el manto.



Reactor UASB

Figura 4. Reactor anaerobio basado en formación de granulo (Fundamentals, 2018).

PROBLEMÁTICA Y TRATAMIENTO

El vertimiento de aguas residuales a ríos, lagos, acuíferos y pozos, sin tratamiento previo es perjudicial. no solo por los daños ocasionados al medio ambiente, sino también por la insuficiente sanidad. Estas aguas pueden ser usadas por algunas comunidades por medio de la utilización de aguas superficiales que pueden estar contaminadas por desechos humanos e industriales. Por esta razón, las aguas residuales deben recibir un tratamiento previo a los vertimientos en búsqueda de mejorar sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Para el diseño, operación, tratamiento y disposición de las aguas residuales es indispensable conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua. Entre las características físicas más importantes se encuentra la temperatura y la concentración de sólidos, la primera afecta las reacciones químicas y actividades biológicas y la segunda afecta el tamaño de las unidades y la operación del tratamiento.

Los niveles de tratamiento de este tipo de aguas van en función de los límites de vertimiento. Existen tres tipos de tratamiento, los primarios buscan la eliminación de materiales flotantes y sólidos suspendidos, los secundarios emplea tratamientos biológicos convencionales y los terciarios eliminan aquello que no se pudo eliminar con los biológicos convencionales (Ramalho, 1996).

6.3. TRATAMIENTOS A AGUAS GRISES

Los siguientes tratamientos son los mas frecuentados en la literatura para el tratamiento de aguas grises, en general el objetivo de ellos es la reutilización de estas aguas especialmente para riego.

Un estudio realizado en el Instituto Superior de Ingeniería Medjez El Bab (Túnez) examina la evaluación de la filtración por flujo ascendente-descendente con arena de sílicea/mármol como sistema de tratamiento para la reutilización de aguas grises recogidas en los baños. El sistema fue operado con diferentes tasas de carga hidráulica y medios de filtro para así determinar cuál es el mejor para tratar el agua gris con propósitos de irrigación. La institución se encuentra cercana al río Medjerda y la presa Sidi Salem, lo que la vuelve importante para los cultivos de cebolla, tomates, pimentones, papa y pepinos. El tratamiento empleado fue el siguiente:

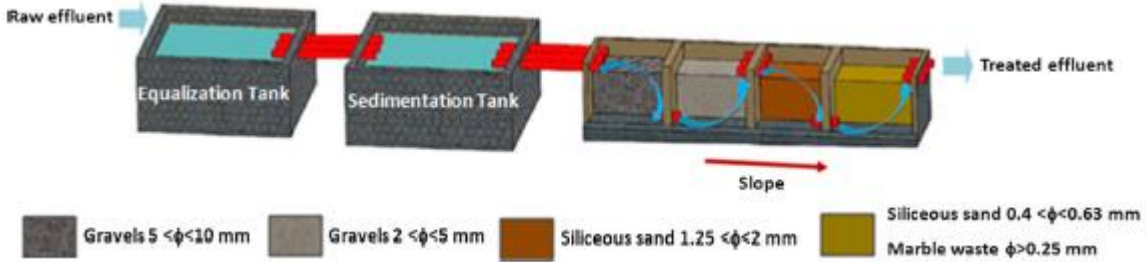


Figura 5. Sistema de filtración de residuos silíceos arena/mármol de flujo ascendente y descendente para tratamiento de aguas grises.

Para propósito de riego, este sistema de tratamiento con un funcionamiento óptimo presenta excelente calidad de agua. Pero para propósito industrial este tipo de agua tiene altas concentraciones de calcio y sodio, generando espumas y sarro en las calderas. (Safa *et al*, 2016)

Otro estudio plantea el tratamiento a menor escala de aguas grises para uso en huertos familiares, agricultura peri-urbana y paisajismo. Como objetivo tuvo investigar la eficiencia del tratamiento, salud, preocupaciones químicas, costo beneficio y mantenimiento del sistema.

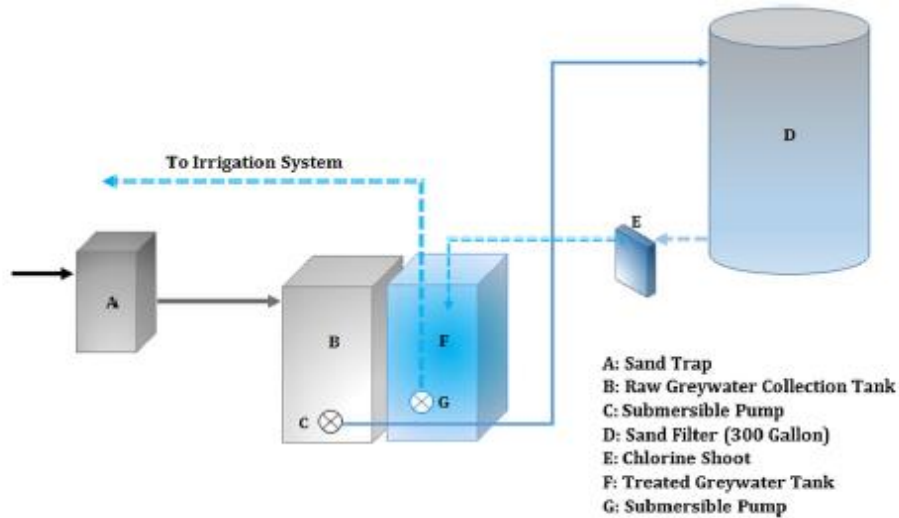


Figura 6. Sistema de tratamiento doméstico para aguas grises en Omán.

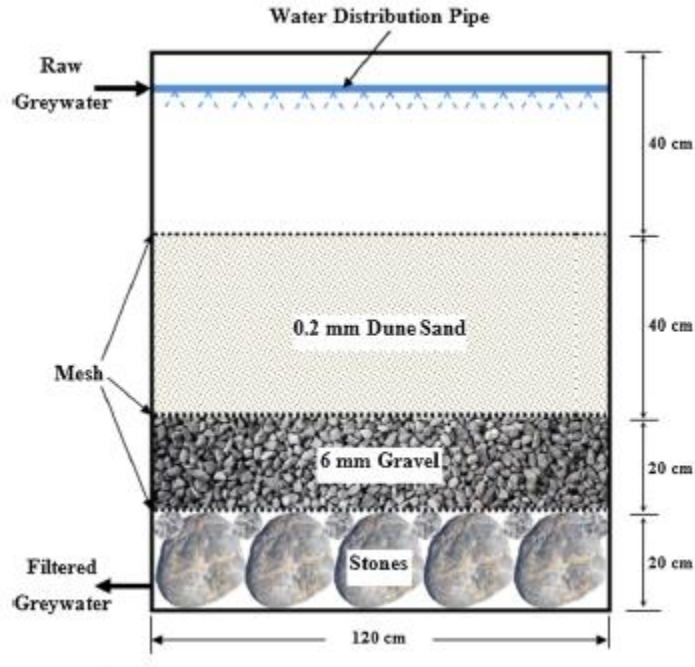


Figura 7. Esquema del sistema de tratamiento domestico para aguas grises en Omán.

El sistema fue instalado en la construcción de una casa en Mascate, Omán, el sur de Europa, cercano a Yemen y Arabia Saudita, países con estrés hídrico. El estudio tardó dos años, en los que se concluyó que el resultado de tratar agua gris con este tratamiento fue positivo, de acuerdo con la normativa del país. La inversión inicial es alta pero el mantenimiento requerido es simple, tiene un periodo de amortización de dos años. En Omán el estudio es factible tanto económicamente como ambientalmente (Abdulrahim, y otros, 2017).

6.3.1. CARACTERISTICAS Y COMPOSICION DE AGUAS GRISES DE LAVANDERIA

Los efluentes de las lavanderías están categorizados dentro de las aguas grises y se caracterizan por la presencia de detergentes, carbonatos, sales, peróxidos y tintes (Namerow, 1998). Las altas cantidades de colorantes presentes en estos efluentes limitan el proceso de fotosíntesis y disminuyen el poder de biodegradación de material orgánico particulado. Además, el consumo de aguas en las lavanderías es alto, con vertimientos aproximados de 33,3 litros de agua por kilogramo de ropa.

En el proceso de lavado de las lavanderías se producen los siguientes efluentes: Aguas Residuales del prelavado, lavado y enjuague. Todos estos efluentes contienen detergentes, desengrasantes, neutralizantes y suavizantes con gran poder de contaminación. Estos vertimientos poseen gran turbidez y alcalinidad y una materia orgánica rápidamente putrescible con una DBO5 400-1000 (Sánchez, 2004).

Las características usuales del agua de lavandería son: pH: 9.0-9.3, alcalinidad: 60-250 mg/L de Na₂CO₃, sólidos totales 800 – 1200 mg/dL y DBO₅ 400 – 450 (Sánchez, 2004).

6.4.2. DETERGENTES

Los detergentes son agentes tenso activos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en los que se hallan disueltos. Las propiedades de estas moléculas residen en su carácter anfifílico, es decir, que cada molécula de surfactante tiene una parte hidrofílica y una parte hidrofóbica o lipofílica. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espumas, aún en bajas concentraciones, cuando se acumulan en la interfaz aire-agua. Además, inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del oxígeno. Por otra parte, los detergentes son fuente importante de fósforo en las aguas residuales (Guamán Mendoza, 2014).

Un importante componente de los detergentes son los surfactantes. Los surfactantes son sustancias orgánicas intencionalmente agregadas para lograr la limpieza, enjuague y/o suavizado de telas debido a sus propiedades de superficie activa. Consisten en uno o más grupos hidrofílicos e hidrofóbicos de tal naturaleza y tamaño que son capaces de formar micelas.

La mayoría de los detergentes contienen una gran cantidad de surfactantes aniónicos. Estos compuestos muestran grupos aniónicos en su parte hidrofílica y tienen un pequeño contra-ión, v.g. sodio o potasio, con solo una influencia menor sobre las propiedades de la sustancia. Los surfactantes aniónicos más importantes que se usan en los detergentes de lavandería son:

- Alquilbenceno sulfonatos (principalmente LAS)
- Alkilsulfatos
- Alquil éter sulfatos
- Alcanosulfonatos secundarios

Estos compuestos tienen alta relevancia ambiental debido a sus grandes volúmenes de producción y a su influencia medio ambiental en el agua dulce (cuerpo de agua y sedimento), el suelo contaminado con lodo de aguas residuales y el ambiente marino (Merrettig-Bruns U, 2009).

7. MATERIAL Y METODOS

7.1. MONTAJE DEL REACTOR

El reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos, UASB, que se utilizó en el proyecto fue elaborado de acrílico, con un diámetro interno de 9.12 cm, altura total de 1.19 m, volumen útil de 3.5L y cinco válvulas ubicadas aproximadamente cada 17 cm (Figura 6). Para su montaje previamente se caracterizó el lodo utilizado, el cual se dispuso en el reactor a un 1/3 del volumen útil en la parte inferior, y los últimos 15 cm superiores de longitud del reactor fueron llenados con anillos de Biopack como medio de soporte, sumergidos previamente en el lodo.

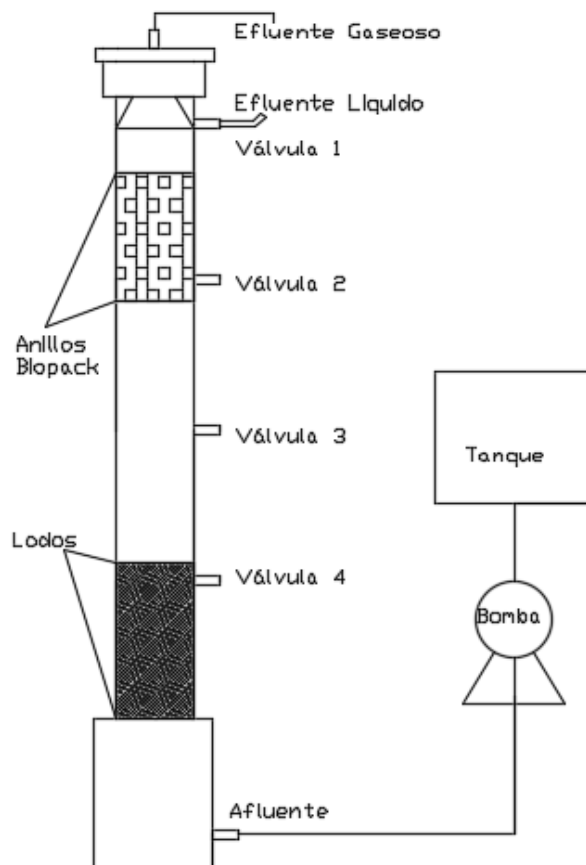


Figura 8. Esquema del reactor. Fuente: Propia

Tabla 3. Dimensiones del reactor

Características	UASB híbrido
Diámetro	0,0912m
Altura útil	0,605 m
Altura total	1,190m
Distancia entre válvulas	0,19m



Figura 9. Reactor UASB utilizado. Fuente: Propia

El afluente es introducido al reactor por la válvula inferior a temperatura ambiente, el cual es almacenado en un tanque ubicado en la parte inferior de la cabina y es bombeado mediante una bomba peristáltica.

El lodo empleado en el reactor proviene del digestor anaerobio de la planta de Colanta ubicada en Funza-Cundinamarca.

7.2. FRECUENCIA DE PARAMETROS MEDIDOS

Durante el desarrollo del estudio la metodología utilizada incluyo ensayos realizados en el laboratorio de Saneamiento y de Calidad de Aguas en la Universidad Militar Nueva

Granda, calle 100. En estos laboratorios se realizaron parámetros de control como pH, caudal, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos totales, Sólidos suspendidos Volátiles y Alcalinidad.

Los procedimientos para realizar la medición de cada uno de estos parámetros se encuentran en el MANUAL PARA EL ANALISIS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS, realizado por el grupo de investigación Tratamiento de agua, Bogotá 2017.

Los parámetros fueron monitoreados tres veces por semana, los lunes, miércoles y viernes. Las muestras tomadas fueron puntuales en la válvula número 1, de donde se obtiene el efluente del reactor. Para evaluar el desarrollo anaerobio se controlaban los parámetros de pH y la relación Al/AP. El monitoreo del reactor se realizó desde septiembre 2017 a abril 2018.

Tabla 4. Parámetros medidos y frecuencia.

Parámetro	Unidad	Frecuencia
pH	-	5 por semana
Caudal	l/s	5 por semana
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	3 por semana
DQO	mg/L	3 por semana
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2 por semana
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	2 por semana
Biogás Hidrogeno y metano	%	2 por semana

7.3. AFLUENTE SINTETICO

Con el fin de climatizar el reactor para la llegada del agua de real de lavandería, se procedió a sintetizar un agua de similares características al agua de lavandería, pero sin la adición de tensioactivos. La composición del agua sintética se presenta en la tabla 4.

Tabla 5. Composición del agua residual sintética.

Para 10 litros			
	Reactivos	mg/l	gr
1	Sacarosa	350	0,35
2	Almidón	1140	1,14
3	NaCL	2500	2,5
4	MgCl ₂	70	0,07
5	CaCl ₂	45	0,045
6	NaHCO ₃	20000	20

La operación del reactor se hizo de forma gradual durante siete fases, con las que se buscan climatizar al reactor.

Tabla 6. Fases para climatización del reactor.

FASES	Agua Sintética	Agua Real	Observaciones
Primera	100%	0%	AS receta anteriormente mencionada
Segunda	75%	25%	AR se obtuvo de un hotel, el cual contaba con servicio de lavandería dentro del mismo establecimiento
Tercera	10%	0%	AS con adición de LAS, por cuestiones técnicas se suspendió la adición de AR y se agregó LAS para evaluar su reacción
Cuarta	75%	25%	Se suspendió la adición de LAS, el AR provenía de una pequeña lavandería de barrio
Quinta	50%	50%	AR misma lavandería de la cuarta fase
Sexta	25%	75%	AR misma lavandería de la cuarta fase
Séptima	0%	10%	AR misma lavandería de la cuarta fase

Para la evaluación del desempeño se midió en el afluente y efluente tres veces por semana los siguientes parámetros: DQO, alcalinidad, relación AI/AP, sólidos suspendidos totales y volátiles, TDH y pH, siguiendo las recomendaciones de APHA (2005).

7.4. ENSAYOS REALIZADOS

Los siguientes ensayos son tomados del Manual para el Análisis de Aguas Residuales y Lodos, de la Universidad Militar Nueva Granada.

Tabla 7. Ensayos realizados en el proyecto

Ensayo	Procedimiento	Formula	Variables
Alcalinidad Parcial $AP(mgCaCO_3/L)$	Se toman aproximadamente 50 ml de la muestra, se deposita en un Baker de 100 ml y se pone sobre un agitar magnético con una barra magnética dentro de él. Se espera a que el pH se estabilice y se inicia la titulación con la solución normalizada de H ₂ SO ₄ 0.05N hasta llegar a un pH de 5.75, el volumen desplazado se anota.	$\frac{N_{H_2SO_4} \times V_{1H_2SO_4} \times 50000}{V_{muestra}}$	N=Normalidad de H ₂ SO ₄ V ₁ H ₂ SO ₄ = Volumen gastado en la titulación de H ₂ SO ₄ (ml), hasta un pH de 5.75 V muestra= Volumen tomado de la muestra (ml)
Alcalinidad Total $AT(mgCaCO_3/L)$	Se toman aproximadamente 50 ml de la muestra, se deposita en un Baker de 100 ml y se pone sobre un agitar magnético con una barra magnética dentro de él. Se espera a que el pH se estabilice y se inicia la titulación con la solución normalizada de H ₂ SO ₄ 0.05N hasta llegar a un pH de 4.3, el volumen desplazado se anota.	$\frac{N_{H_2SO_4} \times V_{2H_2SO_4} \times 50000}{V_{muestra}}$	N=Normalidad de H ₂ SO ₄ V ₂ H ₂ SO ₄ = Volumen gastado en la titulación de H ₂ SO ₄ (ml), hasta un pH de 4.3 V muestra= Volumen tomado de la muestra (ml)
Alcalinidad Intermedia $AI\left(\frac{mgCaCO_3}{L}\right)$		$Alcalinidad\ total - Alcalinidad\ Parcial$	
Ácidos Volátiles Totales $AVT(mgHAc/L)$	Al terminar el ensayo de Alcalinidad Total, pH de 4.3 se baja hasta 3.0 con H ₂ SO ₄ . Esta solución se calienta en una plancha de calentamiento con perlas de vidrio en su interior, hasta que salga vapor por 3 minutos aproximadamente, cuando ya haya bajado la temperatura se sube el pH hasta 4.0 con NaOH. Para finalizar se titula hasta un pH de 7.0, este último volumen se registra.	$\frac{N_{NaOH} \times V_{titulado} \times 60000}{V_{muestra}}$	N=Normalidad de NaOH, V titulado = Volumen gastado en la titulación de NaOH (ml), V muestra= Volumen tomado de la muestra (ml)

<p>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</p>	<p>Método N° 5220 Rango medio, hasta 800 mg/L. Se toman dos tubos de borosilicato con tapa de rosca, a uno se le adiciona 1.5 ml de la muestra (concentrada o diluida, de acuerdo a como sea necesaria), y al otro se le adicionan 1.5 ml de agua destilada. Luego se procede a adicionarle a los dos tubos 1.5 ml de la solución de digestión y 3.5 ml de Sulfato de plata en ácido sulfúrico, cerrarlos y agitarlos cuidadosamente. Los dos tubos se ponen en un digestor a 150°C por 2 horas, paralelamente se enciende es espectrofotómetro y se fija una longitud de onda de 620 nm. Para iniciar las lecturas se pone limpia y se pone el tubo con la solución con agua destilada, la cual debe marcar 0.00</p>		
<p>Preparación de las Capsulas</p>	<p>Las capsulas son lavadas con las membranas y llevadas a calcinar a una mufla a 550°C durante 15 minutos, se apaga la mufla y se deja que baje la temperatura, luego son llevadas a un desecador para que llegue a temperatura ambiente.</p>		
<p>Sólidos Totales (ST) (ST)(mg/L)</p>	<p>Después de preparar las capsulas, se determina la masa M1 (gramos) en la balanza analítica, se transfiere un volumen a la muestra (V1 ml) y se seca la muestra en el horno a 103°C por aproximadamente 24 horas. luego se lleva al desecador hasta tener una temperatura ambiente, y se toma la masa 2 (M2).</p>	$\frac{(M2 - M1) \times 10000000}{V1 (ml)}$	
<p>Solidos Totales Fijos y Volátiles (STF-STV)</p>	<p>Después de determinar los sólidos totales, la capsula es llevada a la mufla durante 15 minutos a 550°C, se apaga la mufla y se deja que baje la temperatura, luego son llevadas a un desecador para que llegue a temperatura ambiente. Luego se determina la masa 3 (M3).</p>	$\begin{aligned} (STF)(mg/L) &= \frac{(M3 - M1) \times 10000000}{V1 (ml)} \\ (STV)(mg/L) &= \frac{(M2 - M3) \times 10000000}{V1 (ml)} \end{aligned}$	

8. RESULTADOS

8.1. CARACTERIZACION AGUA GRIS

Al inicio del proyecto se caracterizaron cuatro diferentes tipos de agua gris. En la siguiente tabla (Tabla 5) se resume la caracterización de estas aguas, con el fin de establecer sus diferencias. Las muestras de cocina, lavamanos y ducha fueron tomadas por compañeros simulando este tipo de actividades, excepto la de lavandería, la cual fue real desde un inicio. Para la obtención de las medias de la tabla 5, se realizó la caracterización cinco veces con las muestras filtradas y sin filtrar.

En general con los resultados mostrados el agua gris de cocina es la que presenta mayores dificultades, principalmente por sus aceites y grasas. Ya que la intención de este proyecto era probar la eficiencia del reactor UASB se descartó el uso de este tipo de agua debido a que evitaría su buen funcionamiento. Se decidió emplear agua de lavandería con el fin de usar agua real, la cual se volvió a caracterizar ya que provenía de una lavandería diferente.

Tabla 8. Caracterización de diferentes tipos de aguas grises

PARAMETRO		DUCHA	COCINA	LAVAMANOS	LAVANDERIA
pH	Filtrada	6,32 ± 0.08	4,67 ± 0.06	5,55 ±0.06	6,26 ±0.13
	Sin Filtrar	6,12 ± 0.09	4,61 ± 0.02	5,41 ±0.02	6,38 ±0.13
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	Filtrada	106,63 ±9.61	636,43 ± 76.22	229,07 ±14.73	223,87 ±4.51
TEMPERATURA (°C)	Sin Filtrar	19,70 ± 0.06	19,23 ± 0.10	19,17 ± 0.20	76,43 ±0.31
TURBIEDAD (ntu)	Sin Filtrar	65.00 ± 0.10	280.00 ± 0.81	90.00 ± 0.61	37.00 ± 1.11
NITROGENO TOTAL (mg/L)	Filtrada	1.00 ± 1.00	1.00 ± 1.00	3.00 ± 1.00	13.00 ± 2.00
SULFATOS (mg/L)	Filtrada	210.0 ±12.00	230.00 ± 10.00	410.00 ± 9.00	40.00 ± 2.00
ALCALINIDAD (mg CaCO3/L)	Sin Filtrar	63,20 ± 9.00	22,40 ± 2.00	25,80 ± 2.00	31,20 ± 3.00
DQO (mg/L)	Filtrada	87,47 ± 9.3	302,08 ±21.60	200,3 ± 16.45	173,44 ±12.2
COT (mg/L)	Sin Filtrar	30.00 ± 2.00	300.00 ±5.00	260 ± 5.00	260 ± 6.00
FOSFOROS (mg/l PO4)	Sin Filtrar	34.00 ± 1.00	143,20 ± 5.00	43,60 ± 2.00	36,40 ± 2.00
SOLIDOSTOTALES (mg/L)	Sin Filtrar	136,50 ± 3.20	354,76 ± 26.40	130.00 ± 16.25	78.00 ± 5.60
DUREZA (mg/L) CaCO3	Sin Filtrar	14,60 ± 2.80	16,40 ± 3.50	8,60 ± 2.40	16,40 ± 2.90

Los datos se presentan como media ± DS. Para la caracterización se realizaron cuatro rondas de ensayos, de las cuales en cada ronda se realizaban tres mediciones.

Para la obtención de los anteriores resultados, se realizó cuatro rondas de ensayos con replica.

El agua real que se usó en el reactor proviene de una lavandería ubicada en el barrio Spring en Bogotá, la cual realiza lavados de sábanas todos los días de un hotel y prendas

de clientes independientes. A esta agua se le realizaron ensayos de pH, DQO, DBO, nitrógeno, fosforo, UV₂₅₄, cloruros, alcalinidad, con el fin de caracterizarla y saber que componentes tiene, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 9. Caracterización del agua de lavandería.

Parámetro	Unidades	Agua lavandería
pH	-	8,5
DQO mg/l	mg/L	187
Nitrógeno mg N / L	Mg N /L	5
Fosforo mg/ L PO ₄ -3	mg/L PO ₄ ⁻³	5
UV ₂₅₄	-	0,285
COT	mg/L	16,6
A Parcial	mg/L	52
A Total	mg/L	66
Cloruros mg Cl-/L	Cl/L	70,578

8.2. Análisis estadístico de las variables controladas

Se presentará por medio de tablas y graficas los resultados y un breve análisis de los parámetros monitoreados por el tiempo de operación del reactor, como lo son pH, alcalinidad, relación AI/AP, DQO y Solidos, por los 73 días de operación en cada una de sus fases.

Tabla 10. Resumen del análisis estadístico de las variables controladas en el reactor, durante las siete fases.

]		Fase	1	2	3	4	5	6	7
pH	Media	8,540	8,430	8,120	7,550	7,610	7,570	7,870	
	Desviación	0,132	0,123	0,270	0,277	0,138	0,082	0,207	
	Max	8,720	8,580	8,460	8,080	7,930	7,720	8,210	
	Min	8,380	8,250	7,730	7,370	7,370	7,490	7,650	
	CV	0,015	0,014	0,033	0,030	0,010	0,010	0,020	
TRH (hora)	Media	13,270	12,140	14,320	16,170	16,520	16,800	15,720	
	Desviación	2,070	0,140	1,540	1,800	1,210	2,050	0,560	
	Max	17,160	12,410	16,200	19,440	19,770	19,440	16,670	
	Min	11,550	11,900	12,410	14,770	15,150	14,060	14,960	
	CV	0,150	0,010	0,100	0,110	0,070	0,120	0,030	
AI/AP Afluente	Media	0,181	0,208	0,255	0,181	0,217	0,341	0,292	
	Desviación	0,029	0,097	0,086	0,041	0,062	0,037	0,078	
	Max	0,216	0,370	0,410	0,223	0,349	0,407	0,433	
	Min	0,130	0,090	0,088	0,125	0,119	0,297	0,211	

	CV	0,365	0,294	0,504	0,281	0,230	0,183	0,356
Al/AP Efluente	Media	0,202	0,251	0,248	0,247	0,276	0,322	0,359
	Desviación	0,073	0,073	0,124	0,276	0,063	0,058	0,127
	Max	0,382	0,318	0,386	0,308	0,368	0,397	0,545
	Min	0,147	0,136	0,036	0,139	0,165	0,234	0,245
	CV	0,365	0,294	0,504	0,281	0,23	0,183	0,356
Alcalinidad Parcial Afluente mgCaCo3/L	Media	1067	1175	1113	947	847	320	79
	Desviación	10	356	306	276	390	12	8
	Max	1089	1647	1639	1357	1606	341	96
	Min	1056	797	652	738	500	302	70
	CV	0,01	0,3	0,27	0,29	0,46	0,03	0,1
Alcalinidad Parcial Efluente mgCaCo3/L	Media	976	1122	1033	929	834	208	185
	Desviación	59	296	288	277	230	28	14
	Max	1008	1526	1626	1340	1070	238	198
	Min	832	676	649	735	520	166	155
	CV	0,06	0,26	0,28	0,29	0,27	0,13	0,08
Alcalinidad Total Afluente mgCaCo3/L	Media	1261	1397	1332	1125	1034	430	102
	Desviación	21	345	257	357	481	19	10
	Max	1284	1919	1655	1656	1911	466	120
	Min	1229	964	864	853	559	410	90
	CV	0,02	0,25	0,19	0,31	0,46	0,04	0,09
Alcalinidad Total Efluente mgCaCo3/L	Media	1170	1404	891	782	1067	275	251
	Desviación	16	385	293	394	303	43	15
	Max	1187	1817	1740	1740	1380	333	280
	Min	1149	875	723	876	611	227	238
	CV	0,01	0,27	0,33	0,5	0,28	0,15	0,05
DQO Afluente mg/l	Media	203	267,9	526,08	240	324,61	282	382,16
	Desviación	50,55	110,23	278,1	47,02	87,67	67	21,06
	Max	280	460	878	315	496	430	405
	Min	139	162	143	197	149	223	355
	CV	0,24	0,41	0,52	0,19	0,27	0,23	0,05
DQO Efluente mg/l	Media	107,5	115,3	318,91	207,28	253,95	233,62	352,33
	Desviación	38,86	56,59	199,14	77,29	74,31	15,59	28,52
	Max	186	190	625	334	363	255	386
	Min	65	39	94	117	133	211	303
	CV	0,35	0,49	0,62	0,37	0,29	0,06	0,08
Remoción (%)	Media	52	58	41	20	17	14	8
	Desviación	5	11	12	62	14	13	5
	Max	59	76	61	42	45	43	15
	Min	46	36	19	0	0	5	2
	CV	10	18	30	82	84	93	60

8.2.1. pH

En la figura 8 se observa la variación del pH del efluente durante las diferentes fases del reactor, en la primer y segunda fase el pH tiende a tener un comportamiento similar superior a 8, de acuerdo a los valores medios resumidos en la tabla 10. En la tercera fase el pH del efluente empieza a descender, se recuerda que en esta fase se tiene agua 100% sintética con adición de LAAS, a partir de esto el pH se mantiene en un rango entre 7,55 y 7,87. En general el pH del efluente del reactor permaneció en el rango óptimo para una buena operación.

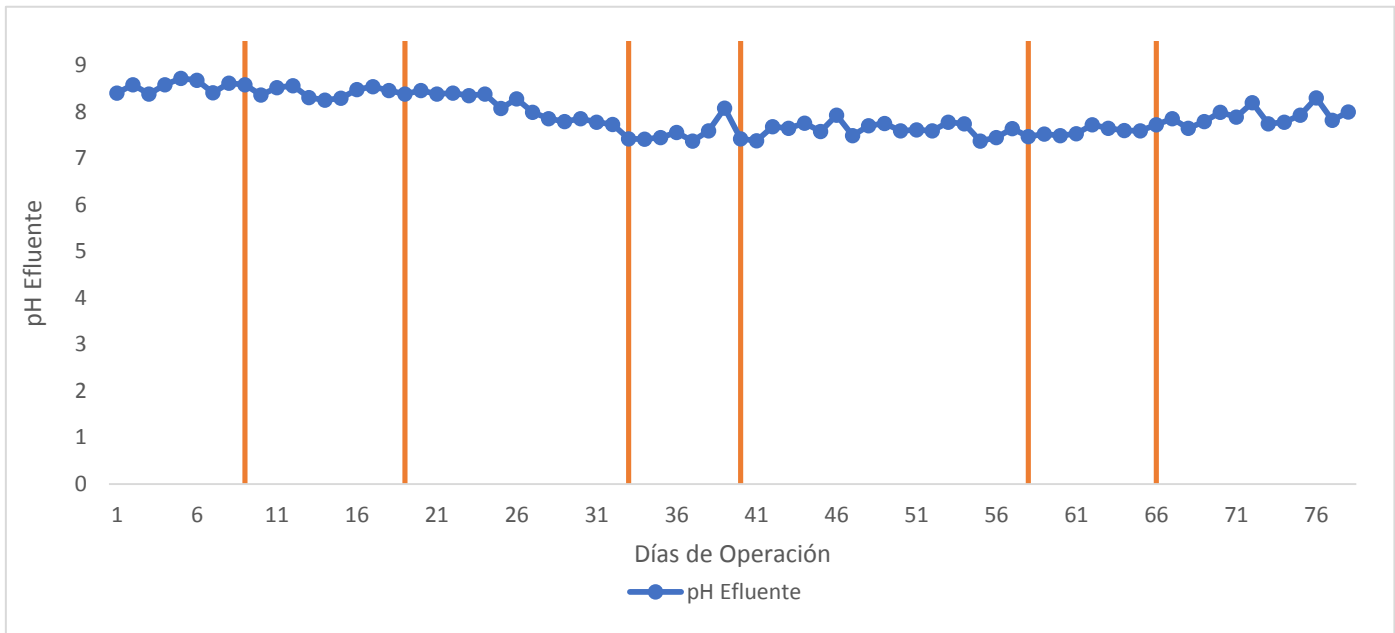


Figura 10. Variación del pH durante las diferentes fases. Fuente Propia

8.2.2. ALCALINIDAD Y RELACION AI/AP

La alcalinidad indica la capacidad del agua a neutralizar ácidos, así que permite controlar el pH, (Speece, 1983). En la Figura 11 y la tabla 10, se evidencia el comportamiento y los valores medios de la relación AI/AP en cada fase del reactor. De la fase 1 a la 5 se encuentran valores medios de la relación AI/AP menores a 0,3 a diferencia de las siguientes dos fases donde sobre pasa dicho valor, lo que puede evidenciar la acumulación de ácidos orgánicos en el sistema.

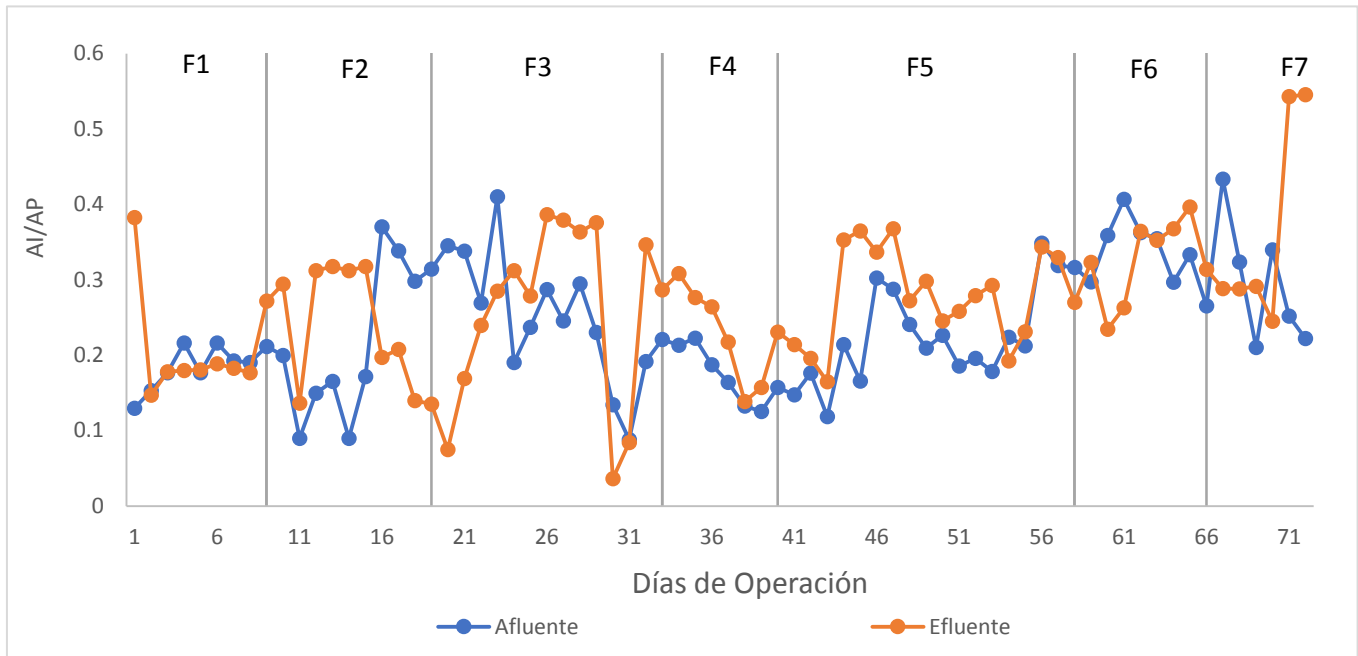


Figura 11. Variación de la relación AI/AP durante las diferentes fases. Fuente Propia

8.2.3. DQO Y REMOCION DQO

Analizando la tabla 10 y las figuras 12 y 13, se puede observar el comportamiento de DQO en el reactor, al igual que su remoción en cada fase. La fase 1 y 2 fueron las que mejores resultados presentaron, ya que obtuvieron la DQO más baja con una media de 111 mg/l en el Efluente y de 235 mg/l en el Afluente, la remoción más alta alcanzada con 55%. En la tercera fase el porcentaje de remoción de DQO disminuyó, llegando a una media de 41%, de ahí en adelante se fueron aumentando el porcentaje de agua real de lavandería en el afluente del reactor, lo que llevaba a una disminución significativa en su porcentaje de remoción.

Con los cambios de fases el sistema presentaba un descontrol, con remociones del 0% y 1%, por lo que llevaba tiempo esperar a que se estabilizara un poco. La segunda y cuarta fase son muy similares, ya que las dos tienen un 25% de agua real de lavandería y un 75% de agua sintética, pero sus valores en la media de DQO del efluente al igual que en la remoción de DQO varían significativamente, siendo de 115 mg/l con 58% de remoción y de 207 mg/l con 20% para cada fase. En la segunda fase se usó ARL de una lavandería diferente a la usada a partir de la cuarta fase, por lo que se puede analizar

que los detergentes usados en el proceso de lavado juegan un papel importante al momento del diseño de un sistema de tratamiento para este tipo de aguas.

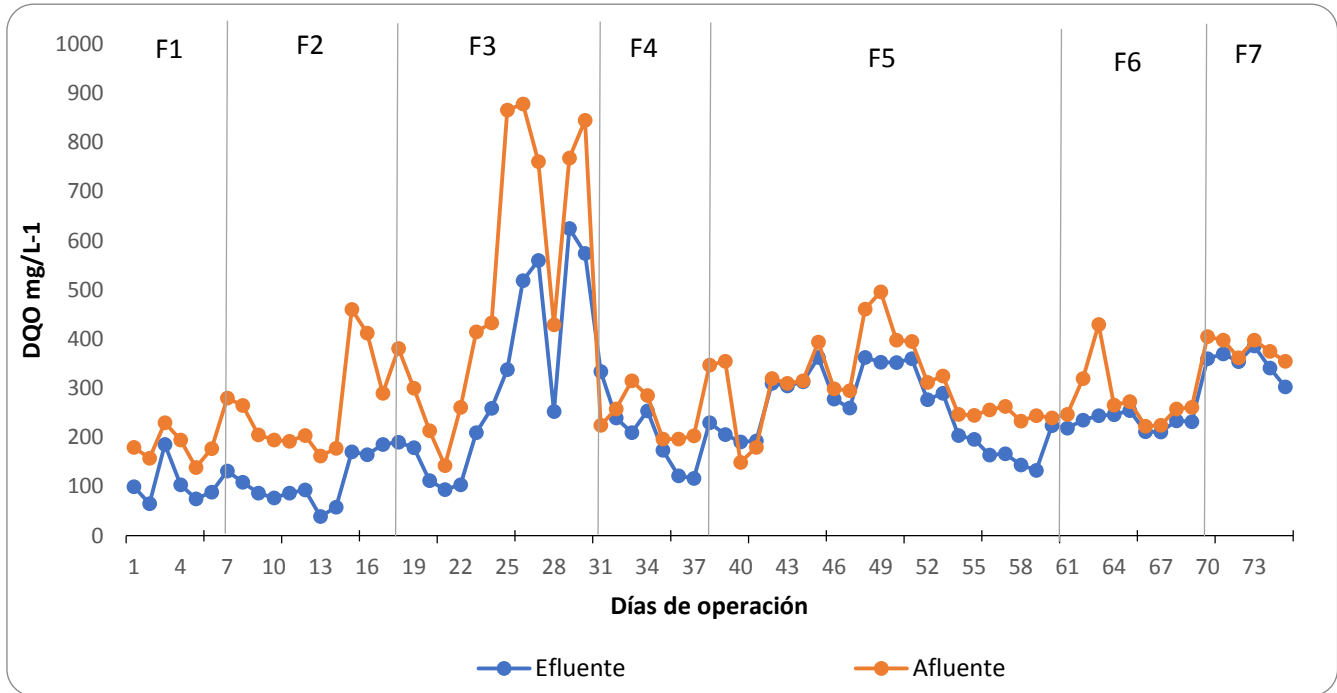


Figura 12. Variación DQO durante las diferentes fases. Fuente Propia.

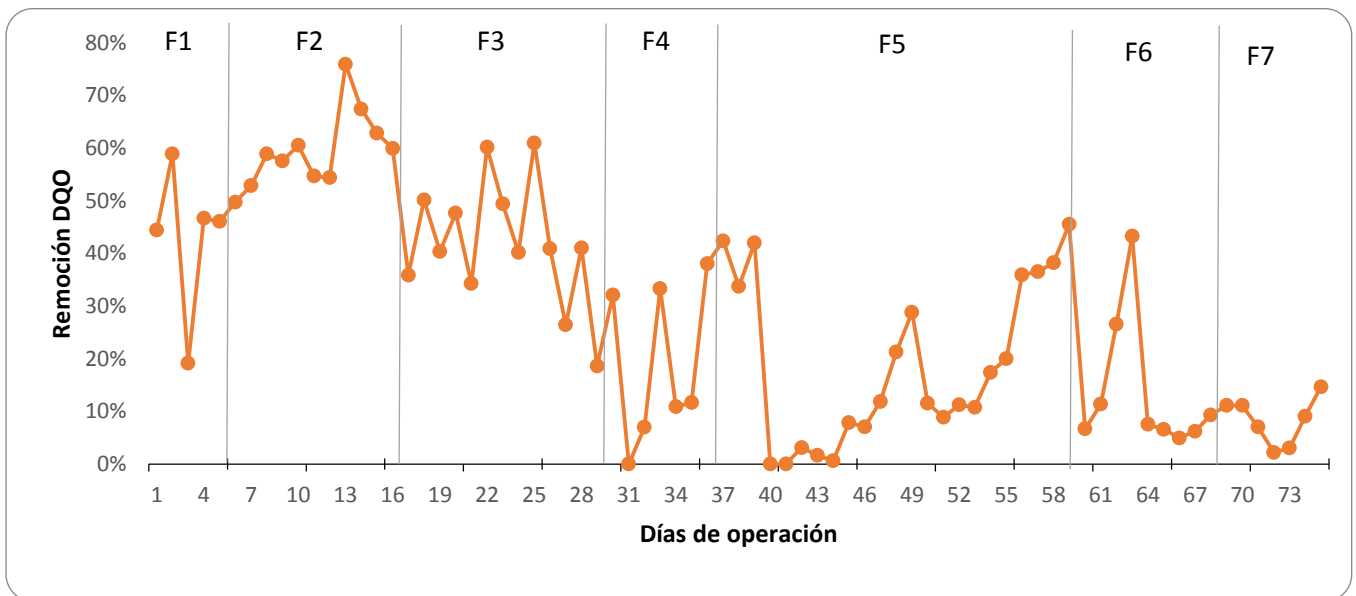


Figura 13. Eficiencia de la remoción de DQO durante las diferentes fases. Fuente Propia

8.2.4. SÓLIDOS

Analizando las figuras 14 y 15, se puede observar el comportamiento de los sólidos suspendidos totales y suspendidos volátiles en el reactor. Este parámetro es de gran importancia en los procesos de depuración de las estaciones tratamiento de aguas residuales, ya que se considera como un indicador de contaminación. De acuerdo con la normativa el límite permitido es de 35mg/l, el cual según la figura 14 se cumple a cabalidad en el efluente. En cuanto a los sólidos totales volátiles del efluente se puede ver como en sus últimas etapas sus valores máximos alcanzan apenas 2 mg/l, la diferencia entre los sólidos totales y volátiles no establece que la naturaleza de ellos sea volátiles, por lo que se descarta su origen orgánico. Los valores bajos de sólidos se evidenciaron en la operación, ya que no se tuvieron problemas con taponamientos en las válvulas.

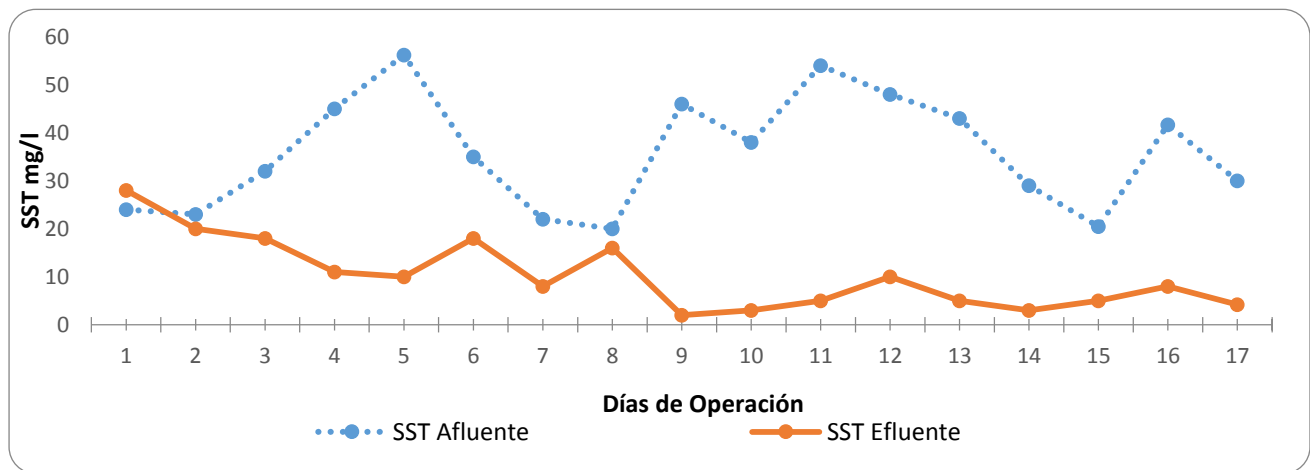


Figura 14. Variación de Sólidos totales volátiles. Fuente Propia

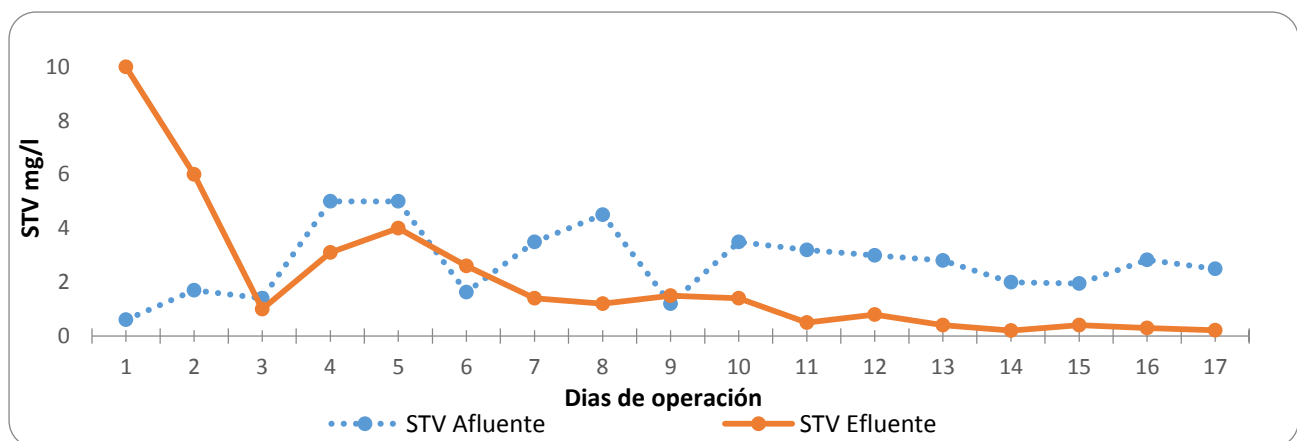


Figura 15. Variación de Sólidos Suspendidos totales. Fuente Propia

9. CONCLUSIONES

Al evaluar la eficiencia y el comportamiento del reactor por medio de la remoción de materia orgánica se llegó a la conclusión que un reactor UASB híbrido no es el más recomendado para tratar agua de lavandería, debido a que estos manejan altas tasas y el agua de lavandería no genera esas cantidades.

Al evaluar las características fisicoquímicas de cuatro tipos de agua doméstica gris se encontró como los valores de DQO eran muy bajos, evidenciando su poca cantidad de materia orgánica, a diferencia del agua gris de cocina, la cual tenía niveles muy altos de DQO. Para tratamientos de agua de cocina es necesario el uso de trampas de grasas previamente.

En las primeras fases, en el proceso de climatización se tenía un tiempo de retención hidráulico de 12 horas, con el que se obtuvieron los mejores resultados en la remoción de la materia orgánica.

La diferencia en la remoción de DQO entre estas fases no solo se debe al origen del agua, sino también al TRH, evidenciando mayor remoción con un THR de 12.14 horas a uno de 16.17 horas.

La literatura consultada evidencia que es necesario incursionar en más proyectos que permitan tratar agua de grises, en especial de lavandería, ya que es una industria que ha tenido un crecimiento abismal en los últimos años, y produce en un gran gasto del recurso hídrico e impacto ambiental.

10. RECOMENDACIONES

Para emplear un reactor UASB híbrido en el tratamiento de aguas grises se recomienda un estudio de los productos usados en el proceso de lavandería, los jabones biodegradables pueden presentar mejores resultados.

Para próximas investigaciones se puede evaluar más a fondo el tipo de productos y tecnologías empleadas en el proceso de lavado, ya que por lo visto la segunda y cuarta fase influyen en la posibilidad de degradar la materia orgánica. Se llega a este punto partiendo que en las dos fases se emplea el 25% de ARL y 75% de AS, las aguas reales provienen de diferentes lugares, en estas dos fases se obtiene una diferencia de remoción del 38%, siendo de 58% en la segunda y 20% en la primera.

Por lo que se recomienda, no solo que los productos usados en el proceso de lavandería sean biodegradables, si no también experimentar con varios tiempos de retención, hasta encontrar el óptimo para aguas grises.

11. REFERENCIAS

AGROWASTE. (s.f.). Digestión Anaerobia.

Bedoya, J. C. (2005). PROPUESTA DE UN SISTEMA PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LAS ÚLTIMAS ETAPAS DEL LAVADO INDUSTRIAL DE TEXTILES HOTELEROS Y HOSPITALARIOS. Bogotá.

BERMUDEZ, J. J., CANOVAS, M., MANJON, A., IBORRA, J. L., & HOWELL, J. A. (1988). LA DISGESTION ANAEROBIA. UNIVERSIDAD DE MURCIA.

Blog Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (12 de 06 de 2018). Obtenido de <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/tipos-de-agua-residuales/>

Boone, J., Archer, D., & Kirsop, B. (1990). The microbiology and control of anaerobic digestion. Anaerobic Digestion: A Waste Treatment Technology. SCI.

CENICAFE. (2015). Manejo de Lixiviados y Aguas de Lavado en el Proceso de Beneficio Humedo. Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Obtenido de MANEJO DE LIXIVIADOS Y AGUAS DE LAVADO EN EL PROCESO DE BENEFICIO HUMEDO: <https://www.cenicafe.org/es/publications/5.Manejo.pdf>

Cruz, E. M. (2016). Caracterización de aguas residuales de lavandería y de la Planta de Poscosecha de Zamorano para el riego de áreas verdes. Honduras.

DANE. (2014). 3er Censo Nacional Agropecuario. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Obtenido de 3er Censo Nacional Agropecuario: <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-10-produccion/10-Boletin.pdf>

Diaz Baez, M. C. (1987). Ingeniería e investigación.

Diaz, M. C., Espitia, S. E., & Molina, F. (2002). Digestión Anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Federación Colombiana de Cafeteros. (Septiembre de 2011). Al Grano. Obtenido de Al Grano: https://www.federaciondefcafeteros.org/algrano-fnc-es/index.php/comments/colombia_es_cafe

Fernández, F., & Seghezzi, L. (2015). Diseño de Reactores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Fundamentals, E. (02 de 06 de 2018). Reactores Anaerobios. Obtenido de <http://www.engineeringfundamentals.net/ReactoresAnaerobios/fundamentos.htm>

J. Manga, N. L. (2001). Reuso de aguas residuales: Un recurso hídrico disponible. 10.

Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte I. La Habana: ICIDCA. Obtenido de ACIDCA: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. ICIDCA.

Mahmoud, N., Zeeman, G., & Gijzen, H. (2004). Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and. Wageningen: Water Research.

Malina, J., & Pohland, F. (1992). Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. Water Quality Management Library.

Mara, D., & Horan, N. (2003). The handbook of water and wastewater microbiology.

- Mendes Predolin, L. (2015). ESTUDIO DE UN SISTEMA HIBRIDO UASB+MBR PAA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. Universitat d' Alacant.
- Mendoza, B., & Rivera, C. (1998). Start-up of an Anaerobic Hybrid (UASB/Filter). Tapachula: Anaerobe.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de Abril de 2015). Resolución 631 de 2015. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de Resolución 631 de 2015: https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- Monroy, O., Fama, G., & Meraz, M. (1999). ANAEROBIC DIGESTION FOR WASTEWATER. México D.F.: Pergamon.
- Morgan, F., Morgan, J., & Noyala, A. (s.f.). APLICABILIDAD DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.
- Ramalho, R. S. (1996). Tratamiento de Aguas Residuales. España: REVERTÉ.
- Reyes Pantoja, M. D. (2009). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE RASTRO MEDIANTE UN SISTEMA DE BIODREGRADACION ANAEROBIA-AEROBIA. MEXICO.
- Ribeiro, C. A. (2015). Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Springer, 32.
- Rojas, C. O. (1988). Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Selvamarugan, M., Doraisamy, P., & Maheswari, M. (2010). An integrated treatment system for coffee processing wastewater. Tamil Nadu: Elsevier.
- Sostenible, M. d. (18 de Abril de 2015). Resolucion 631 de 2015. Colombia.
- Speece, R. (1983). Kinetics of anaerobic. Water Science and Technology.
- Torres , P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domesticas en paises en desarrollo. EIA, 16.
- Torres, P. (2012). PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS. 15.
- Torres, P. (2012). PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN PAÍSES EN DESARROLLO. Escuela de Ingeniería de Antioquia, 16.
- UPE. (02 de 06 de 2018). La tecnología de reactor hibrido DACS DANA. Obtenido de <http://upe.com.br/es/a-tecnologia-de-reator-hibrido-dana/>
- Vasquez, G. d. (2013). Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la costa atlantica Colombiana. Bogotá.
- Vázquez, M., & González, S. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB). México D.F.: Centro Tecnológico Aragón.

12. ANEXOS

Anexo 1. Monitoreo del TRH y pH del reactor.

		TRH	pH	Volumen	TRH hr
			2,7	68	17,16
			2,8	85	13,73
AS 100%	1	6,94	8,4	70	16,67
	2	6,98	8,58	86	13,57
	3	6,9	8,38	99	11,78
	4	7,06	8,58	101	11,55
	5	6,95	8,72	99	11,78
	6	6,89	8,68	100	11,67
	7	6,93	8,41	95	12,28
	8	6,9	8,62	93	12,54
25% ARL	9	7,02	8,58	96	12,15
	10	6,96	8,36	97	12,03
	11	7	8,52	95	12,28
	12	7,05	8,56	97	12,03
	13	6,92	8,31	96	12,15
	14	6,9	8,25	96	12,15
	15	7,01	8,29	94	12,41
	16	6,95	8,48	96	12,15
	17	6,98	8,54	98	11,90
	18	7,04	8,46	96	12,15
AS+LAAS	19	6,85	8,38	92	12,68
	20	6,96	8,46	93	12,54
	21	6,99	8,38	94	12,41
	22	7	8,4	89	13,11
	23	6,95	8,35	93	12,54
	24	7,08	8,38	92	12,68
	25	7,01	8,07	73	15,98
	26	7,01	8,28	79	14,77
	27	7,02	7,99	78	14,96
	28	7,02	7,85	75	15,56
	29	6,98	7,79	74	15,77
	30	6,98	7,85	72	16,20
	31	7,01	7,78	75	15,56
	32	7,01	7,73	74	15,77
25% ARL	33	6,85	7,42	79	14,77
	34	6,85	7,41	77	15,15
	35	7,05	7,45	65	17,95
	36	6,99	7,56	60	19,44
	37	7,08	7,37	77	15,15
	38	6,95	7,59	77	15,15
	39	6,93	8,08	75	15,56
50% ARL	40	6,9	7,42	72	16,20
	41	6,92	7,38	74	15,77
	42	6,94	7,68	75	15,56
	43	6,98	7,65	73	15,98
	44	6,9	7,76	75	15,56
	45	6,97	7,58	71	16,43
	46	7,04	7,93	59	19,77
	47	6,95	7,49	75	15,56

	48	7,05	7,7	74	15,77
	49	6,92	7,75	73	15,98
	50	6,96	7,59	77	15,15
	51	7	7,61	72	16,20
	52	6,95	7,59	70	16,67
	53	6,93	7,78	65	17,95
	54	6,93	7,74	62	18,82
	55	7	7,37	70	16,67
	56	6,95	7,45	71	16,43
	57	7,03	7,64	69	16,91
75% ARL	58	6,87	7,47	60	19,44
	59	6,93	7,52	69	16,91
	60	7,04	7,49	65	17,95
	61	6,95	7,53	71	16,4319249
	62	7,03	7,72	75	15,56
	63	7,06	7,65	60	19,44
	64	6,95	7,6	83	14,06
	65	6,89	7,59	80	14,58
100% ARL	66	7	7,72	78	14,96
	67	7,02	7,85	75	15,56
	68	6,98	7,65	74	15,77
	69	6,9	7,79	76	15,35
	70	6,95	7,99	72	16,20
	71		7,89	75	15,56
	72		8,2	70	16,67

Anexo 2. Monitoreo de los sólidos suspendidos totales y volátiles, del Efluente y Afluente.

Efluente						Afluente					
Masa 1	Volumen 1	Masa 2	Masa 3	STT (mg/L)	STV (mg/L)	Masa 1	Volumen 1	Masa 2	Masa 3	ST (mg/L)	STV (mg/L)
71,3862	100	71,389	71,379	28	10	34,0567	100	34,0591	34,0585	24	0,6
71,3924	50	71,3934	71,3904	20	6	71,5987	100	71,601	71,5993	23	1,7
71,3886	100	71,3904	71,3894	18	1	68,5157	100	68,5189	68,5175	32	1,4
70,0779	100	70,079	70,0759	11	3,1	68,131	100	68,1355	68,1305	45	5
71,389	50	71,3895	71,3875	10	4	68,1252	80	68,1297	68,1257	56,25	5
70,0699	50	70,0708	70,0695	18	2,6	68,513	80	68,5158	68,5145	35	1,625
34,0404	50	34,0408	34,0401	8	1,4	78,6572	100	78,6594	78,6559	22	3,5
32,2686	50	32,2694	32,2688	16	1,2	71,1648	100	71,1668	71,1623	20	4,5
32,2704	100	32,2706	32,2691	2	1,5	68,5128	100	68,5174	68,5162	46	1,2
34,0425	100	34,0428	34,0414	3	1,4	68,1262	100	68,13	68,1265	38	3,5
66,4375	100	66,438	66,4375	5	0,5	32,2723	100	32,2777	32,2745	54	3,2
80,5539	50	80,5544	80,554	10	0,8	34,0397	100	34,0445	34,0415	48	3
66,4645	100	66,465	66,4646	5,0	0,4	32,7725	100	32,7768	32,7740	43,0	2,8
34,0428	100	34,0431	34,0429	3,0	0,2	68,2596	100	68,2625	68,2605	29,0	2,0
32,2703	100	32,2708	32,2704	5,0	0,4	32,2759	100	32,2780	32,2760	20,5	1,9
71,389	100	71,3898	71,3895	8,0	0,3	32,2740	60	32,2765	32,2748	41,7	2,8
80,5573	95	80,5577	80,5575	4,2	0,2					30,0	2,5

Anexo 3. Monitoreo de la remoción de DQO y DQO del afluente y efluente

		DQO mg/l		ml 20min	Qm3/dia	COV kg/m3 d		% Remoción
		Efluente	Afluente			Efluente	Afluente	
AS 100%	1	100	180	89	0,006	0,184	0,332	44%
	2	65	158	93	0,007	0,125	0,304	59%
	3	186	230	94	0,007	0,362	0,448	19%
	4	104	195	89	0,006	0,192	0,359	47%
	5	75	139	93	0,007	0,144	0,268	46%
	6	89	177	92	0,007	0,170	0,337	50%
	7	132	280	93	0,007	0,254	0,539	53%
	8	109	265	99	0,007	0,224	0,543	59%
25% ARL 1	9	87	205	82	0,006	0,148	0,348	58%
	10	77	195	79	0,006	0,126	0,319	61%
	11	87	192	75	0,005	0,135	0,298	55%
	12	93	204	69	0,005	0,133	0,292	54%
	13	39	162	73	0,005	0,059	0,245	76%
	14	58	178	77	0,006	0,093	0,284	67%
	15	171	460	76	0,006	0,269	0,724	63%
	16	165	412	79	0,006	0,270	0,674	60%
	17	186	290	77	0,006	0,297	0,463	36%
	18	190	381	77	0,006	0,303	0,608	50%
AS +L AAS	19	179	300	74	0,005	0,274	0,460	40%
	20	112	214	74	0,005	0,172	0,328	48%
	21	94	143	75	0,005	0,146	0,222	34%
	22	104	261	73	0,005	0,157	0,395	60%
	23	210	415	71	0,005	0,309	0,610	49%
	24	259	433	77	0,006	0,413	0,691	40%
	25	338	866	75	0,005	0,525	1,345	61%
	26	519	878	74	0,005	0,796	1,346	41%
	27	560	761	69	0,005	0,800	1,088	26%
	28	253	429	70	0,005	0,367	0,622	41%
	29	625	768	65	0,005	0,842	1,034	19%
	30	574	845	62	0,004	0,737	1,085	32%
25% ARL 2	31	334	225	70	0,005	0,484	0,326	0%
	32	240	258	65	0,005	0,323	0,347	7%
	33	210	315	69	0,005	0,300	0,450	33%
	34	254	285	60	0,004	0,316	0,354	11%
	35	174	197	64	0,005	0,231	0,261	12%
	36	122	197	50	0,004	0,126	0,204	38%
	37	117	203	50	0,004	0,121	0,210	42%
50% ARL 2	38	230	347	85	0,006	0,405	0,611	34%
	39	206	355	85	0,006	0,363	0,625	42%
	40	191	149	83	0,006	0,328	0,256	0%
	41	193	180	83	0,006	0,332	0,309	0%
	42	310	320	50	0,004	0,321	0,331	3%
	43	305	310	50	0,004	0,316	0,321	2%
	44	313	315	80	0,006	0,519	0,522	1%
	45	363	394	80	0,006	0,602	0,653	8%
	46	278	299	72	0,005	0,415	0,446	7%
	47	260	295	72	0,005	0,388	0,440	12%
	48	363	461	80	0,006	0,602	0,764	21%
	49	353	496	80	0,006	0,585	0,822	29%
	50	352	398	75	0,005	0,547	0,618	12%
	51	360	395	75	0,005	0,559	0,614	9%
	52	277	312	76	0,006	0,436	0,491	11%
	53	290	325	76	0,006	0,457	0,512	11%
	54	204	247	76	0,006	0,321	0,389	17%
	55	196	245	76	0,006	0,309	0,386	20%

	56	164	256	82	0,006	0,279	0,435	36%
	57	167	263	78	0,006	0,270	0,425	37%
	58	144	233	76	0,006	0,227	0,367	38%
	59	133	244	80	0,006	0,220	0,404	45%
	60	224	240	80	0,006	0,371	0,398	7%
	61	219	247	74	0,005	0,336	0,379	11%
75% ARL 2	62	235	320	76	0,006	0,370	0,504	27%
	63	244	430	75	0,005	0,379	0,668	43%
	64	246	266	76	0,006	0,387	0,419	8%
	65	255	273	75	0,005	0,396	0,424	7%
	66	212	223	82	0,006	0,360	0,379	5%
	67	211	225	80	0,006	0,350	0,373	6%
	68	234	258	79	0,006	0,383	0,422	9%
100% ARL 2	69	232	261	70	0,005	0,336	0,378	11%
	70	360	405	68	0,005	0,507	0,570	11%
	71	370	398	75	0,005	0,575	0,618	7%
	72	354	362	72	0,005	0,528	0,540	2%
	73	386	398	78	0,006	0,624	0,643	3%
	74	341	375	81	0,006	0,572	0,629	9%
	75	303	355	65	0,005	0,408	0,478	15%

Anexo 4. Monitoreo de Alcalinidad y relación AI/AP del reactor.

	Alcalinidad Parcial		Alcalinidad Total		Alcalinidad Intermedia		AI/AP	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
AS 100%	1089,2	832,5	1230,4	1150,8	141,3	318,3	0,130	0,382
	1066,5	1001,5	1229,5	1149,0	163,0	147,5	0,153	0,147
	1072,0	1008,0	1261,5	1187,5	189,5	179,5	0,177	0,178
	1056,0	998,0	1284,5	1177,5	228,5	179,5	0,216	0,180
	1072,0	975,0	1261,5	1151,0	189,5	176,0	0,177	0,181
	1056,0	994,5	1284,5	1182,0	228,5	187,5	0,216	0,189
	1061,5	1003,5	1266,0	1187,0	204,5	183,5	0,193	0,183
1067,5	999,5	1270,5	1176,0	203,0	176,5	0,190	0,177	
25% ARL 1	797,0	690,0	965,5	877,5	168,5	187,5	0,211	0,272
	803,5	676,0	964,0	875,0	160,5	199,0	0,200	0,294
	1612,5	1526,0	1757,0	1734,0	144,5	208,0	0,090	0,136
	1522,0	1295,0	1749,5	1699,5	227,5	404,5	0,149	0,312
	1647,0	1379,0	1919,5	1817,0	272,5	438,0	0,165	0,318
	1422,0	1295,0	1549,5	1699,5	127,5	404,5	0,090	0,312
	1297,0	1379,0	1519,5	1817,0	222,5	438,0	0,172	0,318
	858,5	979,5	1176,5	1172,5	318,0	193,0	0,370	0,197
	885,0	976,5	1184,5	1179,5	299,5	203,0	0,338	0,208
913,5	1030,0	1186,0	1174,0	272,5	144,0	0,298	0,140	
AS +L AAS	892,0	1016,5	1172,5	1154,0	280,5	137,5	0,314	0,135
	892,0	789,0	1200,0	848,0	308,0	59,0	0,345	0,075
	883,5	922,0	1182,0	1078,0	298,5	156,0	0,338	0,169
	680,8	649,4	864,0	805,0	183,2	155,5	0,269	0,239
	652,3	657,0	919,8	844,2	267,5	187,2	0,410	0,285
	1639,8	1051,8	1327,3	723,6	-312,5	-328,2	0,191	0,312
	971,4	1098,6	1201,8	1404,6	230,4	306,0	0,237	0,279
	1120,4	960,8	1442,2	1331,9	321,8	371,2	0,287	0,386
	1140,3	955,0	1420,1	1317,2	279,8	362,3	0,245	0,379
	1068,4	941,9	1383,4	1284,2	315,0	342,3	0,295	0,363
	1333,5	1127,0	1640,6	1550,5	307,1	423,5	0,230	0,376
	1454,3	1611,8	1649,4	1553,1	195,1	-58,6	0,134	0,036
	1468,3	1626,6	1597,8	1489,3	129,5	-137,4	0,088	0,084
1389,5	1065,8	1655,5	1435,0	266,0	369,3	0,191	0,346	
25% ARL 2	1357,1	1340,2	1656,7	1724,5	299,6	384,3	0,221	0,287

	1336,6	1330,4	1621,9	1740,5	285,3	410,2	0,213	0,308
	813,2	796,3	994,2	1016,5	181,0	220,2	0,223	0,277
	865,8	756,1	1028,1	955,9	162,3	199,7	0,187	0,264
	738,7	735,5	860,0	895,6	121,3	160,1	0,164	0,218
	753,8	770,2	853,6	876,9	99,9	106,7	0,132	0,139
	767,9	780,7	864,1	903,3	96,2	122,7	0,125	0,157
50% ARL 2	564,7	521,0	653,6	641,3	88,9	120,3	0,157	0,231
	551,0	529,0	632,3	642,2	81,3	113,2	0,148	0,214
	525,2	523,6	617,9	626,2	92,7	102,6	0,177	0,196
	500,1	525,2	559,4	611,8	59,3	86,6	0,119	0,165
	624,7	594,3	758,5	804,1	133,8	209,8	0,214	0,353
	601,2	604,2	700,7	824,6	99,6	220,4	0,166	0,365
	1249,4	1032,4	1627,0	1380,2	377,6	347,8	0,302	0,337
	1221,2	996,4	1572,2	1363,0	350,9	366,6	0,287	0,368
	1219,7	1070,8	1513,4	1362,2	293,8	291,4	0,241	0,272
	1261,2	1033,2	1525,2	1341,1	264,0	307,9	0,209	0,298
	640,0	1040,3	784,9	1295,6	144,9	255,4	0,226	0,245
	636,9	1042,6	755,1	1312,1	118,3	269,5	0,186	0,258
	1598,0	1049,7	1911,3	1342,6	313,3	293,0	0,196	0,279
	1606,6	1055,2	1893,3	1363,8	286,7	308,6	0,178	0,293
	685,4	996,4	839,0	1188,3	153,5	191,9	0,224	0,193
	716,0	958,8	867,9	1180,5	152,0	221,7	0,212	0,231
523,3	729,3	705,8	980,0	182,5	250,7	0,349	0,344	
532,7	724,6	702,7	963,5	170,0	238,9	0,319	0,330	
75% ARL 2	341,5	185,7	449,6	235,8	108,1	50,1	0,317	0,270
	326,7	181,7	423,8	240,5	97,1	58,8	0,297	0,323
	325,1	200,5	441,8	247,5	116,7	47,0	0,359	0,234
	331,4	226,4	466,1	285,9	134,7	59,5	0,407	0,263
	302,4	236,6	412,0	322,7	109,7	86,2	0,363	0,364
	309,4	231,1	419,1	312,6	109,7	81,5	0,354	0,353
	316,5	166,1	410,5	227,2	94,0	61,1	0,297	0,368
	314,9	238,9	419,9	333,7	105,0	94,8	0,333	0,397
100% ARL 2	76,8	189,6	97,1	249,1	20,4	59,5	0,265	0,314
	70,5	198,2	101,1	255,4	30,6	57,2	0,433	0,289
	79,9	184,9	105,8	238,1	25,9	53,3	0,324	0,288
	74,4	199,0	90,1	256,9	15,7	58,0	0,211	0,291
	80,7	191,9	108,1	238,9	27,4	47,0	0,340	0,245
	96,4	181,7	120,6	280,4	24,3	98,7	0,252	0,543
	77,6	155,1	94,8	239,7	17,2	84,6	0,222	0,545