

**EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES MEDIANTE UN FILTRO  
ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUA RESIDUAL SINTÉTICA,  
DETERMINADO POR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO Y SST**



**JHOAN ENRIQUE MÉNDEZ FERRO  
DUVÁN EDUARDO OREJUELA VIÁFARA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYAN  
2021**

**EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES MEDIANTE UN FILTRO  
ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUA RESIDUAL SINTÉTICA,  
DETERMINADO POR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO Y SST**



**JHOAN ENRIQUE MÉNDEZ FERRO  
DUVÁN EDUARDO OREJUELA VIÁFARA**

**Trabajo de investigación como requisito para optar por el título de  
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**Director trabajo de grado modalidad investigación**

**Ing. Ronald Edinson Cerón**

**M.S.c en ingeniería ambiental**

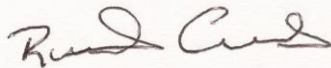
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**POPAYAN**

**2021**

**Nota de presentación:**

El director y los jurados del trabajo de grado, modalidad investigación: **EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES MEDIANTE UN FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUA RESIDUAL SINTÉTICA, DETERMINADO POR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO Y SST**". Realizado por: JHOAN ENRIQUE MÉNDEZ FERRO Y DUVÁN EDUARDO OREJUELA VIÁFARA. Una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario.



---

**Director: Ing. Ronal Edison Cerón**



---

**Jurado: Ing. Fabian Fernández**



---

**Jurado: Biólogo Arnol Arias Hoyos**

Popayán, 26 de julio de 2021.

## **DEDICATORIA**

Siempre nos hemos sentido bendecidos por la excelente familia que gozamos, nos han formado para saber cómo luchar y salir victoriosos ante los infortunios de la vida. Muchos años después, sus enseñanzas no cesan y aquí estamos con un nuevo logro exitosamente conseguido, nuestro trabajo de pre-grado.

Queremos dedicarle este fruto a ustedes, no nos alcanza las palabras para expresar el orgullo y lo bien que nos sentimos por tenerlos a nuestro lado.

***JHOAN ENRIQUE MÉNDEZ FERRO Y  
DUVÁN EDUARDO OREJUELA VIÁFARA***

## **AGRADECEMOS**

Dios, tu amor y bondad no tiene fin gracias a ti hemos podido estar presentes en este fruto. Seguidamente agradecimiento profundo a nuestro asesor, mentor de esta investigación al Ing. Ronald Edinson Cerón quien con su mística, generosidad y mucha sabiduría supo orientar, diseñar e implementar de manera correcta esta investigación.

A mi compañero y amigo JHOAN ENRIQUE MÉNDEZ FERRO con quién, desde el inicio de nuestra formación de pre-grado entablé una relación de mucho respeto, responsabilidad y humildad, lo que nos permitió alcanzar este gran logro.

Finalmente agradezco de corazón a mi compañero, DUVÁN EDUARDO OREJUELA VIÁFARA, por ser una persona perseverante, comprometido y responsable; cualidades que nos han permitido realizar un excelente trabajo en equipo.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 JUSTIFICACION.....	17
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo general.....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
<b>CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE Y BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>20</b>
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	20
2.2 BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.1 Microorganismos eficientes.....	22
2.2.2 Agua residual sintética.....	23
2.2.3 Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA).....	233
2.2.3.1 <i>Zonas funcionales de los FAFA</i> .....	233
2.2.4 Parámetros Físico-Químicos para la caracterización de las aguas residuales.....	24
2.2.5 Tratamiento biológico.....	255
2.2.6 Biopelícula en tratamiento anaerobio.....	255
2.2.7 Reactor a escala de laboratorio.....	255
2.2.8 Medios de soporte.....	26
2.2.9 Aguas servidas.....	26
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>277</b>
3.1 Enfoque de la investigación.....	277
3.2 Alcance de la investigación.....	277
3.3 Metodología de la investigación.....	277
3.3.1 Etapa 1. Revisión bibliográfica del tema.....	288
3.3.2 Etapa 2. Diseño de los FAFA.....	29
3.3.3 Etapa 3. Construcción de los FAFA.....	31
3.3.4 Etapa 4. Preparación y composición del agua residual sintética.....	33
3.3.5 Etapa 5. Inoculación de los microorganismos eficientes:.....	35
3.3.6 Etapa 6. Escogencia y lavado del lecho filtrante.....	36

3.3.7 Etapa 7. Puesta en marcha de los FAFA.....	37
3.3.8 Etapa 8. Muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos para evaluación de eficiencia de los FAFAS con y sin ME .....	38
3.3.9 Etapa 9. Comparación de medias con Poblaciones apareadas.....	410
3.3.10 Etapa 10. Evaluación de la eficiencia de remoción, a través del análisis de los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO, T y Ph.....	411
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>433</b>
4.1 Características de diseño de los FAFAS.....	433
4.2 Calculo de porcentaje de eficiencia de la DQO para cada filtro. ....	455
4.3 Calculo del porcentaje de eficiencia de SST para cada filtro .....	487
4.4 Toma de pH en los FAFAS con y sin ME .....	49
4.5 Relación de las temperaturas en el filtro con microorganismos eficientes vs filtro sin microorganismos eficientes.....	510
4.6 Muestras apareadas de la concentración de la DQO.....	521
4.7 Muestras apareadas de la concentración de la SST .....	543
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>555</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>566</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.7</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configuración de filtro sin fondo falso y con fondo falso [24] .....	244
Figura 2. Etapas del proceso metodológico del trabajo de investigación.....	28
Figura 3. Modelos de los FAFAS con y sin ME (Modificado de la referencia bibliográfica [30]).....	31
Figura 4. Materiales para la construcción de los FAFAS.....	322
Figura 5. Insumos para la preparación del agua residual sintética.....	344
Figura 6. Pesaje de insumos para la preparación del agua residual sintética	355
Figura 7. Grava utilizada como lecho filtrante .....	366
Figura 8. FAFA en funcionamiento.....	38
Figura 9. FAFA con medio de soporte de grava (Filtro 1 con ME y filtro 2 sin ME).....	38
Figura 10. Toma de parámetros fisicoquímicos de las AR .....	400
Figura 11. Espectrofotómetro utilizado en el Laboratorio Químico.....	400
Figura 12. Porcentaje de remoción de la DQO durante los 12 muestreos.....	46
Figura 13. Eficiencia de remoción de SST .....	48
Figura 14. Valores de pH con respecto al tiempo.....	49
Figura 15. Valores de temperatura en relación al tiempo .....	510

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Enfoque de la investigación.....	27
Tabla 2. Listado de materiales para la construcción del filtro .....	322
Tabla 3. Composición agua residual sintética en mg/l [39] .....	333
Tabla 4. Composición del producto Versaklin-Microorganismos eficientes [14] .....	355
Tabla 5. Composición del lecho filtrante [43].....	367
Tabla 6. Características de la grava [44].....	377
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos evaluados .....	39
Tabla 8. Determinación de caudales para los FAFAS con y sin microorganismos eficientes.....	43
Tabla 9. Remoción de la DQO en filtros con lecho de grava con y sin microorganismos eficientes .....	465
Tabla 10. Eficiencia de remoción de SST en AR.....	48
Tabla 11. Valores de Ph de los FAFAS con y sin ME .....	510
Tabla 12. Valores de Temperatura para los FAFAS con y sin ME .....	521
Tabla 13. Método estadístico de comparación de medias con poblaciones apareadas para las concentraciones de DQO.....	532
Tabla 14. Método estadístico de comparación de medias con poblaciones apareadas para las concentraciones de SST.....	543



## RESUMEN

En los últimos años a nivel de América Latina el 70% de las aguas residuales parcialmente tratadas y no tratadas, producidas por la población son devueltas al medio natural (ríos, mares o tierras) sin ningún tratamiento, además de las infiltraciones de los residuos de fertilizantes y plaguicidas utilizados en la agricultura, desechos domésticos y otros, situación que aumenta aún más su carga contaminante. Se estima que más de cinco millones de personas mueren anualmente de enfermedades vinculadas con el consumo de agua contaminada, servicios sanitarios inadecuados y una higiene rudimentaria, causas principales del 80% de la morbilidad y mortalidad en los países del Tercer Mundo [39].

El tratamiento de aguas residuales con filtros anaerobios de flujo ascendente o FAFAS, es un componente ocasional de plantas de tratamiento, la función del filtro, también llamado reactor anaerobio tiene por finalidad reducir la carga contaminante de las aguas servidas [40]. Por otro lado, los microorganismos eficientes se convierten en una alternativa, para solucionar los problemas de contaminación hídrica, éstos pueden utilizar los compuestos contaminantes presentes en las aguas como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, considerado un tratamiento alternativo para mitigar el impacto ocasionado por las descargas de aguas residuales en el subsuelo, y que a su vez afecta la flora y fauna acuática y terrestre [3].

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque mixto, cuyo objetivo es determinar la eficiencia de remoción de DQO y SST en dos reactores FAFAS, ambos con lecho de grava, pero solo uno de los dos con inoculación de microorganismos eficientes durante aproximadamente mes y medio. Para ello se realizó revisión bibliográfica del tema, diseño y construcción de los filtros, preparación del agua residual sintética, inoculación de microorganismos eficientes, escogencia y lavado de lecho filtrante, puesta en marcha de los FAFAS, toma de muestras y análisis de parámetros fisicoquímicos, comparación

de medias con poblaciones apareadas y finalmente el cálculo de la eficiencia de remoción de DQO y SST del agua residual.

De acuerdo a los datos obtenidos en el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y después de su respectivo análisis, resultó que la remoción de DQO y SST en un FAFA con microorganismos eficientes es del 55% y 56% respectivamente, mientras que un FAFA sin microorganismos eficientes es del 16% y 18%, valores que reafirman el poder de descontaminación que tienen estos microorganismos en las aguas residuales al ejercer una influencia degradadora sobre la materia orgánica presente en aguas residuales.

**Palabras claves:** filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), lecho de grava, microorganismos eficientes, demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST).

## **ABSTRACT**

In recent years in Latin America, 70% of the partially treated and untreated wastewater produced by the population is returned to the natural environment (rivers, seas or lands) without any treatment, in addition to the infiltration of wastewater fertilizers and pesticides used in agriculture, household waste and others, a situation that further increases its pollutant load. It is estimated that more than five million people die annually from diseases linked to the consumption of contaminated water, inadequate sanitation services and rudimentary hygiene, the main causes of 80% of morbidity and mortality in Third World countries [39].

The treatment of wastewater with anaerobic upflow filters or FAFAS, is an occasional component of treatment plants, the function of the filter, also called anaerobic reactor, is intended to reduce the pollutant load of wastewater [40]. On the other hand, efficient microorganisms become an alternative, to solve the problems of water pollution, they can use the polluting compounds present in the waters as a source of carbon and energy for their metabolism and growth, considered an alternative treatment to mitigate the impact caused by wastewater discharges into the subsoil, which in turn affects aquatic and terrestrial flora and fauna [3].

The present research work has a mixed approach, whose objective is to determine the removal efficiency of DQO and SST in two FAFAS reactors, both with gravel bed, but only one of the two with inoculation of efficient microorganisms for approximately one and a half months. For this, a bibliographic review of the subject, design and construction of the filters, preparation of synthetic wastewater, inoculation of efficient microorganisms, selection and washing of the filter bed, start-up of the FAFAS, sampling and analysis of physicochemical parameters, was carried out comparison of means with paired populations and finally the calculation of the removal efficiency of DQO and SST from the wastewater.

According to the data obtained in the laboratory of the Autonomous University Corporation of Cauca and after their respective analysis, it turned out that the removal of DQO and SST in an FAFA with efficient microorganisms is 55% and 56% respectively, while an FAFA without efficient microorganisms it is 16% and 18%, values that reaffirm the decontamination power that these microorganisms have in wastewater by exerting a degrading influence on the organic matter present in wastewater.

**Keywords:** upflow anaerobic filter (FAFA), gravel bed, efficient microorganisms, chemical oxygen demand (DQO) and total suspended solids (SST).

## INTRODUCCION

El mundo enfrenta una crisis ambiental por el vertimiento de Aguas residuales a fuentes receptoras, causando el deterioro de áreas riparias o ribereñas provocado por el depósito de sedimentos, disminuyendo la producción de los cultivos y afectado las fuentes subterráneas; esto debido a que solo el 40% de la población total de América Latina y el Caribe cuenta con servicio de alcantarillado. Estos impactos se observan en las fuentes superficiales debido a que la eutrofización propicia el incremento de nutrientes lo que aumenta el crecimiento de algas, plantas acuáticas y fitotoxinas, además de generar que el tratamiento de depuración sea más costoso hasta llegar al punto en el que la fuente no pueda recuperarse [1].

En la actualidad una de las alternativas más estudiadas son los tratamientos que realizan el proceso de estabilización de sustratos en sistemas anaerobios, con buenos resultados en la remoción de la materia orgánica (medidos en términos de mg DBO<sub>5</sub>/L o de mg DQO/L), reducción del contenido de sólidos, ajustes de pH entre otros; mejorando así la calidad de los vertimientos y reduciendo los impactos [2].

Así mismo, hay una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas y aguas residuales (AR), entre los que se encuentran la utilización de microorganismos denominados eficientes (ME) y su importancia resulta de que ellos no generan subproductos contaminantes y, además, son eficientes en la remoción de carga contaminante. En un inicio estos microorganismos fueron utilizados para mejorar la calidad del suelo y la eficacia del uso de la materia orgánica por las plantas respectivamente, así como suprimir putrefacción (incluyendo enfermedades) [3].

Este estudio para la determinación de la eficiencia de remoción de DQO y SST en un agua residual sintética a través de dos filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), y haciendo uso de microorganismos eficientes, contiene 5 capítulos que se desarrollan a continuación en el siguiente orden: en el Capítulo

I se presenta el planteamiento del problema, justificación y los objetivos propuestos, en el Capítulo II se encuentra el Estado del arte y bases teóricas para del estudio de investigación; En el capítulo III está la descripción de la metodología con sus procedimientos en cada una de las fases; En el Capítulo IV se relacionan los resultados según los objetivos del estudio y por último, en el Capítulo V se muestran las conclusiones y finalmente las recomendaciones.

# CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aproximadamente el 80% de la población de América Latina se encuentra concentrada en las ciudades. Sin embargo, la provisión de agua es insuficiente. Más aun, el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento, lo cual dificulta alcanzar el ciclo del agua, particularmente su reúso, debido a su alta contaminación [3].

Según la Organización Mundial de la Salud en el año 2019 (OMS): “en los países de bajos y medios ingresos existen marcadas deficiencias en los sistemas de tratamientos de agua. Esto genera que el agua que consumen cientos de millones de personas esté altamente contaminada debido a la gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas” [3]. Es así, que se debe cumplir con las normas bacteriológicas y fisicoquímicas para que el recurso hídrico no contenga microorganismos patógenos, sustancias tóxicas o nocivas para la salud [4].

En Perú, solamente se ha ejecutado el 30% de la inversión pública en tratamiento de agua, de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural 2006-2015. En todos los casos, la contaminación del agua por sustancias orgánicas e inorgánicas, coloca la Salud Pública en peligro, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS). Una preocupación es la contaminación del agua, que proviene de la presencia de altos niveles de arsénico inorgánico, plomo y cadmio por las consecuencias negativas tales como cáncer, diabetes mellitus, y enfermedades cardiovasculares. En el caso de los distritos de Lima, La Oroya y Juliaca, el rango de la concentración de arsénico inorgánico fue de 13 a 193 microgramos por litro para las aguas subterráneas y superficiales, más alto que el límite de 10 microgramos por litro según lo recomendado por la OMS [5].

Diez departamentos del territorio colombiano presentan las mayores dificultades por la baja cobertura en la prestación de servicios públicos, principalmente el referido a acueducto y alcantarillado, problemática que se acentúa en el sector rural. En este grupo se encuentra el Departamento del Cauca que presenta una notoria deficiencia en la prestación del servicio de alcantarillado y manejo de aguas residuales, según el censo nacional de población y vivienda de 2018 - DANE, su cobertura en alcantarillado es inferior al 50 %. Esta situación perjudica a las comunidades de las veredas de La Depresión, Guavito, y Lamedero, ubicadas en el occidente del Municipio de La Sierra que no cuenta con un sistema de evacuación y recolección de aguas residuales ni un tratamiento adecuado de basuras. El deficiente manejo que se da a las aguas residuales y residuos sólidos, han ocasionado graves problemas a la población que se ve afectada por enfermedades gastrointestinales y respiratorias, esto como consecuencia de la contaminación ambiental y sus efectos negativos en las corrientes de agua, los suelos, la fauna y flora de la región [6].

Desde esta perspectiva es vital para la salud humana y el medio ambiente implementar métodos de tratamiento del agua que sean económicos y de fácil acceso, capaces de contrarrestar la mayor parte de los contaminantes son necesario para evitar los efectos adversos en la salud y el medio ambiente [7].

Por lo anterior, es de gran necesidad buscar alternativas verdes para el tratamiento de aguas servidas con la utilización de microorganismos eficientes, natural y de fácil adquisición, que permitan la clarificación del agua sintética como simulación a las aguas residuales domésticas, empleando un producto económico, inocuo, renovable, disponible localmente y de fácil implementación como es lo son los microorganismos eficientes [8].

En relación con lo anteriormente expuesto, surge la siguiente **HIPÓTESIS**: ¿El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) con medio de soporte granular (grava) e inoculación de microorganismos eficientes (Versaklin), es más eficiente que un filtro anaerobio de flujo ascendente con medio de soporte granular



(grava), sin microorganismos eficientes, en el tratamiento de aguas residuales sintéticas en la remoción de DQO y SST?

## *1.2 JUSTIFICACION*

El 97% aproximadamente de agua existente en el planeta, se encuentra en los océanos y el 3% restante en ríos, lagos, riachuelos y el subsuelo, siendo el 0,4% de éste último porcentaje, agua apta para el consumo humano. Es así que los seres humanos cuentan con dos fuentes de agua utilizables a saber, las superficiales y las subterráneas, por tanto, es un recurso escaso; y es necesario considerar que este porcentaje se reduce más, debido a su contaminación [8]; problemática que se ve reflejada a nivel mundial en los países con menos desarrollo, donde el 80 % de las aguas servidas no cuenta con un tratamiento adecuado para evitar la contaminación y propagación de enfermedades, ante esta situación se estableció por normatividad que los gobiernos deben convertir el tratamiento de las aguas residuales en una prioridad [9].

Al evaluar esta situación a nivel de Colombia, es de resaltar que la contaminación de flujos hídricos se presenta en un país en desarrollo que carece de adecuados servicios públicos, lo que provoca una mala disposición de las aguas residuales y que en muchas ocasiones son vertidas a una fuente receptora o al suelo, afectando los componentes bióticos [10].

En Colombia, en las zonas rurales, los niveles de riesgo por calidad de agua al año 2012 presentaron el 45% de niveles altos de riesgo en el agua suministrada. Así mismo, el 30% de la totalidad de esta agua en el país presenta un riesgo alto para la población, situación que se vuelve aún más crítica teniendo en cuenta que el 90% de la población Colombiana se asienta en los ríos y que la cobertura de sistemas de tratamiento alcanza solamente el 12%. Existen trabajos de investigación que han planteado que los sistemas anaeróbicos complementados con sistemas naturales para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

(ARD) son una buena combinación para los pequeños municipios y comunidades rurales [11].

A nivel regional, el departamento de Cauca es uno de los de mayor riqueza hídrica en Colombia, donde las prácticas en el uso y manejo del agua se relacionan con la identidad cultural de las diversas etnias que habitan la región. Sin embargo, de acuerdo con el censo 2005 del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el 46,4% de los hogares presenta necesidades básicas insatisfechas. El servicio de alcantarillado no llega ni siquiera a la mitad de los hogares en el área rural y la cobertura del servicio de acueducto en las cabeceras municipales es apenas del 66%. Algunas cabeceras municipales presentan problemas tanto en la continuidad del servicio como en la calidad del agua suministrada y tienen condiciones de saneamiento insuficientes [38].

Por lo tanto, implementar el uso de reactores biológicos resulta ser una estrategia importante, como medio de tratamiento de las aguas residuales, para disminuir las cargas contaminantes que impactan las fuentes de agua que abastecen a la población y que pueden afectar su salud y crear un impacto ambiental [11].

Así es importante resaltar que los microorganismos eficientes se presentan como una alternativa de solución sostenible para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, debido a su alta eficiencia, beneficios y bajos costos. Los EM cumplen un rol importante en el tratamiento de aguas residuales, debido a que inducen a la descomposición rápida de la materia orgánica y a la transformación de compuestos nitrogenados así como del fósforo presente en las AR a compuestos más simples. Tienen la ventaja respecto a los productos químicos, de ser totalmente seguros y de no ser tóxico para el hombre. De esta manera, se recurre a los procesos de biofiltración que son una técnica muy antigua y que en la actualidad es valorada y significativa porque presenta la posibilidad de variar en la utilización de los lechos filtrantes granulares, mejora la efectividad del tratamiento y una de las variaciones son los microorganismos eficientes que, aplicados al proceso de tratamiento, pueden demostrar modificaciones en su efectividad [12].

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 *Objetivo general*

Determinar la eficiencia de remoción de DQO y SST en un reactor FAFAS de grava con y sin microorganismos eficientes.

#### 1.3.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar y construir el filtro anaerobio de flujo ascendente con lecho de grava con y sin inoculación de EM.
- Evaluar la efectividad de los Microorganismos Eficientes en la remoción de DQO y SST del agua residual.

## CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE Y BASES TEÓRICAS

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

En el año 2012, Toc A., Manuel R., [13], para determinar los efectos de los microorganismos eficientes en aguas residuales en la Granja Porcina de Zamorano, Honduras, se realizaron 3 tipos de tratamientos uno con EM comerciales, otro con ME producidos en la granja y uno sin tratamiento, posteriormente se evaluaron los parámetros físico-químicos: DBO, DQO y SST. Se encontraron diferencias en los tratamientos, en donde los EM comerciales arrojaron la mayor reducción de la DBO con un 98% de remoción mientras que los ME de la granja y sin ME aportó un 97% y 77% respectivamente. Al igual que la (DQO), los ME con más eficiencia fueron los ME comerciales con un 97% mientras que el tratamiento sin ningún ME y los ME de granja tuvieron un porcentaje del 86% y el 96%. Cabe resaltar que para los SST los resultados no variaron en los tratamientos con ME comerciales y los de granja, mientras que el tratamiento sin ningún tipo de microorganismos si tuvo un porcentaje más bajo que los demás con un 78% [13].

En el año 2017, Prado [14], manifiesta que los ME no solo son aprovechados para tratar los residuos líquidos; si no que también los residuos sólidos. En su trabajo de investigación la autora evaluó la eficiencia de los microorganismos eficientes caseros en residuos orgánicos de excretas humanas provenientes de sanitarios ecológicos del distrito de Villa el Salvador – Lima mediante un proceso de compostaje. Estos microorganismos eficientes presentaron buenos resultados aplicados en muestras de aserrín en diferentes viviendas, acelerando el proceso natural de descomposición de los residuos orgánicos con una muy baja inversión económica.

Así mismo, en el año 2010, Cruz [15], en su trabajo de investigación realizó uso de ME en desechos sólidos expuestos en dos bosques secundarios de Costa

Rica, donde tuvieron un resultado esperado dando un equilibrio ecológico que permitió un desarrollo óptimo de las plantas, ya que los Microorganismos activados generaron un producto que respeta la ecología microbiológica de los agroecosistemas. Estos ME mostraron una considerable reducción de malos olores y gran cantidad de lixiviados demostrando que también cuenta con una gran efectividad en el manejo de desechos orgánicos.

En el año 2013, autores como *Yud M., Alba V* [16], muestran la eficiencia de reactores en el tratamiento de aguas residuales implementados en la Universidad Libre sede Bogotá, analizando parámetros de DQO, SST, PH y DBO entre otros, con el fin de evaluar la eficiencia u operación de este sistema. Según los resultados el comportamiento de los parámetros fue óptimo, mostrando un porcentaje de remoción máximo de un 95,24% de DQO, 87,24% de SST y 96,12%, dando así una clara respuesta a los tratamientos biológicos que dejaron de ser alternativos para convertirse en procesos de gran importancia para aguas residuales.

Por otro lado, *Castaño, Elizabeth y Gaviria Duverney* en el año 2000 [17], realizaron su trabajo de investigación en una Industria Porcícola de Risaralda enfocado en el manejo de residuos generados en la Industria durante la producción, debido a su alto volumen. El trabajo consistió en emplear ME complejos como bacterias foto-tróficas, bacterias productoras de ácido láctico, levaduras y hongos de fermentación para descomponer la materia orgánica encontrada en las aguas residuales, contribuyendo a disminuir su contaminación en el medio ambiente. Para ello, se tuvieron en cuenta parámetros físico-químicos como DQO, DBO y ST en donde se obtuvieron los resultados esperados con un porcentaje alto de remoción. Este trabajo permitió reafirmar que los microorganismos eficientes se convierten en el método más apropiado para tratar aguas residuales porcícolas.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 *Microorganismos eficientes*

Los Microorganismos Eficientes denominados (EM), en sus inicios no fueron utilizados para el tratamiento de aguas, pero dada su importancia, en la actualidad son una alternativa para la descontaminación del recurso hídrico porque no generan subproductos contaminantes y, además, son eficientes en la degradación de desechos [18]. En el estudio desarrollado por el Doctor Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, que se completó en 1982 se encuentra que los Microorganismos Eficientes, como medio de descontaminación para optimizar la calidad en los suelos y la eficacia del uso de la materia orgánica por las plantas, así como para suprimir putrefacción (incluyendo enfermedades).

Los microorganismos eficientes han sido utilizados en diversas actividades, a nivel pecuario (apicultura, porcicultura, ganadería, acuicultura), rellenos sanitarios, celdas de seguridad, tratamiento de suelos, aguas residuales, etc. Entonces, hacer uso de microorganismos eficientes, es aprovechar una mezcla de diferentes tipos de microorganismos, que se benefician de las condiciones del medio donde se encuentran, aprovechando sus propiedades de fermentación, producción de sustancias bioactivas, competencia y diferencia con patógenos, procurando efectos positivos sobre la salud y bienestar del ecosistema. De los microorganismos eficientes benéficos, está el Versaklin, compuesto por organismos altamente eficientes que no son nocivos, tampoco patógenos, ni genéticamente modificados; considerado como una vía para mejorar la calidad del agua porque el recurso hídrico puede ser devuelto al medio ambiente sin causar enfermedades que atenten contra la población [18].

### *2.2.2 Agua residual sintética*

El Agua Residual Sintética es un material de referencia que simula las condiciones naturales que previamente ha sido producido con estrictas medidas, definiendo sus propiedades específicas según las necesidades del estudio. Es entonces necesario considerar actividades de calibración, trazabilidad, un control de calidad del material de referencia y validación del método. Además, por las variaciones en las condiciones físico-químicas del agua sintética, en especial por la presencia de microorganismos patógenos, que han utilizado compuestos sintéticos a escala de laboratorio que puedan ser probados en métodos de tratamiento de agua [19].

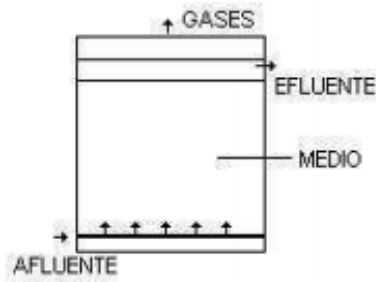
### *2.2.3 Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA)*

El filtro anaerobio de flujo ascendente o FAFA, es un componente ocasional de plantas de tratamiento. La función del filtro, también llamado reactor anaerobio tiene por finalidad reducir la carga contaminante de las aguas servidas. El proceso anaerobio, es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. Un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), este se emplea para disminuir el contenido de carga contaminante, que puede ser vertida a una fuente hídrica o directamente al suelo, este tipo de filtros se aplica para mejorar un sistema de tratamiento de aguas residuales, siendo un proceso de crecimiento adherido, para el tratamiento de residuos solubles [20].

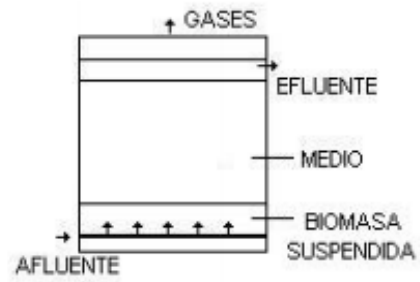
#### *2.2.3.1 Zonas funcionales de los FAFA*

Los filtros se componen de tres partes o zonas funcionales [21]. Las cuales se especifican así:

*Zona de entrada:* los tipos de configuración de entrada son: sin fondo falso y con fondo falso.



**Figura N° 1. Configuración Sin Fondo falso**



**Figura N°2. Configuración Con Fondo Falso**

Figura 1. Configuración de filtro sin fondo falso y con fondo falso [21]

La distribución de cualquiera de los dos filtros se realiza con una tubería de PVC perforada. En la configuración sin fondo falso, el medio de soporte es ocupado en su totalidad en el volumen del reactor, lo que conlleva a un posible taponamiento si el material no es uniforme e idealmente de alta porosidad; en cambio en la configuración con fondo falso, se promueve una mejor sedimentación del floc y menor riesgo de taponamiento [21].

*Zona de empaçado:* En esta zona se encuentra el medio filtrante que ejerce influencia sobre la eficiencia, porque el medio actúa como separador líquido-gas y también ayuda a proveer un flujo uniforme del agua residual reduciendo las posibilidades de pasos directos a través del reactor, también propicia un mayor contacto del residuo con la masa biológica. Además, los medios de soporte pueden estar constituidos por materiales como piedras, espumas, material plástico, granito y esferas de polietileno [21].

*Zona de salida:* Esta zona además de recibir y evacuar el efluente del filtro, tiene la responsabilidad de garantizar una distribución correcta del caudal de salida, para una adecuada eficiencia hidráulica del sistema. La configuración de la zona de salida afecta también la distribución a través del medio, lo que se puede representar en cortos circuitos que afectan la eficiencia del sistema [21].

#### 2.2.4 Parámetros Físico-Químicos para la caracterización de las aguas residuales



La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. En específico representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácido [22].

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia a la cantidad de material (sólidos) que después de realizar la filtración de un volumen de agua, son retenidos. La presencia de sólidos suspendidos, reduce el paso de la luz a través del agua, evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno y por lo tanto, son considerados como un indicador importante [23].

#### *2.2.5 Tratamiento biológico*

Consiste en el control del medio ambiente de los microorganismos de modo que se consigan condiciones de crecimiento óptimas [23].

#### *2.2.6 Biopelícula en tratamiento anaerobio*

Son los procesos anaerobios, en los cuales los microbios utilizan el carbono orgánico como aceptor de electrones en ausencia de oxígeno disuelto. Donde la biopelícula es responsable de la degradación de la materia orgánica, en condiciones óptimas y fácilmente controladas [24].

#### *2.2.7 Reactor a escala de laboratorio*

Es una planta de proceso a escala reducida. El propósito consiste en diseñar, construir y operar una planta piloto para obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que determine si el proceso es económicamente viable y de fácil manejo, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de una planta a escala real [25].

### *2.2.8 Medios de soporte*

Los medios de soporte o medios filtrantes son parte importante de los FAFA, porque se logra la remoción de carga contaminante gracias a la biopelícula formada por los microorganismos. El uso de medio de soporte en los reactores biológicos posibilita la retención de sólidos al interior del mismo, a través del biofilm formado en su superficie y en especial, en los intersticios del lecho [25].

### *2.2.9 Aguas servidas*

Las aguas servidas resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les denomina también aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales. Son residuales porque siendo usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. En las teorías se establece una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales porque las servidas provienen del uso doméstico y las residuales son la mezcla de aguas domésticas e industriales. Es así, que están constituidas por todas las aguas que conducidas por el alcantarillado que a veces también contienen las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno [26].

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1 Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación desarrolló una metodología mixta, que adoptó un enfoque cualitativo al realizar una revisión bibliográfica del tema central y posteriormente su enfoque tiende a ser cuantitativo, ya que busca explicar su interés técnico, a partir de la observación, medición y contraste de teoría a través de la experimentación.

Tabla 1. Enfoque de la investigación

<b>CUALITATIVO</b>	<b>CUANTITATIVO</b>
- Revisión bibliográfica del tema central. - Observación - Identificación del problema - Hipótesis	- Experimentación - Recolección, sistematización y análisis de datos. - Contraste teórico

### 3.2 Alcance de la investigación

Esta investigación se enmarcó en identificar la eficiencia de remoción de DQO y SST en dos FAFA, con y sin microorganismos eficientes respectivamente. Después de la toma y contraste de los parámetros físico-químicos mencionados en el agua residual, se evaluó la eficiencia de remoción de DQO y SST y finalmente los resultados permitieron dar respuesta a la hipótesis planteada en el estudio.

### 3.3 Metodología de la investigación

A continuación se muestran gráficamente las etapas mediante las cuales se desarrolló el presente trabajo de investigación (Figura 2):

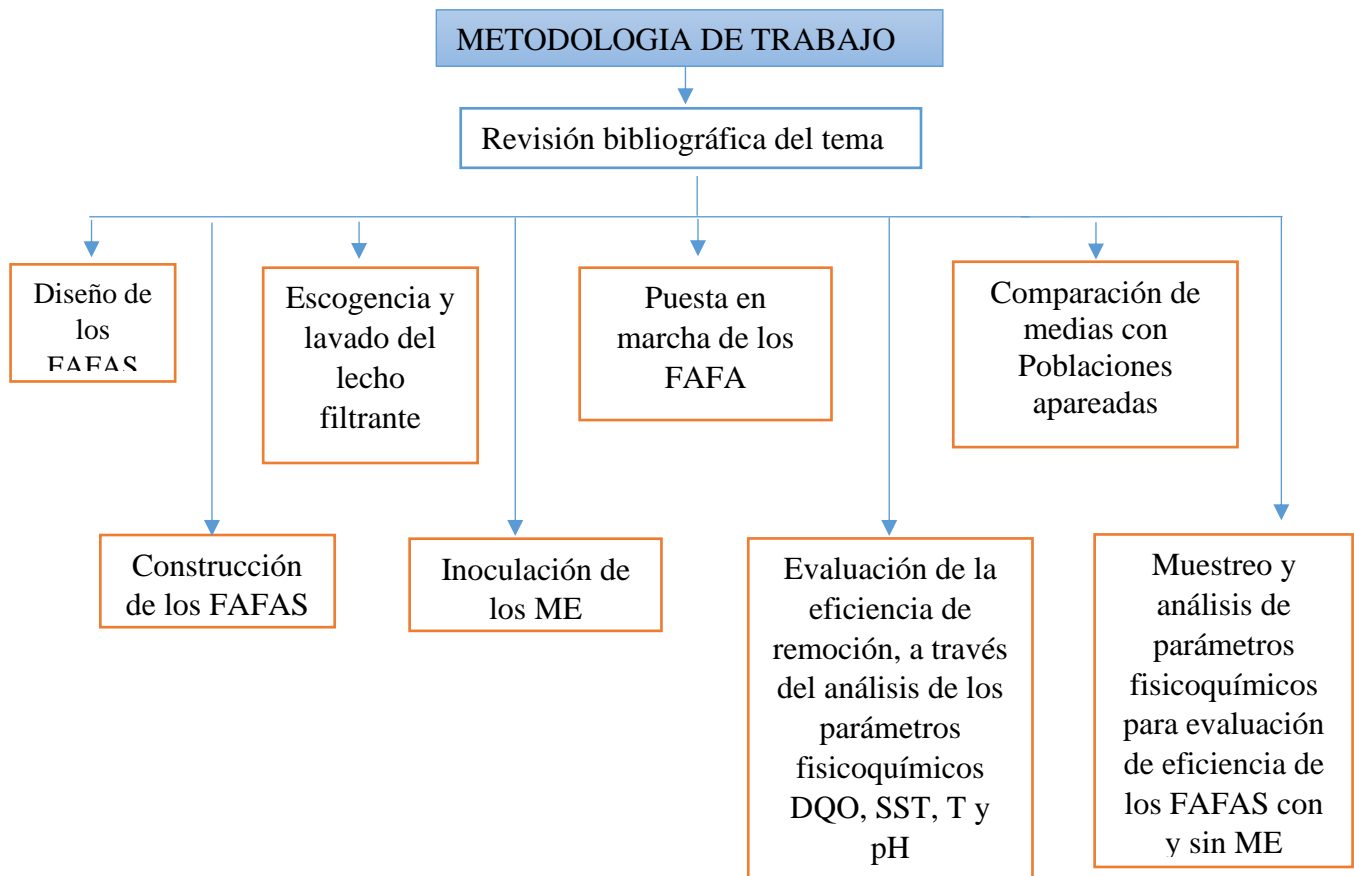


Figura 2. Etapas del proceso de metodológico del trabajo de investigación

### 3.3.1 Etapa 1. Revisión bibliográfica del tema

Este estudio se inició con una revisión bibliográfica amplia acerca del funcionamiento de los filtros de flujo ascendente y el manejo de microorganismos eficientes. Se consultaron antecedentes internacionales, nacionales y locales, fundamentales en el proceso del diseño e implementación del presente trabajo de investigación.

La información se obtuvo en artículos científicos, tesis, proyectos de saneamiento básico, libros y páginas web especializadas en el tratamiento del recurso hídrico, entre otras. Se consideraron los estudios nacionales acerca de la efectividad de los diferentes sistemas de potabilización, para definir la línea base de la investigación.

### 3.3.2 Etapa 2. Diseño de los FAFA

Para el diseño de los filtros se realizó el cálculo del área superficial del filtro y el tiempo de retención de cada FAFA, teniendo en cuenta el caudal de entrada. Los filtros tuvieron como medio un soporte de medio granular idéntico.

El tiempo de retención se determinó estableciendo el volumen del reactor por la porosidad del lecho, donde el lecho de grava tiene un porcentaje del 40 % de porosidad establecido, según el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2021 [27], sobre el caudal del afluente.

Cálculos:

$$\text{Área superficial del filtro (AS)} = Vf/H \quad (1)$$

Dónde:

AS: Área superficial del medio filtrante, en m<sup>2</sup>

Vf: Volumen del filtro (m<sup>3</sup>)

H: Altura de la lámina de agua m

Tiempo de retención: Es el tiempo teórico que se demora un fluido en desplazarse entre la entrada y la salida de un sistema de tratamiento, es el principal factor que influye en el rendimiento de los filtros anaerobios de flujo ascendente. Para el cálculo del tiempo de retención se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo Retención (TRH)} = \frac{\text{Vol filtro} * \%P}{Q} \quad (2)$$

Dónde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (horas)

Vol filtro: Volumen del filtro anaerobio (cm<sup>3</sup>)

%P: Porcentaje de porosidad. Para este caso, el lecho de grava tiene una porosidad del 40% según el RAS 2000 Título E.

Q: Caudal en el afluente (cm<sup>3</sup>/s)

## Cálculos

$$Vol = 20 \text{ lts tarro}$$

$$Vol \text{ real} = 15 \text{ lts} * 0,4 = 6 \text{ lts}$$

$$X = \frac{0,1 \frac{m^3}{\text{dia}} * 0,015 m^3}{0,04 m^3} = 0,0375 \frac{m^3}{\text{dia}} \rightarrow 0,43 \frac{ml}{\text{seg}}$$

$$0,02 m^3 \text{ a } 0,04 m^3 \quad \text{por cada } 0,1 m^3/\text{día} \quad [27]$$

$$0,04 m^3 \rightarrow 0,1 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

$$0,015 m^3 \rightarrow X$$

$$Tr = \frac{Vol}{caudal} = \frac{6000 ml}{0,43 \frac{ml}{\text{seg}}} = 13953 \text{ seg} \rightarrow 3,87 \text{ hrs}$$

## Tiempo de retención del lecho de grava

$$\text{Volumen del filtro} = 20 \text{ L} = 20.000 \text{ cm}^3$$

$$Tr = \frac{20.0000 \text{ cm}^3 * 0,40}{0,75 \text{ cm}^3/\text{sg}} = 10.666 \text{ s}$$

$$Tr = 10.666 \text{ s} * \frac{1h}{3600s} = 2,96 \text{ h}$$

Área superficial de la grava: El área superficial es la relación de contacto sobre el volumen ocupado del material de soporte. Para realizar este cálculo se tuvo en cuenta lo expresado en la literatura RAS 2020 [27], tomando como referencia que el área superficial de la grava con diámetro promedio de 1" =  $143 m^2/m^3$ .

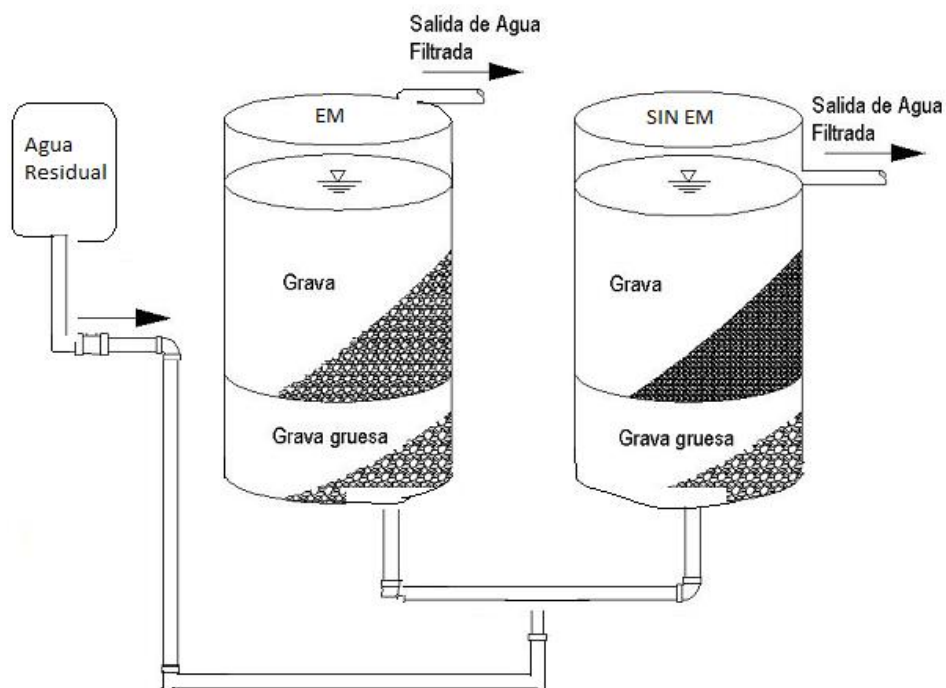


Figura 3. Modelos de los FAFAS con y sin ME (Modificado de la referencia bibliográfica [28])

### 3.3.3 Etapa 3. Construcción de los FAFA

Una vez calculado el TRH y el área de los filtros, se procedió a construir los filtros de grava sin falso fondo a escala piloto, para ello se emplearon dos tanques circulares, con una capacidad de 20 litros (L), donde la tubería de entrada del agua proveniente del tanque séptico descargaba en el filtro e inicia el recorrido, pasando por el medio de filtrado (grava) y siguiendo un flujo ascendente. Las piezas de tubos fueron en PVC de  $\frac{1}{2}$ " como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Materiales para la construcción de los FAFAS

A continuación se presenta en la Tabla 2, el tipo y cantidad de materiales empleados para la construcción de los filtros anaerobios:

Tabla 2. Listado de materiales para la construcción del filtro

ÍTEM	CANTIDAD/ UNIDAD
RECIPIENTES PLÁSTICOS 20 L	2
CINTA TEFLÓN	1
TUBOS PVC ½"	15
PEGANTE PVC	1
PATTEX	1
LLAVE DE PASO PLÁSTICA	1
SEGUETA	1
CODOS DE ½"	10
TEE DE ½"	3
TAPONES DE ½"	4
UNIONES DE ½"	4
MANGUERAS DE NIVEL ¾" REEMPLAZAR POR 3/16	4 m
BAJANTE DE SUERO	1

Fuente: elaboración propia



### 3.3.4 Etapa 4. Preparación y composición del agua residual sintética

Al respecto, no existe una interpretación cuantitativa de la DQO biodegradable de las aguas residuales, por la amplia variabilidad de su composición, por tal motivo se tuvo en cuenta la disolución sintética propuesta en la literatura [29], como simulación de las aguas servidas.

De esta manera se gestionaron cada uno de los insumos componentes del agua residual, se pesaron haciendo uso de una gramera digital (marca POCKET SCALE con una precisión de 0,1 g), de acuerdo a las especificaciones dadas en la Tabla 3 y la Figura 5 y 6, dichos valores se multiplicaron por los 60L (Capacidad del tanque principal). Posteriormente se realizó una mezcla homogénea que se depositó en la fuente de almacenamiento principal.

A continuación se presentan los insumos que componen el agua residual sintética:

Tabla 3. Composición agua residual sintética en mg/l [29]

<b>INSUMOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>SUERO DE LECHE</b>	0,026	mg/l
<b>SUCROSA (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>)</b>	0,49	mg/l
<b>ACETATO DE SODIO (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NAO<sub>2</sub>)</b>	1,12	mg/l
<b>FOSFATO ACIDO DE POTASIO (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)</b>	0,45	mg/l
<b>UREA (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O)</b>	2,4	mg/l

En las concentraciones de la tabla, los valores obtenidos de la literatura [29], son los siguientes:

- 192 mg DBO<sub>5</sub>/L
- 450 mg DQO/L
- 40 mg NTK/L
- 8 PT/L

De esta manera se procedió a gestionar los materiales anteriormente mencionados y fueron pesados, con el fin de obtener la composición de agua residual sintética presentada en la literatura. Cabe indicar que la DQO promedio de esta agua residual fue de 1463 mg/L.

De estas concentraciones se obtienen otros valores cambiando las concentraciones correspondientes. También hay tablas más complejas de agua residual sintética, pero esta es una de las más sencillas.

La carga contaminante se suele medir en kg/d:

- Carga contaminante DBO (kg DBO/d):  $\text{Caudal (m}^3\text{/d)} \times \text{Concentración DBO (mg/l)} / 1000$  (3)
- Carga contaminante DQO (kg DQO/d):  $\text{Caudal (m}^3\text{/d)} \times \text{Concentración DQO (mg/l)} / 1000$  (4)
- Carga contaminante NTK (kg NTK/d):  $\text{Caudal (m}^3\text{/d)} \times \text{Concentración NTK (mg/l)} / 1000$  (5)



Figura 5. Insumos para la preparación del agua residual sintética



Figura 6. Pesaje de insumos para la preparación del agua residual sintética

### 3.3.5 Etapa 5. Inoculación de los microorganismos eficientes

El producto Versaklin tuvo en su composición, una mezcla de bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas y levaduras. Cabe resaltar que este producto no fue preparado por los investigadores, ya venía preparado, por lo que se procedió a agregar 50ml de Versaklin en uno de los filtros (misma proporción usada en estudios por el Instituto Finlay en 2013 [26]), posteriormente se inocularon los microorganismos durante aproximadamente 1 mes y quince días. La aplicación del Versaklin se realizó en diferentes puntos del filtro de manera distinta y de forma puntual, con previa medición del caudal y velocidad del agua.

A continuación, se presenta el rango de las cantidades de la composición Versaklin empleada (Tabla 4).

Tabla 4. Composición del producto Versaklin-Microorganismos eficientes [30]

COMPOSICIÓN DEL VERSAKLIN	CANTIDADES
ÁCIDO LÁCTEO- $C_3H_6O_3$ (mg/L)	30- 90
ÁCIDO ACÉTICO- $CH_3COOH$ (mg/L)	10- 30
BACTERIAS AEROBIAS (UFC/mL)	106 – 107

HONGOS Y LEVADURAS (UFC/ mL)	106 – 108
AZÚCARES REDUCTORES (g/L)	1-2

### 3.3.6 Etapa 6. Escogencia y lavado del lecho filtrante

Se procedió a escoger el lecho filtrante, para este caso grava, medio que retuvo las partículas suspendidas del agua residual sintética y que a su vez se lavó varias veces para evitar impurezas, tal como lo indica la Figura 7.



Figura 7. Grava utilizada como lecho filtrante

En el caso particular del estudio, el lecho filtrante estuvo compuesto por grava de acuerdo con las recomendaciones de otras investigaciones [31]. Se eligió este medio filtrante, ya que sus propiedades provocan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos, lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas y con el medio, siendo de esta manera retenido entre el material filtrante.

A continuación se observa el tamaño de los tipos de lechos filtrantes para los FAFAS (Tabla 5).

Tabla 5. Composición del lecho filtrante [31]

TIPO DE CAMADA	MEDIO FILTRANTE	DIÁMETRO	DIÁMETRO
----------------	-----------------	----------	----------

SUPERIOR	Arena gruesa	1-2	50
SEGUNDA	Gravilla fina	2-5	50
TERCERA	Gravilla	5-10	50
INFERIOR	Grava	10-25	150

Para definir el tamaño del tamiz de lecho filtrante se tuvo en cuenta la siguiente información (Tabla 6).

Tabla 6. Características de la grava [32]

TAMIZ N°. TAMAÑO	TAMIZ N°. TAMAÑO	TAMIZ N°. TAMAÑO
6"	150	100
4"	100	90 – 100
3"	75	80 – 100
2"	50	70 – 95
1"	25	60 – 80
1/2"	13	40 – 70
4	4,75	10 – 20
10	2	0

### 3.3.7 Etapa 7. Puesta en marcha de los FAFA

El agua residual proveniente del tanque principal, empieza su recorrido por los filtros y en uno de éstos, pasa por la biopelícula de microorganismos inoculados previamente, la cual se encuentra adherida a la grava, contribuyendo a que la carga contaminante del agua residual se descomponga a través de un proceso de oxidación.

Los filtros anaerobios generalmente operan en modo de flujo ascendente, ya que así hay menos riesgo de que se lave la biomasa fija. Por esta razón se le denomina Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) [33.]



Figura 8. FAFAs en funcionamiento

Se puede observar a continuación, cada filtro en planta en su respectivo medio de soporte, iniciándose el proceso de puesta en marcha (Figura 8).



Figura 9. FAFAs con medio de soporte de grava (Filtro 1 con ME y filtro 2 sin ME)

### 3.3.8 Etapa 8. Muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos para evaluación de eficiencia de los FAFAS con y sin ME

La evaluación de la eficiencia de los EM se realizó a partir de 12 muestreos puntuales, durante 12 días, utilizando los materiales e instrumentos del laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca (entrada y

salida), con ello se evidenció la efectividad del sistema de filtración lento en grava de flujo ascendente. Las pruebas se realizaron, una por día (muestras puntuales).

La caracterización se basó en la medición de parámetros de calidad del agua sintética con el uso de un espectrofotómetro marca HACH-DR 2700 con un rango de longitud de onda de 400-900 nm y una precisión de  $\pm 1.5$  nm y un potenciómetro SEVEN COMPACT con una precisión de concentración de  $\pm 0,5\%$ , en relación con la efectividad del filtro frente a la utilización de microorganismos eficientes. Para tal objetivo, se definieron como parámetros químicos claves en el desarrollo del proyecto, la DQO, SST, pH y T°, además del Versaklin como ME, compuesto por organismos benéficos y altamente eficientes que no son nocivos, patógenos, ni genética y químicamente modificados.

Para la medición de la DQO y SST se llevó a cabo con ayuda del espectrofotómetro donde se realizaron 2 pruebas diarias de las cuales una era para DQO y la otra para SST, sin embargo cabe resaltar que en primera instancia se calibró el espectrofotómetro colocando un beaker con 10 ml de la muestra en blanco (agua destilada), posteriormente se procedió a tomar la primera muestra con 10ml de agua sin ME, luego se volvió a calibrar el espectrofotómetro con la muestra en blanco para tomar la segunda muestra de agua con EM, realizándose el mismo procedimiento para los SST.

Por otro lado, la medición de pH y T, se llevó a cabo con ayuda del Peachimetro y se realizaron 2 pruebas diarias, con el fin de calcular los valores de pH y temperatura de cada una de las muestras. Para ello, no hubo necesidad de calibrar el Peachimetro, así que directamente se colocó un beaker con 400 ml de la primera muestra que era la de agua sin ME para obtener los datos de pH y temperatura, luego se procedió a calcular éstos mismos parámetros en la muestra con EM, agregando en otro beaker 400ml de esta muestra. Este procedimiento se realizó durante los 12 días que duró la toma de datos.

Así mismo, se calcularon los parámetros físico-químicos del agua efluente del proceso de filtración, para evidenciar la efectividad del sistema de filtración lento en grava de flujo ascendente. La caracterización se basó en la medición de

variables con los siguientes parámetros químicos y sus equipos correspondientes (Figura 9 y 10), como se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos evaluados

PARÁMETRO	SIGLAS	UNIDAD	EQUIPO
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	DQO	mg/l	Espectrofotómetro y kit reactivo
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST	mg/l	Espectrofotómetro
POTENCIAL HIDROGENO	pH	Unidades	Potenciómetro
TEMPERATURA	T°	°C	Potenciómetro



Figura 10. Toma de parámetros fisicoquímicos de las AR



Figura 11. Espectrofotómetro utilizado en el Laboratorio Químico

Después de inoculados los microorganismos por un mes y medio, se colocó esta biopelícula en uno de los filtros, se procedió a calcular el caudal con el método de aforo y se efectuó la puesta en marcha los filtros con los microorganismos para su respectiva aclimatación y creación de la biopelícula.



### 3.3.9 Etapa 9. Comparación de medias con Poblaciones apareadas

En este estudio se realizó la toma de muestras a dos filtros, con medios de soporte idénticos, pero uno de los filtros Microorganismos eficientes y el otro filtro solo contiene grava como lecho filtrante, que a su vez son abastecidos por la misma fuente proveniente de agua residual sintética procedente del tanque principal.

Esto permitió plantear las siguientes hipótesis [35]:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$
- $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$

Sin embargo, para el caso apareado se ajustan a las siguientes hipótesis [35]:

- $H_0: \mu_d = 0$
- $H_a: \mu_d \neq 0$

Donde  $\mu_d$  es la media de las diferencias entre las dos muestras apareadas.

De esta manera, el problema se simplifica en comparar la media con una constante, por lo cual el estadístico de prueba será [35]:

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (6)$$

Donde:

$\bar{X}$  = corresponde a la media de las diferencias

$\mu_0$  = corresponde al valor de la constante que para este caso toma el valor de 0.

Por lo tanto, la expresión queda así [35]:

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{S_D/\sqrt{n}} \quad (7)$$

### 3.3.10 Etapa 10. Evaluación de la eficiencia de remoción, a través del análisis de los parámetros fisicoquímicos DQO, SST, T y pH

Por último, se evaluó la eficiencia de remoción del FAFA, con la inoculación de microorganismos eficientes y sin la inoculación de microorganismos eficientes, a través de la siguiente fórmula [36]:

$$E = \left( \frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100 \quad (8)$$

**Dónde:**

**E:** Eficiencia de remoción, %

**S<sub>0</sub>:** Carga contaminante de salida (mg/l)

**S:** Carga contaminante de entrada (mg/l)

Así mismo, calculó la Varianza (Poblacional). Se determinó la variabilidad de la variable aleatoria respecto a su media pues brindó información relevante sobre una variable en concreto [37].

$$S^2 = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}{n} \quad (9)$$

**Dónde:**

**S<sup>2</sup>** = Varianza

**$\bar{X}$**  = Media

**X<sub>i</sub>** = **Es** cada número del conjunto de datos

**n** = Cantidad de datos

Finalmente se calculó la desviación estándar, entendida como la raíz cuadrada de la varianza. De esta manera el problema se simplificó en comparar la media con una constante. Por lo cual el estadístico de prueba fue:

$$t^0 = \frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}} \quad (7)$$

**Dónde:**

**t<sub>0</sub>:** Comparación de medias con Poblaciones apareadas

**$\bar{d}$ :** Diferencia de las medias.

**S:** Desviación estándar.

**n:** Número de datos

Una vez calculado el valor de  $t_0$  (Comparación de medias con Poblaciones apareadas), se procedió a compararlo con  $t_{\alpha/2}=2,060$ , si  $t_0$  es mayor que  $t_{\alpha/2}$ , se deduce que hay una diferencia significativa de remoción de los parámetros físico-químicos medidos [35].

## **CAPITULO IV: RESULTADOS**

A continuación, se presentan los resultados y análisis que arrojó el trabajo de investigación con el fin de determinar la eficiencia de remoción de DQO y SST en dos filtros anaerobios de flujo ascendente, uno de ellos inoculado con microorganismos eficientes y el otro sin microorganismos eficientes.

### *4.1 Características de diseño de los FAFAS*

En relación al cumplimiento del primer objetivo del presente trabajo de investigación: “Diseñar y construir el filtro anaerobio de flujo ascendente con lecho de grava con y sin inoculación de EM” (Ver Figura 4, 8 y 9), se tienen FAFAS de flujo ascendente con las siguientes especificaciones:

Especificaciones del filtro

\*Volumen de los filtros:  $20L=0,02 \text{ m}^3$

\*Porosidad de la grava: 40%

\*TR (Tiempo de retención): 3.87h

\*Q del filtro: 0.1 m<sup>3</sup>/día

Cabe resaltar que el caudal del filtro se determinó utilizando el método volumétrico, aforando a la salida de los filtros, obteniendo resultados como los que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Determinación de caudales para los FAFAS con y sin microorganismos eficientes

No tomas	FILTRO CON MICROORGANISMOS EFICIENTES		
	Vol (cm <sup>3</sup> )	Tiempo (seg)	Q (cm <sup>3</sup> /seg)
1	9	10,42	0,86
2	7	10,56	0,66
3	10	10,4	0,96
4	9	10,42	0,86
5	6	10,41	0,58
6	9	10,24	0,88
7	8	10,56	0,76
8	6	10,81	0,56
9	6	10,71	0,56
10	8	10,7	0,75
11	8	10,65	0,75
12	8	10,37	0,77
13	6	10,97	0,55
14	14	10,43	1,34
15	8	10,52	0,76
16	9	10,91	0,82
17	8	10,5	0,76
18	7	10,46	0,67
19	6	10,66	0,56
20	8	10,65	0,75
21	8	10,54	0,76
22	8	10,38	0,77
23	7	10,98	0,64

24	8	10,65	0,75
25	8	10,63	0,75
		Promedio	0,75 cm <sup>3</sup> /s ≈ 0,1m <sup>3</sup> /día

Debido a que la distribución del afluente se derivó por medio de una tee para cada filtro solo se realizó cálculo de caudales en uno de los filtros. Como se pudo observar en la tabla anterior, el valor promedio de caudal a la salida del filtro es de 0,75 cm<sup>3</sup>/s ≈ 0,1m<sup>3</sup>/día.

Porosidad: La porosidad determinó el volumen útil de los reactores, además permitió una mejor distribución del flujo dentro del reactor evitando taponamiento y la colmatación del FAFA. Para este caso y de acuerdo con la literatura [27], se tomó como referencia una porosidad para la grava del 40%, con un diámetro promedio de 1”.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo específico de la presente investigación: “Evaluar la efectividad de los Microorganismos Eficientes en la remoción de DQO y SST del agua residual”, se procedió a calcular la eficiencia de remoción de éstos parámetros en cada uno de los filtros.

A continuación se puede evidenciar que es significativa la eficiencia obtenida en los FAFAS debido a la presencia de microorganismos eficientes, coadyuvando en la descomposición de la materia orgánica incluida en las aguas residuales, disminuyendo su contaminación.

#### *4.2 Cálculo de porcentaje de eficiencia de la DQO para cada filtro.*

Para el cálculo del porcentaje de eficiencia de la DQO, se empleó la (ecuación 8). A continuación se presenta la Tabla 9, en la que se puede identificar la eficiencia de remoción de este parámetro, tanto en el filtro con presencia de microorganismos eficientes, como en el filtro con ausencia de estos microorganismos (Figura 12).

Tabla 9. Remoción de la DQO en filtros con lecho de grava con y sin microorganismos eficientes

Fecha	Filtros con lecho de grava con microorganismos eficientes			Filtros con lecho de grava sin microorganismos eficientes		
	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Remoción (%)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Remoción (%)
07/12/2020	2460	564	77	2460	2262	8,05
09/12/2020	1289	409	68	1289	723	43,91
10/12/2020	1079	438	59	1079	991	8,16
11/12/2020	1615	541	67	1615	1431	11,39
14/12/2020	1232	695	44	1232	815	33,85
15/12/2020	1461	989	32	1461	1214	16,91
16/12/2020	1207	590	51	1207	1160	3,89
17/12/2020	1213	579	52	1213	1202	0,91
18/12/2020	1682	1069	36	1682	1543	8,26
21/12/2020	1705	1063	38	1705	1096	35,72
22/12/2020	1353	698	48	1353	1262	6,73
23/12/2020	1263	189	85	1263	1017	19,48
<b>PROMEDIO</b>	1463	652	55	1463	1226	16

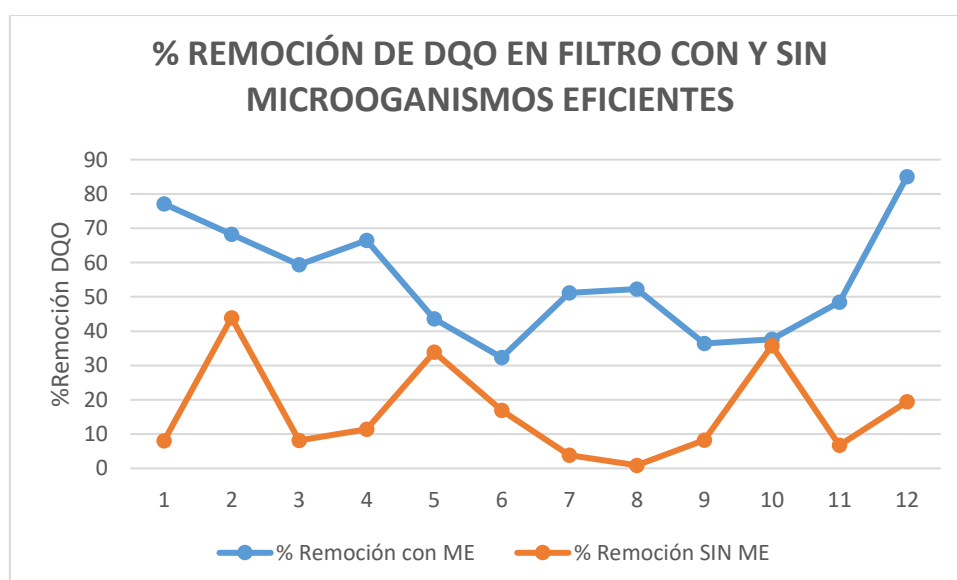


Figura 12. Porcentaje de remoción de la DQO durante los 12 muestreos

En la Tabla 9 y Figura 12, se observa los porcentajes de remoción de los filtros, donde FAFA con cultivo de microorganismos eficientes tiene un porcentaje promedio de remoción del 55 % y el FAFA sin microorganismos eficientes obtuvo una remoción de 16%. Esta gran diferencia de remoción de 39%, se debe a que los microorganismos eficientes utilizan los compuestos contaminantes presentes en las aguas residuales, como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, a medida que depuran las aguas y las descontaminan, obtienen los recursos para subsistir. Cabe indicar que a pesar de existir una gran diferencia de remoción de DQO al implementar ME en uno de los filtros, puesto que la concentración promedio pasa de 1463 mg/L a 652 mg/L, el valor de DQO para este caso no alcanza los límites máximos permisibles según la Resolución 883 del 2018, cuyo valor es de 200 mg/L.

Este panorama indica que el producto de microorganismos (Versaklyn), actúa sobre la materia orgánica de forma inmediata y eficiente, logrando disminuir el grado de contaminación existente [27].

La eficiencia de remoción varía con el tiempo, presentando alti –bajos, sin embargo al final tiende a aumentar debido a que con el tiempo se va fortaleciendo la biopelícula de microorganismos en el lecho filtrante. Cabe resaltar que existan otros factores que contribuyen a que dicha remoción aumente y baje con el tiempo; tal es el caso del aporte lateral de contaminantes u otro factor externo o ambiental en el filtro o agua residual [20].

Calculo de la eficiencia del lecho de grava

Eficiencia del lecho:

$$E = 100 \left( 1 - \frac{k}{\theta^m} \right) \quad (10) \quad [27]$$

Dónde:

**E:** Eficiencia del lecho

**K:** Para la grava 1.3

**m:** Coeficiente para la grava es de 0,66

$$E = 100 \left( 1 - \frac{1,3}{2,22 h^{0,66}} \right) = 23\%$$

Como se puede observar, la eficiencia de remoción de la carga contaminante en el lecho de grava es del 23% y de 55% debido al uso de ME en uno de los filtros, valores significativos en términos de disminución de contaminantes en el agua residual tratada, a pesar de que aún no cumplen los valores máximos permisibles de DQO para un agua residual, según la RAS 2018.

Presuntivamente los lechos en grava cuya superficie presentan mayor rugosidad favorecen el crecimiento y adhesión de la biopelícula, factor que favorece a la densidad microbiana la cual va a ser proporcional al consumo de nutrientes y por ende a la disminución de la concentración de la materia orgánica de salida.

#### 4.3 Calculo del porcentaje de eficiencia de SST para cada filtro

Los sólidos suspendidos totales (SST) se diferencian de los sólidos disueltos totales, en que el primero no puede pasar a través de un tamiz de dos micrómetros y aún están suspendidos indefinidamente en solución. El término “sólidos sedimentables” se refiere a materiales de cualquier tamaño no se mantiene suspendido o disuelto en un tanque no está sujeto a retención de movimiento [41].

El resultado frente al porcentaje de remoción de SST en un filtro con microorganismos eficientes vs al que no los tiene, se puede observar en la Tabla 10:

Tabla 10. Eficiencia de remoción de SST en AR

Fecha	Filtro con lecho de grava con microorganismos eficientes.			Filtro con lecho de grava sin microorganismos eficientes.		
	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Remoción (%)	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Remoción (%)
07/12/2020	159	95	40,25	159	137	13,84



09/12/2020	177	97	45,20	177	175	1,13
10/12/2020	140	56	60,00	140	132	5,71
11/12/2020	217	70	67,74	217	201	7,37
14/12/2020	381	104	72,70	381	178	53,28
15/12/2020	201	133	33,83	201	177	11,94
16/12/2020	174	74	57,47	174	155	10,92
17/12/2020	168	70	58,33	168	162	3,57
18/12/2020	247	146	40,89	247	213	13,77
21/12/2020	295	132	55,25	295	145	50,85
22/12/2020	175	49	72,00	175	174	0,57
23/12/2020	285	75	73,68	285	146	48,77
Promedio	218	92	56	218	166	18

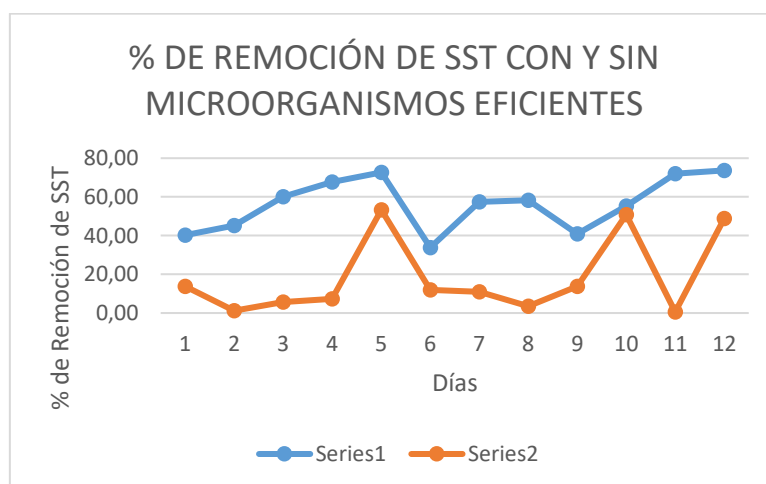


Figura 13. Eficiencia de remoción de SST

En Tabla 10 y Figura 13, se observan los porcentajes de remoción de los filtros, donde el FFAA con microorganismos eficientes tiene un porcentaje promedio de remoción del 56 % y el FFAA sin microorganismos eficientes obtuvo un valor de 18%. Estos resultados fundamentan la importancia del producto de microorganismos (Versaklyn), el cual es clave en la remoción de materia orgánica de forma inmediata y eficiente, reduciendo su contaminación [27].

Cabe resaltar que el valor promedio de remoción de SST con ME, paso de 218 mg/L a 92 mg/L, resultado favorable ya que se encuentra por debajo del valor permisible según la Resolución 883 del 2018 (100 mg/L).

La eficiencia de remoción varía con el tiempo, presentando alti –bajos, muy posiblemente a factores que llegan al tanque de agua residual o directamente al filtro anaerobio, provocando que dicha remoción aumente y baje con el tiempo [20].

#### 4.4 Toma de pH en los FAFAS con y sin ME

que el filtro con microorganismos eficientes tiene mayor número de iones de hidrógeno lo cual indica un rango ligeramente ácido, mientras que el filtro sin microorganismos eficientes tiende a tener un mayor porcentaje de iones de hidróxido por lo cual establece un rango ligeramente básico (Figura 14).

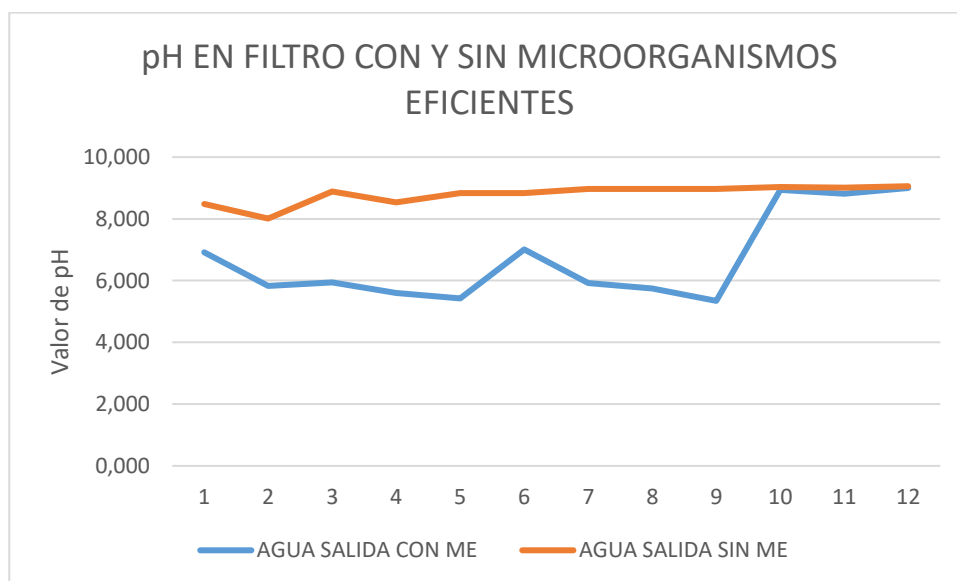


Figura 14. Valores de pH con respecto al tiempo

En la tabla 11 se muestran los valores promedios de pH para ambos filtros:

Tabla 11. Valores de pH de los FAFAS con y sin ME

FECHA	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA CON ME	AGUA SALIDA SIN ME
07/12/2020	8,764	6,915	8,482
09/12/2020	8,610	5,826	8,010
10/12/2020	8,919	5,942	8,885
11/12/2020	8,886	5,595	8,534
14/12/2020	8,750	5,422	8,838
15/12/2020	10,040	7,010	8,832
16/12/2020	9,036	5,925	8,969
17/12/2020	9,010	5,746	8,971
18/12/2020	9,000	5,344	8,969
21/12/2020	9,009	8,938	9,030
22/12/2020	9,001	8,817	9,012
23/12/2020	10,040	9,001	9,058

Valores de pH de 5 a 8, son adecuados para el desarrollo y colonización de los microorganismos benéficos, principalmente en zonas muertas.

4.5 Relación de las temperaturas en el filtro con microorganismos eficientes vs filtro sin microorganismos eficientes.

A continuación se presenta la variación de la temperatura de los FAFAS con y sin ME (Figura 15):

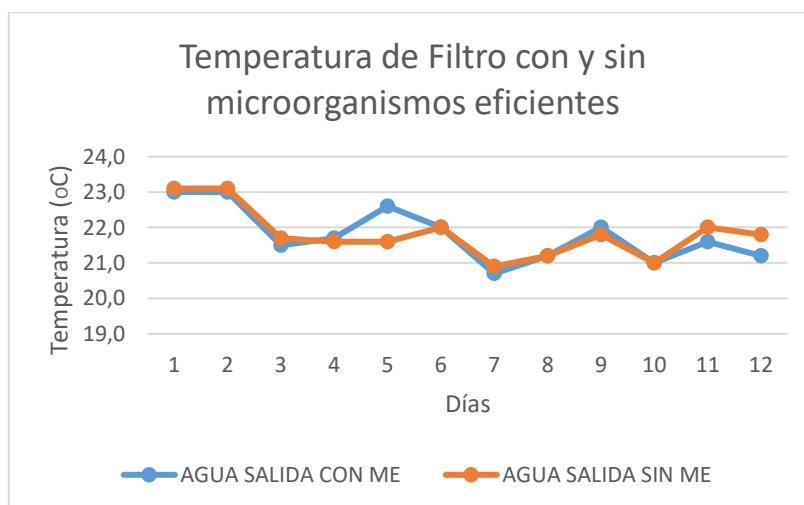


Figura 15. Valores de temperatura en relación al tiempo

Tabla 12. Valores de Temperatura para los FAFAS con y sin ME

FECHA	AGUA ENTRADA	AGUA SALIDA CON ME	AGUA SALIDA SIN ME
07/12/2020	23,0	23,0	23,1
09/12/2020	22,0	23,0	23,1
10/12/2020	21,5	21,5	21,7
11/12/2020	21,4	21,7	21,6
14/12/2020	22,1	22,6	21,6
15/12/2020	22,0	22,0	22,0
16/12/2020	21,1	20,7	20,9
17/12/2020	21,1	21,2	21,2
18/12/2020	21,8	22,0	21,8
21/12/2020	21,0	21,0	21,0
22/12/2020	21,8	21,6	22,0
23/12/2020	21,6	21,2	21,8

Como se puede observar en la Tabla 12, las temperaturas entre 20 °C y 23 °C, son óptimas para el crecimiento de los microorganismos y por ende la degradación de la materia orgánica, expresado en la disminución de DQO y SST, mejorando así las condiciones higiénico-sanitarias del agua tratada [20].

#### 4.6 Muestras apareadas de la concentración de la DQO

Se procedió a calcular el método estadístico de comparación de medias con poblaciones apareadas, teniendo en cuenta que en este método se toman muestras aleatorias en los dos filtros sometidos a las mismas condiciones, abastecidos por el mismo efluente.

Después de calcular la diferencia entre los valores de DQO con y sin ME, se procedió a calcular la media, varianza y desviación estándar, valores requeridos para realizar el cálculo de  $t_0$  (Comparación de medias con poblaciones apareadas), el cual se emplea para determinar si los efluentes son iguales o diferentes de acuerdo con los parámetros evaluados (Tabla 13).

Tabla 13. Método estadístico de comparación de medias con poblaciones apareadas para las concentraciones de DQO

No	AGUA SALIDA SIN ME	AGUA SALIDA CON ME	Diferencia
1	2262	564	1698
2	723	409	314
3	991	438	553
4	1431	541	890
5	815	695	120
6	1214	989	225
7	1160	590	570
8	1202	579	623
9	1543	1069	474
10	1096	1063	33
11	1262	698	564
12	1017	694	323
PROMEDIO	1226	694	532
VARIANZA	146659,7	47911,6	175539,4
DESVIACION STANDAR	382,96	218,88	418,97

Para obtener el resultado del método estadístico y establecer si los efluentes son iguales o diferentes, se aplica la (ecuación 10) del método estadístico, así:

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{S_D/\sqrt{n}} \quad (7)$$

Donde:

$\bar{d}$  = corresponde a la media de las diferencias

$S_D$ = Desviación estándar

$n$ =Número de datos

Por lo tanto, la expresión queda así:

$$t_0 = \frac{532}{418,97/\sqrt{12}} = 4,4$$

El cual dio como resultado una  $t_0 = 4,4$ , valor mayor a  $t_{\alpha/2} = 2,060$ , lo que significa que hay una diferencia significativa de remoción de DQO entre los dos filtros, sin duda alguna es evidente y confirmado a través de este método, la eficiencia de remoción producida por los microorganismos eficientes.

#### 4.7 Muestras apareadas de la concentración de la SST

En la tabla 14 se realizó el de la media, varianza y desviación estándar, valores requeridos para realizar el cálculo de  $t_0$  (Comparación de medias con poblaciones apareadas), el cual se emplea para determinar si los efluentes son iguales o diferentes de acuerdo con los parámetros evaluados.

Tabla 14. Método estadístico de comparación de medias con poblaciones apareadas para las concentraciones de SST

Días	AGUA SALIDA SIN ME	AGUA SALIDA CON ME	Diferencia
1	271	75	196
2	175	49	126
3	132	56	76
4	201	70	131
5	178	104	74
6	177	133	44
7	155	74	81
8	162	70	92
9	213	146	67
10	145	132	13
11	174	97	77
12	146	95	51
PROMEDIO	177	92	86
VARIANZA	1286,58	925,02	2065,72
DESVIACION STANDAR	35,87	30,41	45,45

Para obtener el resultado del método estadístico y establecer si los efluentes son iguales o diferentes, se aplica la (ecuación 10) del método estadístico, así:

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{S_D/\sqrt{n}} \quad (7)$$

Donde:

$\bar{d}$  = corresponde a la media de las diferencias

$S_D$  = Desviación estándar

$n$  = Número de datos

Por lo tanto, la expresión queda así:

$$t_0 = \frac{86}{45,45/\sqrt{12}} = 6,55$$

El cual dio como resultado una  $t_0 = 6,55$ , valor mayor a  $t_{\alpha/2} = 2,060$ , lo que significa que hay una diferencia significativa de remoción de SST entre los dos filtros, sin duda alguna es evidente y confirmado a través de este método, la eficiencia de remoción producida por los microorganismos eficientes.

## V. CONCLUSIONES

Cálculos estadísticos e información técnica proporcionada por la RAS-2000, contribuyó en el diseño y construcción de un FAFA compuesto por dos recipientes de plástico con una capacidad máxima de 20 L, un lecho filtrante de grava con 40% de porosidad, un TRH de 3,87 horas y un caudal promedio de 0.1 m<sup>3</sup>/día obtenido a través del método volumétrico, aforando a la salida de los filtros, siendo una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales

domesticas e incluso industriales, ya que no tienen mayores requerimientos, ni personal calificado para el mantenimiento y los costos de operación e implementación son bajos.

Los microorganismos eficientes inoculados en FAFAS (producto Versaklin), son capaces de ejercer su influencia degradadora sobre la materia orgánica presente en aguas residuales, arrojando un porcentaje de remoción de DQO y SST de 55% y 56% respectivamente, en comparación con el obtenido en el FAFAS sin microorganismos eficientes y que correspondieron a 16% y 18%. Cabe resaltar que la diferencia entre los datos obtenidos fue significativa, ya que al realizar el cálculo de  $t_{\alpha/2}$  (Comparación de medias con poblaciones apareadas), se obtuvieron valores superiores a  $t_{\alpha/2}$ , evidenciando y confirmando la eficiencia de remoción producida por los microorganismos eficientes.

## RECOMENDACIONES

- Es importante continuar con la realización de trabajos de investigación que permitan determinar la eficiencia de remoción de otros parámetros físico-químicos de gran importancia ambiental tales como fosforo, nitrógeno y materia orgánica en función de la DBO<sub>5</sub>, para identificar la calidad del agua residual durante su tratamiento.



- Es fundamental controlar los afluentes con un tratamiento previo (primario) en el sistema con el fin de evitar posibles colmataciones u obstrucciones en el sistema y de esta manera poder obtener datos confiables.
- Resulta importante tener cuidado con las estructuras de distribución del fluido y de recolección del efluente, para que haya uniformidad en la distribución del flujo al interior del filtro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. Melendo. El agua, un recurso cada vez más estratégico. 2016. [Online]. Available: <http://Dialnet-ElAguaUnRecursoCadaVezMasEstrategico-6115630.pdf>. [Accessed: 27-Oct-2019].
- [2] Maldonado, J., Rodríguez, J., & Cajibao, Á. (2017). Treatment landfill leachate in filters anaerobic upflow of two phases (DI-FAFS). *Ingeniería UC*, 2-3.
- [3] Romero, T., & Dabiel, V. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 1-2.
- [4] N. Chulluncuy. Tratamiento de agua para consumo humano. 2011. [Online]. Available:<https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>. [Accessed: 27-Oct-2019].
- [5] Larios, F., González, C., & Yennyfer, M. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 1-2.
- [6] Correa, D., Jesús, T., & Zambrano, A. (2020). Desarrollo de una Propuesta de un Sistema de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales mediante Tanques Sépticos Integrados en las veredas La Depresión, Guavito y Lamedero en el Municipio de La Sierra, Departamento del Cauca. *UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD*, 5.
- [7] M. Gil et, al. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. 2012. [Online]. Available:<http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>. [Accessed: 27-Oct-2019].
- [8] M. Córdoba, V. Del Cocco, and J. Basualdo. Agua y salud humana. *Química Viva*, vol. 9, no. 3, pp. 105–119, 2010.

- [9] Fernández, C. (2 de Febrero de 2015). *ABC Sociedad*. Obtenido de [https://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html#ancla\\_comentarios](https://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html#ancla_comentarios).
- [10] Romero, S. E. G., & others. (2008). Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por *Pseudomonas* en suelos contaminados por hidrocarburos. *Nova*, 6(9). Recuperado a partir de <http://unicolmayor.edu.co/publicaciones/index.php/nova/article/view/108>.
- [11] Pérez. Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. 2015. [Online]. Available:<http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v18n2/v18n2a11.pdf>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [12] Díaz, T. (2019). Determinación de la efectividad del uso de microorganismos de montaña para el tratamiento de las aguas residuales in vitro en el caserío de Chontamuyo-San Martín 2018. *Universidad Peruana Unión*, 12-13.
- [13] Toc, R. (2012). Efecto de los Microorganismos Eficientes EM en las aguas residuales de la granja porcina de Zamorano-Honduras. *Departamento de Ciencia y producción agropecuaria.*, 7-10.
- [14] Prado, X. (2017). Tratamiento de los residuos sólidos generados en sanitarios ecológicos mediante el uso de microorganismos eficientes en un proceso de compostaje. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 14-15.
- [15] Cruz, N. (2010). Aprovechamiento y manejo de desechos orgánicos de cocina utilizando microorganismos eficientes de montaña (MEM) aislados de dos bosques secundarios de Costa Rica. *Instituto Tecnológico de Costa Rica*, 11-12.
- [16] Vargas, A., & Yud, M. (2013). Tratamiento biológico de aguas residuales generadas en la Universidad Libre sede bosque popular por medio del

- sistema de reactor anaerobio de flujo ascendente uasb a escala piloto. *Universidad Libre*, 16-17.
- [17] Castaño, E., & Duverney, G. (2017). Evaluación y formulación de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria porcícola en Risaralda. *Universidad Libre - seccional Pereira*, 2-3.
- [18] Galindo et, al. Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte. 2016. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2016000200039](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2016000200039). [Accessed: 8-Sep-2019].
- [19] Gualteros & Chacón. "Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio guaduas undinamarca vereda la yerbabuena". 2015. [Online]. Available: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17426/41081016\\_2015.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17426/41081016_2015.pdf?sequence=1). [Accessed: 5-Sep-2019].
- [20] J. Romero. "Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas". 2017. [Online]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v38n3/riha08317.pdf>. [Accessed: 5-Sep-2019]. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, vol. XXXVIII, No. 3, Sep-Dic 2017, p. 88-100.
- [21] C. León Gil. "Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método calorimétrico". 2009. [Online]. Available: <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1780>. [Accessed: 4-Sep-2019].
- [22] CORPONARIÑO. "Análisis de aguas". 2010. [Online]. Available: <http://corponarino.gov.co/modules/wordbook/entry.php?entryID=367>. Accessed: 6-Sep-2019].

- [23] E. Díaz. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. 2012. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>. [Accessed: 28-Oct-2019].
- [24] Duque, L. (2010). *Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas*. Recuperado a partir de <https://www.crq.gov.co/Documentos/DESCARGA%20DE%20DOCUMENTOS/BASESCONCURSO.pdf>
- [25] Arango Muñoz, L., & López Hincapié, J. D. (2011). Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque. Recuperado a partir de <http://repository.udem.edu.co/handle/11407/1232>
- [26] Garcés Rodríguez, L. E., & Patiño Erazo, C. E. (2012). Implementación de un sistema de tratamiento de agua residual para la obtención de la licencia ambiental en la compañía empacadora Empacreci SA en el cantón Durán provincia del Guayas, durante el año 2012. Recuperado a partir de <http://190.95.144.28/handle/123456789/320>
- [27] RAS, M. d. (2000). *Reglamento de agua potable y saneamiento básico, título E*. Bogota: MinEconomico.
- [28] Boqué, R., & Maroto, A. (2004). *El análisis de la varianza (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones*. Recuperado de <https://docs.google.com/viewer>. Recuperado a partir de <http://www.quimica.urv.cat/quimio/general/anovacast.pdf>
- [29] MICROCROM. 2015. [Online]. Available: <https://www.aguasresiduales.info/expertos/tus-consultas/preparacion-de-agua-residual-sintetica-VYAgl>. [Accessed: 20-May-2020]
- [30] A. Ramón. J Maldonado. "Sistema de tratamiento para aguas residuales

- industriales en mataderos" 2013. Revista Ambiental agua, aire y suelo. [Online]. Available: [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/RA/article/view/112](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/112). [Accessed: 08-Sep-2019].
- [31] EPM. Norma de construcción filtros de arena y cascajo. S, f. [Online]. Available: [https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC\\_MN\\_OC08\\_17\\_Filtros\\_de\\_arena\\_y\\_cascajo.pdf?ver=2019-01-28-143028-507](https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_MN_OC08_17_Filtros_de_arena_y_cascajo.pdf?ver=2019-01-28-143028-507). [Accessed: 29-Oct-2019].
- [32] R. Rojas et, al. Construcción, operación y mantenimiento del filtro de arena. 2000. Hoja de Divulgación Técnica, 76. Lima, OPS/CEPIS, UNATSABAR. [Online]. Available: [http://www.bvsde.paho.org/eswww/tecapropiada/otrateg/cepis/ht\\_fil\\_01.pdf](http://www.bvsde.paho.org/eswww/tecapropiada/otrateg/cepis/ht_fil_01.pdf). [Accessed: 29-Oct-2019].
- [33] Cisneros, & Pablo. (2009). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Obtenido de Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento: [https://sswm.info/gass-perspective-es/tecnologias-de/filtro-anaerobio-de-flujo-ascendente#:~:text=Un%20filtro%20anaerobio%20es%20un,2018](https://sswm.info/gass-perspective-es/tecnologias-de/filtro-anaerobio-de-flujo-ascendente#:~:text=Un%20filtro%20anaerobio%20es%20un,2018))).
- [34] Moral Peláez, I. (2012). Comparación de medias. Revista SEDEN. Recuperado a partir de <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www.revistaseden.org/files/12-CAP%252012.pdf>
- [35] G. P., H.; De la V. S., R. Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. Segunda Edición, 2009, p, 76. [Online]. Available. <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- [36] Núñez, V., Elena, G. D. C., & others. (2013). *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana*. Universidad Nacional del Colombia. Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/49437/>

- [37] Test de Hipótesis de dos parámetros. (s. f.). [Online]. Available: <http://www.fca.unl.edu.ar/InferEst/TestHipot2.htm>. [Accessed: 12-04-2019].
- [38] Acosta, C., Benavides, J., & Sierra, C. (2015). Análisis cualitativo del deterioro de la calidad del agua y la infección por *Helicobacter pylori* en una comunidad de alto riesgo de cáncer de estómago (Cauca, Colombia). *Scielo*, 3-4.
- [39] ONU. (2015, febrero 2). El 70% de las aguas residuales del mundo no reciben el tratamiento adecuado. Recuperado 25 de enero de 2017, a partir de <http://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html>
- [40] Quintero, I. (2012). Ejecución del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de la empresa palmas del cesar, ubicada en el corregimiento minas del municipio de san martín, cesar, por parte de la empresa varco ingenieros constructores s.a.s. *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*, 25.
- [41] Otiniano, R. (2016). Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal El Porvenir-Trujillo. Trujillo: Universidad César Vallejo.