

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**“Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía – Morales, 2018”**

Por:

Ander Jaramillo Mondragón  
Jesús Jhoel Paredes Togas

Asesor

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

**Tarapoto, mayo del 2019**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE DOS FILTROS PERCOLADORES EN SERIE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA URBANIZACIÓN SANTA LUCÍA – MORALES, 2018" constituye la memoria que presentan los Bachilleres Jesús Jhoel Paredes Togas y Ander Jaramillo Mondragón para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental, ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Tarapoto, a los 21 días del año 2019



---


Juan Eduardo Vigo Rivera

**“Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros  
percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales  
domésticas en la urbanización Santa Lucía – Morales, 2018”**

# **TESIS**

Presentada para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental

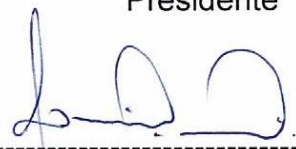
## **JURADO CALIFICADOR**

  
-----  
Mg. Delbert Eleasil Condori Moreno

Presidente

  
-----  
Mg. Betsabeth Teresa Padilla Macedo


Secretario

  
-----  
Ing. Jhon Patrick Ríos Bartra

Vocal

  
-----  
Ing. Carmelino Almaster Villegas

Vocal

  
-----  
Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera

Asesor

Tarapoto, 21 de mayo del 2019

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a Dios porque él es nuestro creador, amo y señor; dador de la sabiduría y conocimiento. Nuestra gratitud a nuestros padres porque nos brindaron su apoyo incondicional para llevar a cabo este trabajo y cumplir una de nuestras metas.

## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios, quien nos brindó las fuerzas necesarias y el conocimientos para llevar a cabo esta investigación. Nuestro agradecimiento profundo a nuestros padres, familiares, asesores y a todas las personas que nos apoyaron en los momentos decisivos con sus consejos, orientaciones y motivaciones para contribuir de manera positiva en la realización de este trabajo.

## Índice

Dedicatoria .....	IV
Agradecimientos .....	V
Resumen .....	XIII
Abstract.....	XIV
Capítulo I. Introducción .....	15
1.1 Identificación del problema .....	15
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos .....	16
1.3 Justificación.....	17
1.4 Presuposición filosófica.....	19
Capítulo II. Revisión de literatura .....	20
2.1 Fundamentos del objeto de estudio .....	20
2.1.1 Tratamiento de aguas residuales.....	20
2.1.2 Filtración Biológica .....	23
2.1.3 El filtro percolador o biofiltro .....	24
2.1.4 La piedra Pómez.....	34
2.2 Marco Legal.....	35
2.2.1 Constitución Política del Perú.....	35
2.2.2 Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 .....	35
2.2.3 Norma OS.090 .....	35

2.2.4	Ley general del ambiente, ley N° 28611 .....	36
2.2.5	D.S N° 003-2010-MINAM: LMP para los efluentes de PTAR.....	37
2.2.6	Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.....	37
2.3	Definición de Términos.....	37
2.4	Antecedentes de la investigación .....	41
2.4.1	Antecedentes internacionales.....	41
2.4.2	Antecedentes nacionales .....	44
Capítulo III. Materiales y métodos.....		46
3.1	Descripción del área de estudio.....	46
3.2	Población y muestra .....	46
3.2.1	Población .....	46
3.2.2	Muestra.....	46
3.3	Diseño de investigación .....	46
3.4	Formulación de hipótesis .....	47
3.4.1	Hipótesis nula.....	47
3.4.2	Hipótesis alterna .....	47
3.5	Identificación de variables.....	48
3.5.1	Variable independiente .....	48
3.5.2	Variable dependiente .....	48
3.6	Operacionalización de variables .....	48
3.7	Instrumentos de recolección de datos .....	49
3.7.1	GPS.....	49
3.7.2	Multiparámetro .....	49

3.7.3	Jarras graduadas.....	49
3.7.4	Cinta métrica .....	49
3.8	Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos.....	49
3.8.1	Técnicas de recolección de datos.....	49
3.8.2	Validación de instrumentos .....	50
3.9	Materiales y equipos .....	50
3.9.1	Materiales para la construcción del sistema de filtros percoladores en serie.....	50
3.9.2	Materiales y equipos de campo.....	52
3.10	Diseño y construcción del sistema de filtros percoladores en serie .....	53
3.11	Cálculos para el dimensionamiento de los filtros percoladores .....	57
3.12	Construcción del filtro percolador .....	58
3.13	Variables de operación de los filtros .....	62
3.14	Funcionamiento del sistema de filtros percoladores en serie .....	64
3.15	Recolección de muestra.....	65
3.16	Procesamiento de los datos .....	66
3.17	Métodos analíticos y frecuencia de muestreo .....	66
Capítulo IV. Resultados y discusión .....		67
4.1	Resultados.....	67
4.1.1	Características del agua residual a tratar .....	67
4.1.2	Dimensionamiento de los fitros percoladores .....	67
4.1.3	Comportamiento de los parámetros durante el tratamiento .....	68
4.1.4	Determinación de la eficiencia del sistema de filtros percoladores.....	73
4.2	Discusión .....	74



Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones .....	76
5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	77
Referencias.....	78
ANEXOS.....	83

## Índice de Tablas

Tabla 1. Composición del agua residual doméstica .....	21
Tabla 2. Características de los filtros percoladores.....	27
Tabla 3. Variables externas del filtro percolador .....	29
Tabla 4. Operacionalización de variables de la investigación.....	48
Tabla 5. Métodos de análisis de los parámetros .....	66
Tabla 6. Características del agua residual a tratar .....	67
Tabla 7. Variables de operación de los filtros percoladores.....	68
Tabla 8. Eficiencia del sistema de filtros percoladores.....	73

## Índice de Figuras

Figura 1. Composición de las aguas residuales domésticas .....	21
Figura 2. Esquema de la película biológica en un filtro percolador.....	24
Figura 3. Imagen de una piedra Pomez.....	35
Figura 4. Esquema del diseño de investigación .....	47
Figura 5. Vista de planta del filtro Percolador .....	53
Figura 6. Vista frontal del filtro Percolador.....	54
Figura 7. Diagrama del sistema de filtros percoladores en serie .....	55
Figura 8. Tubería de recirculación del sistema de filtros percoladores en serie.....	56
Figura 9. Adición de piedra pómez al filtro.....	59
Figura 10. Bomba de agua de 220 V .....	60
Figura 11. Sistema de Filtros Percoladores en serie terminado .....	61
Figura 12. Comportamiento de la DBO durante el tratamiento .....	69
Figura 13. Comportamiento de la DQO durante el tratamiento.....	70
Figura 14. Comportamiento de SST durante el tratamiento.....	71
Figura 15. Comportamiento del pH durante el tratamiento .....	72
Figura 16. Comportamiento de la temperatura durante el tratamiento .....	73

## Índice de Anexos

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la urbanización Santa Lucía .....	84
Anexo 2. Resultados de la caracterización del agua residual doméstica .....	85
Anexo 3. Caracterización de agua residual a los 15 días del ensayo.....	86
Anexo 4. Caracterización de agua residual a los 30 días del ensayo.....	87
Anexo 5. Caracterización de agua residual a los 40 días del ensayo.....	88
Anexo 6. Presupuesto general del Proyecto. ....	89
Anexo 7. Panel fotográfico .....	91

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía –Morales. Se diseñó y construyó el sistema de filtros. La geometría de estos fue prismática con bases hexagonales regulares de 0.14 m de lado, caras laterales rectangulares de 1.30 m de altura y 0.14 m de ancho. El material de construcción fue vidrio de 6 mm en las paredes y 8 mm en la base. La muestra está representada por el agua residual doméstica proveniente de un biodigestor. Se midió los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, T, pH y SST. Las mediciones se realizaron al inicio, a los 15, 30 y 40 días que duró el ensayo. Los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO del agua residual proveniente del biodigestor, no cumplieron el LMP del DS N° 003-2010-MINAM, mientras que los parámetros SST, temperatura y pH sí cumplieron. El diámetro de cada filtro fue 0.28 m, el área de 0.051 m<sup>2</sup> y el volumen de 0.066 m<sup>3</sup>. El caudal empírico disminuyó conforme transcurrían los días, debido a que el sistema operó con recirculación. A medida que transcurre el tiempo, la DBO<sub>5</sub>, DQO, SST disminuyen, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación negativa, siendo respectivamente -0.87, -0.80 y -0.77. Por otro lado, el pH aumenta ligeramente y la temperatura disminuye, a medida que transcurre el tiempo. Al finalizar el proceso, todos los parámetros cumplieron el LMP. La eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales con dos filtros percoladores en serie, al final del ensayo (40 días) fue de 98.12%, 96.36% y 95.76% para DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, respectivamente. Se concluye que el tratamiento de aguas residuales domésticas con filtros percoladores es eficiente en la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST.

**Palabras claves:** Filtro percolador, agua residual doméstica, DBO<sub>5</sub>, Eficiencia de tratamiento.

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the efficiency of a system of two percolating filters in the series for the treatment of domestic wastewater in the Santa Lucia -Morales urbanization. The filter system was designed and built. The geometry of these was prismatic with regular hexagonal bases of 0.14 m on each side, rectangular side faces of 1.30 m in height and 0.14 m in width. The construction material was 6 mm glass in the walls and 8 mm in the base. The sample is represented by domestic wastewater from a biodigester. The parameters DBO5, DQO, T, pH and SST were measured. The measurements were made at the beginning, at 15, 30 and 40 days of the trial. The parameters DBO5 and DQO of the wastewater from the biodigester, did not comply with the LMP of DS N° 003-2010-MINAM, while the parameters SST, temperature and pH did comply. The diameter of each filter was 0.28 m, the area of 0.051 m<sup>2</sup> and the volume of 0.066 m<sup>3</sup>. The empirical flow decreased as the days passed, because the system operated with recirculation. As time passes, the DBO5, DQO, SST decrease, which is evidenced by the negative correlation coefficient, being respectively -0.87, -0.80 and -0.77. On the other hand, the pH increases slightly and the temperature decreases, a measure that elapses time. At the end of the process, all parameters met the LMP. The efficiency of the wastewater treatment system with two trickling filters in series, at the end of the trial (40 days) was 98.12%, 96.36% and 95.76% for DBO5, DQO and SST, respectively. It is concluded that the treatment of domestic wastewater with trickling filters is efficient in the removal of DBO5, DQO, SST.

**Key words:** Percolator filter, domestic wastewater, DBO5, Efficiency of treatment.

## Capítulo I

### Introducción

#### 1.1 Identificación del problema

En el mundo se presentan diversos problemas ambientales, dentro de ellos tenemos la generación de aguas residuales domésticas. Rodríguez (2014) menciona que, al no darles un tratamiento previo, estas generan contaminación al ambiente y problemas a la salud de todo ser vivo, y es por eso que deben pasar por un tratamiento adecuado para minimizar los contaminantes y cumplir con las normas vigentes establecidas. De esta manera se cumpliría con los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017) declara que en el futuro próximo el volumen de aguas residuales domésticas, que necesitarán tratamiento, aumentará dramáticamente en los países menos desarrollados. Si no se toman medidas ahora la situación podría convertirse en crítica, ya que en el 2012 más de 800 mil personas murieron a causa del agua contaminada. Además, la ONU (2017) afirma que el porcentaje de las aguas residuales domésticas a nivel mundial, que no tienen un tratamiento eficiente para evitar la contaminación y la dispersión de enfermedades, son de un 80 %. Esta realidad les afecta sobre todo a países en vías de desarrollo, los cuales cuentan con sólo el 8 % de la disposición necesaria para tratar sus aguas residuales de forma eficaz.

Por otro lado, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2011) manifiesta que en el Perú la capacidad de tratamiento de aguas residuales es baja, ya que hasta el 2010 tan solo el 32.7% de las aguas servidas eran tratadas, y eso hasta la actualidad no ha venido mejorando de forma significativa. Un ejemplo claro de esto es la ciudad de Lima, quien trata un 66 % de aguas residuales domésticas, y en todo el Perú solo se trata

el 20 %. Así mismo un estudio realizado en el año 2011 muestra que ocho departamentos del Perú no trataron sus aguas residuales, los cuales son: Amazonas, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, y Ucayali.

La disposición final de las aguas residuales producidas por las distintas actividades humanas (domésticas e industriales) representa grandes problemas en el ambiente. Por ejemplo, en la urbanización de Santa Lucía – Morales estas aguas se depositan directamente a los canales sin tratamiento alguno, contaminando a los cuerpos receptores de agua, al suelo y al subsuelo. Esto hace que sea una gran necesidad de tratarlas para darle un nuevo uso ya sea para riego de cultivos, recreacional o consumo humano. Para ello el presente trabajo de investigación propone la aplicación de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas y conocer la eficiencia de los mismos.

¿Cuál es la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie, en la remoción de  $DBO_5$ , DQO, SST, pH y temperatura del agua residual de origen doméstica de la urbanización Santa Lucía – Morales?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía – Morales.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros ( $DBO_5$ , DQO,  $T^\circ$ , pH, SST) del agua residual doméstica de un biodigestor en la urbanización Santa Lucía – Morales.
- Diseñar y construir un sistema de dos filtros percoladores en base a las características del agua residual a tratar.



- Determinar los parámetros ( $\text{DBO}_5$ , DQO,  $T^0$ , pH, SST) después del tratamiento de los filtros percoladores.
- Calcular la eficiencia del sistema de filtros percoladores, con la norma vigente de vertimiento de efluentes de una planta de tratamiento de agua residual.

### 1.3 Justificación

Las aguas residuales domésticas al no ser descontaminadas afectan directamente al ciclo natural del agua. La ONU (2017) afirma que, al no darse la atención adecuada a la disposición final de estas aguas, después de haber sido desechadas, hacen que muchas veces sean vertidas a otras fuentes de aguas alterando su sistema de ciclo natural. Es por esto que, al eliminarse los contaminantes de las aguas residuales a través de tecnologías alternas, como es los filtros percoladores, permite que estas aguas puedan utilizarse o devolverse de forma segura a su ciclo natural con mínimos impactos ambientales. De la misma manera la ONU (2017) manifestó que a nivel mundial existen lugares como el caribe, África, países del sudeste asiático, la zona del Mar caspio, en donde se tratan al mínimo las aguas residuales, ya que los estudios que poseen sobre la efectividad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales son escasos. Por estas razones esta investigación busca evaluar la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie, con la finalidad de obtener un nuevo procedimiento de tratamiento para dar solución a este problema ambiental, y de esta manera contribuir a mejorar la salud colectiva y evitar enfermedades a los pobladores de estos países mencionados anteriormente.

Según el Ministerio del ambiente (MINAM, 2013) menciona que la finalidad de la Agenda de Investigación Ambiental es generar un amplio campo de investigación en temas ambientales, ya que es de mucha vitalidad en nuestro país para llevar a cabo nuevos conocimientos de soluciones al medio ambiente. Para llevar a cabo esto, esta agenda presenta diversos ejes temáticos y uno de ellos es la Gestión de la calidad ambiental que tiene como

componente la calidad del agua y como área temática el uso y tratamiento de la misma. Habría que decir también, que dentro de este eje temático se encuentra la línea de investigación que se orienta al desarrollo de tecnologías para el reúso de agua residual doméstica. Bajo esta línea de investigación nuestro proyecto se enfoca al diseño, construcción y evaluación de un sistema en serie de dos filtros percoladores para el tratamiento de estas aguas contaminadas.

Pacheco (2015) menciona que los Filtros percoladores son una alternativa de saneamiento dentro de las poblaciones que no cuentan con un sistema de alcantarillado y desagüe, como lo es en la urbanización de Santa Lucía. Así mismo, estos son una tecnología aerobia que en condiciones de temperaturas elevadas mejoran el nivel de depuración y se consideran como una opción factible para la descontaminación de las aguas residuales domésticas. Además, este sistema de tratamiento biológico es económicamente favorable y de fácil construcción, y los materiales son accesibles en cualquier establecimiento del mercado laboral en relación a otras tecnologías de tratamiento de aguas. Por otro lado, habría que decir también, que los Filtros percoladores mejorará la condición sociocultural de los pobladores de la Urbanización Santa Lucía, es decir, luego de descontaminar las aguas residuales domésticas estas se compararán con las normativas vigentes establecidas, y bajo esta condición puedan ser vertidas en el canal de esta urbanización y los pobladores puedan utilizar el agua de dicho cuerpo receptor para sus diversas actividades.

Debido a lo mencionado anteriormente y a los planes del Gobierno en temas ambientales, como el Plan Nacional de Acción Ambiental y al Plan Nacional de Saneamiento 2017 - 2021 se plantea y se justifica la siguiente investigación de tal forma se aporte y se investigue con nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### **1.4 Presuposición filosófica**

Todos los seres vivos fuimos creados por DIOS y él nos dio la potestad de cuidar y proteger los recursos naturales para el bien nuestro y del medio ambiente. Cada uno de nosotros somos administradores de estos recursos y uno de ellos es el agua. Si nosotros diéramos un vaso de agua a otra persona en el nombre de Cristo, él nos dará una recompensa (Marcos 9:41). Claramente podemos ver que el agua que brindamos a otra persona tiene que ser un agua limpia y no contaminada, para no generar daños en su salud, y para eso debemos dar un cuidado y un tratamiento adecuado al recurso natural llamando “agua”. El agua limpia de toda inmundicia y para ello debe estar en condiciones adecuadas (Ezequiel 36:25). Es por esto que para cumplir lo que dice en la palabra de DIOS, se debe dar un tratamiento a las aguas residuales domésticas para que cuando tengamos que beber de esta agua y cuando tengamos que utilizarlas en la limpieza diaria y para otros usos, se encuentre bajo los límites máximos permisibles. Asimismo, otra importancia de tratar las aguas residuales en beneficio del medio ambiente y del ser humano es no alterar el ciclo del agua, ya que todos los ríos van al mar y que estos vuelven hacer el mismo procedimiento cuando realizan su ciclo natural, y nosotros como únicos administradores de este recurso que DIOS nos dio, seremos destruidos por el creador sino lo utilizamos o descontaminamos de una manera adecuada (Apocalipsis 11:18).

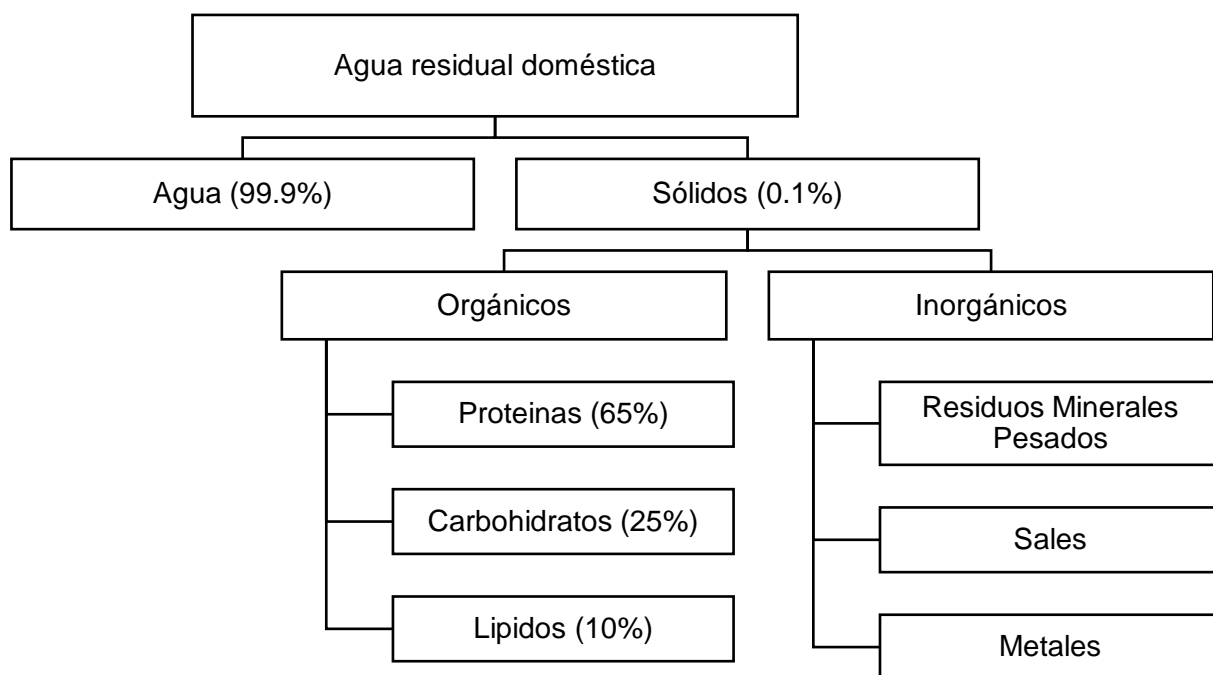
## Capítulo II

### Revisión de literatura

#### 2.1 Fundamentos del objeto de estudio

##### 2.1.1 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consta de etapas o procesos con diferentes características que contribuyen a un nivel de purificación. Dentro de los procesos del tratamiento se encuentra la autodepuración. En esta etapa, los microorganismos y algas comparten la función de descomponer los desechos, gracias a la metabolización de las sustancias. Es aquí cuando se transforma todas las sustancias simples en dióxido de carbono, nitrógeno, entre otras. También cabe señalar que, dentro del proceso de autodepuración, se encuentra la acción de microorganismos para absorber sustancias orgánicas (Metcalf y Eddy, 1995). A pesar de estos procesos de descomposición orgánica, debemos eliminar patógenos que causan enfermedades a la salud e higiene de las personas. Esta eliminación requiere de fases que tengan como resultado estándares que cuiden el bienestar humano y ambiental. De acuerdo a la calidad de agua que se desea obtener en el proceso de reutilización se colocan más exigentes los estándares de calidad.



*Figura 1.* Composición de las aguas residuales domésticas

Fuente: Rodríguez (2014)

Asimismo, en la Tabla 1, se muestra la composición en detalle de constituyentes en el agua residual doméstica.

Tabla 1

*Composición del agua residual doméstica*

Constituyente	Concentración (mg/L)		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	1200	720	350
Sólidos Disueltos	850	500	250
Sólidos Disueltos Fijos	525	300	145
Sólidos Disueltos Volátiles	325	200	105
Sólidos Suspendidos	350	220	100

Sólidos Suspendidos Fijos	75	55	20
Sólidos Suspendidos Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (mL/L)	20	10	5
DBO	400	220	110
DQO	1000	500	250
Nitrógeno	85	40	20
Fósforo	15	8	4
Grasas	150	100	50
Cloruros	100	50	30

Fuente: Rodriguez (2014)

### 2.1.1.1 Tratamiento biológico o tratamiento secundario

La materia orgánica biodegradable en un proceso aerobio, sirve como nutriente en una población bacteriana proporcionando oxígeno y condiciones controladas. La materia orgánica será oxidada en este proceso, y a la vez se manifestarán bacterias que acompañarán el proceso para disminuir los contaminantes (Metcalf y Eddy, 1995). Según la última edición del Reglamento Nacional de Edificaciones, un tratamiento secundario incluye procesos biológicos con una eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) soluble mayor a 80% (RNE, 2006). Para que la transformación biológica se ejecute de una manera más eficiente, se deberá contar con ciertas características que no deben dejarse de lado. En el libro "Ingeniería de aguas residuales" de Metcalf & Eddy (1995), se señalan como procesos biológicos más comunes al proceso de lodos activados, laguna aireadas, filtros percoladores, biodiscos, y tanques de estabilización. De estos procesos mencionados trataremos de los filtros percoladores.

### **2.1.2 Filtración Biológica**

La materia orgánica que normalmente se observa en las aguas residuales es adsorbido y descompuesto por la biomasa que se encuentra adherido a la superficie del medio filtrante. En el interior paralelo a la superficie del medio, predominan las condiciones anaerobias y en la parte externa las condiciones anaerobias. Cuando la película biológica incrementa su espesor, la materia orgánica adsorbida es aprovechada por los microorganismos aerobios de las partes externas, como resultado de estos procesos los microorganismos de la parte interna no cuentan con suficiente sustrato y realizan un crecimiento endógeno (Hernández, 2012).

Es en esta fase los microorganismos pierden su capacidad de adherencia al medio, y son arrastrados por la corriente de agua residual, la película biológica se desprende y nuevamente se inicia el crecimiento de una nueva capa de microorganismos. La pérdida o desprendimiento de la biopelícula está directamente relacionado con la carga orgánica y la carga hidráulica que es añadida al filtro (Hernández, 2012).

El grupo biológico presentes en el filtro se compone principalmente de protistas, los cuales incluyen bacterias facultativas, aerobias, anaerobias, hongos, algas y protozoos (Hernández, 2012).

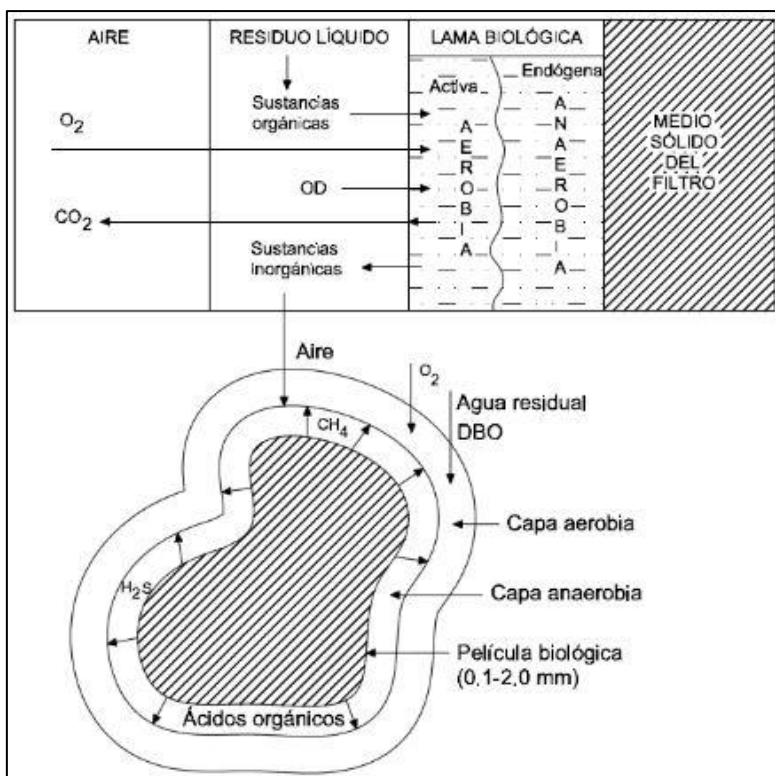


Figura 2. Esquema de la película biológica en un filtro percolador

Fuente: Hernández (2012)

### 2.1.3 El filtro percolador o biofiltro

El proceso de filtración a través de los filtros percoladores puede definirse como un sistema de lechos, compuesto en gran parte de materiales sintéticos o rocas de distintas variedades y formas de alta relación área/volumen sobre la cual son aplicadas las aguas residuales de manera continua o intermitente por medio de aspersores distribuidores ya sean fijos o móviles (Yucra, 2016).

Como resultado de la aplicación de aguas residuales en el medio filtrante, se da inicio a la formación de la biopelícula las cuales están adheridos al mismo, quien al entrar en contacto con las cargas orgánicas se da el inicio al proceso de depuración (Yucra, 2016).

Romero (2001) menciona que el filtro percolador es un proceso muy utilizado para el tratamiento de aguas residuales. El filtro biológico no es un proceso diseñado para realizar una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual, sino para poner en contacto aguas



residuales con biomasa impregnada a un medio de soporte fijo, formando un lecho de oxidación biológica, Un filtro biológico tiene por objeto disminuir la carga orgánica presente en aguas residuales domesticas o industriales. Consiste en un lecho de piedras, u otro medio natural o sintético, sobre el cual se sitúan las aguas residuales.

MINVIV (2006) señala que un filtro percolador es un sistema en el que se pone el agua residual sedimentada encima de un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se despliega sobre el medio filtrante disminuye la materia orgánica del agua residual.

En el lecho se conservan las condiciones aeróbicas mediante el flujo de aire a través del lecho, el cual se puede realizar por medios naturales, inducido por los gradientes de temperatura existentes entre la temperatura del aire en el lecho y la temperatura ambiental y por aireación forzada, utilizando equipos similares a los extractores de aire (Yucra, 2016).

Al tener a su disposición a las aguas residuales, ricas en materia orgánica que pueden absorber y el oxígeno necesario para la síntesis celular (crecimiento bacteriano), la bio-película de microorganismos aeróbicos inicia el desdoblamiento de la materia orgánica obteniéndose al igual que en los otros procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales la remoción de la materia orgánica mediante su conversión a masa celular, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que se traduce en una purificación de las aguas residuales que conforman el nuevo efluente que según el caso requerirá de tratamientos posteriores si las especificaciones técnicas lo demandan (Yucra, 2016). Cuando el crecimiento bacteriano llega a su límite las bacterias no reciben ni el oxígeno y nutrientes esenciales para su supervivencia por lo tanto morirán y terminarán por desprender a la biopelícula del medio, es por ello que en el sistema se cuenta con un sistema de sedimentación para luego ser removidos (Yucra, 2016).

### **2.1.3.1 Características de un filtro percolador**

Según Metcalf (1995) indica que existen diversos tipos de procesos en los filtros y menciona lo siguiente:

Los filtros percoladores son birreactores que a través de una capa de microorganismos adherida a un medio permeable permite la descontaminación del agua residual de manera aerobia. El lecho filtrante puede ser de rocas o material de polietileno y suele ser llamado empaque sobre el cual las bacterias establecen una lama a la que se le llama biopelícula. Los filtros percoladores son mayormente de forma circular y tienen un distribuidor en la parte superior que mantiene toda la superficie mojada.

En la descontaminación del agua residual existe un proceso llamado oxidación biológica. Es decir, en esa agua a descontaminar existen una serie de microorganismos, los cuales se alimentan de la materia orgánica existente disminuyéndola químicamente. Para que estos microorganismos sean rápidos en degradar la carga orgánica necesitan del oxígeno y altas temperaturas, al generar ese proceso de oxidación liberan productos de desecho y  $\text{CO}_2$  al medio ambiente.

Tabla 2

*Características de los filtros percoladores*

Característica	Tasa Baja	Tasa Media	Tasa Alta	Torres Biológicas	Desbaste
Carga hidráulica m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	1-4	4-9*	9-37*	14-240*	57-171*
m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	0.5-2.5				
Carga Orgánica Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d	0.08 – 0.32	0.24 – 0.48+	0.32 – 1.8+	≤ 4.8+	> 2+
Profundidad, m	1.5 – 3.0	1.0 – 2.5	0.9 – 2.5	≤ 12	0.9 – 6
Medio	Piedra escoria	Piedra escoria	Piedra escoria sintético	Sintético	Piedra o sintético
Relación de Circulación	0	0.5 – 2	0.5 – 4.0	1 – 4	0
Dosificación	Intermitente	Continua	Continua	Continua	Continua
Moscas de filtros	Muchas	Pocas	Pocas	Pocas	Pocas
Requerimientos de potencia W/m <sup>3</sup>	2 – 4	2 – 8	6 – 10	10 – 20	-
Calidad del efluente	Nitrificado	Nitrificación Parcial	No Nitrificado	Nitrificación baja	No Nitrificado
% de remoción de BDO <sub>5</sub>	80 – 85	50 – 70	40 – 80	65 – 85	40 - 85

Fuente: Hernández (2012)

Nota: \* Incluye recirculación. + Excluye recirculación

\* Con cargas menores de 0.08 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>d y T > 20° C se puede lograr una nitrificación > 80%.\* Con cargas menores de 0.1 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.d se logran efluentes con DBO<sub>5</sub> < 20 mg/L y SS < 30 mg/L.

### **2.1.3.2 Partes de un filtro percolador**

Meléndez y Pérez, (2007) en su libro proceso para el tratamiento de aguas residuales industriales mencionan que los filtros percoladores o biológicos constan de 3 partes primordiales:

#### **a. Sistema de distribución**

El sistema de distribución debe proporcionar una carga hidráulica uniforme sobre la superficie del filtro. Por tanto, han de evitarse atascos y paradas. Los aspersores para la distribución del agua residual pueden ser fijos o circulares dependiendo de que la estructura del filtro sea rectangular o circular respectivamente.

#### **b. Empaquetadura**

La empaquetadura o relleno constituye el medio de soporte de la biomasa. Las dos propiedades más importantes de los filtros percoladores son la superficie específica y el porcentaje de huecos del empaque. La misma se define como los  $m^2$  de superficie de relleno por  $m^3$  de volumen total del empaque o relleno. Cuanto mayor sea la superficie específica mayor será la cantidad de limo biológico presente por unidad de volumen. Por otra parte, mientras mayor sea la proporción de huecos en el empaque, se podrá trabajar con mayores valores de carga hidráulica y con menor riesgo de que ocurra inundación por tupiciones. El objetivo de los medios de empaque es el de proporcionar un soporte sólido y estable para el limo biológico, y exponer la máxima área superficial al flujo del líquido que se desea tratar, y de superficie mojada al contacto del aire.

#### **c. Sistema recolector**

La recogida de agua residual tratada se efectúa por medio de un dispositivo de drenaje en el fondo del lecho bacteriano. Este sistema debe tener previsto un sistema de canales de recogida, con la característica fundamental de que no debe existir sedimentación en los

mismos, ya que el agua residual contiene los flóculos que sedimentarán en el decantador secundario.

#### **d. Proceso microbiológico**

Con este proceso los microorganismos crecen y aumenta el grosor del limo biológico. La capa microbial tiene dos partes, una aerobia y la otra anaerobia, la parte aerobia es aquella que está en contacto con el agua residual, y es en ella donde se propaga la materia orgánica y el oxígeno, es decir, donde se lleva a cabo el proceso de depuración. La parte de biopelícula que está en contacto con la pared del empaque es la parte anaerobia. Los microorganismos de esta parte entran a una fase endógena de crecimiento debido a que no tienen una fuente orgánica externa y pierden la habilidad de sostenerse en el empaque. Este proceso es llamado desprendimiento y es función de la carga orgánica e hidráulica. La carga hidráulica influye en la velocidad de corte y la orgánica en la tasa de microorganismos en la biopelícula.

#### **e. Variables externas en el proceso de biofiltros para el crecimiento bacteriano**

Las variables externas que influyen en la eficiencia de los biofiltros con respecto al crecimiento de bacterias son la temperatura, oxígeno disuelto y pH (FONAM, 2010). En la Tabla 3 se presentan las variables externas con el rango adecuado para cada variable.

Tabla 3

##### *Variables externas del filtro percolador*

Variables	Rango
Temperatura	30 - 40 °C
Oxígeno	1 - 2 mg/L
pH	6.5 - 8.5

Fuente: FONAM (2010)

### **2.1.3.3 Rangos de diseño para filtros percoladores**

La tecnología de filtros percoladores no tiene un límite para su utilización, hay filtros de esta naturaleza que tratan aguas residuales de poblaciones de más de 100.000 habitantes. Si se pondría un límite inferior teniendo en cuenta la complejidad de la tecnología podrían ser unos 500 habitantes (Lapsolite, 2018). De acuerdo a todo esto se tienen los siguientes tipos de filtros percoladores.

#### **a. Filtro de baja carga**

Es un prototipo comparativamente sencillo y su funcionamiento es seguro, produce un efluente constante estable, sin afectar la naturaleza del mismo. En este tipo de filtros predominan una cantidad de bacterias nitrificantes es por ello que el efluente contiene bajas cantidades de amoníaco y a la vez rico en nitritos y nitratos. En terrenos planos puede no funcionar correctamente debido a que la pérdida de carga a través del filtro es de 1.5 – 3 metros (Hernández, 2012; Metcalf et al, 1995).

El problema de la circulación por gravedad se podría solucionar con una pendiente favorable lo que podría ser una ventaja, pero por otro lado se tiene algunos inconvenientes como los malos olores, principalmente si el agua residual que se está tratando es poco reciente o séptica o si el clima es caluroso (Hernández, 2012). Los filtros percoladores se deberían ubicar en lugares donde los malos olores no representen un problema, debido a que servirán como un vector para la proliferación de moscas (Hernández Canales, 2012; Metcalf et al., 1995).

#### **b. Filtro de alta carga**

En los filtros de alta carga la recirculación del efluente final permite la aplicación de altas cargas orgánicas, al recircular el efluente se obtiene como resultado el retorno de los de los organismos viables, este método de operación es más eficiente, además la recirculación ayuda

a que el filtro no se obstruya y se reduce el problema del mal olor y las moscas (Hernández Canales, 2012; Metcalf et al., 1995).

Para la construcción de los filtros de alta carga se suelen utilizar como medio filtrante piedras y materiales plásticos. La forma de los mismos normalmente son circulares y funcionan con caudal continuo (Hernández, 2012).

Los filtros de alta carga se proyectan para cargas notablemente superiores a las correspondientes a filtros de baja carga. La recirculación del efluente del clarificador del filtro permite conseguir rendimientos de eliminación parecidos a los de los filtros de baja carga y de carga media (Metcalf & Eddy, 1995).

#### **c. Filtros percoladores convencionales o de tasa baja**

Estos filtros biológicos pueden alcanzar eficiencias de remoción de DBO de 90% a 95% y producir efluente nitrificado (Jiménez, 2001).

#### **d. Filtros de tasa intermedia**

Las cargas hidráulicas y orgánicas que se aplican a los filtros convencionales pueden aumentarse un poco experimentando una reducción significativa de la eficiencia en el proceso de remoción de materia orgánica, encontrándose esta entre el 50 y 70%. En este tipo de unidades la nitrificación se presenta de manera parcial, y en ocasiones se suele inundar el lecho por el excesivo crecimiento biológico el cual obstruye el flujo de agua residual. Esta situación puede remediarse utilizando un medio filtrante de mayor diámetro. Las profundidades del reactor oscilan entre los 1.8 y 2.4 metros (Stefhany, 2012).

#### **e. Filtros de tasa alta**

Con estos filtros su efluente está parcialmente nitrificado (Jiménez, 2001). En estos tipos de filtros aumentan considerablemente las cargas orgánica y la carga hidráulica que se aplican al lecho filtrante, con lo cual su eficiencia en la remoción de materia orgánica es menor en comparación a los filtros de tasa baja, encontrándose esta entre el 65 y 85%. En estos tipos

de filtros suele presentarse poca nitrificación en el proceso y además se los utiliza como unidades de primera etapa antes de otros procesos biológicos o antes de filtros percoladores de segunda etapa. Las profundidades del lecho son por lo general menores (0.9 – 1.8 m), y siempre se emplea la recirculación para garantizar una carga hidráulica constante, cuya tasa está entre 1 y 2. Las cargas orgánicas varían entre 0.32 y 1.0 kg DBO<sub>5</sub>/(día\*m<sup>3</sup>) de lecho y las cargas hidráulicas entre 9.4 y 37.0 m<sup>3</sup>/(día\*m<sup>2</sup>). 5.6 (Stefhany, 2012).

#### **f. Filtros de tasa súper alta**

El lecho filtrante presenta diversas peculiaridades físicas que permiten establecer diferentes estructuras de diseño, haciendo posible aumentar la profundidad de los lechos. Como resultado, se tienen en operación unidades a las cuales se les puede aplicar unas cargas orgánicas que varían entre 0.8 y 6.0 kg de DBO<sub>5</sub>/(día\*m<sup>3</sup>), con cargas hidráulicas entre 14.0 y 84.0 m<sup>3</sup>/(día\*m<sup>2</sup>). A pesar de presentar mayores cargas orgánicas e hidráulicas, la eficiencia del proceso es igual al de los filtros de tasa alta, encontrándose esta entre el 65 y 80%. Además, se llega a presentar poca nitrificación en estas unidades. Este tipo de filtro percolador se puede utilizar para el tratamiento de aguas residuales con altos valores de DBO<sub>5</sub> y como unidades de tratamiento previos antes de otros procesos biológicos. Asimismo, las profundidades de los filtros suelen ser entre 3.0 y 12.0 metros y la tasa de recirculación de este tipo de filtros no cambia respecto a los de tasa alta permaneciendo en un rango de 1 a 2 (Stefhany, 2012).

#### **2.1.3.4 Factores importantes a considerar en el diseño de filtros percoladores**

Según Tchobanoglous (2005) menciona que los factores vitales a considerar en el diseño de filtros percoladores a escala piloto son:

##### **a. Geometría**

La geometría del filtro es un elemento indispensable a la hora de diseñar un filtro percolador, ya que al existir esquinas vacías o espacios muertos la eficiencia del sistema va a ser menor.



### **b. Medios de soporte**

El medio de soporte para un filtro percolador puede ser de diversas variedades pero las más empleadas son la piedras con extensa área de adsorción y plástico poroso. Los medios de soporte son un factor importante debido a que de esto depende el porcentaje de remoción y la eficiencia de la planta de tratamiento. Las características de la piedra pómez que se consideran son lo siguiente:

- Cuando el medio filtrante es de roca la profundidad del filtro puede ser entre 0.9 y 2.5 m y cuando el empaque es plástico se tienen profundidades de 9 a 12 m.
- El diámetro de las rocas varía de 25 a 100 mm.

### **c. Profundidad del medio**

La profundidad del medio está directamente relacionado con la eficiencia del sistema, debido a que mayor profundidad mayor área de adsorción y por ende mayor porcentaje de tratamiento.

### **d. Recirculación**

También debemos considerar la recirculación en el filtro. Hoy, la mayoría de filtros percoladores se diseñan de modo de que al menos parte, si no toda la corriente de agua residual pase, o recircule, más de una vez a través del medio filtrante.

### **e. Distribución del caudal**

El caudal que ingresa al sistema de filtros percoladores debe de ser rociado de manera uniforme sobre el lecho filtrante, esto para garantizar que el agua residual recorra toda la superficie de adsorción del medio filtrante de tal forma que se explote todo el potencial de remoción de contaminantes.

### **f. Procedimiento del funcionamiento de los filtros percoladores**

Según Menéndez y Pérez, (2007) en su libro proceso para el tratamiento de aguas residuales industriales, el funcionamiento de los filtros percoladores es de la siguiente manera.

- Para la puesta en marcha de la instalación, con la salida del filtro cerrada, se alimenta una vez al día el agua residual que se desea tratar, y se recircula durante 24 horas.
- Transcurridas 24 horas se extrae el agua residual y se alimenta una nueva carga. Esta operación se repite de 2 a 3 semanas. Se sugiere que la carga hidráulica sobre el filtro en esta etapa no debe ser mayor de  $4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Si en ese periodo se logra la formación de limo sobre el empaque, se debe cerrar la recirculación e iniciar la operación normal del filtro a la menor carga hidráulica de las que se seleccione para trabajar en las siguientes etapas.
- Determinar los valores de carga hidráulica de trabajo, así como las alturas a las que se tomarán las muestras.
- Para cada valor de carga hidráulica se tomarán muestras a las diferentes alturas.
- Los análisis de las muestras se expresan en por ciento de DBO remanente  $((S/S_0) * 100)$ .

#### **2.1.4 La piedra Pómez**

La piedra pómez, pumita o pumicita es una roca proveniente de la familia de minerales de origen volcánico (piroclastos), en cuya composición actúan de manera abundante la sílice y la alúmina, con porcentajes aproximados del orden de: 70% de  $\text{Si O}_2$  y 13% de  $\text{Al}_2 \text{O}_2$ . Esta piedra presenta alta porosidad, ligera (densidades entre 0,4 a 0,9  $\text{g/cm}^3$ ), friable, eficaz aislante térmico y con propiedades puzolánicas. Por ser considerada una puzolana natural de bajo coste, la piedra pómez es un elemento vital en la elaboración del cemento Portland, incrementando su durabilidad química (resistencia frente al ataque por las aguas puras, carbónicas, agresivas o ligeramente ácidas). Aparte de este uso industrial, se utiliza piedra pómez en la fabricación de filtros, abrasivos y en usos agrícolas (Yearbook Minerals, 2003).



*Figura 3.* Imagen de una piedra Pomez

Fuente: Elaboración propia

## **2.2 Marco Legal**

### **2.2.1 Constitución Política del Perú**

En el Capítulo I, Derechos fundamentales de la persona, Art 2, inciso 22 la carta magna declara “Toda persona tiene derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación donde pueda desarrollar todas sus capacidades psicosociales y así poder crecer de manera exitosa en la vida.

### **2.2.2 Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338**

La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable. Asimismo, la ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

### **2.2.3 Norma OS.090**

Norma que establece las disposiciones generales y específicas para diseños definitivos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### **2.2.4 Ley general del ambiente, ley N° 28611**

En su artículo 120, De la protección de la calidad de las aguas, establece lo siguiente:

120.1 El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país.

120.2 El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su recuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Asimismo, en el artículo 121, Del vertimiento de aguas residuales, establece lo siguiente: El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

De igual manera en el artículo 122, Del tratamiento de residuos líquidos, inciso 3, establece lo siguiente: Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

### **2.2.5 D.S N° 003-2010-MINAM: LMP para los efluentes de PTAR**

Esta norma aprueba los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

### **2.2.6 Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA**

Esta resolución jefatural, contiene el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, en el Perú.

## **2.3 Definición de Términos**

A continuación, se definen algunos términos, de interés para el desarrollo de la presente investigación. Estos términos, se definieron, según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006).

- **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Es la cantidad de oxígeno necesario que necesitan los microorganismos en condiciones aerobias para degradar la materia orgánica contemplada en el agua residual, bajo condiciones de tiempo y temperatura (específicamente 5 días y a 20°C).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias capaces de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

- **Sólidos totales en suspensión (SST)**

Parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos presentes en suspensión.

- **Efluente**

Aguas residuales que salen del sistema de tratamiento.

- **Afluente**

Aguas residuales que ingresan al sistema de tratamiento.

- **Agua residual doméstica**

Se le llama así al agua de principio doméstico, comercial e institucional que contiene residuos orgánicos y otros provenientes de la actividad humana.

- **Bacterias**

Son microorganismos diminutos unicelulares que contienen cromosoma bacteriano único, división binaria, y que son muy esenciales en el proceso de estabilización de la materia orgánica.

- **Análisis**

Es el examen químico que se le hace a una muestra orgánica o inorgánica, que consiste en determinar y analizar sus componentes.

- **Bases de diseño**

Es el conjunto de datos de diseño que son empleadas para las dimensiones del proceso de tratamiento en una escala piloto.

- **Biodegradación**

Descomposición de la materia orgánica en residuos de menor estructura, por acción de agentes biológicos.

- **Biopelícula**

Lámina biológica adherida a un medio filtrante y que lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica.

- **Filtro Percolador**

Filtro biológico en el que se emplea el agua residual doméstica sobre un medio filtrante ya sea de piedra natural volcánica o material sintético, que operan bajo condiciones aeróbicas. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el lecho filtrante se encarga de estabilizar la materia orgánica del agua residual.

- **Medio filtrante**

Material poroso (rocas volcánicas) o sintético (plásticos) a través del cual se distribuye el agua residual con el propósito de ser purificada, tratada o acondionada.

- **Muestreo**

Se refiere a la toma de muestras (antes y después del proceso) de agua residual doméstica o industrial con un volumen predeterminado y se aplica la técnica de conservación correspondiente para el parámetro que se desea analizar.

- **Muestra compuesta**

Combinación de alícuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo.

- **Proceso biológico**

Es el proceso biológico de digestión de la materia orgánica del desecho por parte de las bacterias y otros microorganismos, para la estabilización de dicha materia.

- **Tratamiento secundario**

Nivel de tratamiento que permite lograr la eliminación de materia orgánica biodegradable y sólidos suspendidos totales que están en el agua residual doméstica.

- **Materia orgánica**

Compuesto de carbono, hidrogeno, oxígeno, elementos comunes a todos los compuestos orgánicos, junto con el nitrógeno en algunos casos. También están presentes a menudo otros compuestos como es fosforo, azufre, hierro, etc.

- **Remoción**

Concentración de carga contaminante medido en  $DBO_5$ , DQO o SST, que es removida del agua residual.

- **Tiempo de retención hidráulica**

Tiempo total que el agua demora en movilizarse por todo el sistema hasta su descarga en el cuerpo receptor.

- **Caudal**

Caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. A sí mismo El caudal "Q" es, por definición, el volumen de líquido "V" suministrado en una unidad de tiempo "t".

- **Carga orgánica o carga contaminante (CO)**

Es la medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual. Comúnmente se expresa en T/año, T/día ó Kg/d.

- **Carga orgánica vertical (COV)**

Es cantidad de masa de contaminante por el volumen que es vertida por una corriente residual.

- **Velocidad de filtración (VF)**

Es un proceso físico que consiste en separar solidos de un líquido, es decir elimina las partículas no disueltas, o separa una mezcla de sólidos insolubles y líquidos formados en un proceso.

- **Carga hidráulica volumétrica (CHV)**

Es la cantidad (volumen) de aguas negras aplicados diariamente al reactor, por unidad del volumen del mismo. Debe ser menor a  $5.0 \text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ .



## **2.4 Antecedentes de la investigación**

### **2.4.1 Antecedentes internacionales**

Cárdenas, Mancilla y Domínguez (2017) mencionan en su artículo de investigación titulado “Diferencia entre la eficiencia de eliminación de materia orgánica de filtros biológicos a escala de laboratorio utilizando lechos convencionales (rocas) versus empaques sintéticos (polipropileno)”, que los parámetros de control fueron el DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos disueltos totales, pH, Temperatura, Sólidos volátiles, Salinidad y conductividad. Así mismo menciona que el periodo de monitoreo fue de 41 días, en los cuales se pudo determinar que la eficiencia promedio en remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO para los filtros percoladores con material de roca es de 18.1 % y 10.7 % respectivamente.

Hernández (2012) menciona en su trabajo de investigación denominado “Diseño, construcción y evaluación de un modelo experimental de filtro percolador utilizando estopa de coco como medio filtrante, para la reducción de nitrógeno y fósforo total de las aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento aurora II “Ing. Arturo pazos sosa””, que su estudio evaluó el rendimiento de un filtro percolador donde utilizó como medio filtrante la estopa de coco. Así mismo los parámetros estudiados fueron nitrógeno, fósforo total, DBO<sub>5</sub>, DQO, color aparente, sólidos sedimentables, potencial de hidrógeno y temperatura, antes y después de la filtración. del agua residual de origen doméstico. Las eficiencias de los parámetros mencionados fueron nitrógeno total 33%, fósforo total -24%, DBO<sub>5</sub> -16 %, DQO -3%, color aparente -3%, sólidos sedimentables -277%, potencial de hidrógeno -5%, temperatura 2%.

Pacheco (2015) indica en su trabajo de tesis denominado “Biopercolación para la remoción de materia orgánica de aguas residuales tipo domésticas”, que realizó un estudio en serie de tres tipos de reactores de filtros percoladores con tres medios diferentes los cuales fueron piedra pomez, restos de piezas de teclados y concha negra, de los cuales el reactor de

piedra pomez fue el más eficaz. Este último tuvo resultados de 80.27 % de eficiencia en el parámetro  $DBO_5$  y 76.92 % de DQO.

Pereira (2005) indica en su trabajo de tesis denominado “Evaluación de desempeño de un filtro biológico percolador en diferentes medios soporte plásticos, Brasil”, que empleó un sistema de filtro percolador con un área de  $1 \text{ m}^2$ , altura total de 3,5 m y 3,0 m de altura del medio de soporte con sedimentación secundaria. Los medios de soporte de plástico fueron anillos aleatorios y modular cross flow. En su resultado menciona que independientemente del medio de soporte plástico, de las cargas hidráulicas y orgánicas aplicadas, se obtuvieron concentraciones de efluentes promedio de DQO, DBO y SST muy satisfactorias, respectivamente de 96 mg /L, 40 mg /L y 32 mg/L.

Rivera, Valdés, Castro, Nieves y La torre (1999) en su trabajo de investigación denominado “Influencia de la recirculación en un sistema de filtro percolador”, indican que la experiencia obtenida en un sistema de percolación a escala piloto se situó en el estudio de la eficiencia de remoción de la DQO del residual lácteo ante tres tipos de sistema y tres razones ( $R=1$ ,  $R=2$ ,  $R=3$ ). Además, fueron evaluados otros parámetros de interés como la remoción de sólidos y de nitrógenos totales. Los resultados revelaron la influencia del tipo de retroalimentación sobre la eficiencia del sistema, mostrando la variante donde se retroalimenta de la salida del filtro percolador a la entrada del sedimentador primario, con una razón  $R=3$ , la más eficiente (87%). Al utilizar la mayor razón de recirculación ( $R=3$ ) se favoreció la remoción de nitrógeno total en el sistema.

Muñoz y Reyes, (2013) en su trabajo de investigación denominado “evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque”, evaluaron la eficiencia de un filtro percolador para remover DQO de una descarga sanitaria real con DQO promedio de 380 mg/L en la Universidad de las Américas Puebla. El empaque diseñado por los autores operó en el 2012 durante marzo y mayo. La alimentación

se ajustó a tres cargas hidráulicas altas (CH), repitiendo el valor intermedio, y se evaluaron durante periodos de 18 días cada una, en una secuencia de estímulos-respuestas que caracterizaron la operación estable del empaque. En marzo (temperaturas diarias entre 10 y 26.2 °C) se utilizaron 9.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d y 15.3 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>d. En mayo (temperaturas diarias entre 12.2 y 27.9 °C), con 15.3 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>d se observó un incremento en el porcentaje de remoción de DQO con respecto al mismo valor de marzo, que se atribuye al incremento de la temperatura promedio diaria. En la última prueba, con CH de 19.6 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>d se pudo observar de manera favorable que el porcentaje de remoción de DQO se redujo. Las cargas orgánicas removidas entre 1.62 y 3.19 kg DQO/ m<sup>3</sup>d corresponden a un empaque de alta carga y eficiencia. Se midió el oxígeno disuelto en tres puntos del filtro que son similares con los valores de reducción de la DQO. La remoción de nitrógeno no fue significativa en los cuatro experimentos.

Soto, Bucio, miranda, Ávila, Cuevas y Carrión (2008) en su trabajo de investigación titulado “evaluación de un sistema de filtros sumergidos en el tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Mahahual en el estado de quintana roo, México”, evaluaron el funcionamiento de dos Filtros Sumergidos en serie, para tratar aguas residuales contaminadas con nitrógeno y materia orgánica de la comunidad de Mahahual en el Estado de Quintana Roo, México. El Filtro sumergido anaerobio presento una gran dependencia en la remoción de Materia Orgánica con respecto a la temperatura. Sin embargo, el sistema combinado alcanzó eficiencias de remoción de hasta 99% de Materia orgánica y de hasta 60% de Nitrógeno total a cargas volumétricas de 1 kg DQO m<sup>-3</sup>. d y 0.5 kg N m<sup>-3</sup> d, respectivamente; presentando así una gran flexibilidad en el tratamiento de aguas residuales con diferentes concentraciones de Materia Orgánica y Nitrógeno.

Almeida (2007) en su tesis titulada “Efecto de diferentes tipos de medio soporte en desempeño de filtros biológicos percoladores aplicados al post-tratamiento de efluentes de reactores uasb, con énfasis la nitrificación”, experimentó en un sistema compuesto por reactor

UASB, filtro percolador (FBP) con 4 compartimientos de diferente reacción y 4 sedimentadores secundarios. Los cuatro compartimientos de la unidad de reacción (filtro percolador) lo llenaron con medio de soporte de características diferentes, siendo estos: escoria de alto horno n<sup>o</sup> 4, viruta de conducto de 1" de diámetro, anillos de plástico y el sistema "Downflow Hanging Sponge" DHS. En sus resultados menciona que todo el sistema UASB / FBP sin etapa de sedimentación secundaria presentó concentraciones de DBO<sub>5</sub> total por debajo de 60 mg/L, para todos los medios de soporte, teniendo en cuenta cargas orgánicas volumétricas aplicadas de 0,43 y 0,24 kgDBO/m<sup>3</sup>. d. Para la tasa carga orgánica aplicada de 0,24 kg DBO/m<sup>3</sup>. d y tasa de aplicación superficial de 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, las concentraciones totales de DBO estaban por debajo de 40 mg/L. El sistema UASB/FBP sin etapa de sedimentación secundaria presentó valores de DQO total inferiores a 180 mg/L, cuando se utilizaron cargas orgánicas volumétricas de 0,43 y 0,24 kgDBO/m<sup>3</sup>. d y tasas de aplicación superficial 20 y 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. Para una carga orgánica volumétrica de 0,24 kg DBO/m<sup>3</sup>.d y una tasa de aplicación superficial de 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. d, las concentraciones de SST efluente estuvieron por debajo de 60 mg/L, para todos los medios de soporte.

#### **2.4.2 Antecedentes nacionales**

Rodríguez (2014) menciona en su trabajo de investigación titulado "Estudio de la eficiencia de un filtro sumergido y un filtro percolador en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas", que en su objetivo principal fue determinar la eficiencia de la remoción de contaminantes del agua residual de un tanque séptico empleando un sistema de filtración biológica. Utilizó como medio filtrante anillos de polipropileno de ¾ de pulgada y 2.5 cm de longitud, que fueron ubicadas en ambas unidades de tratamiento. La mejor eficiencia con respecto a la remoción en el filtro percolador fueron a los 60 días de haber iniciado su funcionamiento con la inyección de aire artificial. Se lograron obtener concentraciones de 58

mg/L de DBO, 93 mg/L de DQO y 68 mg/L de SST, representando una eficiencia de 77 % para la remoción del DBO<sub>5</sub> y DQO, y 63 % para la remoción del SST.

Bayona y Quiroz, citado por Rodríguez (2014) en su trabajo de tesis "Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Trujillo mediante el uso de un biofiltro, Trujillo-Perú" mencionan en sus conclusiones que, en práctica de laboratorio obtuvieron un porcentaje de eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> del 73.168 % a un tiempo de retención de 16 horas, considerando la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) como los principales parámetros a ser evaluados. Los valores obtenidos de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO, por encima del 90% en condiciones de carga hidráulica adecuada, reflejan claramente la efectividad del uso del desecho PET, lo que permite obtener un doble beneficio, ya que se contribuye a reutilizar en producto de desecho y al mismo tiempo ayuda a mejorar la calidad del agua residual antes de enviarla a un cuerpo receptor.

## Capítulo III

### Materiales y métodos

#### 3.1 Descripción del área de estudio

Nuestra área de investigación es la urbanización de Santa Lucía, y está ubicado en el Distrito de Morales perteneciente a la Provincia de San Martín, Departamento de San Martín. Sus coordenadas geográficas son: ESTE: 345828 y NORTE: 9285098 en la zona 18. Datum WGS 84 (ver Anexo 1).

#### 3.2 Población y muestra

##### 3.2.1 Población

La población de la presente investigación, está definida por el agua residual doméstica del Biodigestor (1.5 m<sup>3</sup>) de la Urbanización de Santa Lucía-Morales.

##### 3.2.2 Muestra

La muestra del presente estudio, está representada por el agua residual doméstica a tratar en el sistema de filtros percoladores (0.132 m<sup>3</sup>).

#### 3.3 Diseño de investigación

La presente investigación presenta un diseño experimental, porque se manipularon deliberadamente las variables (Baptista, 2014). Es decir, se seleccionó este diseño teniendo como grupo experimental las aguas residuales del efluente de un biodigestor, que ingresaran al biofiltro. El esquema del diseño es el siguiente (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

G      O<sub>1</sub>      X      O<sub>2</sub>

Nomenclatura:

G: Grupo experimental

O<sub>1</sub>: Pre prueba

O<sub>2</sub>: Post prueba

X: Tratamiento o Estímulo

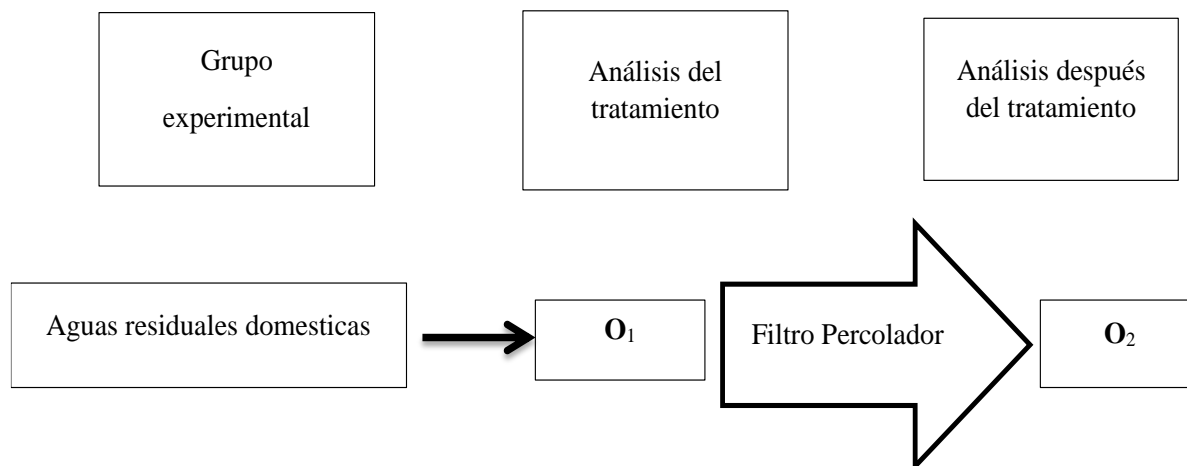


Figura 4. Esquema del diseño de investigación

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Formulación de hipótesis

#### 3.4.1 Hipótesis nula

El sistema de filtros percoladores no es eficiente en la remoción de los contaminantes (DBO<sub>5</sub>, DQO, T<sup>o</sup>, pH, SST) del agua residual doméstica de un biodigestor en la urbanización Santa Lucía – Morales.

#### 3.4.2 Hipótesis alterna

El sistema de filtros percoladores es eficiente en la remoción de los contaminantes (DBO<sub>5</sub>, DQO, T<sup>o</sup>, pH, SST) del agua residual doméstica de un biodigestor en la urbanización Santa Lucía – Morales.

### 3.5 Identificación de variables

#### 3.5.1 Variable independiente

La variable independiente es el tratamiento a través del sistema de filtros percoladores en serie. Esta variable toma dos valores: antes del tratamiento y después del tratamiento.

#### 3.5.2 Variable dependiente

Concentración de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, pH y temperatura

### 3.6 Operacionalización de variables

En la Tabla 4, se presenta la operacionalización de variables de la investigación.

Tabla 4

*Operacionalización de variables de la investigación*

Variables	Valor final	Tipo de variable
Variable independiente		
Tratamiento con filtro percolador	1. Antes del tratamiento 2. Después del tratamiento	Categoría nominal
Variable dependiente		
Temperatura	°C	
pH	Unidad	
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	Numérica
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	

Fuente: Elaboración propia (2018)



### **3.7 Instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1 GPS**

Es un sistema de navegación y de posicionamiento mundial, permite encontrar la posición geográfica en cualquier parte del mundo de un objeto y funciona a través de una red de satélites en órbita sobre el planeta (Schoemaker, 2017).

#### **3.7.2 Multiparámetro**

Es un aparato que tiene un sensor que se hunde en el agua e inmediatamente da una serie de resultados en su pantalla. Su manejo y aplicación es muy simple, pero necesita una inversión relativamente alta (Schoemaker, 2017).

#### **3.7.3 Jarras graduadas**

Es un instrumento de laboratorio para medir el volumen o el líquido que se quiere usar. Por lo general las graduaciones están en mililitros.

#### **3.7.4 Cinta métrica**

Instrumento de medida que consiste en una cinta flexible graduada y se puede enrollar, haciendo que el transporte sea más fácil. Con este instrumento se midió las dimensiones del filtro percolador.

### **3.8 Técnicas de recolección de datos y validación de instrumentos**

#### **3.8.1 Técnicas de recolección de datos**

Para la recolección de datos se utilizó la técnica observacional. Gallo (2000) menciona que en esta técnica se utiliza los sentidos para la percepción de los hechos o fenómenos que nos rodean o son del interés del investigador. La observación científica se da a partir de la selección deliberada de un fenómeno o de algún aspecto relevante de éste, mediante la utilización del método científico.

### 3.8.2 Validación de instrumentos

Los instrumentos que se emplearon para la recolección de datos fueron previamente calibrados por un laboratorio acreditado en el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL).

## 3.9 Materiales y equipos

### 3.9.1 Materiales para la construcción del sistema de filtros percoladores en serie

El sistema de filtración biológica estuvo empleado y constituido por los siguientes componentes:

- **Recipiente recolector de plástico de capacidad de 80 L**

En esta unidad se depositó agua residual doméstica proveniente del biodigestor y en la parte inferior se encuentra el control de nivel hermético.

- **Control de nivel hermético**

La función de este componente fue la de bombear agua residual doméstica desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque elevado.

- **Tanque de regulación (timbo con una capacidad de 80 L)**

Tiene una capacidad de almacenar 80 litros y se encuentra a una altura de 3 metros. Su función es almacenar y controlar el agua residual doméstica que es elevado de forma ascendente desde el tanque de almacenamiento, que luego será distribuida por una llave de regulación (control) de caudal al filtro percolador.

- **Material de relleno o medio filtrante (piedra pómez)**

En los filtros percoladores se emplearon como medio filtrante piedra pómez empleando 47 kg, los cuales fueron cortados o triturados cada 5 cm, obteniéndose pequeñas proporciones de piedra pómez.

- **Filtro Percolador**

Es una columna hexagonal de vidrio transparente de 14 cm por lado y 1.30 m de altura, relleno 1 m con piedra pómez de 5 cm de longitud. El componente es de flujo

descendente, el agua se distribuye por una tapa de tubo de ½ pulgada de diámetro lo cual se le hizo orificios por sus seis lados como también se le hizo en la parte baja de la misma, de tal manera que fue acondicionado con un sistema de control de nivel hermético para bombear agua residual doméstica.

- **Electrobomba**

Electrobomba de 0.5 HP de fuerza, 2800 r/min, caudal máximo de 35 L/min, altura máxima de 35 m. Es una máquina capaz de transformar la energía con la que funciona (generalmente mecánica o eléctrica) en energía del fluido, como también, suministra al fluido el caudal y la presión, Ya que son las encargadas de proporcionar el “empuje” necesario de un fluido para que pueda efectuar con determinada función. Las electrobombas son accionadas por un motor eléctrico.

- **Codos**

En la construcción de la planta piloto también se emplearon 2 codos de ½ pulgada para la respectiva instalación. Los codos para tubería, son considerados como un accesorio que se instala entre las dos longitudes de un tubo para permitir un cambio de dirección, el cual, mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de éstas.

- **Válvula de bronce anti retorno (de 1 pulg.)**

Tienen por función principal cerrar por completo el paso de un fluido en circulación, ya sea gaseoso o líquido, en un sentido y dejar camino libre en el contrario.

- **Tubos**

También se empleó un tubo de ½ pulgada para la instalación correspondiente

- **Reducción de 1 a ½ pulg**

Accesorio empleado para reducir el diámetro de las tuberías y lograr mayor eficiencia en el sistema de recirculación y en todo el sistema de tratamiento en general.

- **Teflón**

Para dar mayor presión a la unión de las tuberías y evitar de esta forma las fugas de agua residual.

- **Pegamento para tubos**

Sustancia empleada para pegar las tuberías en todas las uniones existentes.

- **Tapa para tubos de media pulgada (huecos)**

Este componente sirvió para hacerle orificios a las respectivas tapas lo cual el agua residual será descendida por sus mismas agujeros para que luego se distribuya.

- **Llaves de control de ½ pulg.**

Se emplearon 3 llaves de control de ½ pulgada

- **Extensión**

Para serlo funcionar la planta piloto se necesitó energía que se conecta directamente a la electrobomba y para eso se empleo.

- **Estructura metálica**

La estructura metálica sirve de soporte a los filtros percoladores y a todo el sistema en general, dicha estructura está elaborada a base de fierro rectangular de 3.48 m de altura y 1.82 m de ancho.

- **Filtros percoladores**

Sistema elaborado a base de vidrio de 6 mm en las paredes y 8 mm en la base.

### **3.9.2 Materiales y equipos de campo**

- Lapiceros
- Formatos de campo
- Casco
- Chaleco
- Cámara fotográfica marca "SONY"

- Laptop

### 3.10 Diseño y construcción del sistema de filtros percoladores en serie

Se diseñó los dos filtros percoladores uno sobre el otro, de tal forma que se aproveche la gravedad para la recirculación del agua residual. En la parte inferior se ubica un tanque de almacenamiento de 80 L de capacidad con un volumen útil de 73 L y en la parte superior se cuenta con un tanque de regulación, ambos tanques están conectados mediante una tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada para la recirculación del agua residual. Todo el sistema está montado en una estructura metálica de 1.5 pulgadas de espesor. Cada filtro tiene 1.3 m de altura. La altura del medio filtrante (piedra pómez) fue 1 m. La geometría de los filtros fue prismática, cuya bases fueron hexágonos regulares de 0.14 m de lado, mientras que las caras laterales fueron rectángulos de 1.30 m de altura y 0.14 m de ancho.

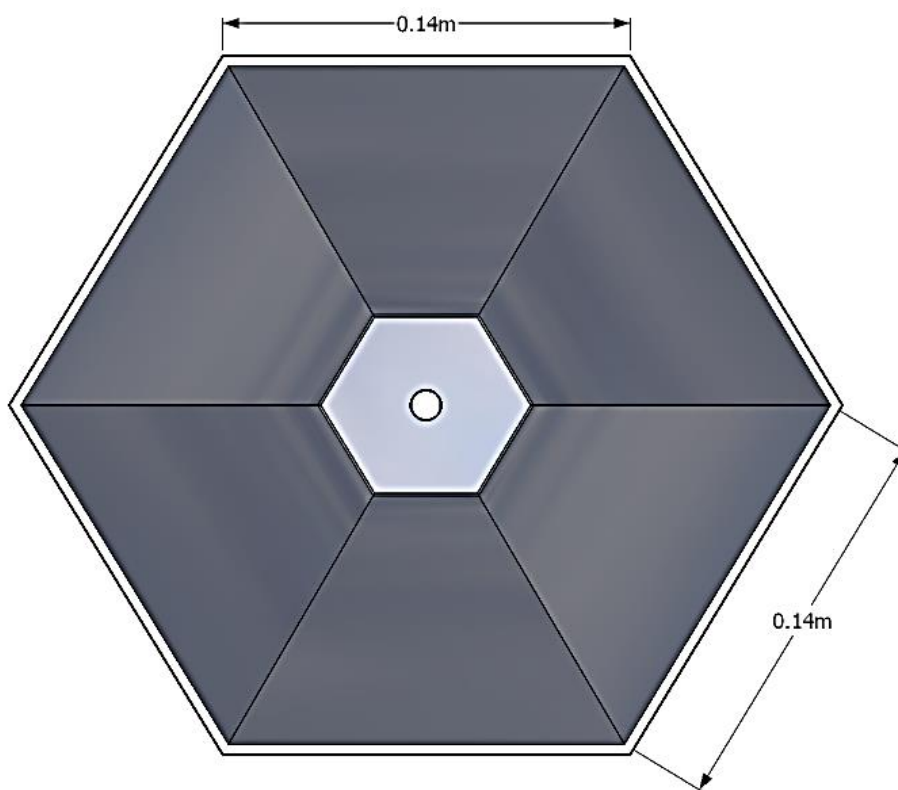
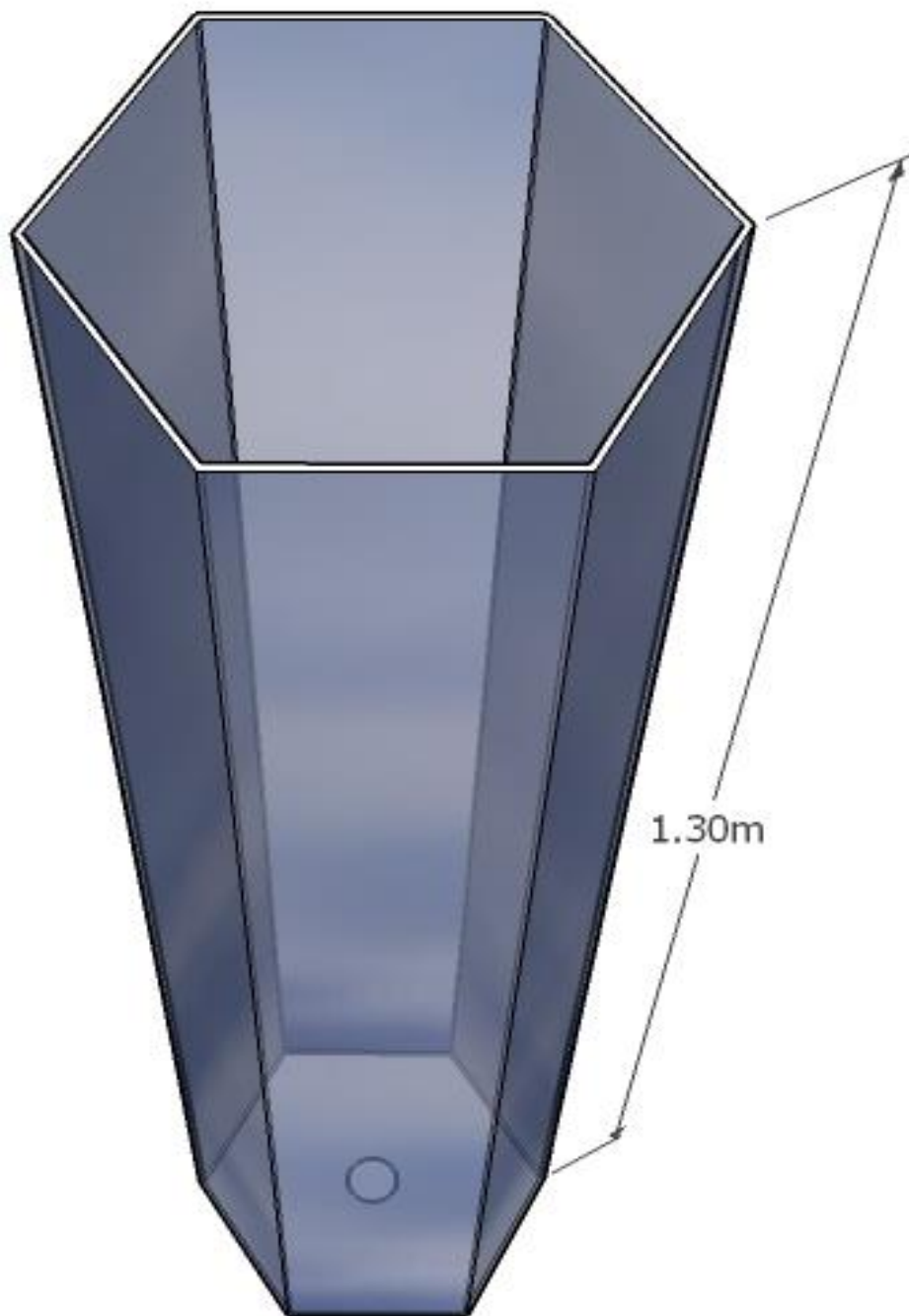


Figura 5. Vista de planta del filtro Percolador

Fuente: Elaboración propia



*Figura 6.* Vista frontal del filtro Percolador

Fuente: Elaboración propia

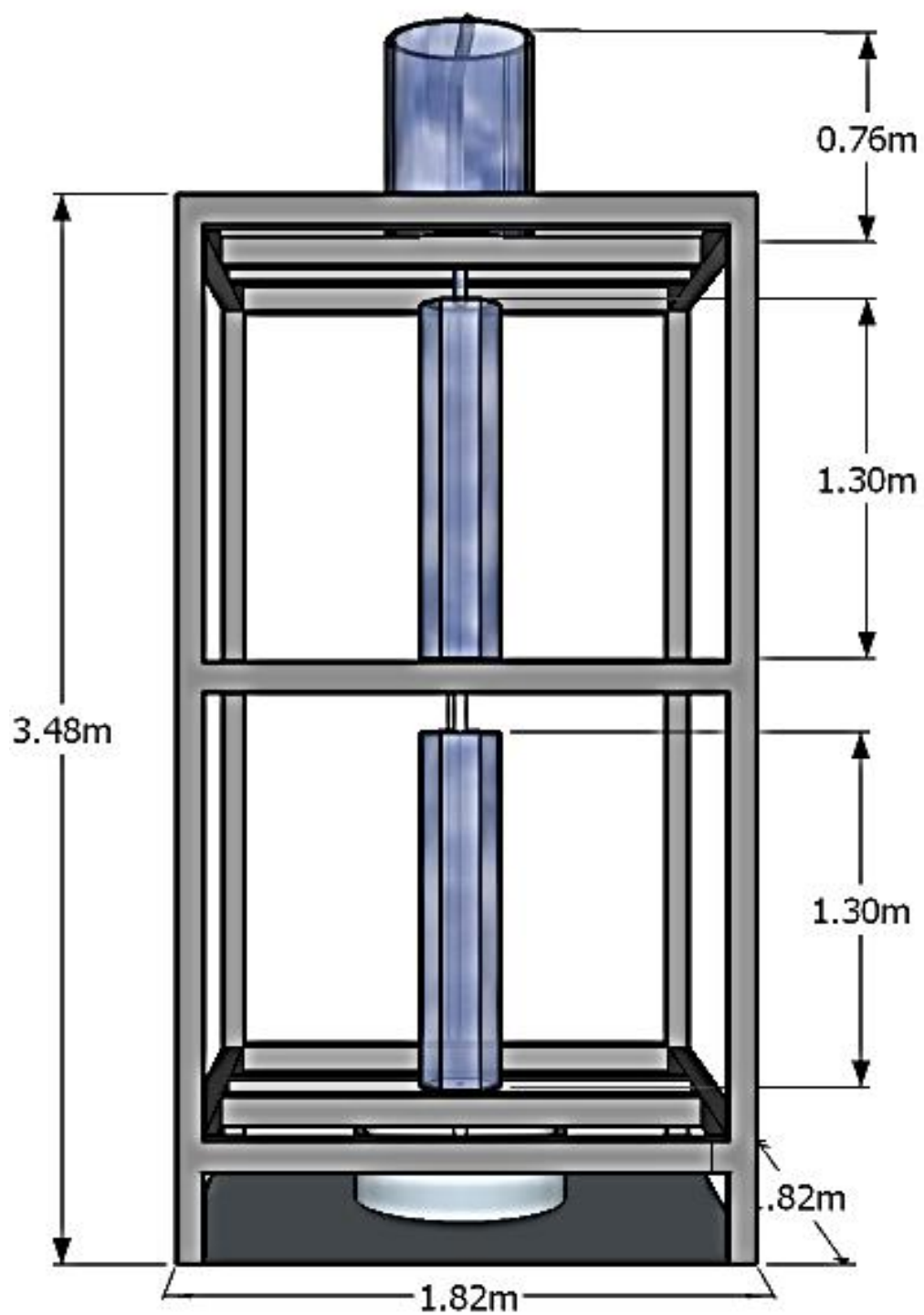
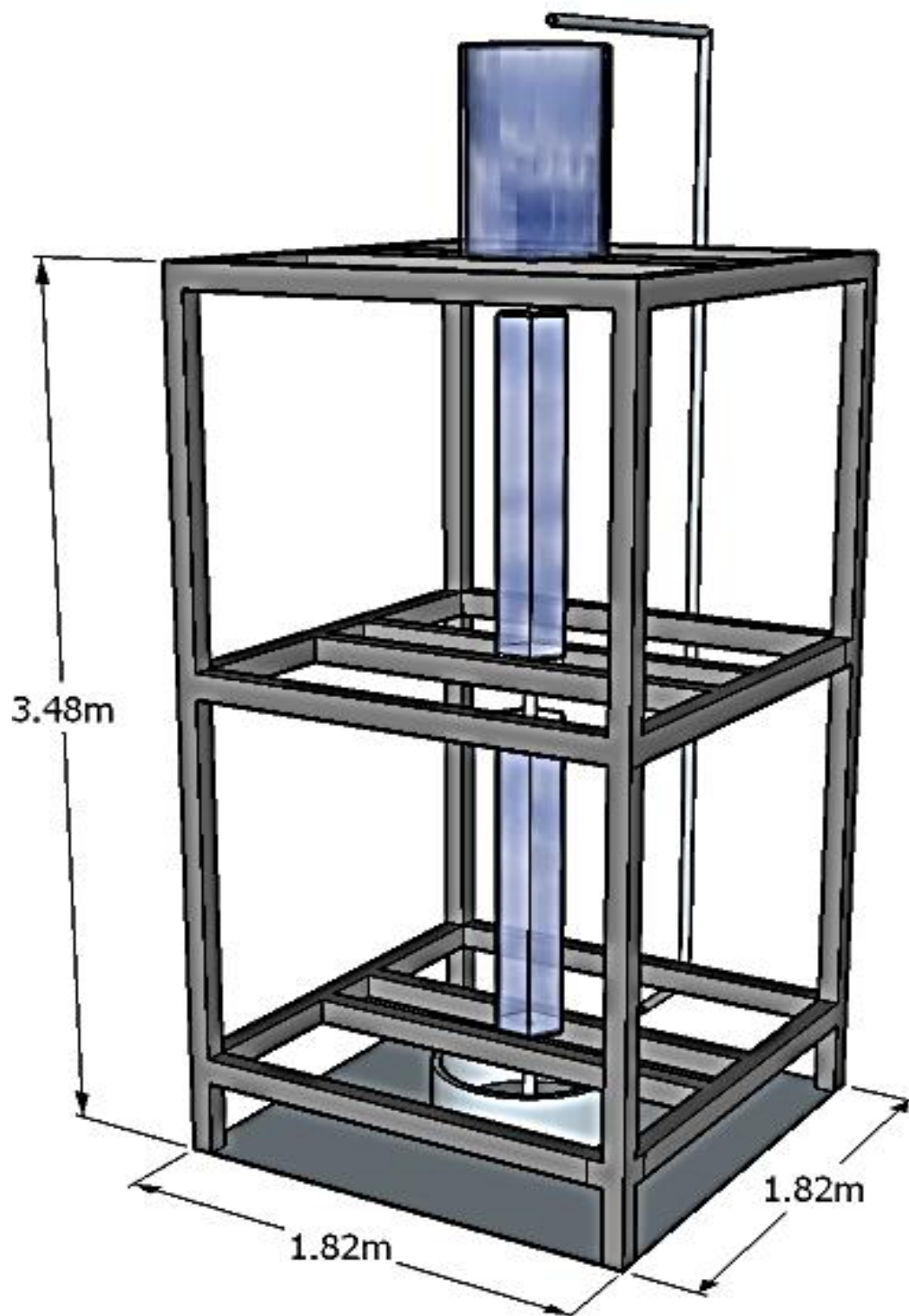


Figura 7. Diagrama del sistema de filtros percoladores en serie

Fuente: Elaboración propia



*Figura 8.* Tubería de recirculación del sistema de filtros percoladores en serie

Fuente: Elaboración propia



### 3.11 Cálculos para el dimensionamiento de los filtros percoladores

#### a. Diámetro de los filtros percoladores

Para determinar el diámetro del filtro, se empleó la Ecuación 1

$$d = 2 * L \quad (1)$$

Donde

d: Diámetro

L: Lado del filtro

#### b. Área de los filtros percoladores

Para determinar el área (m<sup>2</sup>) se empleó la Ecuación 2

$$A = \frac{3 * L^2 * \sqrt{3}}{2} \quad (2)$$

Donde

A: Área

L: Lado del filtro

#### c. Volúmen de los filtros percoladores

Para determinar el volumen se empleó la Ecuación 3

$$V_{FP} = A * h \quad (3)$$

Donde

A: Área

h = Altura

V: Volúmen del filtro percolador

### **3.12 Construcción del filtro percolador**

El filtro percolador para el tratamiento de aguas residuales domésticas se encuentra ubicado en la Urbanización Santa Lucia, el soporte está construido con hierro, en forma rectangular de 1.5 pulgadas.

Se inició con la construcción de los filtros percoladores cuyo material fue vidrio de 6 mm en las paredes y 8 mm en la base.

Los tanques instalados en la parte superior e inferior ayudan al almacenamiento del agua residual. Para la recirculación de la misma se utilizó una bomba de agua 220 Voltios y un caudal máximo de 35 L/min.



*Figura 9.* Adición de piedra pómez al filtro

Fuente: Elaboración propia



*Figura 10.* Bomba de agua de 220 V

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se muestra el prototipo terminado y en operación. El sistema, está regulado por llaves de paso en las entradas de los filtros y en el tanque de almacenamiento. La recirculación del agua se realiza por la acción del control del nivel hermético.



*Figura 11.* Sistema de Filtros Percoladores en serie terminado

Fuente: Elaboración propia

### 3.13 Variables de operación de los filtros

A continuación, se describen las variables más importantes para la construcción de los filtros percoladores.

#### a. Caudal empírico ( $Q_e$ )

Es importante conocer la cantidad de agua que recircula durante un día por los filtros percoladores, es por ello que se realizó la medición de caudal empleando el método volumétrico.

Al momento de medir al caudal por el método volumétrico se colocó el recipiente de cuatro litros de capacidad en la llave del efluente de agua, de tal forma que se colectó todo el flujo de agua, simultáneamente se activó el cronómetro, deteniéndolo al instante en que se llenó el recipiente. Se midió cuatro tiempos para estimar un valor promedio.

Los cuatro tiempos cronometrados del llenado del recipiente en (s), fueron los siguientes: 19.86, 17.32, 18.37 y 21.01.

De lo cual se obtuvo un tiempo promedio estimado de 19 s. Con los valores obtenidos se procedió a calcular el caudal empírico.

Para determinar el caudal se empleó la Ecuación 4.

$$Q_e = \frac{V}{T} \quad (4)$$

Donde

$Q_e$  : Caudal empírico

V : Volumen del recipiente

T : Tiempo

### b. Carga orgánica

Para determinar la carga orgánica se empleó la Ecuación 5.

$$CO = DBO_5 * Q_e \quad (5)$$

Donde

CO : Carga orgánica

Q<sub>e</sub> : Caudal empírico

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

### c. Carga orgánica vertical (COV)

Para determinar la carga orgánica vertical se empleó la Ecuación 6.

$$COV = \frac{CO}{V_{FP}} \quad (6)$$

Donde

COV: Carga orgánica vertical

CO : Carga orgánica

V : Volúmen de los filtros percoladores

### d. Carga hidráulica volumétrica (CHV)

Para determinar la carga hidráulica volumétrica se empleó la Ecuación 7.

$$CHV = \frac{Q_e}{V_{FP}} \quad (7)$$

Donde:

CVH: Carga hidráulica volumétrica

Q : Caudal empírico

V : Volumen de los FP

### e. Velocidad de filtración

Para determinar la velocidad de filtración se empleó la Ecuación 8.

$$VF = CHV * H \quad (8)$$

Donde:

CHV: Carga Hidráulica Volumétrica

H : Espesor del medio filtrante

VF : Velocidad de filtración

### f. Eficiencia del sistema de filtros

Para determinar el porcentaje de eficiencia (E) del sistema de filtros, se empleó la Ecuación 9.

$$E = \frac{S_0 - S_f}{S_0} * 100 \quad (9)$$

$S_0$ : Valor del parámetro en el afluente (Biodigestor)

$S_f$ : Valor del parámetro en el efluente (Sistema de filtros)

## 3.14 Funcionamiento del sistema de filtros percoladores en serie

### a. Prueba Hidráulica del sistema de filtros percoladores en serie

Antes de proceder con los ensayos, se realizó la prueba hidráulica del prototipo, con el fin de verificar la correcta instalación de tuberías, llaves de paso, conexiones, bases hexagonales de los filtros y demás accesorios que conforman el sistema.

Se inició con el llenado del recipiente recolector con capacidad total de 80 L, pero para la prueba se realizó con un total de 73 L ya que se considera una cantidad útil de agua a ser tratada para evitar el colapso del tanque de almacenamiento que se encuentra en la base de sistema.



Además se determinó el tiempo que demora el agua en subir desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de regulación que se encuentra en la parte superior del sistema de filtros percoladores. Se inició con el encendido de la bomba de agua, con lo cual el agua empezó a subir al tanque de regulación.

#### **b. Ensayo 1 (a los 15 días)**

Una vez completado la prueba hidráulica se procedió a realizar el ensayo número 1, para lo cual se llenó el recipiente recolector del sistema con 73 L de agua residual doméstica procedente de un biodigestor. El agua residual doméstica estuvo en recirculación 15 días, al culminar el tiempo de retención hidráulica establecido se procedió a tomar las muestras para el análisis de calidad de agua.

#### **c. Ensayo 2 (a los 30 días)**

Para el ensayo número 2, se empleó la misma agua que había recirculado por 15 días en el ensayo número 1, el tiempo de tratamiento fue de 30 días adicionales a la fase inicial, cumplidos los días de tratamiento se continuó con la toma de muestra para el estudio en un laboratorio acreditado.

#### **d. Ensayo 3 (a los 40 días)**

En el ensayo número 3, se empleó la misma agua residual doméstica que había recirculado por 30 días en el ensayo número 2, el tiempo de tratamiento fue de 40 días adicionales a la fase inicial. Después de cumplir el tiempo de tratamiento, se realizó la toma de muestras, para su análisis.

### **3.15 Recolección de muestra**

Para la toma de muestra del agua residual antes y después del tratamiento, se procedió según el Protocolo de Monitoreo de aguas residuales aprobado mediante Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA, la misma que fue enviado a un laboratorio acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL.

### 3.16 Procesamiento de los datos

Para el análisis de los datos se realizó estadística descriptiva (tablas de frecuencias, gráficos de barras y medidas de resumen). Asimismo se realizó el análisis de regresión exponencial en el programa Minitab.

### 3.17 Métodos analíticos y frecuencia de muestreo

En la Tabla 5 se muestra los métodos analíticos, frecuencia de muestreo y el número de mediciones a realizar.

Tabla 5

#### *Métodos de análisis de los parámetros*

Nombre	Método	Referencia
Temperatura	Termómetro de mercurio	-
pH	Potenciómetro - pH metro Digimed	SM22 4500 O B
DBO5	APHA-5210 B	SM22 5210 B
DQO	Colorimétrico -APHA	SM22 5520 D
Sólidos suspendidos	Gravimétrico - APHA	SM22 2540 D
Totales (SST)		

Fuente: Domingues (2005)

## Capítulo IV Resultados y discusión

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Características del agua residual a tratar

El agua residual a tratar, proviene del efluente de un biodigestor. El agua residual que se trata en el biodigestor proviene de las viviendas de la urbanización Santa Lucía - Morales. Para conocer el tipo de contaminantes, que aún presenta el agua residual del biodigestor, se llevó a cabo una caracterización del agua residual. Se determinaron cinco parámetros de calidad del agua residual: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, potencial hidrogeno y temperatura. Estos resultados, se observan en la Tabla 6, donde se puede observar que los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO están por encima del LMP del DS N° 003-2010-MINAM, mientras que los parámetros SST y T° se encuentran por debajo del LMP. Asimismo se observa que el parámetro pH se encuentra dentro del LMP.

Tabla 6

#### *Características del agua residual a tratar*

Parámetro	Unidad	Resultado	LMP
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	106.4	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	474.8	200
Sólidos suspendidos totales	mg/L	70.8	150
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7.4	6.5-8.5
Temperatura	°C	22.0	<35

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Dimensionamiento de los fitos percoladores

##### 4.1.2.1 Dimensiones de los fitos percoladores

El diámetro de cada filtro percolador fue 0.28 m, con un área de 0.051 m<sup>2</sup> y el volumen de 0.066 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2.2 Monitoreo de las las variables de operación los filtros

En la Tabla 7, se muestra las variables de operación de los filtros percoladores, las cuales son: Caudal empírico o caudal de recirculación, carga orgánica, carga orgánica vertical, carga hidráulica volumétrica y velocidad de filtración. El caudal empírico disminuyó conforme transcurrían los días, debido a que el sistema de filtros operó con recirculación. Por otro lado, la carga orgánica, se mantuvo aproximadamente en 1.90 Kg/día (promedio). La carga orgánica vertical, disminuyó en el día 15, para luego aumentar en el día 30 y mantenerse constante al finalizar el proceso. Las variables carga hidráulica volumétrica y velocidad de filtración tuvieron una tendencia decreciente.

Tabla 7

*Variables de operación de los filtros percoladores*

Variable	Unidad	Tiempo (días)			
		0 (inicio)	15	30	40
Caudal	m <sup>3</sup> /día	18.14	12.74	11.97	10.97
Carga orgánica	kg/día	1.94	1.81	1.93	1.93
Carga orgánica vertical	kg/m <sup>3</sup> .día	14.7	-115.3	2.4	2.4
Carga hidráulica volumétrica	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .día	137.42	-5262.58	-6032.58	-7032.58
Velocidad de filtración	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .día	6.87	-263.13	-301.63	-351.63

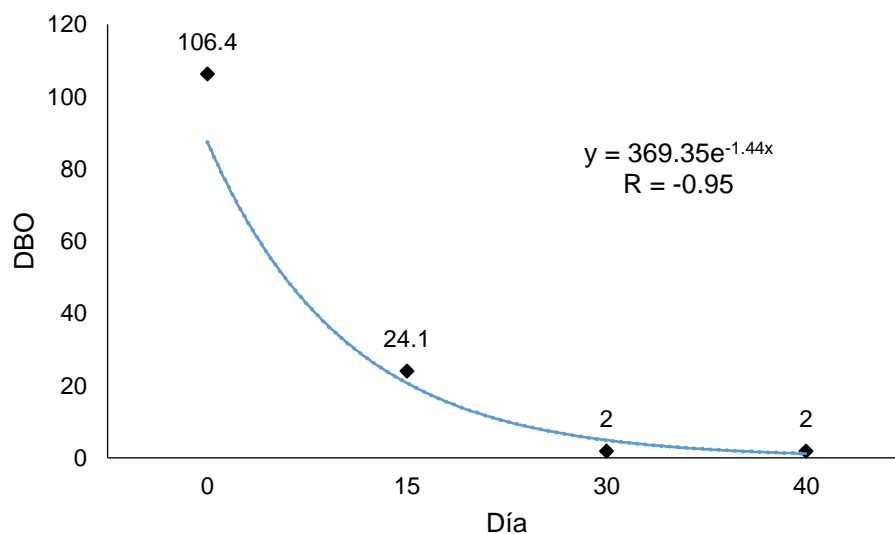
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3 Comportamiento de los parámetros durante el tratamiento

##### 4.1.3.1 Comportamiento de la DBO

En la Figura 12, se muestra el comportamiento de la DBO, durante los 40 días de tratamiento del agua residual doméstica. Se observa una tendencia decreciente. A medida que

transcurre el tiempo, la DBO disminuye, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación (alta relación negativa), cuyo valor fue -0.95. Utilizando la ecuación del modelo de regresión exponencial, a los 0.91 días del tratamiento, se estaría cumpliendo con el valor de la DBO, establecido en el LMP, para PTAR de aguas domésticas, cuyo valor es 100 mg/L.

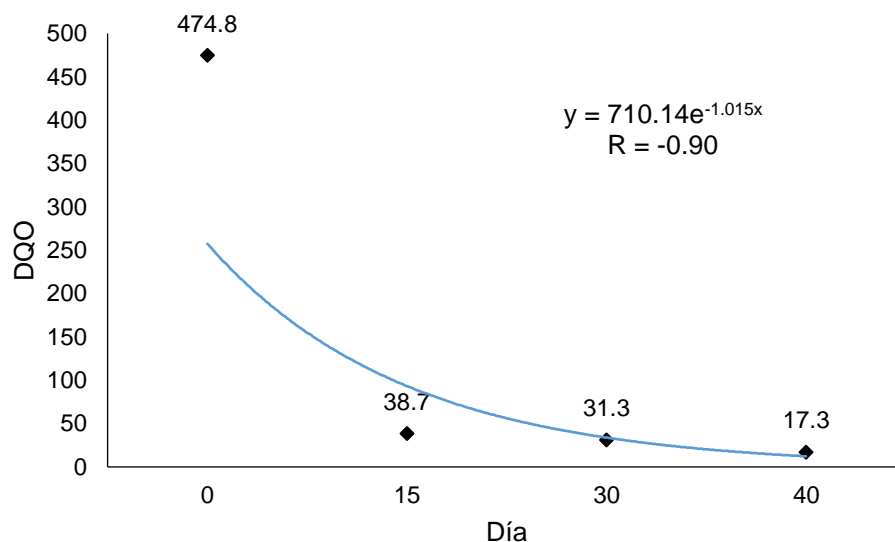


*Figura 12.* Comportamiento de la DBO durante el tratamiento

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.2 Comportamiento de la DQO

En la Figura 13, se muestra el comportamiento de la DQO, durante los 40 días de tratamiento del agua residual doméstica. Se observa una tendencia decreciente. En cuanto transcurre el tiempo, la DQO disminuye, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación (alta relación negativa), cuyo valor fue -0.90. Utilizando la ecuación del modelo de regresión exponencial, a los 1.25 días del tratamiento, se estaría cumpliendo con el valor de la DQO, establecido en el LMP, para PTAR de aguas domésticas, cuyo valor es 200 mg/L.



*Figura 13.* Comportamiento de la DQO durante el tratamiento

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.3 Comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST)

En la Figura 14, se muestra el comportamiento de SST, durante los 40 días de tratamiento del agua residual doméstica. Se observa una tendencia decreciente. A medida que transcurre el tiempo, los SST disminuyen, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación (alta relación negativa), cuyo valor fue -0.95. Este parámetro cumple el valor establecido en el LMP, para PTAR de aguas domésticas (150 mg/L), ya que del biodigestor sale con una concentración de SST de 70.8 mg/L (día cero).

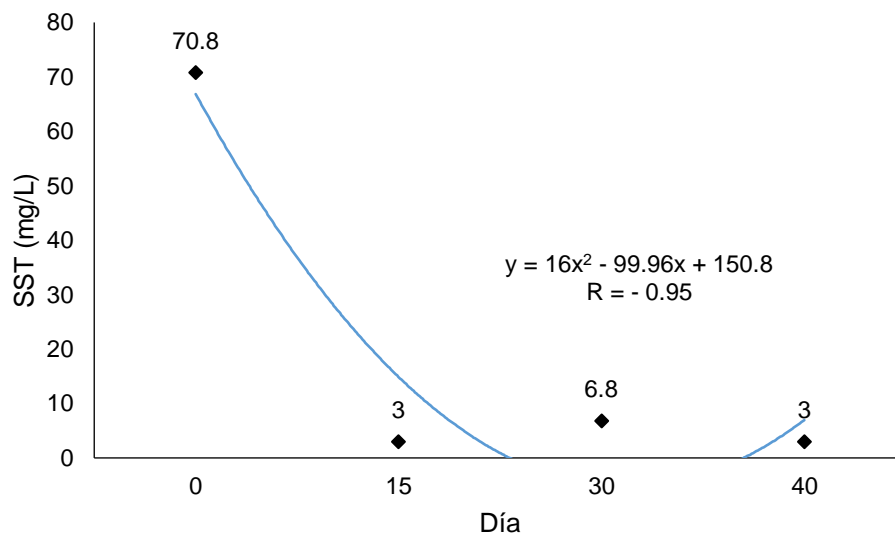


Figura 14. Comportamiento de SST durante el tratamiento

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.4 Comportamiento del pH

En la Figura 15, se muestra el comportamiento del pH, durante los 40 días de tratamiento del agua residual doméstica. Se observa una tendencia creciente. A medida que transcurre el tiempo, el pH aumenta ligeramente, teniendo un comportamiento ligeramente básico, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación (alta relación positiva), cuyo valor fue 0.96. Este parámetro cumple el LMP, ya que su valor debe estar entre 6.5-8.5. El pH antes de empezar el tratamiento (día cero) fue 7.4.

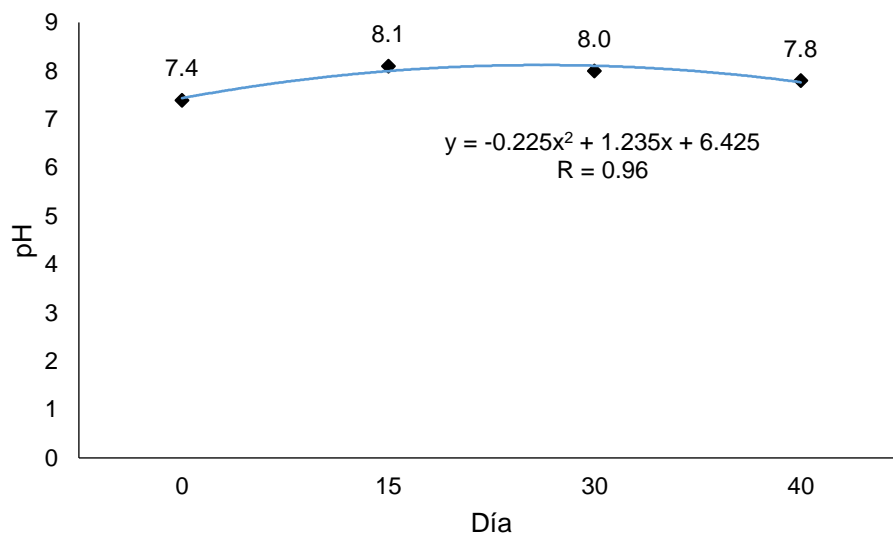


Figura 15. Comportamiento del pH durante el tratamiento

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.5 Comportamiento de la temperatura

En la Figura 16, se observa como se comporta la temperatura durante los 40 días de tratamiento del agua residual doméstica. Se observa una tendencia decreciente. A medida que transcurre el tiempo, el disminuye ligeramente, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación (alta relación negativa), cuyo valor fue - 0.97. Este parámetro cumple el LMP, ya que su valor debe menor que 35°C. La temperatura del agua residual, antes de empezar el tratamiento (día cero) fue 22°C.



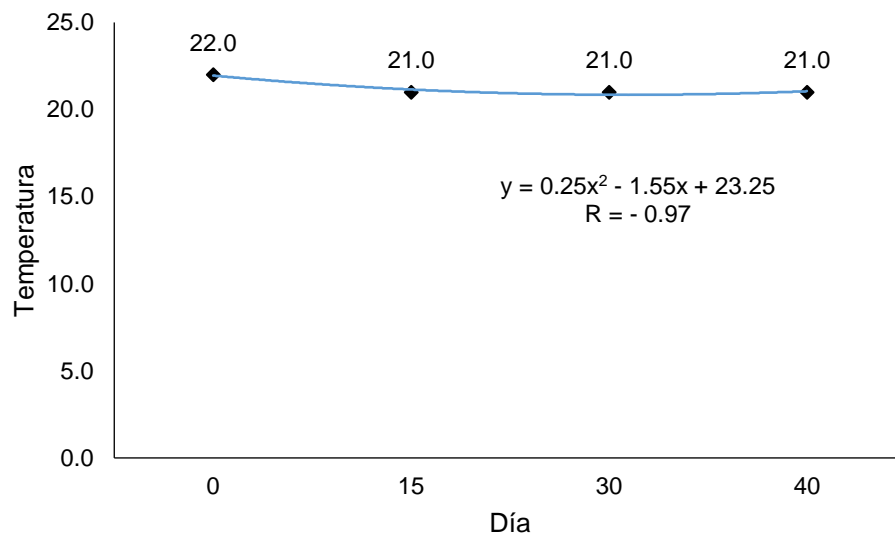


Figura 16. Comportamiento de la temperatura durante el tratamiento

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4 Determinación de la eficiencia del sistema de filtros percoladores

En la Tabla 8, se muestra la eficiencia del sistema de filtros percoladores. La eficiencia al final del ensayo (40 días) fue de 98.12%, 96.36% y 95.76% para DBO, DQO y SST, respectivamente.

Tabla 8

##### *Eficiencia del sistema de filtros percoladores*

Día	DBO	DQO	SST
15	77.35	91.85	95.76
30	98.12	93.41	90.40
40	98.12	96.36	95.76

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Discusión

En este trabajo de investigación se puede observar que la eficiencia promedio de los filtros percoladores con respecto a los parámetros  $\text{DBO}_5$  y DQO es de 91.20 % y 93.87 % respectivamente en un lapso de 40 días de funcionamiento de los filtros. Eficiencias similares fueron reportadas por Pacheco (2015), quien obtuvo resultados de 80.27 % de eficiencia promedio en el parámetro  $\text{DBO}_5$  y 76.92 % de DQO en un lapso de 98 días de funcionamiento del sistema de filtros. Asimismo, Rivera et al. (1999) encontraron una eficiencia de remoción de DQO de 87 % con tres recirculaciones. Sin embargo autores como Cárdenas, Mancilla & Domínguez (2017) obtuvieron una eficiencia promedio de  $\text{DBO}_5$  y DQO de 18.1 % y 10.7 % respectivamente, en un lapso de 41 días del funcionamiento de sus filtros percoladores. Asimismo, Hernández (2012) menciona que obtuvo eficiencias promedio de su filtro percolador de 16 % de  $\text{DBO}_5$  en 153 días de funcionamiento del filtro percolador. Estos resultados bajos de eficiencia de remoción de DBO y DQO, encontrados por los dos últimos autores, puede deberse a una mala operación de los filtros percoladores. Por otro lado, Soto, Miranda, Avila, Cuevas & Carrión (2008) reportan eficiencias de remoción de 99% de DQO con filtros percoladores. Asimismo, Bayona & Quiroz citado por Rodríguez (2014) obtuvieron una eficiencia de remoción de  $\text{DBO}_5$  del 73.168 % empleando PET como medio filtrante.

En esta investigación se obtuvo las concentraciones promedios finales de 29.1 mg/L, 9.37 mg/L y 4.27 mg/L para DQO, DBO y SST respectivamente. Sin embargo, Pereira (2005) obtuvo concentraciones promedio finales de DQO, DBO y SST de 96 mg/L, 40 mg/L y 32 mg/L respectivamente. Con lo cual los filtros percoladores de la presente investigación, fueron más eficiente. Por otro lado, Almeida (2007) obtuvo una  $\text{DBO}_5$  del agua residual doméstica por debajo de 60 mg /L, DQO inferior a 180 mg/L y de SST por debajo de 60 mg/L. Rodríguez (2014) obtuvo la mejor eficiencia con respecto a la remoción en el filtro percolador a los 60 días de haber iniciado su funcionamiento con la inyección de aire artificial, donde se lograron

obtener concentraciones de 58 mg/L de DBO, 93 mg/L de DQO y 68 mg/L de SST, representando una eficiencia de 77 % para la remoción del DBO y DQO, y 63 % para la remoción del SST.

En esta investigación las cargas orgánica final del agua residual fueron de 1.89 kg DQO/m<sup>3</sup>día, en los 40 días de funcionamiento de los filtros percoladores. Resultados similares son reportados por Muñoz & Reyes (2013), cuya carga orgánica final fue de 2.4 kg DQO/m<sup>3</sup>día durante un lapso de 90 días.

## Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Los parámetros DBO y DQO del agua residual proveniente de biodigestor, no cumplieron el LMP del DS N° 003-2010-MINAM, mientras que los parámetros SST, temperatura y pH cumplieron el LMP.

El diámetro de cada filtro percolador fue 0.28 m, con un área de 0.051 m<sup>2</sup> y volumen de 0.066 m<sup>3</sup>. El caudal empírico disminuyó conforme transcurrían los días, debido a que el sistema de filtros operó con recirculación. Por otro lado, la carga orgánica, se mantuvo aproximadamente en 1.90 Kg/d (promedio). La carga orgánica vertical, disminuyó en el día 15, para luego aumentar en el día 30 y mantenerse constante al finalizar el proceso. Las variables carga hidráulica volumétrica y velocidad de filtración tuvieron una tendencia decreciente.

A medida que transcurre el tiempo, la DBO, DQO, SST disminuyen, lo cual se evidencia por el coeficiente de correlación negativa, siendo respectivamente -0.95, -0.90 y -0.95. Por otro lado, el pH, aumenta ligeramente, a medida que transcurre el tiempo. Mientras que la temperatura, disminuye con el tiempo. Al finalizar el proceso, todos los parámetros cumplieron el LMP.

Finalmente la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales con dos filtros percoladores en serie, al final del ensayo (40 días) fue de 98.12%, 96.36% y 95.76% para DBO, DQO y SST, respectivamente.

En todos los casos se aceptó la hipótesis alterna.

## 5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar análisis de otros parámetros establecidos en la normativa de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, como lo son aceites y grasas y coliformes termotolerantes.

De igual manera, se recomienda realizar proyectos afines, en pequeñas comunidades, como una alternativa al tratamiento de las aguas residuales domésticas, cuya concentración de materia orgánica puede ser tratada en los biofiltros percoladores. Es importante mencionar, que estos sistemas requieren de un mantenimiento sencillo, actividad que puede generar fuentes de empleo en una comunidad y, que a su vez su costo de operación es relativamente bajo, a comparación de otros sistemas más sofisticados.

Asi mismo, se recomienda que el funcionamiento de los filtros percoladores sea de 1 a 5 días, ya que en este tiempo se cumple con los LMP del D.S N° 003-2010-MINAM

Se recomienda al comité de la JASS, Santa Lucía, proponer sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, como los filtros percoladores. Al demostrarse que este sistema es eficiente en la remoción de DBO y DQO.

## Referencias

- Almeida, P., G. (2007). *Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores uasb, com ênfase na nitrificação*. Disertação. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. Recuperado del 20 de febrero de 2019 de <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/286M.PDF>
- Cárdenas, A., Mancilla, J. & Domínguez, V. (2017). Diferencia entre la eficiencia de eliminación de materia orgánica de filtros biológicos a escala de laboratorio utilizando lechos convencionales versus empaques sintéticos. *Revista de Iniciación Científica*, 3 (1), 1-6. Recuperado el 12 de mayo de 2018.
- Departamento de sanidad del estado de Nueva York (1990). *Manual de tratamiento de aguas negras (versión en lengua española)*. México D.F.: Editorial LimusaWiley. Recuperado el 14 de abril de 2018 de <https://www.iberlibro.com/MANUAL-TRATAMIENTO-AGUAS-NEGRAS-Publicado-Departamento/15589745671/bd>
- Hernández, J. C. (2012). *Diseño, construcción y evaluación de un modelo experimental de filtro percolador utilizando estopa de coco como medio filtrante, para la reducción de nitrógeno y fósforo total de las aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento Aurora II, Universidad de San Carlos de Guatemala*. Retrieved from [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0421\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0421_MT.pdf)
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (Sexta Edición)*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. Recuperado el 02 de diciembre de 2018 de [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

[https://www.academia.edu/13448898/Determinaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_Eficiencia\\_de\\_Lodos\\_Activados\\_como\\_Tratamiento\\_Secundario\\_de\\_las\\_Aguas\\_Residuales\\_Dom%C3%A9sticas](https://www.academia.edu/13448898/Determinaci%C3%B3n_de_la_Eficiencia_de_Lodos_Activados_como_Tratamiento_Secundario_de_las_Aguas_Residuales_Dom%C3%A9sticas)

Jiménez Cisneros, B. E. (Blanca E. (2001). *La contaminación ambiental en México : causas, efectos y tecnología apropiada*. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. Retrieved from [https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA277&lpg=PA277&dq=filtro+percolador+de+baja+tasa&source=bl&ots=IUyDToJzAB&sig=EZ8fiZ-9XPzsf0ugTzTUyFOE\\_bM&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiujNqGwOfcAhUurlkKHceDAo4Q6AEwEXoECAEQAAQ#v=onepage&q=filtro percolador de baja tasa&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA277&lpg=PA277&dq=filtro+percolador+de+baja+tasa&source=bl&ots=IUyDToJzAB&sig=EZ8fiZ-9XPzsf0ugTzTUyFOE_bM&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiujNqGwOfcAhUurlkKHceDAo4Q6AEwEXoECAEQAAQ#v=onepage&q=filtro%20percolador%20de%20baja%20tasa&f=false)

Kamal, E., Sameh, E., Radwan, K. & Ayman, A. (2004). *Effect of distribution nozzles on trickling filter performance*. Zagazig, Egipto: Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad de Zagazig. Recuperado el 10 de octubre de 2018 de [http://www.iwtc.info/2006\\_pdf/14-2.pdf](http://www.iwtc.info/2006_pdf/14-2.pdf)

Lapsolite. (2018). *Filtros percoladores*. Retrieved August 12, 2018, from [http://www.lapsolite.com.mx/productos/?pro=40&producto=Filtros percoladores&id=1](http://www.lapsolite.com.mx/productos/?pro=40&producto=Filtros%20percoladores&id=1)

Metcalf & Eddy., Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (1995). *Ingeniería de aguas residuales : tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw-Hill/Interamericana de España. Retrieved from [https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es\\_ES/biblioteca/search/detailnonmodal/ent:\\$002f\\$002fSD\\_ILS\\$002f0\\$002fSD\\_ILS:256376/ada?qu=UTILIZACION+DEL+AGUA&ic=true](https://www.biblio.uade.edu.ar/client/es_ES/biblioteca/search/detailnonmodal/ent:$002f$002fSD_ILS$002f0$002fSD_ILS:256376/ada?qu=UTILIZACION+DEL+AGUA&ic=true)

Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales - Filtros percoladores*. Mexico. Retrieved from

[https://www.academia.edu/35963101/Ingeniería\\_de\\_aguas\\_residuales\\_Volumen\\_1\\_3\\_ra\\_Edición\\_-\\_METCALF\\_and\\_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf](https://www.academia.edu/35963101/Ingeniería_de_aguas_residuales_Volumen_1_3_ra_Edición_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf)

Muñoz, T. J. & Reyes, R. (2013). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque. *Revista mexicana de ingeniería química*, 12 (3), 575-583. Recuperado el 02 de octubre de 2018 de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1665-27382013000300019&lng=es&nrm=i](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-27382013000300019&lng=es&nrm=i)

Obdulio, J. (2010). *Implementación de material de desecho PET como elemento filtrante en filtros biológicos*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 10 de octubre de 2018 de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0195\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0195_MT.pdf)

Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Recuperado el 12 de mayo de 2018 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>

Pacheco, R. (2015). *Biopercolación para la remoción de materia orgánica de aguas residuales tipo domésticas*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Facultad de Ingeniería y ciencias agropecuarias, Quesito, Ecuador. Recuperado el 17 de enero de 2018 de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4398/1/UDLA-EC-TIAM-2015-12.pdf>

Pereira, A. (2005). *Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos*. (Tesis de postgrado). Facultad de Coordinación de Programas de Postgrado de Ingeniería, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil. Recuperado el 05 de agosto de 2018 de <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp011491.pdf>

Rodríguez, A. (2014). *Estudio de la eficiencia de un filtro sumergido y un filtro percolador en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas, Moyobamba, 2014*. (Tesis

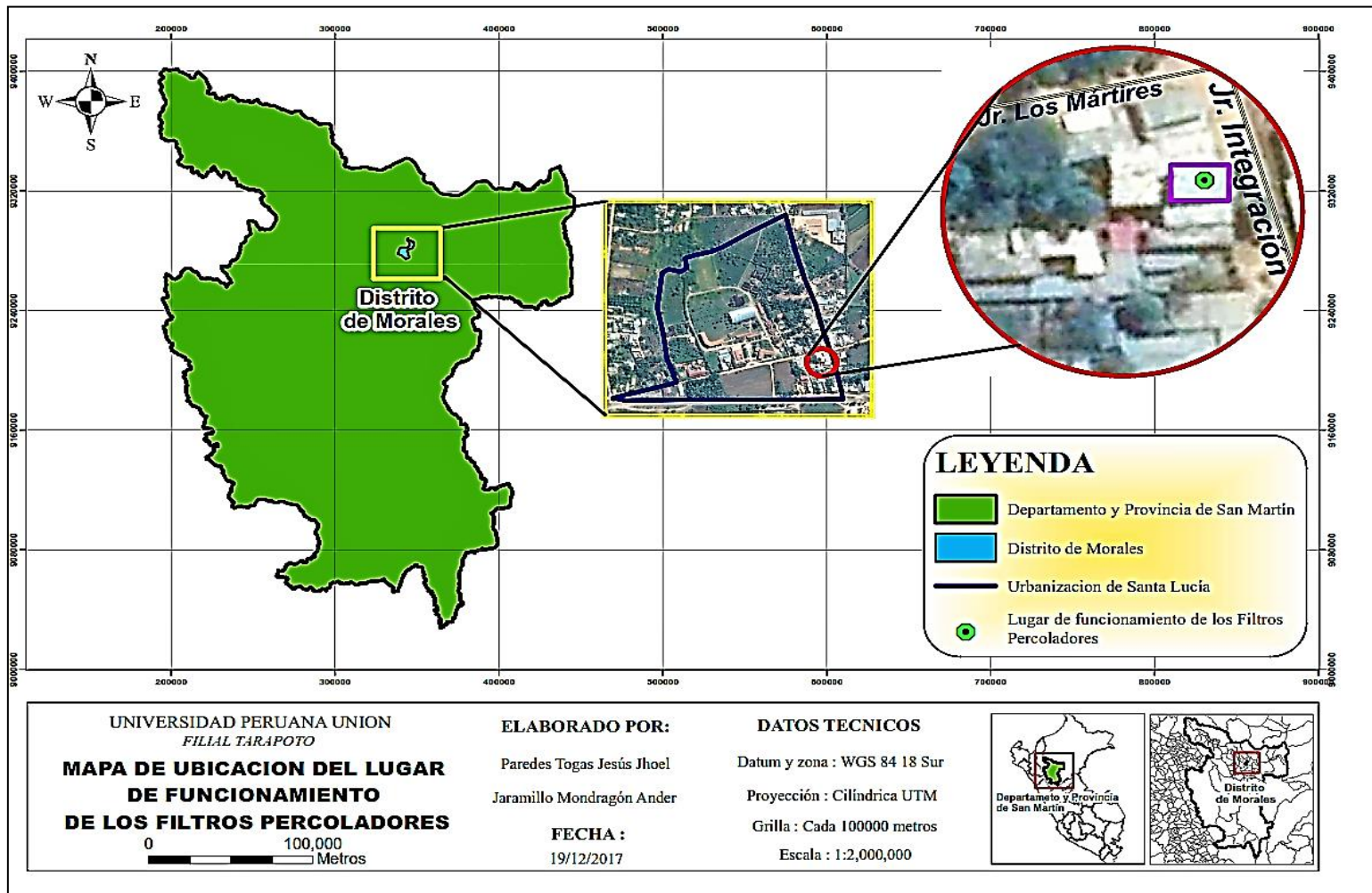


- de pregrado). Facultad de Ecología, Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú. Recuperado el 09 de julio de 2018 de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/256/6055813.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Soto, S., Bucio J. L., Miranda E., Avila J. C, Cuevas J. y Carrión M. (2008). Evaluación de un sistema de filtros sumergidos en el tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Mahahual en el estado de Quintana Roo, México. *Rev. Invest.* 29 (1) :39-46. Recuperado el 05 de mayo de 2018 de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/256/6055813.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stefhany Breuker. (2012). *Filtros Percoladores: Tipos de Filtros Percoladores*. Retrieved August 13, 2018, from <http://filtrospc.blogspot.com/2012/03/tipos-de-filtros-percoladores.html>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2011). *La preocupante y desigual situación del agua en el Perú*. Recuperado el 11 de abril de 2018 de <https://es.scribd.com/document/318223747/Agua>
- Tabra, S. (2013). *La preocupante y desigual situación del agua en el Perú*. Retrieved from <https://www.servindi.org/>
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering (Treatment and Reuse)* / Metcalf & Eddy, Inc. (4th Edition ed.). Recuperado el 22 de marzo de 2018 de [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1588223](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1588223)
- Yearbook minerals. (2003). *Piedra pómez*. Retrieved from [http://www.igme.es/panoramaminero/Historico/2003\\_04/PPOMEZ03.pdf](http://www.igme.es/panoramaminero/Historico/2003_04/PPOMEZ03.pdf)


Yucra, R. (2016). *Influencia del PET reciclado en las características del agua residual doméstica mediante el proceso de filtro percolador para el distrito de Taraco, provincia de Huancane, región Puno*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. Retrieved from <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/736>

# ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la urbanización Santa Lucía




Anexo 2. Resultados de la caracterización del agua residual doméstica



**INSPECTORATE**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031**



Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 55984L/18-MA**

RESULTADOS DE ANÁLISIS				
Estación de Muestreo	M1			
Fecha de Muestreo	2018-05-10			
Hora de Muestreo	18:10			
Código de Laboratorio	04925			
Matriz	00001 ARD			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	Resultado
Demanda Bicquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	105.4
pH	Unidad de pH	--	--	7.4 (*)
Temperatura (*)	°C	--	--	22.0
Sólidos Totales Suspensidos	mg/L	3.0	1.3	70.8
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	474.8

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

\*"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.

>"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.

A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.

Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 626-9016  
[www.inspectorate.com.pe](http://www.inspectorate.com.pe)



## Anexo 3. Caracterización de agua residual a los 15 días del ensayo

INSPECTORATE		LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031		INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado	
		Registro N° LE - 031		Pág. 2 / 3	
<b>INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 56914L/18-MA</b>					
<b>RESULTADOS DE ANALISIS</b>					
Estación de Muestreo		M:2			
Fecha de Muestreo		2018-05-29			
Hora de Muestreo		16:30			
Código de Laboratorio		05745			
Matriz		00001			
		ARD			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	24.1	
pH	Unidad de pH			8.1 (1)	
Temperatura (*)	°C			21.0	
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	3.0	1.3	<3.0	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	38.7	

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C. los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.  
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 <valor> significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.  
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.  
 Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-9016  
 www.inspectorate.com.pe

## Anexo 4. Caracterización de agua residual a los 30 días del ensayo

 <b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031</b> 				
<b>INSPECTORATE</b>				
<b>INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 68126L/18-MA</b>				
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS</b>				
Estación de Muestreo	M3			
Fecha de Muestreo	2018-06-17			
Hora de Muestreo	09:10			
Código de Laboratorio	06788			
Matriz	00001			
	ARD			
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	<2.0
pH	Unidad de pH	--	--	8.0 (l)
Temperatura (*)	°C	--	--	21.0
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	3.0	1.3	6.8
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	31.3

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Servicios Perú S.A.C.  
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.  
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 \*"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.  
 \*\*"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.  
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.  
 Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax: (511) 628-9016  
 www.inspectorate.com.pe

## Anexo 5. Caracterización de agua residual a los 40 días del ensayo

		<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 031</b>			
				Registro N° LE - 031	
Pág. 1 / 3					
<b>INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 80689L/18-MA</b>					
<b>RESULTADOS DE ANALISIS</b>					
Ubicación de Muestra					604
Fecha de Muestreo					2018-09-12
Hora de Muestreo					08:20
Código de Laboratorio					30801
Muestra					3RD
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0		45.0
pH	Unidad de pH	—	—		7.5 (1)
Temperatura (°C)	°C	—	—		21.0
Sólidos Totales Suspensibles	mg/L	3.0	1.3		43.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0		17.5

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspektorate S.A.S.  
 Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.  
 No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación de garantía de calidad de la muestra que se analiza.  
 "valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.  
 "valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.  
 A excepción de los productos perecibles los tiempos de validez dependen del laboratorio que realizó el análisis.  
 Este tiempo varía desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

**Av. Eimer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 815-6500 Fax: (511) 825-9918**  
[www.inspektorate.com.pe](http://www.inspektorate.com.pe)



## Anexo 6. Presupuesto general del Proyecto.

Descripción	Unidad	Cantidad	N° de veces	Costo unitario	Costo total
Servicios					3950,00
Especialista en la construcción de los Filtros Percoladores.	Servicio	1	1	250,00	250,00
Especialista en la construcción de los estructuras metálicas	Servicio	1	1	350,00	350,00
Gasolina	Galón	5	1	10,00	50,00
Análisis de laboratorio de parámetros de muestras (Pre-prueba y Post-prueba)	Unidad	4	1	325,00	1300,00
Asesoramiento	Unidad	1	1	2000,00	2000,00
Materiales					613,00
Electrobomba modelo QB-60 con una potencia de 0.5 HP de fuerza.	Unidad	1	1	200,00	200,00
Codos de ½"	Unidad	4	1	1,00	4,00
Llaves de control de ½"	Unidad	3	1	2,00	6,00
0.5 m de malla metálica gruesa.	Unidad	1	1	6,00	6,00
0.5 m de malla metálica fina.	Unidad	1	1	6,00	6,00
Timbo de 80 litros	Unidad	1	1	30,00	30,00
Tubo de PVC de ½"	Unidad	1	1	5,00	5,00
válvula de bronce anti retorno.	Unidad	1	1	70,00	70,00

Reducción de 1" a ½"	Unidad	1	1	4,00	4,00
Libreta de apuntes	Unidad	1	1	5,00	5,00
Jarras de plástico de 4 litros	Unidad	1	1	5,00	5,00
Teflón	Unidad	1	1	2,00	2,00
Nivel hermético	Unidad	1	1	35,00	35,00
Tina	Unidad	1	1	30,00	30,00
Piedra Pomez	Kg	1	1	180,00	180,00
Extensión	m	20	1	1,00	20,00
Pegamento para tubos	Unidad	1	1	5,00	5,00
Costo total					4563.00,00

## Anexo 7. Panel fotográfico



Anexo 7.1 Biodigestor conteniendo el agua residual a tratar



Anexo 7.2 Muestreo del agua residual doméstica en el biodigestor



Anexo 7.3 Codificación y etiquetado de las muestras del agua residual doméstica



Anexo 7.4 Medición de pH y temperatura del agua residual del biodigester



Anexo 7.5 Muestreo del agua residual a los 15 días del ensayo



Anexo 7.6 Preservación de las muestras, antes del envío al laboratorio



Anexo 7.7 Muestreo del agua residual a los 30 días del ensayo



Anexo 7.8 Muestreo del agua residual a los 40 días del ensayo



Anexo 7.9 Biopelícula formada en la superficie la piedra pómez