



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DEL USO DE DIFERENTES TIPOS DE  
BIOFILTROS APLICADOS EN EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

**EXAMEN COMPLEXIVO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**AUTOR**

**MENDOZA BAZURTO JONATHAN ENRIQUE**

**TUTOR**

**ING. DIEGO MUÑOZ NARANJO**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2021**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **QUÍM. DIEGO IVAN MUÑOZ NARANJO** , docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ANÁLISIS DEL USO DE DIFERENTES TIPOS DE BIOFILTROS APLICADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS** , realizado por el estudiante **MENDOZA BAZURTO JONATHAN ENRIQUE**; con cédula de identidad N°1204125486 de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Unidad Académica **Guayaquil**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

---

**QUÍM. DIEGO IVAN MUÑOZ NARANJO**

Firma del Tutor

Guayaquil, 1 de octubre 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL USO DE DIFERENTES TIPOS DE BIOFILTROS APLICADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”**, realizado por el estudiante **MENDOZA BAZURTO JONATHAN ENRIQUE**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Blgo. Raul Arizaga Gamboa  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Jaime Garcia Ochoa  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

**Ing Ferando Gonzales Soto**  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Quím. Diego Muñoz Naranjo  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 27 de octubre 2021

## DEDICATORIA

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, gracias a Dios por permitirme cumplir con mis metas, a pesar que hubo muchas trabas en el camino me dio la fortaleza y sabiduría para continuar. Este trabajo va dedicado a los seres que más amo y para aquellas que fueron y son parte del camino, pero en especial a mi madre Olivia María Bazurto a quien son su amor y apoyo incondicional deja caer la mejor herencia que puede tener un hijo que es una preparación profesional, que con su incondicional soporte e invaluables consejos me permiten estar aquí, también a mi hermana, hermano, a mi padre, a mis tíos y a Emilio Sarabia para él y mi madre mi admiración total.

## **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo Jonathan Enrique Mendoza Bazurto, en calidad de autor(a) de la monografía realizado, sobre “**ANALISIS DEL USO DE DIFERENTES TIPOS DE BIOFILTROS APLICADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**” para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 27 de octubre del 2021

---

**MENDOZA BAZURTO JONATHAN ENRIQUE**

**C.I. 1204125486**

## Índice general

Portada.....	¡Error! Marcador no definido.
Aprobación del tutor .....	2
Aprobación del tribunal de sustentación .....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento .....	5
Autorización de autoría intelectual.....	6
Resumen .....	9
Abstract.....	10
1. Introducción .....	11
1.1. Importancia o caracterización del tema .....	11
1.2. Actualidad del tema.....	12
1.3. Novedad científica del tema .....	15
1.4. Justificación del tema .....	17
1.5. Objetivo general .....	20
1.6. Objetivos específicos.....	20
2. Marco teórico .....	¡Error! Marcador no definido.
2.1. Métodos para el tratamiento de aguas residuales.....	21
2.1.1. Planta de tratamiento de aguas .....	22
2.1.2. Proceso aerobio .....	23
2.1.3. Proceso anaerobio.....	24
2.1.4. Biofiltros .....	26
2.1.5. Enfermedades transmitidas por el agua .....	28
2.1.6. Eliminación de registros.....	30
2.2. Turbiedad .....	30
2.3. Biofiltración.....	30

<b>2.4. Filtro goteando .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5. Filtración lenta de arena .....</b>	<b>33</b>
<b>2.6. Consideración del diseño del biofiltro para la eliminación de contaminantes microbianos.....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.1. Filtro de medios.....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.2. Modificaciones de los medios filtrantes .....</b>	<b>38</b>
<b>2.6.3. Modificación de la superficie de los medios filtrantes .....</b>	<b>39</b>
<b>2.6.4. Biofilm .....</b>	<b>40</b>
<b>2.6.5. Infauna .....</b>	<b>40</b>
<b>2.6.6. Vegetación .....</b>	<b>41</b>
<b>2.6.7. Ecofiltros microbianos de lombrices de tierra .....</b>	<b>42</b>
<b>2.7. Estado del arte.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3. Metodología.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>3.1.1. Recursos bibliográficos .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>4. Conclusiones .....</b>	<b>57</b>
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>6. Glosario .....</b>	<b>66</b>
<b>7. Anexos.....</b>	<b>70</b>

## Resumen

Los agentes patógenos como protozoos, bacterias, virus y helmintos se diseminan entre la comunidad humana a través de la ingestión de agua contaminada y plantean una grave preocupación para la salud pública. El método de desinfección por filtración biológica es el paso clave en un sistema de tratamiento de agua centralizado de varios pasos y descentralizado en el punto de uso. Una biopelícula de microorganismos autóctonos fijada en una superficie sólida, llamada biofiltro, es una técnica ecológica y económica para la eliminación de contaminantes y patógenos. Piedra, grava, arena, tierra, abono, piedra mineral mesoporosa, astillas de madera, etc., ejemplifican el medio de lecho sólido que proporciona una superficie mejorada para la adherencia microbiana y la retención de agua. Filtro de arena lento (SSF) caracterizado por un caudal lento (0,1-0,2 m<sup>3</sup>/h) y una capa biológica sobre el lecho filtrante llamada *schmutzdecke* es bastante eficiente en la eliminación de microorganismos coliformes como *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, coliformes totales y coliformes fecales, estreptococos fecales, bacteriófagos y virus MS2 de aguas residuales. El filtro de arena rápido caracterizado por arena más gruesa y mayor caudal que el SSF elimina los microorganismos indicadores de manera eficiente. El biofiltro de aguas pluviales es un método popular y eficaz para la eliminación de patógenos e implica actividad biológica y retención física del patógeno en los medios filtrantes. La diversidad microbiana, el tamaño del inóculo, el pH y la humedad del medio, la temperatura y el contenido de nutrientes son parámetros clave que gobiernan el rendimiento óptimo del sistema de biofiltro. Por lo tanto, la biofiltración puede ser una tecnología de biorremediación eficaz para la eliminación de patógenos.

Palabras clave: Agua potable; Agente patógeno; Aguas residuales; Biofiltro; *Escherichia coli*; Microorganismos

## Abstract

Pathogens such as protozoa, bacteria, viruses, and helminths are spread among the human community through ingestion of contaminated water and pose a serious public health concern. The biological filtration disinfection method is the key step in a centralized multi-step, decentralized point-of-use water treatment system. A biofilm of indigenous microorganisms fixed on a solid surface, called a biofilter, is an ecological and economical technique for the elimination of contaminants and pathogens. Stone, gravel, sand, earth, compost, mesoporous mineral stone, wood chips, etc., exemplify the solid bed medium that provides an improved surface for microbial adhesion and water retention. Slow sand filter (SSF) characterized by a slow flow rate (0.1-0.2 m<sup>3</sup> / h) and a biological layer on the filter bed called *Schmutzdecke* is quite efficient in the elimination of coliform microorganisms such as *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, total coliforms and fecal coliforms, fecal streptococci, bacteriophages, and wastewater MS2 viruses. The fast sand filter characterized by coarser sand and higher flow rate than SSF removes indicator microorganisms efficiently. The rainwater biofilter is a popular and effective method of pathogen removal and involves biological activity and physical retention of the pathogen in the filter media. Microbial diversity, inoculum size, medium pH and moisture, temperature, and nutrient content are key parameters that govern the optimal performance of the biofilter system. Therefore, biofiltration can be an effective bioremediation technology for the elimination of pathogens.

Keywords: Biofilter, Drinking water, *Escherichia coli*, Microorganism, Pathogen, Wastewater

## **1. Introducción**

### **1.1 Importancia o caracterización del tema**

El tratamiento, la recolección y la descarga de aguas residuales son esenciales para proteger la salud humana, el medio ambiente y la calidad del agua circundante. Antes de que puedan ser tratadas, las aguas residuales deben recolectarse de las redes de alcantarillado que dan servicio a los hogares, los locales municipales, comerciales e industriales, incluida la escorrentía de agua de lluvia de las carreteras y otras superficies impermeables (Díaz, Alvarado, y Camacho, 2012).

La filtración es uno de los procesos de tratamiento más importantes que se utilizan en el tratamiento de agua y aguas residuales. En el tratamiento de agua, se utiliza para purificar el agua superficial para uso potable, mientras que, en el tratamiento de aguas residuales, el objetivo principal de la filtración es producir un efluente de alta calidad para que pueda ser reutilizado para diversos fines. Cualquier tipo de filtro con biomasa adherida al medio filtrante se puede definir como biofiltro. Puede ser el filtro percolador en la planta de tratamiento de aguas residuales, o el filtro de roca horizontal en una corriente contaminada, o el carbón activado granular, o el filtro de arena en la planta de tratamiento de agua. El biofiltro se ha utilizado con éxito para el tratamiento del aire, el agua y las aguas residuales. Se introdujo por primera vez en Inglaterra en 1893 como filtro percolador en el tratamiento de aguas residuales y, desde entonces, se ha utilizado con éxito para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Díaz, Alvarado, y Camacho, 2012).

Originalmente, el biofiltro se desarrolló utilizando roca o escoria como medio filtrante; sin embargo, en la actualidad, también se utilizan varios tipos y formas de medios plásticos. Hay una serie de plantas de tratamiento de envases pequeños

con diferentes marcas disponibles actualmente en el mercado en las que se envasan materiales plásticos de diferentes formas como medios filtrantes y se utilizan principalmente para tratar pequeñas cantidades de aguas residuales (por ejemplo, del hogar o del hotel). Independientemente de sus diferentes nombres que se suelen dar en función del modo de funcionamiento, el principio básico de un biofiltro es el mismo: biodegradación de contaminantes por los microorganismos adheridos al medio filtrante (Díaz, Alvarado, y Camacho, 2012).

Hoy en día, las aguas residuales se consideran un recurso valioso para generar: energía, nutrientes y agua para riego, industrial e incluso para beber. Esta línea de investigación proporciona todo lo que se necesita saber sobre las diferentes etapas de tratamiento y tecnologías involucradas en el tratamiento de aguas residuales (Díaz, Alvarado, y Camacho, 2012).

## **1.2 Actualidad del tema**

Se estima que 884 millones de personas dependen actualmente de fuentes de agua potable no mejoradas, incluidos pozos y manantiales desprotegidos; tanques de agua pequeños y grandes; agua superficial (por ejemplo, ríos, presas, canales y canales de riego). La mayoría de las personas sin acceso a agua potable o saneamiento (más del 70%) reside en zonas rurales. El agua potable insegura, la falta de saneamiento y la mala higiene ocupan el cuarto lugar en los factores de riesgo para la salud mundial medidos en años de vida ajustados por discapacidad (AVAD). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) este problema contribuye a aproximadamente 3,5 millones de muertes cada año. Este riesgo aumenta entre las poblaciones de bajos ingresos en todo el mundo, particularmente en el África subsahariana y el sureste de Asia (Bermeo, 2013).

A menudo, en estas áreas, el acceso al agua potable requiere viajes largos a una fuente distante, generalmente a pie. Este proceso de transporte puede aumentar el riesgo de contaminación. Se ha identificado un vínculo entre la distancia recorrida en busca de agua potable y los resultados negativos para la salud de los niños en particular. Los dispositivos de punto de uso, especialmente aquellos que son económicos y no requieren electricidad, han demostrado ser prometedores para proporcionar agua potable limpia a las poblaciones en riesgo, disminuyendo los problemas asociados con la calidad del agua. Los sistemas probados en este estudio podrían potencialmente cumplir esta función para mejorar la situación del agua potable en estas áreas.

La utilidad de un dispositivo en el punto de uso no puede medirse estrictamente por la reducción de organismos patógenos, se debe considerar una vista completa de un dispositivo antes de su despliegue. Los factores biológicos, económicos y de comportamiento juegan un papel en la determinación de la efectividad final de los dispositivos en el campo. Un sistema de filtración debe poder mantener niveles adecuados de reducción microbiana durante períodos prolongados, además de poder procesar grandes volúmenes de agua. Un enfoque en la simplicidad ayudaría a los diseñadores a producir un dispositivo útil en el punto de uso (Ríos, 2017).

Un dispositivo que sea simple de configurar, fácil de usar y sencillo de mantener tendrá la mejor oportunidad de ver un uso extendido en entornos rurales. El proceso de filtración no debe agregar un tiempo de trabajo considerable a un hogar para que no lo abandonen por actividades más productivas. Otra consideración debe ser el transporte, un dispositivo que es difícil o costoso de transportar no valdrá la pena desplegar sin importar cuán efectivo pueda ser en el campo. El costo es otro factor importante en el cumplimiento a largo plazo; el sistema no solo debe ser económico

inicialmente, sino que los costos de mantenimiento también deben ser bajos para mantener el sistema funcionando correctamente sin interrupción del servicio. Finalmente, el suministro de sustancias suplementarias como cloro y otros químicos y otras partes debe estar disponible para mantener el servicio en funcionamiento (Ríos, 2017).

Los dispositivos de punto de uso alimentados por gravedad, específicamente, han demostrado ser efectivos para mitigar las enfermedades gastrointestinales en muchos de estos escenarios. Estos diseños han demostrado ser duraderos y eficaces durante varios años e incluyen filtros de arena de varias capas denominados sistemas de “bioarena” que se basan en la eliminación de patógenos en lugar de la inactivación de microorganismos, lo que contribuye a su sostenibilidad. El diseño de bioarena ha demostrado la capacidad de reducir significativamente la cantidad de bacterias, algunos virus y parásitos en estudios de laboratorio y de campo. Los filtros de bioarena se han utilizado con éxito en las comunidades rurales, mostrando más del 85% de uso continuo dentro de los hogares hasta 8 años después de la implementación. Dos estudios que utilizaron el sistema de filtro de bioarena, uno en la cuenca del río Njoro en Kenia y otro en la República Dominicana, demostraron una reducción significativa en los días en que la población experimentó diarrea (específicamente niños de 0 a 15 años en el estudio de Kenia) (Rodríguez, 2017).

El diseño de bioarena adolece de algunos inconvenientes. La implementación puede llevar mucho tiempo, el componente de arena y grava lo hace pesado y costoso de transportar, o depende de materiales locales para el medio. El mantenimiento del sistema de bioarena también puede ser engorroso si requiere un cambio completo de toda la arena y grava internas (Brault , 2020).

Como parte del diseño de algunos filtros en el punto de uso, se incorporan capas de material orgánico y el crecimiento benigno de microorganismos en una estructura conocida como biopelículas. Se ha demostrado que las biopelículas capturan y retienen una variedad de microbios del agua, en particular los protozoos y eliminan la materia orgánica que contribuye a los malos sabores y olores. También permite la posibilidad de depredación de patógenos por otros organismos dentro de la biopelícula. El crecimiento de la capa de biopelícula es el resultado del uso natural del sistema. El desarrollo de biopelículas en áreas designadas del sistema permite estos posibles mecanismos de eliminación con un esfuerzo mínimo y sin costo adicional (Lander, 2020).

### **1.3 Novedad científica del tema**

Los filtros biológicos tratan las aguas residuales cerca de un estándar secundario (un estándar más alto que los tanques sépticos, pero no tan alto como los sistemas de tratamiento de aguas residuales aireadas). El efluente debe eliminarse debajo del suelo (es decir, al menos a 300 milímetros de profundidad) utilizando un sistema de absorción de suelo cubierto o como riego subterráneo en un potrero.

Los problemas comunes con los sistemas de filtros biológicos son:

- tanques no anclados que se elevan del suelo después de la lluvia
- las interrupciones de energía pueden causar que la bomba se quemé y fallas en el sistema.
- aguas pluviales que acceden al tanque porque el tanque está demasiado bajo o la escorrentía no se desvía
- ningún acuerdo de servicio con un proveedor de servicio calificado para inspecciones regulares.

Los efluentes (aguas residuales tratadas) de los sistemas de filtros biológicos pueden liberarse en su propiedad a través de:

- montículos de suelo enmendados
- montículos de arena
- zanjas y lechos de absorción
- lechos de absorción de evapotranspiración
- riego del subsuelo.

Las características del material sólido utilizado para los medios filtrantes juegan un papel importante para lograr el nivel de eficiencia deseado de eliminación de contaminantes. La eficacia de los medios filtrantes depende del tipo de material, la forma, el tamaño, el área de la superficie, la porosidad y la rugosidad de la superficie. Un medio de biofiltro potencial para el tratamiento del agua es la arena de cuarzo debido a su abundante disponibilidad. Los granos de arena de cuarzo tienen propiedades estables y son de tamaño relativamente pequeño, por lo que el área de la superficie de contacto cubierta con biopelícula es relativamente amplia y la cavidad entre las partículas es relativamente pequeña. Por lo tanto, el contacto entre los contaminantes del agua cruda y la biopelícula será mayor. Esta condición es preferible para mejorar la eficiencia de eliminación de contaminantes mediante el proceso de biofiltración (Bazurto, 2017).

Se ha demostrado que el proceso de biofiltro es eficaz para diversos fines de tratamiento de aguas y aguas residuales, como el tratamiento avanzado de aguas residuales, la eliminación de plaguicidas y la eliminación de compuestos tóxicos. Estos estudios estuvieron principalmente dirigidos a eliminar altas concentraciones de contaminantes de las aguas residuales y en parte dirigidos a tratamientos avanzados de aguas residuales para eliminar nutrientes. El uso del proceso de

biofiltración específicamente para el tratamiento previo del agua contaminada para el suministro de agua potable, que contiene una concentración relativamente baja de contaminantes, no se ha desarrollado ampliamente, a pesar de la demanda mencionada anteriormente.

El tratamiento del agua cruda con biofiltros puede mejorar la calidad del agua cruda y, por lo tanto, la calidad del agua potable producida, reduciendo los riesgos para la salud pública. Al implementar un sistema de biofiltración bien diseñado para el pretratamiento de agua cruda, la capacidad de las plantas de tratamiento de agua existentes se puede aumentar sin interrupciones significativas en el diseño y operación de los sistemas de tratamiento de agua existentes. El factor más importante en la operación de biofiltración es el tiempo de retención hidráulica del sistema de biofiltración. El tiempo de retención hidráulico aplicado representa la cantidad y el suministro de alimento para los microorganismos en las biopelículas (también llamado carga contaminante) y la duración del tiempo de contacto entre los contaminantes y los microorganismos (Bazurto, 2017).

#### **1.4 Justificación del tema**

A fin de prevenir enfermedades, pérdidas económicas y destrucción de los ecosistemas acuáticos y medio ambiente en general se realizará la presente investigación bibliográfica a través de cual se indagará como se puede potenciar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas mediante el uso de biofiltros y cuál de las diferentes opciones es la mejor opción, sin dejar atrás el doble beneficio que se puede obtener mediante la economía circular (Freire, 2012).

En el mundo, la mayor parte de las aguas residuales no son tratadas ni recolectadas. Se estima que en el mundo más del 80 por ciento de las aguas residuales se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno. Un estudio reciente

mostró que, de 181 países, únicamente 55 contaban con información en materia de generación, tratamiento y utilización de aguas residuales; los países restantes no contaban con información o solo tenían datos parciales (Bazurto, 2017).

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. La contaminación del agua en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina es cada vez peor. En 2012, se registraron más de 800.000 muertes en el mundo a causa del consumo de agua potable contaminada (Brault, 2020).

Los flujos de aguas residuales contienen elementos aprovechables, como nutrientes, metales y materia orgánica, tal como el agua en sí misma, que pueden ser extraídos y utilizados para otros fines productivos. Las aguas residuales son, por lo tanto, un recurso valioso y si se logra su gestión sostenible se convertirán en un pilar fundamental de la economía circular. Los países están utilizando cada vez más las aguas residuales para regar: en los países en desarrollo, esto representa el 7% de las tierras de regadío (Freire, 2012).

De acuerdo a estudios realizados se estima que entre el 80% y el 95 % del agua que se utiliza en camales se desecha, esta agua presenta concentraciones muy altas de contaminantes, ya que se la utiliza para la limpieza de las heces, orina, sangre, de los animales sacrificados, el agua residual se compone de proteínas, grasas, aceites, sólidos suspendidos, por lo que su tratamiento previo es fundamental antes de descargarla al alcantarillado. El agua contaminada puede transmitir enfermedades gastrointestinales. Se calcula que a nivel mundial la

contaminación del agua provoca más de 502000 muertes por diarrea al año (Bruni, 2018).

Un material importante para el tratamiento de aguas residuales es la piedra pómez ya que tiene la capacidad de retener la materia suspendida y dejar pasar el agua posee características como la porosidad, alta rugosidad, composición química favorable para el crecimiento de la biopelícula (consorcio de bacterias depuradoras de la materia orgánica), aspectos ideales para su uso en tareas de purificación de aguas (Pastrana, 2015).

En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos industriales, según investigaciones realizadas en 2013 por el Banco Mundial el 70% de las aguas residuales vuelven a los ríos y otras fuentes hídricas sin ser tratadas, creando un serio problema de salud pública y de medio ambiente. Latinoamérica es una de las regiones más biodiversas del mundo y es dueña nada menos que de un tercio de las fuentes de agua del planeta. La contaminación del agua atenta contra ese orden (Pastrana, 2015).

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. El manejo efectivo de aguas residuales debe dar como resultado un efluente ya sea reciclado o reusable, o uno que pueda ser descargado de manera segura en el medio ambiente. La meta del tratamiento de aguas residuales es reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales.

En el Ecuador no existe una cultura definida sobre el proceso de los residuos sólidos producidos en camales por lo que la industria cárnica se ha convertido en uno de los principales contaminantes del ambiente. Los residuos y desechos

provenientes de los centros de faenamiento en el Ecuador no se han desarrollado tecnológicamente a gran escala, por lo general este desecho es retirado de los mataderos para darle un uso agrícola o en su defecto es vertido a las fuentes de agua sin ningún proceso (Bazurto, 2017).

### **1.5 Objetivo General**

Analizar y comparar diferentes biofiltros y sustratos para el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante revisión bibliográfica como alternativa para la reducción del índice de calidad de agua.

### **1.6 Objetivos específicos**

- Analizar los sustratos y materiales utilizados en la biofiltración de aguas residuales domésticas para la definición de un tratamiento mediante sustrato.
- Definir la cantidad de sustrato necesario para aplicarse como material de un biofiltro en el tratamiento de agua residual doméstica.
- Definir la infraestructura y funcionamiento básico de los biofiltros mayormente conocidos para el tratamiento de aguas residuales.

## **2 Metodología**

### **2.1 Materiales**

#### **2.1.1 Recursos bibliográficos**

La presente investigación se sustenta en una revisión de literatura que permitió la recopilación y análisis de información sobre la aplicabilidad de biofiltros para la remoción de contaminantes mayoritarios presentes en lixiviados provenientes de unidades de compostaje. A través de evidencia documentada a partir de diferentes estudios, se compara el desempeño de estas unidades de tratamiento en la remoción de materia orgánica, nutrientes y otros contaminantes presentes en estos efluentes. Se utilizaron publicaciones científicas obtenidas a partir de una búsqueda en bases de datos como “Science Direct”, “Scielo, Redalyc”, “Agora”, “SpringerLink”, “ASCE Library”, “Digital.CSIC”, “SAGE journals”, “Taylor y Francis online” y “De Gruyter”.

Asimismo, se incluyeron publicaciones científicas obtenidas de portales de investigación como “Scholar Google”, utilizando palabras clave como biofiltros, caracterización fisicoquímica de lixiviados, unidades de compostaje y tratamientos para lixiviados. Entre la información obtenida, se aplicó como criterio de selección que los artículos fueran publicados en dentro del periodo 2005-2020. Se excluyen los artículos dedicados al uso de biofiltros para el tratamiento de emisiones gaseosas.

La selección de publicaciones se llevó a cabo mediante la revisión de los resúmenes para determinar su aporte a los objetivos planteados. Estos fueron organizados en una base de datos en “Microsoft Excel”, que facilitó la clasificación de la información conforme a los objetivos, tipo de estudio, autores, revistas en las

que estaban publicados, año de publicación, país donde se realizó la investigación, principales hallazgos y conclusiones.

- Páginas web
- Libros
- Artículos científicos
- Tesis

## **2.2 Planta de tratamiento de aguas**

El pretratamiento es necesario para eliminar cualquier cosa que pueda interferir con el tratamiento posterior. Puede proteger los sistemas de elevación de agua cruda y las tuberías contra bloqueos, así como otros equipos de tratamiento contra la abrasión y, en general, eliminar cualquier cosa que pueda interferir con el tratamiento posterior. También pueden ayudar a reducir la abrasión de las piezas mecánicas y prolongar la vida útil de la infraestructura de saneamiento (Pérez, Armenteros, y Hernández, 2016).

Las siguientes constituyen operaciones de pretratamiento, aunque las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden comprender una o más de las opciones, dependiendo de la calidad del agua cruda: cribado de barras; tirante; transformación en polvo; removedor de arena; eliminación de grasa, frecuentemente combinada con eliminación de arenilla; remoción de aceite; tratamiento de subproductos: arenilla y grasas; tratamiento combinado de residuos de limpieza de red y de arena vegetal (Pérez, Armenteros, y Hernández, 2016).

Las ventajas del pretratamiento incluyen costos de capital relativamente bajos y costos operativos de bajos a moderados. Esto se combina con el riesgo reducido de perjudicar las tecnologías de transporte y / o tratamientos posteriores. Mientras tanto, la principal desventaja es un mantenimiento frecuente (Vera, 2019).

A menudo, la primera operación unitaria que se usa en las plantas de tratamiento de aguas residuales, la malla se usa para quitar objetos y evitar daños y obstrucciones de los equipos y tuberías aguas abajo. En algunas plantas modernas de tratamiento de aguas residuales se pueden utilizar pantallas gruesas y finas (Valenci, 2013).

Las mallas gruesas eliminan los sólidos grandes, los trapos y los desechos de las aguas residuales y, por lo general, tienen aberturas de 6 mm (0,25 pulgadas) o más. Los tipos de cribas gruesas incluyen cribas de barra que se limpian mecánica y manualmente, incluidas las rejillas de basura (Morán, 2014).

Las cribas finas se utilizan típicamente para eliminar material que puede crear problemas de operación y mantenimiento en los procesos posteriores, particularmente en sistemas que carecen de tratamiento primario. Los tamaños de apertura típicos para pantallas finas son de 1,5 a 6 mm (0,06 a 0,25 pulg.). Las mallas muy finas con aberturas de 0,2 a 1,5 mm (0,01 a 0,06 pulg.) Colocadas después de las mallas gruesas o finas pueden reducir los sólidos en suspensión a niveles cercanos a los alcanzados por la clarificación primaria (Méndez, 2019).

### **2.1.2 Proceso aerobio**

Según Corrales y Antolínez (2015) nos comenta que. El tratamiento biológico aeróbico se realiza en presencia de oxígeno por microorganismos aeróbicos (principalmente bacterias) que metabolizan la materia orgánica de las aguas residuales, produciendo así más microorganismos y productos finales inorgánicos.

Se utilizan varios procesos biológicos aeróbicos para el tratamiento secundario. Estos difieren principalmente en la forma en que se suministra oxígeno a los microorganismos y en la velocidad a la que los organismos metabolizan la materia orgánica. Los procesos comunes de alta velocidad incluyen los procesos de lodos

activados, filtros percoladores o biofiltros, zanjas de oxidación y contactores biológicos rotativos (Montoya, 2017).

En el proceso de lodos activados, el reactor de crecimiento disperso es un tanque o recipiente de aireación que contiene una suspensión de las aguas residuales y los microorganismos, el licor mixto. El contenido del tanque de aireación se mezcla vigorosamente mediante dispositivos de aireación que también suministran oxígeno a la suspensión biológica (Mestanza, 2019).

Los dispositivos de aireación comúnmente utilizados incluyen difusores sumergidos que liberan aire comprimido y aireadores mecánicos de superficie que introducen aire al agitar la superficie del líquido. El tiempo de retención hidráulica en los tanques de aireación suele oscilar entre tres y ocho horas, pero puede ser mayor con aguas residuales con alto contenido de DBO (Corrales y Antolinez, 2015).

Después de la etapa de aireación, los microorganismos se separan del líquido por sedimentación y el líquido clarificado es un efluente secundario. Una parte del lodo biológico se recicla al tanque de aireación como lodo activado de retorno (RAS) para mantener un alto nivel de sólidos suspendidos en licor mixto (MLSS). El resto se elimina como lodo activado excedente (SAS) o se conoce como lodo activado residual (WAS) del proceso y se envía al procesamiento de lodos para mantener una concentración relativamente constante de microorganismos en el sistema (Zegarra, 2019).

### **2.1.3 Proceso anaerobio**

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales es un proceso biológico en el que los microorganismos degradan los contaminantes orgánicos en ausencia de oxígeno. En un ciclo de tratamiento anaeróbico básico, las aguas residuales

ingresan a un receptáculo del biorreactor. El biorreactor contiene una sustancia espesa y semisólida conocida como lodo, que se compone de bacterias anaeróbicas y otros microorganismos. Estos microorganismos anaeróbicos, o "anaerobios", digieren la materia biodegradable presente en las aguas residuales, lo que resulta en un efluente con menor demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y / o sólidos suspendidos totales (SST) como subproductos del biogás (Carcelén, 2015, p. 5).

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales se utiliza para tratar una variedad de corrientes de efluentes industriales de las industrias agrícola, alimentaria y de bebidas, láctea, de pulpa y papel y textil, así como lodos de alcantarillado y aguas residuales municipales. Las tecnologías anaeróbicas generalmente se implementan para arroyos con altas concentraciones de material orgánico (medido como alta DBO, DQO o TSS), a menudo antes del tratamiento aeróbico (Guerra, 2015).

El tratamiento anaeróbico también se utiliza para aplicaciones especializadas, como el tratamiento de corrientes residuales con inorgánicos u orgánicos clorados, y es muy adecuado para el tratamiento de aguas residuales industriales calientes (Carcelén, 2015, p.5).

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales es un tipo de tratamiento biológico en el que se utilizan microorganismos anaeróbicos para descomponer y eliminar los contaminantes orgánicos de las aguas residuales. Si bien los sistemas de tratamiento anaeróbico pueden tomar una variedad de formas, generalmente incluyen alguna forma de biorreactor o depósito capaz de mantener el ambiente libre de oxígeno necesario para apoyar el proceso de digestión anaeróbica (Cuenca, 2015).

El proceso de tratamiento anaeróbico de aguas residuales consta de dos etapas: una fase de acidificación seguida de una fase de producción de metano, con ambos procesos en equilibrio dinámico (Bazurto, 2017).

En la fase inicial de formación de ácido, los anaerobios descomponen compuestos orgánicos complejos en ácidos orgánicos volátiles de cadena corta más simples (Tena, 2019).

La segunda fase, conocida como fase de producción de metano, consta de dos pasos: acetogénesis, donde los anaerobios sintetizan ácidos orgánicos para formar acetato, gas hidrógeno y dióxido de carbono; y metanogénesis, donde los microorganismos anaeróbicos actúan sobre estas moléculas recién formadas para formar gas metano y dióxido de carbono. Estos subproductos se pueden recuperar para su uso como combustible, mientras que las aguas residuales se pueden dirigir para su posterior tratamiento y descarga (Carcelén, 2015).

#### **2.1.4 Biofiltros**

La biofiltración utiliza bacterias para retener los contaminantes de las aguas residuales industriales. Estas bacterias se inmovilizan en un medio que les proporciona una gran superficie para proliferar. Estos medios de gran superficie vienen en diferentes formas. Por ejemplo, cuando se desarrolló la biofiltración de aguas residuales a fines del siglo XIX, se utilizaron diferentes gravas y rocas trituradas (Macías, 2020).

Luego, después de que desarrollamos el uso de plásticos, vinieron los anillos de plástico y el plástico corrugado. Y ahora, incluso más adelante, se ha descubierto que los medios cerámicos porosos funcionan bien para esto, especialmente cuando se usan en acuarios y peceras, o incluso para tratar desechos animales (Garzón, Buelna, y Moeller, 2012).

Estos bloques y materiales se colocan en un biorreactor donde pueden comenzar a descomponer ciertos compuestos, desde proteínas simples, grasas y carbohidratos en aplicaciones de tipo alimentario hasta aplicaciones químicas donde hay aminas orgánicas con amoníaco unido a moléculas orgánicas o mercaptanos donde hay sulfuro unido a compuestos orgánicos. La biofiltración, en general, es realmente buena para cualquiera de los compuestos orgánicos más pequeños como todos los hidrógenos, azúcares, alcoholes y alifáticos (Rodríguez, 2017).

Algunos de estos compuestos se degradan rápidamente, otros lentamente y otros se degradan muy, muy lentamente, como los hidrocarburos halogenados, por ejemplo, o compuestos aromáticos complicados. En estos casos, el diseño del sistema de biofiltración debe tener eso en cuenta. Necesitará biofiltros más grandes con tiempos de residencia más prolongados para que las bacterias degraden los compuestos más duros y complejos (Mendes, 2019).

### **2.1.5 Método Toha**

El “Sistema Tohá” también conocido como Lombrifiltro o “Biofiltro Dinámico Aeróbico”, corresponde a un filtro percolador compuesto de diferentes estratos filtrantes y lombrices. El agua residual percola a través de los diferentes lechos filtrantes, quedando retenida la materia orgánica la que posteriormente es consumida por las lombrices (Castella, 2019).

El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin. Se caracteriza además por sus bajos costos

operacionales, al tener bajos requerimientos energéticos, ya que básicamente requiere energía eléctrica para activar las bombas de la planta elevadora y los equipos de desinfección (Salazar, 2015).

Se puede decir que el lombrifiltro, corresponde a una adaptación del sistema tradicional de lombricultura, definido como el conjunto de operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento de residuos orgánicos por medio de éstas, para su reciclaje en forma de abonos y proteínas. La que encuentra su aplicación en generación de: humus de lombriz, alimentos para mascotas y/o animales, avicultura, piscicultura y carnada para peces. A diferencia de los sistemas tradicionales de lombricultura, en el lombrifiltro, el sustrato es proporcionado a través de la presencia de éste en las aguas residuales domésticas que percolan a través de un medio filtrante, donde se encuentran las lombrices en gran cantidad (Salazar, 2015).

#### **2.1.6 Enfermedades transmitidas por el agua**

Las enfermedades transmitidas por el agua se refieren a brotes o casos de enfermedades cuyos agentes patógenos se propagan a través de la ingestión de agua, Rodríguez, García, y García (2015), nos comenta que “Los excrementos humanos contienen una amplia variedad de agentes patógenos, incluidos protozoos, bacterias y virus que pueden contaminar la fuente de agua. La ingestión de agua contaminada con patógenos causa infección”. La infección se puede clasificar en sintomática (con síndrome clínicamente observable) y asintomática (sin manifestación clínica).

Celis (2010) nos comenta que. “La enfermedad es una infección sintomática en la que se conoce el agente causante. La infección asintomática también es un problema grave para la salud pública. Muchas bacterias y virus que causan

infecciones asintomáticas pueden propagarse directamente en persona a través de los alimentos o el agua y pueden resultar en una condición epidémica”.

No es práctico monitorear diversos tipos de patógenos para la evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, se selecciona un organismo indicador adecuado que puede ser patógeno o no patógeno para la evaluación del nivel de contaminación por patógenos. Un organismo indicador ampliamente utilizado son las bacterias coliformes, cuantificadas como coliformes totales o coliformes fecales (Martínez, 2016).

El coliforme fecal indica la contaminación de materia fecal fresca. Los posibles indicadores de protozoos utilizados en los diversos estudios incluyen esporas aeróbicas y anaeróbicas y distribución del tamaño de partículas. De manera similar, el óvulo de los helmintos está implicado como indicador para monitorear la abundancia de helmintos en las aguas residuales. El virus del *colifago T4* se utiliza como indicador de virus, ya que es similar a los *adenovirus*, *reovirus*, *rotavirus* y *coronavirus*. El organismo indicador más común para la eliminación de patógenos es el coliforme. Los coliformes designan los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* que pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*. *EC* (*Escherichia coli*) se considera un organismo indicador más específico porque varios de los coliformes son abundantes en suelos y agua no contaminados y su presencia no puede especificar la contaminación fecal. *E. coli* se considera el indicador más sensible, confiable y específico de contaminación fecal porque es casi exclusivo de la microflora fecal y constituye más del 90% de la flora coliforme del intestino humano (Rodríguez, García, y García, 2015).

### **2.1.7 Eliminación de registros**

Debido a la gran cantidad de microorganismos patógenos, su eliminación se expresa en términos de valor de eliminación de logaritmos (LRV). LRV se puede definir de la siguiente manera:

$$\text{Eliminación de registros} = -\log\left(\frac{\text{Concentración de entrada}}{\text{Concentración del flujo de salida}}\right)$$

Por tanto, la eliminación de 1 log indica una reducción del 90% de microorganismos y la eliminación de 2 log es una reducción del 99% y así sucesivamente.

### **2.2 Turbiedad**

Lovato (2018), nos comenta que. En algunos informes, la turbidez también se toma como un parámetro crudo para la eliminación de patógenos porque los microorganismos en suspensión se comportan como partículas coloidales. Sin embargo, la turbidez incluye la concentración de sólidos en suspensión junto con microbios, quistes y óvulos.

### **2.3 Biofiltración**

Según Vera (2019), se ha demostrado que la biofiltración es un componente esencial del proceso de tratamiento del aire, las aguas residuales y el agua cruda. Las principales fuentes de agua potable en las megaciudades son aguas superficiales tratadas. El agua cruda no es apta para el consumo humano debido a micro contaminante no deseado, microorganismos patógenos, materia orgánica y otros nutrientes que apoyan el crecimiento presente en ella.

El almacenamiento de agua cruda puede provocar contaminación biológica, desarrollo de sabores y olores adversos y crecimiento de patógenos. En el proceso de tratamiento de varios pasos de una planta de tratamiento de aguas residuales centralizada, la biofiltración constituye uno de los pasos principalmente para la

eliminación de contaminantes y, en parte, para la eliminación de patógenos (Torres, 2020).

El biofiltro se aplica como único proceso para hacer potable el agua cruda en áreas remotas. El filtro percolador o el carbón activado granular (GAC) o el filtro de arena es una forma común de biofiltro en las plantas de tratamiento de aguas residuales; El GAC y el filtro de arena se aplican para el tratamiento de agua cruda; el jardín de lluvia y el filtro de suelo son ejemplos de filtros de desarrollo de bajo impacto para la gestión de aguas pluviales; Se aplican filtros de roca horizontales para mitigar la corriente contaminada (Pérez, Armenteros, y Hernández, 2016).

Un biofiltro se puede definir como cualquier tipo de medio filtrante con comunidad microbiana adherida en la superficie en forma de biopelícula que realiza al menos una función esencial del proceso de tratamiento. Sin embargo, algunos estudios se refirieron a los medios filtrantes como biofiltros sin confirmar el papel de los microorganismos nativos o la biopelícula en la eliminación de contaminantes y patógenos (Díaz, 2018).

Según Pinedo (2015) El biofiltro se introdujo en la planta de tratamiento de aguas residuales como filtro percolador donde el medio filtrante era escoria o roca. Hoy en día, se han aplicado con éxito varios tipos de medios filtrantes como piedras de roca, grava, arena, GAC o medios plásticos sintéticos, etc. para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. La necesidad de aplicar biofiltros para el tratamiento del agua potable surgió después del descubrimiento del recrecimiento microbiano en las tuberías de suministro. Aunque los microbios en las tuberías de agua potable no se encontraron patógenos, su presencia hace que el agua no sea biológicamente estable ni apta para beber.

La causa del recrecimiento microbiano en el suministro de agua potable se debió a micro contaminantes pertinentes como la materia orgánica biodegradable (BOM),  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{H}_2$  disuelto, forma reducida de subproductos de azufre y subproductos de desinfección, etc. Estos contaminantes actúan como nutriente para el crecimiento microbiano. La función principal del biofiltro es eliminar la lista de materiales, la secundaria es reducir la carga patógena (Choque, 2019).

La eliminación de contaminantes en el biofiltro perjudica el crecimiento microbiano. Los organismos presentes en la biopelícula del filtro absorben y utilizan la mayoría de los compuestos orgánicos para satisfacer sus necesidades nutricionales y energéticas (Pérez, Armenteros, y Hernández, 2016).

#### **2.4 Filtro goteando**

Los antiguos egipcios cavaron a lo largo del Nilo para obtener agua filtrada para beber. La arena del río actuó como filtro. John Gibb (Escocia, 1804) y James Simpson (Inglaterra, 1829) prepararon el primer filtro de arena industrial para el tratamiento del agua potable. El sistema podría reducir eficazmente la turbidez y la contaminación del cólera en el agua potable; sin embargo, no se conocía la naturaleza microbiana del filtro (Pereira de Brito , 2009 ).

El conocimiento actual de los microorganismos autóctonos en el tratamiento del agua potable surgió hace 50 años gracias a varios estudios realizados sobre la presencia y el impacto de la población microbiana benigna en los filtros. El primer filtro de goteo se instaló en 1922 en Madison, Wisconsin, para un gran sistema de tratamiento de agua. Comprender la comunidad microbiana de los filtros y su papel en el tratamiento del agua es un proceso continuo de agua potable (Lander, 2020).

## 2.5 Filtración lenta de arena

La filtración lenta de arena es una técnica de bajo costo y fácil de operar para eliminar contaminantes químicos y patógenos. Bruni (2018) nos informa que. “Esencialmente, un SSF se compone de las siguientes capas de componentes dispuestas verticalmente. La capa superior es el agua sobrenadante que se somete a filtración (Delgado, 2019).

La columna de agua proporciona suficiente presión hidrostática para su percolación a través del sistema de filtración. El segundo es una capa gruesa de medio de filtración real que es de arena fina (tamaño efectivo de 0,15 a 0,3 mm)”. Es un medio duradero de bajo costo para filtración. Debido a su tamaño de partícula más pequeño (0.15–0.3 mm), la arena fina proporciona una gran área de superficie para la filtración, así como para la formación de biopelículas; sin embargo, su pequeño tamaño de huecos disminuye la velocidad de flujo (0.1–0.3 m / h) a través de SSF (Despaigne, 2016).

La porción superior de arena está enriquecida con crecimiento microbiano debido a una mejor disponibilidad de oxígeno en comparación con la porción inferior. La mayor parte de la descontaminación ocurre en esta capa biológica activa, también llamada schmutzdecke. Los microbios se forman en biopelículas en partículas de arena inertes y ayudan al proceso de biofiltración. Del fondo a la arena hay una capa de grava que proporciona un paso libre al agua tratada para salir del lecho (Raymundo, 2017).

Torres (2014) nos comenta que. “La grava soporta el lecho de arena y evita que la manguera de salida se obstruya. Por lo general, las cuatro capas forman una columna de 1 m de espesor del biofiltro. La grava soporta el lecho de arena y evita que la manguera de salida se obstruya. Por lo general, las cuatro capas forman una

columna de 1 m de espesor del biofiltro. La grava soporta el lecho de arena y evita que la manguera de salida se obstruya. Por lo general, las cuatro capas forman una columna de 1 m de espesor del biofiltro”.

La tasa de filtración lenta de SSF permite un tiempo de retención más prolongado para el agua sobrenadante y el agua que se filtra a través del lecho, lo que permite una amplia filtración y actividad biológica. La actividad biológica en la capa superior da como resultado *schmutzdecke*, que se extiende 3 cm por encima del lecho como una matriz viscosa (Moreno, 2019).

*Schmutzdecke* consiste en precipitados minerales y microorganismos colonizados que comprenden bacterias, hongos, protozoos e incluso algunos eucariotas más grandes. El desguace intermitente de *schmutzdecke* es esencial porque su crecimiento excesivo bloquea el proceso de percolación. Un período de intervalo de maduración de *schmutzdecke* sigue al desguace para lograr una SSF completamente activa (Rivera, 2019).

Un *schmutzdecke* bien desarrollado es necesario para la eliminación de patógenos. *Schmutzdecke* es el principal contribuyente al proceso de filtración, mientras que los contribuyentes secundarios son los microbios adheridos a las partículas de arena en la parte más profunda de la SSF (Bruni, 2018).

SSF elimina de manera eficiente varios patógenos transmitidos por el agua, incluidos virus, bacterias y quistes protozoarios de enteroparásitos de *Giardia* y *Cryptosporidium*. La eliminación de bacterias patógenas había sido de hasta 99% - 99,9%. Sin embargo, la eficiencia es específica del sitio según los parámetros operativos como la temperatura, la tasa de filtración, el tamaño de partícula del medio y la profundidad del lecho (Gualán, 2016).

La eliminación de registros para la población viral varía de 2 a 6. La eficiencia de eliminación aumenta con la profundidad del lecho, pero se reduce con la temperatura y la velocidad de filtración. La eliminación de los bacteriófagos entéricos MS-2 y PED-I fue comparativamente menor, ya que se absorben mal en la superficie de la arena. Los parásitos como *Giardia* y *Cryptosporidium* se eliminaron de manera eficiente (99,9%) en SSF (Morales, 2013).

El lecho de arena retiene e inactiva los microbios de la filtración de agua cruda. Tanto los mecanismos físicos como biológicos están involucrados en la retención e inactivación de la retención microbiana en el lecho de arena. Los fenómenos físicos y las interacciones están involucrados en el esfuerzo y la adsorción (Tapia, 2013).

El tamaño de las bacterias (0,01 a 10  $\mu\text{m}$ ) y los virus (de 0,01 a 0,1  $\mu\text{m}$ ) es mucho menor que el tamaño de los poros del medio, por lo que el esfuerzo es ineficaz en la parte superior. La matriz orgánica de bacterias autóctonas secretadas por schmutzdecke y exopolisacáridos (EPS) hace que la adsorción del patógeno sea eficaz. Más profundo en el lecho, otros mecanismos de transporte (inercia, impactación, sedimentación, intercepción, acción hidrodinámica y difusión) se vuelven efectivos. Los patógenos transportados a la partícula se retienen en el medio filtrante (Burgos, 2015).

Los mecanismos biológicos contribuyen significativamente a la eliminación de patógenos debido a la velocidad de flujo lenta. Este mecanismo es dominante en la capa superior de SSF. La percolación lenta facilita el tiempo suficiente para la interacción de los patógenos con la biopelícula presente en la partícula de arena.

Algunas bacterias de los habitantes naturales llamadas bacterias "autóctonas" compiten con las bacterias patógenas en condición oligotrófica. Además, pueden secretar sustancias químicas tóxicas contra microbios patógenos. El fenómeno se

denomina "bioantagonismo". Por ejemplo, la supervivencia de *Cryptosporidium* disminuyó en presencia de microorganismos autóctonos. También se plantea la hipótesis de que el mecanismo antagonista es responsable de la descomposición de los oocistos en la SSF por bacterias autóctonas (Bermeo, 2013).

Los microorganismos autóctonos reportados en el lecho de arena son bacterias aeróbicas, flagelados, ciliados, rotíferos, gusanos planos (*Microturbellaria*), gastrotriches, nematodos (gusanos redondos), anélidos y artrópodos (harpacticidas), así como algas, protozoos y eucariotas de orden superior. Sin embargo, la flora microbiana está dominada por bacterias pigmentadas Gram-negativas como *Pseudomonas* y *Aeromonas*. Cada capa del lecho de arena tiene su propio potencial de inactivación en función de la distribución vertical de la biomasa. Por ejemplo, los procariontes y eucariotas fueron activos en todo el lecho del filtro en la inactivación de microorganismos entéricos (*Escherichia coli*); sin embargo, el potencial de inactivación fue mayor cerca de la superficie del lecho del filtro (Burgos, 2015).

La operación en serie de SSF mejora la eficiencia de eliminación de patógenos. Además, la saturación de aire del agua ayuda a eliminar los patógenos. El uso de roca de lava, arena de sílice y GAC en lugar de arena mejoró la eliminación de patógenos en aguas grises. El modo de operación continuo fue mejor para la eliminación de *Escherichia coli* y MS2 que el modo de operación intermitente. Se informa que pocos estudios sobre la SSF también eliminan el virus. Pudo eliminar  $1\text{-log}^{10}$  a  $43\text{-log}^{10}$  de echovirus-12 y  $0\text{-}1.3\text{-log}^{10}$  de bacteriófago,  $0,061 \text{ log / h}$  de MS2 y  $0,053 \text{ log / h}$  de PRD-1. Se consideró que menos de 8 h de tiempo de operación era el tiempo ideal para la eliminación de virus infecciosos. SSF fue

capaz de realizar una eliminación de 3,2 logaritmos de fagos, bacterias fecales y adenovirus entéricos también (Burgos, 2015).

## **2.6 Consideración del diseño del biofiltro para la eliminación de contaminantes microbianos**

### **2.6.1 Filtro de medios**

La naturaleza fisicoquímica de los medios filtrantes afecta fuertemente la filtración de microorganismos. Los medios de filtración tradicionales, representados por una mezcla de arena fina y gruesa, compost y una capa superpuesta de mantillo, muestran poca capacidad de eliminación de microbios en condiciones de campo a pesar de una conductividad hidráulica suficiente, buenas eficiencias de eliminación de muchos contaminantes y un apoyo aceptable para el crecimiento vegetativo. Muchas razones pueden ser responsables de la mala eficiencia, como las condiciones de funcionamiento, problemas de mantenimiento que incluyen obstrucciones y cortocircuitos, sobrecarga de aguas pluviales y regeneración microbiana. Los biofiltros de arena a escala de laboratorio eliminaron las bacterias indicadoras en un rango de  $0,45 \log^{10}$  -  $0,5 \log^{10}$ . Log<sup>10</sup> capacidad de eliminación para el indicador protozoo (*C. parvum*) e indicadores virales (*colifagos de ARN-F*) fue de 3,2 y 3,9, respectivamente, como se informó en otro estudio. La eficiencia de eliminación se puede mejorar alterando las propiedades físicas y químicas de los medios filtrantes. El tamaño de grano más pequeño y la inclusión de geomédios secundarios, por ejemplo, carbón activado, zeolita, mejoran las tasas de filtración, mientras que la modificación química del medio mejora el proceso de transporte, unión y extinción (Jiménez, 2016).

## 2.6.2 Modificaciones de los medios filtrantes

La eliminación microbiana de los biofiltros modificados con GAC muestra una lixiviación neta de  $0.02 \log^{10}$  a más de  $3 \log^{10}$  Eliminación de CE. El área de superficie alta y la capacidad de sorción excepcional hacen que el GAC sea un mejor medio para la eliminación de contaminantes. Los biofiltros modificados con GAC facilitan el crecimiento microbiano y potencian la lixiviación en el curso del flujo intermitente, fomentando así la formación de biopelículas en los espacios porosos de los granos recolectores. Además, la biopelícula añade más heterogeneidad a la superficie que puede influir en la infiltración al alterar la hidrodinámica del flujo a través del medio poroso.

Las sustancias poliméricas extracelulares secretadas en la biopelícula alteran la rugosidad, la hidrofobicidad y las propiedades electrocinéticas de la superficie del colector. Otra geomecia estudiada para enmienda es la zeolita. Las zeolitas son minerales de *aluminosilicato* porosos que se utilizan comúnmente como adsorbentes debido a sus excepcionales características de absorción e intercambio iónico. Es un adsorbente eficaz para compuestos químicos debido a su alta superficie específica de superficie porosa. Sin embargo, la zeolita es útil para la eliminación de microbios. Los estudios de biofiltros de aguas pluviales modificados con zeolita exploraron el efecto del tamaño de partícula de zeolita, la modificación de la superficie y la presencia de vegetación en Eliminación de *E. coli*. Otra enmienda común para los medios de arena es el *biocarbón*. Similar al GAC, el *biocarbón* se prepara por pirólisis de material orgánico en condiciones de oxígeno limitado. A diferencia del GAC, la preactivación del *biocarbón* no es necesaria para su uso. Las propiedades fisicoquímicas como la hidrofobicidad y las características de adsorción del *biocarbón* dependen de la variable del método de preparación, por

ejemplo, materia prima, duración de la pirólisis y temperatura, etc. La arena modificada con *biocarbón* muestra una reducción de la removilización de *E. coli* en condiciones de flujo intermitente. Los tamaños de partículas más pequeños son mejores para la eliminación de *E. coli*. El biofiltro modificado con *biocarbón* físicamente degradado (por ciclos húmedo-seco o de congelación-descongelación) mostró una *E. coli* mejora la capacidad de remoción. A pesar de las tres enmiendas antes mencionadas, también se han aplicado esquistos expandidos y astillas de madera de cedro rojo (RC) con medios de arena. Exhibieron eficiencias de remoción de 0.2-0.9 y 0.1-1.0 log<sup>10</sup> respectivamente para *E. coli* dependiendo de las concentraciones de *E. coli* (de 10<sup>2</sup> a 10<sup>6</sup> UFC / 100 mL) en el agua (Jiménez, 2016).

### **2.6.3 Modificación de la superficie de los medios filtrantes**

La propiedad superficial del filtro de arena influye en el mecanismo de transporte y filtración de la eliminación de contaminantes y microbios. Se informa que el revestimiento de superficies con metal, óxidos metálicos, hidróxidos metálicos y productos químicos con propiedades antimicrobianas aumenta la eliminación de microbios durante la filtración de arena en los sistemas de agua potable. El recubrimiento de metal y óxido de metal imparte carga positiva y el recubrimiento de hidróxido o modificación polimérica reduce la carga negativa a la superficie del medio filtrante.

Ambos tipos de recubrimientos facilitan la unión microbiana a los medios filtrantes que atraen a la carga negativa neta en la membrana celular. Los medios de arena recubiertos de óxido de hierro eliminaron significativamente *E. coli* y enterococos de las aguas pluviales urbanas en comparación con su contraparte sin recubrimiento. La enmienda de arena con GAC de superficie modificada con

metales (Cu, Zn) u óxidos metálicos ( $CuO$ ,  $TiO_2$ ) e hidróxidos metálicos ( $Cu(OH)_2$ ,  $Zn(OH)_2$ ) muestra una eliminación mejorada de las bacterias indicadoras. La adición de zeolita de superficie modificada con metal, óxido de metal o hidróxido de metal mejoró la eliminación de *E. coli*. Algunos recubrimientos *nanometálicos* o *policatiónicos* utilizados para el recubrimiento de la superficie del colector exhiben propiedades antimicrobianas. Dicho recubrimiento mejora la extinción de los microbios transportados al filtro. Los medios EC y RC cuando se recubren con agentes antimicrobianos que son cloruro de  $Cl^3-$  (*trimetoxisilil*) *propildimetiloctadecil amonio* o *nanopartículas* de plata mejoran la eliminación de *E. coli*  $\log_{10}$  en biofiltros modificados (Bruni, 2018).

#### **2.6.4 Biofilm**

La biopelícula juega un papel importante en la eliminación de microbios siguiendo un mecanismo similar al descrito para SSF.

#### **2.6.4 Infauna**

Macrofauna: Las lombrices de tierra, gusanos pot, colémbolos, ácaros, larvas de moscas, escarabajos, milpiés, ciempiés, isópodos, hormigas, arañas y caracoles constituyen taxones comunes de biofiltros de aguas pluviales. Las lombrices de tierra producen la mayor parte de la biomasa, contribuyendo con el 80% de la abundancia total de invertebrados, junto con las lombrices, los colémbolos y los ácaros. La macrofauna está asociada con la fragmentación y descomposición de la materia orgánica, la absorción y el crecimiento de nutrientes de las plantas y la infiltración en el biofiltro. Se sugiere que el papel indirecto de la macrofauna en la eliminación de microbios influye en el tiempo de residencia del biofiltro o la arquitectura de la raíz de la planta. Por ejemplo, la actividad de excavación de las lombrices de tierra aumenta de 2 a 15 veces la actividad de infiltración del suelo.

También se propone que su actividad aumente el crecimiento de las plantas y la expansión de las raíces de las plantas y tenga efectos significativos sobre los patógenos cuando se utiliza para el compostaje de biosólidos o lodos. La actividad se encontró asociada con una mayor diversidad microbiana, mejor transporte de patógenos y eliminación de coliformes fecales. *Salmonella*, *virus entéricos* y *huevos de gusanos parásitos* (Carcelén, 2015,P.J).

Micro / mesofauna: Los protozoos (2–50  $\mu\text{m}$ ) y los nematodos (30  $\mu\text{m}$  – 1 mm) son organismos de pastoreo del biofiltro que componen la micro y la mesofauna. Los protozoos son herbívoros especializados, es decir, capturan y se alimentan de una población objetivo de un microbio específico suspendido o adherido. Por el contrario, los nematodos son herbívoros generalizados que ingieren todo tipo de microbios en suspensión, incluidos los protozoos dentro de un rango de tamaño limitado. Principalmente, los protozoos influyen en la estructura de la comunidad microbiana, mientras que los nematodos alteran el tamaño de la comunidad. El experimento de interacciones entre protozoos y *E. coli* para el biofiltro de aguas pluviales realizado en una columna de vidrio demostró una mayor remoción de bacterias por sedimento suplementado con protozoos en comparación con sedimento estéril o sedimento con comunidad microbiana deficiente de protozoos o sedimento biológicamente inmaduro (Carcelén, 2015,P.J).

### **2.6.5 Vegetación**

La plantación de pastos, salvia y pequeños arbustos, etc., se realiza en sistema de biorretención con fines estéticos. Las raíces de las plantas obtienen nutrición a partir de nutrientes orgánicos e inorgánicos del sistema y simultáneamente influyen en los procesos del suelo, como el ciclo de nutrientes, la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo, el contenido de humedad y la estabilidad.

Además, la vegetación afecta el microbioma del suelo, el crecimiento de biopelículas, la porosidad y el tiempo de retención hidráulica al crear vías de flujo preferenciales, que a su vez influyen en la eliminación de patógenos. Los exudados de la rizosfera influyen en la diversidad y abundancia de la infauna del suelo (macro, meso y microfauna). Infauna impacta directamente en el proceso de eliminación de patógenos. Biofiltro plantado con arbustos (*Melaleuca incana*, *Leptospermum continentale*) y gramíneas (*Paspalum conjugatum* y *Buchloe dactiliones*) mostraron una mejor eliminación de *E. coli*. La eliminación se mejoró debido a la reducción de las tasas de infiltración en el sistema de biofiltro con vegetación. Las plantas seleccionadas para el biofiltro deben tener plasticidad morfológica y fisiológica para cambiar la condición microclimática (Carcelén, 2015).

#### **2.6.6 Ecofiltros microbianos de lombrices de tierra**

Los ecofiltros microbianos de lombrices de tierra (MEE) fueron desarrollados por primera vez en 1992 en la Universidad de Chile por el profesor José Thoa. Es un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo adecuado para países en desarrollo, especialmente en áreas rurales. Es un sistema de ingeniería natural que se refiere a un sistema de tratamiento de aguas residuales de ingeniería pasiva en el que el sistema de vermicompostaje tradicional se inocula con potenciales de lombrices de tierra. Las lombrices de tierra y los microorganismos funcionan simbióticamente para eliminar contaminantes y patógenos de las aguas residuales. En MEE ocurren diferentes tipos de procesos de eliminación de contaminantes, es decir, sedimentación, filtración, adsorción, precipitación, volatilización y absorción por lombrices y microbios. Principalmente, los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de los contaminantes, mientras que las lombrices de tierra regulan la población y la actividad microbiana. Estos últimos degradan y

homogeneizan el material ingerido mediante acciones musculares de su intestino anterior y le agregan moco. Por tanto, la actividad del acondicionamiento de lombrices de tierra del medio filtrante da como resultado una actividad microbiológica mejorada. Además, las lombrices de tierra regulan la biomasa microbiana directa y / o indirectamente a través de tres mecanismos principales: trituración, excavación y vaciado; pasto (Bruni, 2018).

De los diversos medios filtrantes (material del lecho del río, carbón de madera, bolas de vidrio y bolas de lodo) evaluados para el desempeño de los MEE, el material del lecho del río mostró la mejor actividad para la eliminación de contaminantes y patógenos. La eficiencia de eliminación de patógenos de MEE se estudió a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Un estudio de 4 meses reveló que los MEE podrían eliminar de manera competente la DBO, la DQO junto con los coliformes totales, los coliformes fecales, los estreptococos fecales y otros patógenos. Además, el estudio también sugirió que la actividad antibacteriana de los microorganismos aislados podría ser responsable de la eliminación de patógenos. Otro estudio a escala piloto encontró que MEE está dominado por *Proteobacteria*. Sin embargo, la mayor parte de la renovación de la biomasa microbiana se vio afectada principalmente por los grupos bacterianos asociados a las lombrices de tierra que incluyen *Proteobacteria*, *Bdellovibrio*, *Lysobacter* y *Myxococcales*. También informaron sobre la eliminación de patógenos en una planta a pequeña escala para el tratamiento de aguas residuales tóxicas de la industria del petróleo (Rivera, 2019).

Las especies de lombrices de tierra y los tipos de medios filtrantes son factores clave para el desempeño de los MEE porque son los principales componentes vitales de los MEE que afectan directa o indirectamente los procesos de eliminación

de contaminantes a lo largo del tiempo. Otros factores importantes son la carga de gusanos, los factores químicos, la tasa de carga hidráulica y la temperatura estacional y los parámetros operativos, como la tasa de carga hidráulica, la carga de nutrientes, la altura del lecho de empaque y el diseño de la configuración que puede alterar el proceso de remoción. Además, la actividad biológica de gusanos y microbios es sensible a la temperatura, el pH, el amoníaco y el sodio (Moreno, 2019).

Los medios filtrantes crean un ambiente externo y afectan la estructura y función de la pared del cuerpo de la lombriz de tierra. La lombriz de tierra respira a través de la pared de su cuerpo y, por lo tanto, el medio filtrante es un factor regulador de la actividad metabólica y física de la lombriz de tierra. Por ejemplo, los medios de arena de cuarzo causaron menos daño a la pared del cuerpo de las lombrices de tierra en comparación con los medios de ceramsita. El material del lecho del río se encontró mejor en comparación con otros medios filtrantes naturales (carbón de madera, bolas de vidrio, bolas de lodo, ceramsita de escoria-carbón y arena de cuarzo) para la eliminación de patógenos a través de MEE. Este medio de filtro mostró máxima eliminación de patógenos tales como coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, y *E. coli*. También informaron que el material del lecho del río es el mejor medio para eliminar los patógenos antes mencionados (Valencia, 2013).

El humus de lombriz y el estiércol ayudan a la capacidad amortiguadora (rango de pH = 6.2–9.7) de los medios filtrantes y hacen que el pH esté en el rango de tolerancia para la supervivencia de las lombrices de tierra. El amonio con sulfato de amonio no influyó en la mortalidad a 2 g / kg, aunque el cloruro de amonio presenta una toxicidad comparativamente baja (CL50 para el amonio de 1,49 g / kg) para el

gusano. Otro factor químico es el estrés salino del NaCl. Las lombrices de tierra mostraron capacidad para desintoxicar concentraciones moderadas de NaCl si se exponen durante mucho tiempo (Torres, 2014).

Según Rodríguez (2017) Se demostró que la variación estacional en la temperatura ambiente afecta significativamente la eliminación de patógenos y organismos indicadores, la población de lombrices de tierra y el número de bacterias y actinomicetos. El rango de temperatura óptimo para la lombriz de tierra (*Eisenia fetida*) es de 25 a 27 ° C, en el cual los organismos muestran la mejor actividad, crecimiento y reproducción. Sin embargo, una temperatura ligeramente más alta influye positivamente en la eficacia de eliminación de patógenos de los MEE.

### 3 Marco Teórico

#### 3.1 Estado del Arte

Bruni (2018) menciona que los materiales orgánicos han tenido un auge desde fines del siglo XX cuando se empezaron a detectar que los fenómenos principales que intervenían en la descomposición de la materia orgánica, eran entre otros: la precipitación, el intercambio iónico y los métodos electrolíticos; por lo cual se inició investigaciones para estudiar los desechos de la superficie terrestre, en el mar como son las algas secas o en descomposición y sus derivados. En este trabajo se realizaron pruebas para adsorber metales como: Cu, Ni, Zn, Pb, Cd; utilizando materia orgánica para tal fin. El proceso consistía en: secado, diluciones, agitación y filtración, basándose en proveer mediante el proceso, grupos carboxilos para interceptar los metales.

Burgos (2015) utilizó una especie de turba, carbón, hojas de té, desecho de coco, conchas de crustáceos, raíces de jacinto, para remover metales divalentes como Cu, Pb, y Ni.

Méndez (2019) realizó pruebas de adsorción utilizando la acción combinada de cáscara de banana y de naranja a un pH mayor de siete, para estudiar la disminución de la concentración de: Pb, Ni, Zn, Cu y Co. Teniendo como conclusión que la cáscara de banana es un mejor adsorbente que la de la naranja.

Rodríguez, García, y García (2015) estudiaron el potencial de adsorción de las algas cafés en relación a las algas verdes y rojas, mencionándose que la eliminación de metales que tienen una valencia +2 y el mercurio, pueden ser adsorbidos en estos materiales. Se analizó los estudios de biosorbentes no convencionales como son: el papel periódico, aserrín de caoba, diferentes tipos de carbón, escorias, vid, diferentes materiales celulósicos y algas, para remover colorantes; tales como naranja de metilo y violeta.

Rodríguez (2018) mencionan en su estudio del equilibrio cinético e isoterma de bioadsorción de iones de plomo sobre cáscara de naranja modificada químicamente. Por medio de la saponificación alcalina de la cáscara de naranja, la cual es tratada con diferentes concentraciones de ácido cítrico, el mecanismo de modificación química puede ser explicado como sigue: el reactivo ácido cítrico anhidro se combina con los grupos hidróxido celulósicos para formar un enlace de éster e introducir grupos carboxilos a la fibra de la cáscara, la adición de grupos funcionales carboxilos incrementan la unión con iones cargados positivamente. El costo para obtener esta naranja es alto por el uso de los reactivos químicos que se usan para tal fin.

Lobo (2014) igualmente, que Xuan estudio la factibilidad de la preparación de un adsorbente derivado de la celulosa de cáscara de naranja. La cual utilizaron para la biosorción de Cd. La preparación es similar a la que realizaron Xuan y colaboradores.

Montoya (2017) después de tratar la naranja como se cita en líneas anteriores, se usó la cáscara de naranja modificada para su uso en afluentes con presencia de cobre procedente de un proceso metalúrgico. Se logró adsorber 1.22 mol/kg de cobre por kilogramo de cáscara de naranja, esta cáscara tuvo un área superficial de 128.7 m<sup>2</sup>/g.

Pinedo (2015) explican en su estudio las nuevas necesidades de tratar desechos de procesos industriales que desechan metales pesados y otros compuestos orgánicos, por lo que utilizan algunos residuos de celulosa para la eliminación de dichos metales pesados y compuestos orgánicos. Existen en el mercado otros sistemas de tratamiento para eliminar metales pesados y compuestos orgánicos como son: electroflotación, separación por membrana, ósmosis inversa, electrolisis

y extracción con solventes, sin embargo, sus costos de inversión y operación son altos comparados con un proceso de adsorción donde se utiliza algún material orgánico disponible en las comunidades rurales como son la madera del árbol de papaya, la hoja de maíz, los polvos de hojas de varios árboles como la teca, hasta el árbol del hule, cáscara de cacahuate y los desechos de palmas. En los datos presentados se menciona la remoción de Pb de hasta una concentración de 91.74mg/g por medio del tallo de la banana superando a la captura de la misma cáscara de banana, así también de la remoción de hasta una concentración de 101mg/g de Cd utilizando cascarilla de trigo.

Garzón , Buelna, y Moeller (2012) presentaron un trabajo de investigación donde se lleva a cabo la disminución de arsénico utilizando desecho de jugo de naranja modificada la cual se obtiene por la sustitución de grupos fosfatos sobre la de los alcoholes, esto es análogo a los procesos anteriormente mencionados con la celulosa. El compuesto de gel fosforilado se carga con hierro (III), cuya remoción llega a ser tan alto como 3.7mol/kg, mediante una columna tipo batch, el As (III) es fijado mediante el control del pH en un medio alcalino de 7-11 y para fijar el As (V) se hace en un medio ácido de 2-6, logrando una máxima adsorción de 0.94 y 0.91mol/kg mencionado el valor óptimo de pH de 3.1 y 10 respectivamente. Se concluye en esta investigación que el hierro cargado mediante la fosforilación puede ser potencialmente aplicado en la retención y recuperación del arsénico en medios acuosos. Así también la naranja se puede modificar por medio de fosforilación, para lo cual, la secan por un tiempo de 72 horas, a 50 grados, posteriormente se tamiza a una malla de 100-200 micrómetros para obtener una mayor presencia de grupos hidroxilos dentro de los grupos de fosfato con los que

tiene una alta afinidad con el fierro, le sigue un mezclado con propanol durante 24 horas y posteriormente se filtra al vacío, repetidamente hasta eliminar el color.

Según Pérez, Armenteros, y Hernández (2016) utilizó la cáscara de naranja para bioadsorber azul de metileno procedente de un colorante que se emplea para teñir en la industria textil, esto se hizo con el objeto de tratar de sustituir el carbón activado ya que es un material caro y cuando se satura es necesario desecharlo. El azul de metileno tiene una gran afinidad con la cáscara de naranja y es posible desadsorbelo utilizando HCl, sin embargo, se observa que a pesar de que se puede utilizar hasta siete veces la cáscara de naranja se necesita utilizar procesos químicos para tal fin.

Valenci (2013) menciona que en los años ochenta se inició la observación de la biosorción en bacterias, al detectar que estas acumulan metales y sustancias tóxicas, al estar en contacto con ellas y se distingue la capacidad de acumularlas por lo cual los investigadores inician su estudio, a partir de un punto de vista toxicológico debido a las consecuencias en los metabolismos, de los organismos que intervienen en la cadena alimenticia, por lo que se analizan los mecanismos fisicoquímicos como: intercambio iónico, complejación, coordinación, adsorción, interacción electrostática, quelación y micro precipitación, señalando como factores que influyen la biosorción de las bacterias en procesos tipo batch, quienes también se ven influenciados por el pH, la temperatura, fuerza iónica, y la cantidad del biosorbente, el diámetro de partícula de biosorbente, concentración y velocidad de agitación. El proceso celular de biosorción se basa en la capacidad de la pared celular de los microorganismos y el rol que juegan los grupos funcionales como son los *carboxilos*, *aminas*, y *fosfonatos*. Los organismos empleados son los bacilos, *seudonomas*, y *estreptonitas*; así como hongos *aspergillus*, *rizopus* y *la penicilina*;

todos ellos estudiados a detenimiento a partir de los años noventa, debido a que son utilizados ampliamente en la industria de los alimentos y farmacéutica, por esta razón se ha genera un desecho de microorganismos, que pueden ser obtenidos a un bajo costo y de esta manera, ha permitido el desarrollo de este tipo de investigación.

Otros organismos incorporados a la investigación como biosorbentes fueron las algas marinas localizables en grandes regiones del mundo, incluyéndose la red, green y la Brown, considerándose esta última la mejor por la cantidad de grupos funcionales ligados a los constituyentes de su pared celular, pero que presentaron el inconveniente de no estar de manera de desecho, sino en un lugar de producción definido.

Dentro de los materiales de bajo costo en el estudio de biosorción se consideraron los siguientes: concha de cangrejos, lodo activado, cáscara de arroz, cascarón de huevo, masa de turba; lográndose mediante la concha de cangrejo la biosorción de As, Cu, Cr, Co, Ni.

El estudio hace una importante comparación de los parámetros de bioadsorción y bioacumulación resaltando dentro de ellos: el bajo costo por ser un material barato, pero en la bioacumulación; su costo es alto, por el cuidado que necesitan los microorganismos para mantenerlos vivos, el pH es necesario para obtener una buena adsorción, para lo cual se necesita un rango de control que vaya de 6.5 hasta 8.0, mientras que, para la bioacumulación, el pH afecta en gran medida las variaciones la vida de las células; el tiempo no afecta la bioadsorción en tanto que la bioacumulación afecta el proceso; en el almacenamiento es fácil para la biosorción y difícil para la bioacumulación por necesitar energía externa; en selectividad la biosorción es baja pero se mejora con el control del proceso,

mientras que la bioacumulación es fácil, mejor que la adsorción, en versatilidad razonablemente se adapta bien a una variedad de iones, y en la bioacumulación no es tan flexible dado que le afecta la acumulación de sales y metales; la degradación en la biosorción es muy alta, se acomoda a muchos tóxicos incluso en el material desecado y en la bioacumulación puede bajar al reaccionar sensiblemente la acción celular; la tasa de adsorción es rápida y la bioacumulación poco más lenta debido a la reacción de los organismos que tardan en consumir el contaminante; la afinidad tóxica es grande en condiciones favorables y la acumulación depende, la regeneración y reuso en adsorción tiene altas posibilidades en base a los ciclos de regeneración, mientras que en la bioacumulación son limitantes dependiendo de la reacción intracelular a las sustancias tóxicas.

Los organismos empleados pueden eliminar bajo sus respectivas condiciones Al, Cu, Cr, Cd, Fe, Pb, Hg, Ni, Pd, Pt, T, U, Zn. En las pruebas que se realizan en un reactor tipo batch, se tienen que controlar 7 parámetros: pH, temperatura, potencial iónico, dosis del biosorbente, tamaño del biosorbente, concentración y velocidad de agitación. Los procesos de desorción se manejan mediante ácidos fuertes, procesos alcalinos, por lo que se debe controlar la dosificación de HCl y el NaOH para evitar daños severos en los procesos estudiados.

Lovato (2018) estudio la naranja, toronja, mandarina y el limón y determinaron que la toronja, tiene en su cáscara más grupos funcionales disponibles para la captura que los anteriormente mencionados. Se ha encontrado que la toronja puede capturar 21.83 mg/g de iones de Cd, siendo superior a la cáscara de papaya, aminoácidos como la cistina, flores como la verticillata y las hojas de té.

Macías (2020) en Sudáfrica utilizaron las piñas de los árboles de pino trituradas y calentadas con el objeto de eliminar Cu, tomando el cobre de la remoción; del

nitrate de cobre. La remoción alcanzada fue de 8.0 g/l obteniéndose una mayor eficiencia a un pH= 5.

Garzón , Buelna, y Moeller (2012) revisaron los materiales de desecho y el proceso para la fabricación carbón activado, con el objeto de remover sustancias contaminantes presentes en el agua. El carbón de cáscara de naranja se ha utilizado en países donde existe una alta disponibilidad de este desecho y que no existen políticas para la disposición de residuos de este tipo como es el caso de Egipto, donde existe una producción mayor al millón de toneladas de desecho de naranja lo cual provoca una generación de contaminación fenólica. El proceso de fabricación de carbón de origen de naranja, se desarrolla en laboratorios bien equipados con manejo de ácido sulfúrico en este caso para quitar las resinas, para lo cual el ácido se maneja al 98%, posteriormente se utiliza carbonato de sodio para eliminar el ácido presente, se tritura a 0.5 mm en etapas y finalmente se calcina a una alta temperatura. Su uso se hace para remover color del agua en procesos de la industria textil existentes en ese país, el carbón resultante tiene una capacidad para eliminar color de hasta 100mg/g.

Raymundo (2017) dentro del mundo de la biosorción; en un apartado de la biotecnología, se ha estudiado a los microorganismos que pueden biosorber metales pesados; estos se clasifican en bacterias, hongos y algas; estudiando su estructura, tamaño, forma y pared celular que es lo más recurrente, en este estudio se han mencionado los grupos funcionales tales como: *carboxilos, sulfidrilos, fosfatos, sulfatos, tioéter, fenol, carbonilo y amino*. La investigación arroja que existen bacterias que realizan múltiples capturas por lo que pueden atrapar o atraer oro, plata y cobre, así como otros elementos radiactivos como son: *uranio, americio, neodimio, torio*; los hongos de la penicilina pueden atraer arsénico. Estos procesos

pueden ser aplicados de manera extensiva a nivel industrial para remover cantidades superiores a los 100 mg/l, dado que los métodos tradicionales de precipitación química, intercambio iónico, carbón activado, membranas resultan inoperantes a estas concentraciones. Algunos microorganismos tienen la capacidad de seguir adsorbiendo ya una vez que han muerto.

Pérez, Armenteros, y Hernández (2016), estudiaron la cáscara de limón para remover cadmio, manganeso y plomo teniendo una eficiencia de remoción de 0.465 mmol/g, 0.429 mmol/g y 0.869 mmol/g respectivamente y también de la cáscara de naranja que se utilizó para remover Cd, obteniéndose una remoción menor a la del limón siendo de 0.335 mmol/g. Señala que cuando el efecto de adsorción es físico, esto involucra fuerzas de atracción de Van Der Waals del adsorbato con la superficie, que pueden ser tratadas con facilidad mediante tratamiento térmico, mientras que si la acción de adsorción es por enlace químico se requerirá de agentes químicos para romper los enlaces y en los dos casos recuperar el material, en resumen se recomienda medir la capacidad de adsorción del material, la disponibilidad, su precio y su posible reuso, estudiaron la bioadsorción de metales pesados, tales como: Pd, Cd y Ni usando un polímero afín a la cáscara de naranja, logrado altas adsorciones, de hasta 476 mg/g. Se hace también mención del uso de la turba, frijoles, habas, cáscara de semilla de algodón, cubierta de cacahuate, de avellana, cáscara de arroz, aserrín, lana, cáscara de naranja, composta y hojas. El injerto usado es el ácido poliamídico, el cual es un polímero que contiene amidas y grupos ácido carboxílicos, precursores de poliamidas.

Arocutipa (2013), probó con una cáscara de naranja tratada con sulfuro para remover Pb y Zn en soluciones acuosas, el material fue tratado con etanol, hidróxido de sodio y ácido acético mercaptano ( $C_2H_4O_2S$ ), con el objeto de producir

grupos hidroxilos en la estructura molecular, los cuales tienen gran afinidad con los iones metálicos.

Brault (2020), estudió la remoción de cromo hexavalente en soluciones acuosas añadiendo nanopartículas de hierro dentro de la medula de la cáscara de naranja teniendo una eficiencia de remoción de hasta un 30%.

Carcelén (2015), estudió la cáscara de trigo la cual es un desecho de alta disponibilidad y que se usa actualmente como forraje y en la industria de papel de envoltura; mientras que, en otros lugares, se quema contaminando el medio ambiente. Existe una producción importante de trigo y su desecho se ha manejado como bioadsorbente, comparado con los métodos de precipitación y coagulación que producen lodos en gran cantidad es sumamente eficiente y barato. El desecho de trigo como un bioadsorbente tiene la ventaja de que cuenta con los mismos grupos funcionales como son: *carboxilo*, *hidroxilo*, *sulfhidrilo*, *amino* y *amidas*, aunado a esto su estado poroso, facilita la adsorción de iones metálicos. Los componentes principales de este material son celulosa, hemicelulosa y lignina. Las ventajas es que un material de bajo costo, no requiere crecimiento, es independiente de la fisiología de la materia viva, no necesitan condiciones de asepsia y genera pocos residuos. Las desventajas; son que se tiene que desorber, y se dificulta el control biológico. Los elementos que puede eliminar son Cr (III), Pb (II) y Zn en tiempos de reacción que van de los 15 a los 20 minutos y retenciones de 67 a 371 mg/g a pesar de su poca área superficial 8.7 m<sup>2</sup>/g, la ventaja clara es la su velocidad de reacción.

Guerra (2015), estudió la factibilidad de usar lodos activados procedente de las plantas de tratamiento de agua residual con el objeto de medir la capacidad de adsorción de los mismos para la remoción de arsénico.

Así también se exploró la posibilidad de utilizar los esqueletos de animales marinos, plantas acuáticas como son los jacintos de agua, el desecho de naranja de la extracción de jugos, rocas marinas con hierro y manganeso. Prepararon los materiales utilizando tres formas de biomasa en el estudio: biomasa sin tratar, con fosfatos y con presencia de cloro, pero al término solo quedaron residuos tóxicos, debido a los materiales que se emplearon, como son los desechos de minas tales como: bauxita, hematita, laterita, óxido de hierro de la arena; la mejor combinación eliminó de 460 a 495 mg/g.

Mestanza (2019) mostró la importancia del análisis de la biosorción de metales pesados por diferentes métodos incluidos la biomasa y las cortezas de frutas como en este caso la banana, el limón y la naranja; secando la corteza para luego empacarlas en columnas ocupando un volumen de 100 ml, el diámetro de las partículas promedio fue entre 1 y 2 mm. En las pruebas realizadas la cáscara de banana removi6 mejor el plomo que la naranja y el lim6n, con remociones que van de 67.2mg/g, 28.8mg/g y 12mg/g respectivamente.

Los materiales de adsorción mencionados se prepararon de la siguiente manera: se seca el material a 40 grados durante seis d6as, posteriormente se muele, sigue una alcalinizaci6n con hidr6xido de sodio durante 20 minutos, le sigue lavado y filtrado, finalmente se usa agua destilada hasta cuatro veces para eliminar el remanente de hidr6xido. La idea es ionizar los compuestos de celulosa con un tratamiento alcalino lo cual genera cargas negativas que permiten ligar los cationes met6licos. Se reporta que la banana tiene mayor cantidad de celulosa, mientras que el lim6n y la naranja, mayor cantidad de pectina.

Valenci (2013), estudi6 el uso de la c6scara de nuez en la remoci6n de cromo (VI) la cual es tratada con 6cido c6trico, esta c6scara se hace reaccionar por un

espacio de tiempo de 24 horas y con temperaturas de trabajo de 110 a 130 oC en un reactor tipo batch, con un tiempo de contacto 10 - 240 min. La máxima adsorción de la cáscara tratada y no tratada es de 0.596 y 0.154mmol/gr respectivamente. La cáscara de nuez está compuesta por: celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa (la lignocelulosa, así como los polisacáridos están asociados a los grupos funcionales) y lignina. Si se añade ácido cítrico a la cáscara de nuez ayuda en la producción de ésteres, que ayudan para ligar los grupos funcionales carboxilos en el material celulósico, confiriendo una alta capacidad de adsorción, el proceso requiere una trituración a 100 micrómetros, agua desionizada, secado a 100 oC, un tiempo de reacción de 24 horas y el uso de químicos tales como: hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, y dicromato de potasio.

Valencia (2013), estudio los residuos de plantas tales como: agujas de pino, hojas de bambú, cáscara de naranja, raíces de pasto y astillas de madera, siendo en ese mismo orden de mayor a menor su eficiencia para remover compuestos orgánicos como: *napftaleno*, *acenapteno*, *fluoreno*, *fenantreno* y *pireno*, todos ellos son compuestos aromáticos policíclicos, que producen efectos cancerígenos, mutagénicos y tóxicos en gran medida, para estas sustancias los métodos tradicionales para removerlos, como son: la precipitación química y filtración no funcionan para su eliminación. Se resalta que la lignina muestra una gran afinidad para retirar estos compuestos orgánicos y debido a su característica polar de los mismos inhiben la adsorción, por lo que se recomienda retirar los polisacáridos que evitan la biosorción de los compuestos que se pretende adsorber.

## **4 Conclusiones**

El biofiltro es prometedor y una alternativa a la desinfección física y química de las aguas residuales. Según los medios sólidos, la fuente de aguas residuales y el biofiltro de velocidad de flujo pueden ser filtros de arena lentos.

El diseño propuesto cumple además con los objetivos planteados, principalmente con la reducción de la problemática de las aguas residuales, mejorar el diseño actual y evita el impacto ambiental. En conclusión, el diseño planteado ayudaría a reducir la contaminación ambiental.

La falta de información y concientización evita que se preste la debida importancia al tratamiento de aguas residuales, enfocándose únicamente en la productividad y en los ingresos económicos, inclusive se tienen conocimientos equivocados sobre los sistemas existentes y los que utilizan actualmente, esto genera una falta de atención y preocupación para con el ambiente.

La planificación urbana debe empezar a considerar -siempre que sus características técnicas lo permitan- el descentralizar los servicios. La creación de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales que den servicio por colonia, por fraccionamiento, unidad habitacional o vivienda puede resolver muchos problemas. La reglamentación de construcción debe incluir la separación de aguas grises y negras en las nuevas construcciones para facilitar esta solución.

Lo mismo es válido para la obtención de agua; es necesario que la población recupere agua de lluvia, de manera individual en la vivienda o colectivamente en condominios horizontales y verticales, edificios de oficinas, comercios, etc. Esto servirá para bajar la presión sobre los sistemas municipales de agua

potable durante la época de lluvias, y permitirá una menor derrama hacia los sistemas de alcantarillado evitando inundaciones.

Las autoridades urbanas deben hacer lo propio, separando los drenajes de aguas negras y aguas de lluvia en las ciudades, refiltrando el agua de lluvia a los acuíferos o almacenándola para un posterior tratamiento y uso.

## 5 Bibliografía

- Arocutipa (2013). Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en massiapo del distrito de alto inambari. Puno. Recuperado de: [https://www.google.com/search?client=avast-a-1&q=Arocutipa+\(2013\).+Evaluaci%C3%B3n+y+propuesta+t%C3%A9cnica+de+una+planta+de+tratamiento+de+aguas+residuales+en+massiapo+del+distrito+de+alto+inambari.+Puno.&oq=Arocutipa+\(2013\).+Evaluaci%C3%B3n+y+propuesta+t%C3%A9cnica+de+una+planta+de+tratamiento+de+aguas+residuales+en+massiapo+del+distrito+de+alto+inambari.+Puno.&aqs=avast.69i57.1401j0j7&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?client=avast-a-1&q=Arocutipa+(2013).+Evaluaci%C3%B3n+y+propuesta+t%C3%A9cnica+de+una+planta+de+tratamiento+de+aguas+residuales+en+massiapo+del+distrito+de+alto+inambari.+Puno.&oq=Arocutipa+(2013).+Evaluaci%C3%B3n+y+propuesta+t%C3%A9cnica+de+una+planta+de+tratamiento+de+aguas+residuales+en+massiapo+del+distrito+de+alto+inambari.+Puno.&aqs=avast.69i57.1401j0j7&ie=UTF-8)
- Bazurto (2017). Microorganismos nativos en la eficiencia de remoción de materia orgánica del efluente de la estación depuradora de Calceta - Manabí. Calceta. Recuperado de: [https://www.google.com/search?client=avast-a&q=Bazurto+\(2017\).+Microorganismos+nativos+en+la+eficiencia+de+remoci%C3%B3n+de+materia+org%C3%A1nica+del+efluente+de+la+estaci%C3%B3n+depuradora+de+Calceta+Manab%C3%AD.+Calceta.&oq=Bazurto+\(2017\).+Microorganismos+nativos+en+la+eficiencia+de+remoci%C3%B3n+de+materia+org%C3%A1nica+del+efluente+de+la+estaci%C3%B3n+depuradora+de+Calceta+Manab%C3%AD.+Calceta.&aqs=avast..69i57.3941j0j9&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?client=avast-a&q=Bazurto+(2017).+Microorganismos+nativos+en+la+eficiencia+de+remoci%C3%B3n+de+materia+org%C3%A1nica+del+efluente+de+la+estaci%C3%B3n+depuradora+de+Calceta+Manab%C3%AD.+Calceta.&oq=Bazurto+(2017).+Microorganismos+nativos+en+la+eficiencia+de+remoci%C3%B3n+de+materia+org%C3%A1nica+del+efluente+de+la+estaci%C3%B3n+depuradora+de+Calceta+Manab%C3%AD.+Calceta.&aqs=avast..69i57.3941j0j9&ie=UTF-8)
- Bermeo (2013). Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa textil. Guayaquil.
- Brault y Marmanillo (2020). Banco mundial Blogs. Obtenido de <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/tres-soluciones-para-una-mejor-gestion-de-las-aguas-residuales-en-guayaquil-ecuador>
- Bruni (2018). Filtración lenta de arena. SSWM.

- Burgos (2015). Propuesta técnica para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio de restrepo, meta. Villavicencio.
- Carcelén (2015). Tratamiento de lodos por digestión anaerobia de la planta piloto de aguas residuales del colector El Batán del distrito metropolitano de Quito y su posible aplicación en la agricultura. Quito.
- Celis (2010). Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Satipo - Junín. Satipo.
- Choque (2019). Tratamiento de aguas residuales en la industria textil por el método de electrocoagulación.
- Corrales (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Scielo.
- Cuenca (2015). Selección de un sistema de desinfección en proyectos de reutilización de las aguas residuales tratadas. Valencia.
- Delgado (2019). Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluyente del biorreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción - 2018. Huancayo.
- Despaigne (2016). Propuesta de Rehabilitación de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Marta Abreu de las Villas. Santa Clara.
- Díaz, Alvarado, y Camacho (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible, el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía. Toluca.
- Díaz (2018). Control de los parámetros de funcionamiento de la planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de

optimizar su funcionamiento en la empresa minera Pan América Silver S.A.C. Unidad operativa Huaron. Pasco.

Freire (2012). Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa Teimsa - Ambato. Riobamba.

Garzón, Buelna y Moeller (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. Scielo.

Gualán (2016). Evaluación del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe. Zamora.

Guerra (2015). Diseño de un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la quesera Isabel ubicada en el sector Lagos el Cisne del cantón Guano provincia de Chimborazo. Riobamba.

Jiménez (2016). Evaluación de un filtro artesanal del efluente de una lavadora de autos a base de bagazo de caña de maíz, aserrín, ceniza de carbón vegetal y grava. Ambato.

Jiménez (2019). Implementación de una planta de tratamiento para aguas residuales en la Pontificia Universidad Católica de Ecuador sede Ibarra. Ibarra.

Lander (2020). El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes. IAGUA.

Lobo (2014). Tratamiento biológico de aguas residuales industriales. de la Plata.

Lovato (2018). Diseño de jardín depurador piloto para tratamiento de aguas residuales en la hostería Garceta - Sol. Quito.

- Macías (2020). Análisis de las aguas residuales domésticas de la laguna de oxidación de las orquídeas mediante la aplicación de Neem (azadirachta indica) como alternativa de reducción de coliformes fecales. Guayaquil.
- Martínez (2016). Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín. Cajamarca.
- Mendes (2019). Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad. Alicante.
- Méndez (2019). Propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales de Arbeláez a partir del sistema de Deer Island Wastewater Treatment Plant. Bogotá.
- Mestanza (2019). Propuesta de tratamiento de aguas residuales en el centro de beneficio María de Fátima de distrito de la Victoria. Mogrovejo.
- Montoya (2017). Plan de mejora del tratamiento de aguas residuales de empresa de mariscos.
- Morales (2013). Estudio experimental y modelización de los parámetros Biocinéticos en la Evaluación de un Reactor de Lodos Activos de una Planta de Tratamiento Alimentaria. Guayaquil.
- Morán (2014). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Cobán.

- Moreno (2019). Identificación y selección de tecnología para tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas para la comunidad San José, Samborondón. Guayaquil.
- Pereira de Brito (2009). Investigación sobre reutilización de aguas residuales para fines urbanos (recreativos y limpieza viaria) con vistas a justificar una propuesta de normativa.
- Pérez, Armenteros y Hernández (2016). Sistema de tratamiento para las aguas residuales en la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Villa Clara. Scielo.
- Pinedo (2015). Diseño y análisis de planta de tratamiento de aguas residuales en el Sector de Villa Verde. Santo Domingo.
- Ramos (2019). Propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la empresa Joscana Sac, para su reuso en áreas verdes. Piura.
- Raymundo (2017). Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado la Punta - Sapallanga. La punta.
- Ríos, Agudelo y Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Scielo.
- Rivera (2019). Valoración económica ambiental para el tratamiento de las aguas residuales en el río Ichu - Huancavelica. Huancavelica.
- Rodríguez (2018). Tratamiento de aguas residuales: Elemento necesario en una economía circular. Voces.
- Rodríguez (2017). Tratamiento de aguas residuales industriales mediante acoplamiento de procesos físico-químicos y biológicos. España.

- Rodríguez (13 de marzo de 2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rodríguez, García y García (2015). Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. Scielo.
- Romero (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Scielo.
- Ronquillo (2016). Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales para ser utilizada en el riego del parque samanes. Guayaquil.
- Suárez (2015). Sistema de tratamiento de aguas residuales y su incidencia en la calidad de los efluentes de la parroquia Moraspungo del cantón Pangua, provincia de Cotopaxi, año 2015, propuesta de optimización del sistema sanitario. Quevedo.
- Tapia (2013). Diseño del tratamiento de aguas residuales domésticas de la comunidad de Chimul del cantón Sevilla de Oro - Provincia del Azuay, mediante un sistema natural de Humedad artificial del flujo libre. Cuenca.
- Tena (2019). Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales en la comunidad campesina San Juan de Churin. Churin.
- Torres (2014). Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros. Las palmas de Gran Canaria.

Torres (2020). Diseño de la planta de tratamiento de agua residuales del centro poblado Tambo Real - distrito de Pitipo, provincia de Ferreñafe. Tambo Real.

Valencia (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo. Riobamba.

Vera (2019). Sistema Doyoo Yokasso para el tratamiento de aguas residuales en la localidad de San Juan de Río Soritor, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, región San Martín. Nueva Cajamarca.

Zegarra (2019). Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales del Servicentro San Miguel para minimizar el impacto ambiental sobre las fuentes de agua. Mogrovejo.

## 6 Glosario

**ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.** Se reseña a los acuerdos en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden comprimir el daño o aprovechar sus aspectos benéficos.

**AEROBIO.** Medio acuoso con presencia del oxígeno molecular disuelto.

**AGUAS GRISES.** Aguas residuales domésticas arregladas por agua con detergentes y jabones procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos y lavaderos. No incluye la proveniente de sanitarios.

**AGUAS NEGRAS.** Aguas que contienen excretas humanas o de animales. Una particularidad importante es que su contenido de microorganismos potencialmente patógenos es muy alto.

**AGUAS RESIDUALES BRUTAS.** Aguas residuales sin tratar, también conocidas como crudas.

**AIREACIÓN.** Técnica que se utiliza en el tratamiento de aguas para incorporar oxígeno al agua. La fuente de oxígeno es el aire y su transferencia hacia el líquido es por medios de aireadores mecánicos o sopladores a través de difusores de aire comprimido.

**ALGAS.** Organismos uni o multicelular que se encuentran comúnmente en el agua superficial. Producen su material celular por medio de la fotosíntesis, generando además oxígeno durante el día. Son una fuente de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua naturales. El crecimiento excesivo de las algas puede hacer que el agua tenga olores o gusto indeseables, o hasta generar compuestos tóxicos para la vida acuática.

**ANABOLISMO.** Proceso del metabolismo celular responsable de sintetizar nuevas y más complejas sustancias orgánicas, a partir del consumo de un sustrato, del cual toma la energía necesaria para llevarse a cabo (catabolismo). A través de este proceso, se crean nuevas células.

**ANAEROBIO.** Medio acuoso caracterizado por la ausencia de oxígeno molecular disuelto, así como combinado en forma de ion nitrato o nitrito.

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).** Metodología mediante la cual se realiza una identificación, cuantificación y evaluación de las entradas y salidas, así como de los impactos ambientales potenciales, de la producción de un producto o la prestación de un servicio a través de su ciclo de vida (incluye desde la obtención de las materias primas, hasta la disposición final del producto o el término de la vida ÚTIL de la infraestructura de servicio).

**ANÓXICO.** Medio acuoso caracterizado por la ausencia de oxígeno molecular disuelto, pero con la presencia de nitrógeno oxidado en forma de nitratos y nitritos. Es un estado intermedio entre el medio aerobio y el anaerobio.

**BACTERIAS.** Las bacterias son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de unos pocos micrómetros (entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$ , por lo general) y diversas formas incluyendo esferas (cocos), barras (bacilos) y hélices (espirilos). Su función en los sistemas de tratamiento de aguas residuales es el consumir la materia orgánica biodegradable, para la síntesis de nuevas células (reproducción) o la generación de gases (metano) y de esta forma, retirarla del agua en tratamiento.

**BIODEGRADABLE.** Sustancia que puede ser descompuesta o degradada por la acción de microorganismos o seres vivos.

**BIOMASA.** Denominación genérica del conjunto de microorganismos que se desarrolla en un sistema de tratamiento de aguas residuales. Puede también llamarse lodo biológico o simplemente lodo.

**BIOPELÍCULA.** Población de microorganismos de diverso género adheridos a una superficie. En tratamiento de aguas residuales se aplica en reactores de biomasa fija o biopelícula, utilizando un soporte inerte para el desarrollo de la misma.

**CAMBIO CLIMÁTICO.** Es la consecuencia sobre los patrones del clima debido al calentamiento global de la atmósfera producido por el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero y el incremento de su concentración en la atmósfera. Este fenómeno está muy relacionado con los niveles de consumo de energía de la sociedad moderna, generada a partir de combustibles fósiles, así como con la actividad agrícola, ganadera e industrial.

**CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA.** Cantidad de masa del contaminante (normalmente expresado como DBO5 o DQO) que se introduce a un sistema por

unidad de volumen del tanque o reactor bio- lógico en un tiempo determinado (por lo general un día).

**CATABOLISMO.** Proceso del metabolismo celular que transforma moléculas orgánicas en productos más simples, y por el cual la célula obtiene energía para sus funciones vitales, entre ellas la síntesis de nuevas células (anabolismo). Ambos procesos, catabolismo y anabolismo, integran el conjunto conocido como metabolismo.

**CICLO DE VIDA.** Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.

**COAGULACIÓN.** Desestabilización de partículas coloidales por la adición de un reactivo químico, llamado coagulante. Esto ocurre a través de la neutralización de las cargas eléctricas.

**CONCENTRACIÓN.** La cantidad de material disuelto o en suspensión en una unidad de volumen de solución, por ejemplo, expresado en mg/l.

**CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES.** Contaminación de las fuentes de aguas por una excesiva presencia de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. En aguas superficiales, su presencia provoca la excesiva producción de algas y su eutrofización de los cuerpos de agua. La fuente de estos nutrientes son las descargas de aguas residuales y las aguas de drenaje agrícola.

**CONTAMINANTES BIOLÓGICOS.** Organismos vivos tales como virus, bacterias, hongos y parásitos que pueden causar efectos dañinos sobre la salud de los seres humanos o animales

**CONTAMINANTES TÓXICOS DEL AGUA.** Compuestos que no son encontrados de forma natural en el agua y vienen dados en concentraciones que causan la muerte, enfermedad, o defectos de nacimiento en organismos que los ingieren o absorben.

**COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.** Compuestos orgánicos sintéticos los cuales tienen fácil evaporación y a menudo provocan cáncer. Se volatilizan a condiciones medio ambientales de presión y temperatura. En su mayoría son combustibles y solventes derivados del petróleo.

**DECANTAR.** Retirar la capa superior de un líquido después de que materiales pesados (un sólido o cualquier otro líquido) se haya depositado.

**DESASTRE.** Situación o evento que sobrepasa la capacidad local, que requiere apoyo de nivel nacional o internacional con asistencia externa. Un evento imprevisto y a menudo repentino que causa grandes daños, destrucción a la población, a la infraestructura y al medio natural.

**DESGASIFICACIÓN.** El proceso de eliminación de gases disueltos en agua.

**DESNITRIFICACIÓN.** Eliminación biológica de nitritos y nitratos del agua para producir nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) que es inocuo al medio ambiente.

**FILTRACIÓN.** Separación de sólidos y líquidos usando un medio granular o poroso que sólo permite pasar al líquido a través de él.

**FLOCULACIÓN.** Acumulación de partículas coloidales desestabilizadas y pequeñas partículas que conlleva a la formación de flóculos de tamaño deseado, para su posterior separación por sedimentación o flotación.

**FLÓCULO.** Masa densa de materia que es formada por la acumulación de partículas suspendidas y coloidales.

**FLOTACIÓN.** Proceso de separación sólido-líquido o líquido-líquido, el cual es aplicado para partículas cuya densidad es más pequeña que la densidad del líquido que las contiene. Hay tres tipos: flotación natural, ayudada e inducida.

**METABOLISMO.** Es el conjunto de reacciones bioquímicas y físico-químicas que realiza una célula (y por extensión, un organismo) para realizar sus funciones vitales (crecimiento, reproducción, mantenimiento, supervivencia, defensa, etc.).

## 7 ANEXOS

### Anexo1. Agentes patógenos para enfermedades transmitidas por el agua

Grupo	Patógeno	Enfermedades causadas	Infecciosidad relativa	Resistencia a la desinfección
<b>Virus</b>	Enterovirus (polio, eco, coxsackie)	Meningitis, parálisis, erupción cutánea, fiebre, miocarditis, enfermedades respiratorias y diarrea	Elevado	Moderar
<b>Calicivirus humanos de hepatitis A y E</b>	Hepatitis infecciosa	Elevado	Moderar	
<b>Virus de Norwalk, Sapporo, rotavirus</b>	Diarrea / gastroenteritis	Elevado	Moderar	
<b>Astrovirus</b>	Diarrea	Elevado	Moderar	
<b>Adenovirus</b>	Diarrea (tipos 40 y 41), infecciones oculares y enfermedades respiratorias	Elevado	Moderar	
<b>Reovirus</b>	Respiratorio y entérico	Elevado	Moderar	
<b>Enteropatógenos putativos (coronavirus,</b>	La relación causal aún no está probada	Elevado	Moderar	

---

<b>enterovirus, torovirus, parvovirus y Reovirus)</b>				
<b>Bacterias</b>	Salmonela	Tifoidea y diarrea	Bajo	Bajo
<b>Shigella, Yersinia enterocolitica</b>	Diarrea	Elevado	Bajo	
<b>Campylobacter</b>	Causa principal de diarrea en brotes transmitidos por alimentos Diarrea con sangre (colitis hemorrágica) e	Moderar	Bajo	
<b>Escherichia coli O157: H7 y otras cepas determinadas</b>	insuficiencia renal (síndrome urémico hemolítico) en humanos Legionarios (neumonía purulenta aguda)	Elevado	Bajo	
<b>Legionella pneumophila</b>	y fiebre de Pontiac (una enfermedad no neumónica autolimitante) Enfermedad	Moderar	Moderar	
<b>Pseudomonas aeruginosa</b>	pulmonar, infección de la piel.	Bajo	Bajo	
<b>Vibrio cholerae</b>	Cólera	Bajo	Bajo	

---

<b>Protozoos</b>	Naegleria	Meningoencefalitis amebiana	Moderar	Bajo
<b>Entamoeba histolytica</b>	Disentería amebiana	Elevado	Elevado	
<b>Giardia lamblia</b>	Giardiasis (diarrea crónica)	Elevado	Elevado	
<b>Cryptosporidium parvum</b>	Criptosporidiosis (diarrea aguda, fatal para individuos inmunodeprimidos )	Elevado	Elevado	
<b>Cyclospora</b>	Diarrea	Elevado	Elevado	
<b>Microsporidios (Enterocytozoon spp., Encephalitozoon spp., Septata spp., Pleistophora spp., Nosema spp.)</b>	Diarrea crónica y emaciación, enfermedad pulmonar, ocular, muscular y renal			
<b>Toxoplasma gondii</b>	Toxoplasmosis	Elevado	Elevado	
<b>Acanthamoeba spp.</b>	Queratitis, encefalitis	Elevado	Bajo	
<b>Cianobacterias</b>	Microcystis, Anabaena, Afantiomenon	Diarrea por ingestión de toxinas; estos organismos producen microcistina; la toxina está		

		implicada en el daño hepático		
<b>Helmintos</b>	lombriz intestinal	Ascariasis		
<b>Trichuris trichiura</b>	Tricuriasis (tricocéfalos)			
<b>Taenia saginata</b>	Tenia de la carne			
<b>Schistosoma mansoni</b>	Esquistosomiasis (que afecta al hígado, la vejiga y el intestino grueso)			
<b>Grupo</b>	Patógeno	Enfermedades causadas	Infecciosidad relativa	Resistenc ia a la desinfec ción
<b>Virus</b>	Enterovirus (polio, eco, coxsackie)	Meningitis, parálisis, erupción cutánea, fiebre, miocarditis, enfermedades respiratorias y diarrea	Elevado	Moderar

---

Rios, Agudelo, y Gutiérrez (2017)

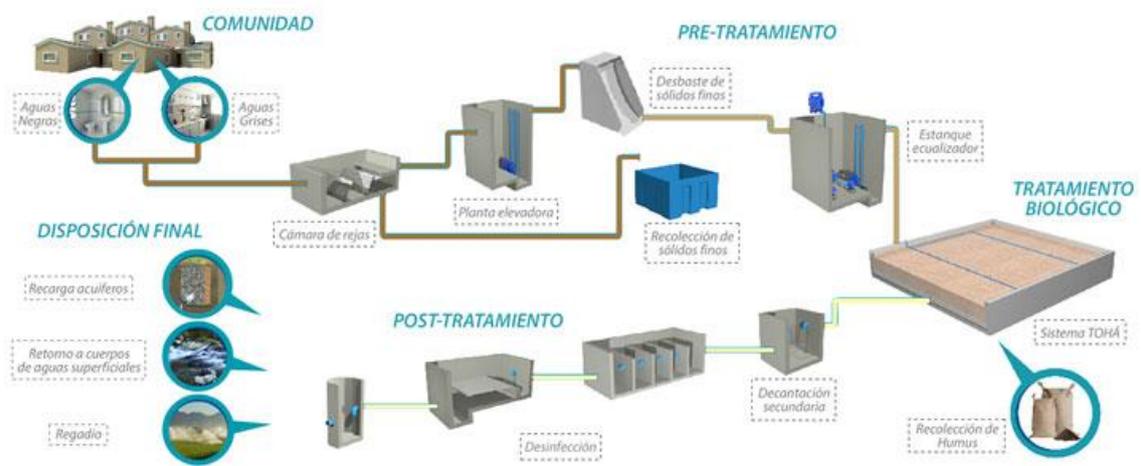


Figure 1. Sistema Toha

Gemat (2019)