



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión bibliográfica del uso de biofiltros dinámicos aerobios en la remoción  
de la carga orgánica y nutrientes en los cuerpos hídricos**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Prado Espinoza, Jeffrey Gianpierre (ORCID: 0000-0001-7458-2670)

Degregori Seeman, Marialuisa Katherine (ORCID: 0000-0002-8650-7608)

**ASESOR:**

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2020

## Dedicatoria

A Dios porque siempre ha estado con nosotros en cada paso que hemos dado, cuidándonos y dándonos la fortaleza para continuar. A nuestros familiares con mucho cariño y amor, le dedicamos nuestro esfuerzo y trabajo.

## Agradecimiento

A Dios por la salud y bienestar que nos ha brindado para poder seguir adelante con nuestros estudios, a nuestras familias, hermanos y amistades por su gran apoyo incondicional, que va de la mano junto con los consejos, cariño y confianza a lo largo de nuestra carrera. A nuestros docentes, especialmente al Doctor Lorgio Valdiviezo, por dedicarnos su tiempo en las asesorías y por sus acertadas recomendaciones que nos ha ayudado a mejorar cada vez más en nuestro informe. A nuestra casa de estudios la Universidad César Vallejo del Perú y la Facultad de Ingeniería por otorgarnos la oportunidad de formarnos y ser individuos con las habilidades y capacidades necesarias para poder enfrentarnos al campo profesional.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	II
Agradecimiento .....	III
Índice de contenidos .....	IV
Índice de tablas .....	V
Índice de figuras.....	VI
Índice de anexos.....	VII
Índice de abreviaturas .....	VIII
Resumen.....	IX
Abstract.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. MÉTODO.....	10
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	22
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	22
3.3 Escenario de estudio.....	25
3.4 Participantes.....	25
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.6 Procedimientos.....	25
3.7 Rigor científico.....	26
3.8 Método de análisis de información.....	28
3.9 Aspectos éticos.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. RECOMENDACIONES.....	35
REFERENCIAS .....	36
ANEXOS .....	52

## Índice de tablas

Tabla 1 Sistema de biofiltro comparado con los sistemas convencionales.....	6
Tabla 2 Antecedentes .....	17
Tabla 3 Matriz de categorización. ....	23
Tabla 4 Resumen de criterios de búsqueda. ....	26

## Índice de figuras

Figura 1. Procesos antes y después de utilizar el biofiltro.....	8
Figura 2. Sistemas de tratamiento.....	9
Figura 3. Diagrama esquemático de un Biofiltro de flujo vertical cilíndrico.....	11
Figura 4. Diagrama esquemático del biofiltro de flujo horizontal paralelepípedo.....	11
Figura 5. Representación de mecanismo de biofiltración y adaptación de la lombriz.....	13
Figura 6. Esquema de proceso analítico de los datos.....	28

## Índice de anexos

Anexo 1. Ficha de análisis de contenido .....	52
Anexo 2. Declaratoria de autenticidad del asesor .....	53
Anexo 3. Declaratoria de autenticidad del asesor .....	54

## Índice de abreviaturas

MINAM : Ministerio del Medio Ambiente

ANA : Autorización Nacional del agua

INEI : Instituto Nacional de Estadística e Informática

SUNASS : Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

EPA : Agencia de Protección Ambiental

Ph : Potencia de hidrogeno

DBO : Demanda biológica de oxígeno

DQO : Demanda química de oxígeno

N : Nitrógeno

NO<sub>3</sub>: Nitratos

NT : Nitrógeno total

SDT : Solidos disueltos totales

SST : Solidos suspendidos totales

V : Volumen

Q : Caudal

TRH : Tiempo de retención hidráulica

HLR : Tasa de carga hidráulica

P: Fósforo

MO : Materia orgánica

p : Página

prr : párrafo

## Resumen

principales de la presente investigación, fue describir los diseños de biofiltros en un esfuerzo por mejorar la calidad del agua de los cuerpos hídricos y tener una comprensión sobre el desempeño de cada componente de los lechos filtrantes y de los criterios de diseño de los reactores, para guiar la presente investigación, reportadas en las literaturas revisadas sobre los usos de los biofiltros, tiene un enfoque de tipo básico, con un diseño cualitativo narrativo de tópicos, para ello se usó la técnica de análisis documental y para la recolección de datos se usó una ficha de observación; donde se analizaron 40 artículos científicos y 5 libros que se seleccionaron a través de criterios de inclusión y exclusión, y también documentos de investigación indexados, a base de palabras claves; de modo que sea válidas y confiables. Por ello que, obtuvimos resultados referentes a las eficiencias para remover la carga orgánica y nutrientes de las aguas contaminadas usando diferentes tipos de biofiltros con distintos lechos filtrantes y ver cuál fue el desempeño de cada parámetro de operación en cada uno de los reactores. De acuerdo a un extenso análisis de datos en las revisiones, se encontró que en cada componente como en el lecho de humus, se obtuvo un rango de remoción de DBO<sub>5</sub> que va del 87 - 92%, puesto que las lombrices se alimentan de la materia orgánica y así para cada lecho filtrante; y para los criterios de diseño de cada reactor en los artículos revisados reportan un valor de Qw óptimos o ideales en un rango de 148.3 ml/min, 0,12 m<sup>3</sup> /h y 1.2 L/día, éstos se utilizó para el arranque del biofiltro, porque, al poder determinar el caudal óptimo se pudo apreciar un riego más homogéneo que favorece una filtración estable y constante e incluso se podía operar en tiempos prolongados y los resultados positivos eran visibles y así también para cada parámetros de operación. Se recomienda para futuras investigaciones que hagan un monitoreo de cada lecho filtrante en los biofiltros, para así poder comprender mejor y ver la eficiencia de cada una, entre otros componentes.

**Palabras claves:** Biofiltro, carga orgánica, Nutrientes, Caudal, Tiempo de retención hidráulica, tasa de carga hidráulica.

## Abstract

The main objectives of the present investigation were to describe the biofilter designs in an effort to improve the water quality of the water bodies and to have an understanding of the performance of each component of the filter beds and of the reactor design criteria; where 40 scientific articles and 5 books were analyzed and selected through inclusion and exclusion criteria, as well as indexed research documents, based on keywords; so that they are valid and reliable. Therefore, we obtained results regarding the efficiencies to remove the organic load and nutrients from the polluted waters using different types of biofilters with different filter beds and to see what was the performance of each operation parameter in each of the reactors. According to an extensive data analysis in the reviews, it was found that in each component as in the humus bed, a range of BOD5 removal was obtained that goes from 87 - 92%, since worms feed on organic matter. and so for each filter bed; and for the design criteria of each reactor in the articles reviewed report an optimal or ideal  $Q_w$  value in a range of 148. 3 ml/min, 0.12 m<sup>3</sup> /h and 1.2 L/day, these were used to start the biofilter, because, being able to determine the optimal flow rate, a more homogeneous irrigation could be appreciated, which favors a stable and constant filtration, and even could be operated in extended times and the positive results were visible and so for each operating parameter. It is recommended for future research to monitor each filter bed in the biofilters, in order to better understand and see the efficiency of each one, among other components.

**Keywords:** Biofilter, organic load, nutrients, flow rate, hydraulic retention time, hydraulic load rate.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la descarga excesiva de diversos contaminantes a los cuerpos hídricos sobre una región extensa como se ha visto en los últimos años, conduce a la eutrofización con floraciones de algas nocivas y a la avería de calidad del agua en los medios acuáticos, lo que constituye un problema ambiental mundial que causa graves preocupaciones (Chang et al., 2019, párr. 1). Los numerosos problemas relacionados con la calidad del agua son causados por actividades antropogénicas, incluidos aumentos de la población, urbanización, y prácticas industriales y agrícolas en las cuencas fluviales y en zonas de amortiguación ribereñas (Shao y Wang. 2020, párr. 3).

La carga orgánica, aunque no tiene efectos directos en la salud, afecta de manera crítica el tratamiento del agua potable y puede contribuir a los impactos indirectos en la salud, así como a problemas operativos y estéticos en el tratamiento del agua (Health Canada. 2019, p. 6), por tanto, las cargas orgánicas como los contaminantes pueden acumularse en sedimentos y liberarse tras eventos episódicos de mezcla y variaciones redox, con efectos perjudiciales sobre la biota y la calidad de las aguas marinas costeras (Zoppini et al., 2019, p. 4). Los nutrientes siguen siendo la forma más frecuente de contaminación, es un problema a nivel mundial para las aguas superficiales, por eso se prevé que aumenten sus emisiones con puntos candentes en Asia Oriental y Sur, algunas partes de África, América Central y Latina, las ciudades con constante crecimiento como los países en desarrollo se convertirían en las principales fuentes de emisiones de nutrientes (UNESCO. 2019, p. 17), los principales componentes de los nutrientes son el nitrógeno (N) y fósforo (P) que en exceso son arrojados de fuentes como las agrícolas e industrial que fueron identificados como factores primarios que provocan la eutrofización de lagos y ríos en todo el mundo (Morgane et al., 2019. p. 4).

La contaminación en Perú ha provocado la desaparición y el trastorno de la flora y fauna, además de alejar a la fauna terrestre (MINAM. 2013, p. 60). Los ríos principales como fuente de abastecimiento de Lima y Callao son Chillón, Rímac y Lurín; dichas fuentes han sido alteradas por vertimientos que provienen de aguas

residuales domésticas e industriales donde produce una fuerte contaminación del agua, es por ello que se necesita evaluar y analizar su calidad (ANA. 2016, p. 32). En el río Rímac se detectó una presencia máxima de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) que fue de 4,07 mg/l mientras que para el valor promedio obtuvo un 2,73 mg/l, en las estadísticas ambientales correspondientes al mes de marzo del 2018, mientras que una similitud al mes del año anterior realizando los mismos análisis, se indica que dicha presencia del nitrato fue menor con su valor máximo en 61,8% y de valor promedio en un 60,2%. (INEI. 2018, p. 28), así mismo se indicó mediante informes estadísticos de fuentes de contaminación con una suma total de vertimientos autorizados y no autorizados de 41,6 hm<sup>3</sup>/año, el mayor es el sector de minería con 25 hm<sup>3</sup>/año, y el menor en el de energía con 1,4 hm<sup>3</sup>/año, mientras que los volúmenes de vertimientos no autorizados, se estiman en 34,6 hm<sup>3</sup>/año (ANA. 2016, p. 56).

De las extensas revisiones bibliográficas, se ha considerado que los sistemas aeróbicos biológicos son más convenientes a comparación de los sistemas anaeróbicos por el desequilibrio en el pH, temperatura y en las tasas de carga orgánica (Degremont. 2009, p. 52), por lo tanto, se ha observado que, entre todas las opciones existentes, el biofiltro dinámico aerobio es la única opción, que funciona como un filtro aeróbico que no genera lodo y no requiere energía, se puede apreciar por el hecho de que las lombrices de tierra se comen todas las partículas en suspensión que se han filtrado en el lecho filtrante y en el proceso de ingestión; airea pasivamente el sistema por medio de madrigueras (Kumar et al., 2015, p. 2).

En las zonas rurales a nivel nacional, el 62.2% de la población carece de acceso al agua, mientras que el 68.2% no tiene acceso en servicios de alcantarillado; en la región de Lima junto con el Callao se concentra más población urbana que no tiene acceso al agua potable ni alcantarillado, siendo respectivamente el 28.9% y 25.3% de un total de la población que carece de dichos servicios; la región de Puno también presenta una población que no tiene acceso al agua (407,234 habitantes); en tanto a Cajamarca existe una mayor población sin acceso al servicio de alcantarillado (752,454 habitantes) (SUNASS. 2017, p. 45). Los recursos de agua dulce será un producto costoso en un futuro próximo; se ha informado que el consumo anual

mundial de agua dulce es de alrededor de 3700 mil millones de m<sup>3</sup> según las estadísticas de 2014 (Anamika y Beevi, S. 2020, p.13).

Para conservar los recursos de agua (cuerpos hídricos) y nutrientes en los países en desarrollo, a menudo se requiere un enfoque de tratamiento de aguas residuales económico, ecológicamente seguro y fácil de manejar que merece ser explorado, por lo tanto, en el presente informe de investigación se plantea como problema general, ¿Que diseños de biofiltros dinámicos aerobios son más eficientes para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos? y los problemas específicos ¿Cuáles son los componentes de los biofiltros dinámicos aerobios que permiten mayores eficiencias para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos? y ¿Cuáles son los criterios de diseño de un biofiltro dinámico aeróbico para remoción de carga orgánica y nutrientes en cuerpos hídricos?

El informe de investigación, contribuye aportando conocimientos sobre la reducción de la contaminación de los cuerpos hídricos usando como tecnología a los biofiltros dinámicos aerobios, como una alternativa sustentable y sostenible para cumplir con los estándares establecidos. Este sistema aeróbico no produce olores desagradables, ni lodos; es de sencilla operación y compacto, por lo que sus materiales son fáciles de conseguir a un bajo costo. El objetivo general es analizar los diseños de biofiltros dinámicos aerobios más eficientes para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos; y los objetivos específicos son identificar los componentes de un biofiltro dinámico aeróbico que permite mayores eficiencias para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos y Determinar los criterios de diseño de los biofiltros para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos.

## II. MARCO TEÓRICO

Calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua, así como el estado de las aguas (Maceira. 2020, párr. 1). Dentro de los contaminantes más comunes se encuentran los nutrientes que están compuestos por nitrógeno y el fósforo, que forman parte de los ecosistemas acuáticos, apoyando a crecer las plantas acuáticas y las algas, en las últimas décadas, dichos nutrientes han impactado a los ríos, lagos, bahías y las aguas costeras, lo que ha resultado en serios problemas ambientales y de salud humana (EPA. 2019, párr. 2), por el exceso de nutrientes que hacen que las algas crezcan con mayor rapidez resultando un brote de algas de colores verde, rojo o marrón, aparece como pintura o espuma gruesa en la superficie del agua, algunas algas liberan toxinas que matan a los peces y otros animales (Beauvais. 2016, p. 1).

El nitrógeno puede ser utilizada como fuente de nutrientes para las plantas y su presencia fomenta proliferación de plantas; para la vida acuática el nitrito es tóxico si está en una concentración relativamente baja, en aguas no contaminadas, los niveles de nitrito son generalmente bajos ( $<0.01\text{mg/L N}$ ); el nitrito se establece normalmente usando los procedimientos espectrofotométricos y puede ser reportado como  $\text{mg/L N}$  o  $\text{NO}_2$ , siendo la principal forma de nitrógeno combinado que se encuentra en el agua natural y resultados de la completa oxidación de los compuestos de nitrógeno, ya que el nitrato la forma principal de nitrógeno aprovechada por las plantas como nutriente para estimular el crecimiento y las cantidades excesivas de nitrógeno pueden dar lugar a proliferaciones de fitoplancton o macrófitos que en niveles altos es tóxico para los niños (L.i. y Liu. 2019, p. 216).

El fosfato es considerado como un contaminante si su concentración se excede, causando graves riesgos ambientales debido a la eutrofización en el agua, está disponible en tres formas, que es fósforo orgánico (asociado con moléculas orgánicas), ortofosfato y polifosfatos que son precipitados a través de productos químicos, mientras el fósforo orgánico y polifosfatos pueden ser convertidos a ortofosfato que es a través del tratamiento biológico, también es debido a la descomposición natural de rocas y minerales agrícolas (Singh. 2013, p. 49). El

oxígeno disuelto es el nivel de oxígeno libre que está presente en agua y otros líquidos, debido a que es un importante parámetro para la evaluación de la calidad del agua por la influencia que produce en los organismos que habitan dentro de un cuerpo de agua (Gandhare et al. 2015, p. 326).

También se presenta la alta carga orgánica en los cuerpos hídricos, que es un término amplio para la compleja mezcla de miles de compuestos orgánicos que se encuentran en el agua, estos compuestos se derivan de la materia vegetal y animal en descomposición; la materia orgánica es altamente variable y las concentraciones relativas de compuestos individuales pueden variar significativamente de una fuente a otra (Bryant. 2015, párr. 1). La materia orgánica natural está presente de manera ubicua en ambientes acuáticos y se sabe que modifica las propiedades de adsorción de los sólidos en el agua natural (Wang y Huang. 2019, p. 192), ocurre naturalmente en el medio ambiente y también puede ser el resultado de actividades humanas, así como también puede encontrarse en el agua de lluvia (Health Canada. 2019, p. 4). La carga orgánica o también llamada carga másica, es considerado como flujo de masa de materia orgánica por la unidad de volumen del filtro, que se expresa como la velocidad en que la materia orgánica que está disuelta, esta suministrada a un sistema (kg DQO/ m<sup>3</sup>.d o kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.d) (Reyes y Mazzoco. 2009, p. 102).

Para tratar el agua contaminada por nutrientes existen diferentes tecnologías, en este caso la eliminación del fósforo, que incluyen físicamente la filtración para fósforo particulado y membrana tecnológica; la tecnología biológica como la asimilación y eliminación biológica mejorada de fósforo; y la tecnología química mediante la precipitación (Strom. 2007, párr. 2), que realiza la disminución de los niveles de fósforo con sales de hierro y aluminio (De la Cruz Vera, 2014, p. 3); otras técnicas para eliminación de nitrógeno y fósforo es por el método de electrocoagulación, que es un tratamiento de agua residual técnica que implica aplicación de una corriente eléctrica hacia los electrodos artificiales, principalmente de aluminio y hierro (Chonw. 2013, p. 99). Las tecnologías que se emplearon para la reducción de carga orgánica tiene procesos anaeróbicos como los aeróbicos que están en práctica desde 1970, los métodos de remediación biológicas pueden ser de dos tipos: a) sistema anaeróbico, son los procesos que funcionan convirtiendo

biológicamente los materiales orgánicos en metano y dióxido de carbono mediante tres etapas de reacción como la hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis; b) sistema aeróbico ,son procesos aeróbicos que logran el tratamiento de residuos biológicos convirtiendo los residuos orgánicos en dióxido de carbono y material de biomasa (Metcalf y Eddy. 2004, p. 45). A continuación, en la tabla 1 presentamos el biofiltro comparado con los sistemas convencionales.

**Tabla 1.** Sistema de biofiltro comparado con los sistemas convencionales

<b>Parámetros de estudio</b>	<b>Biofiltros</b>	<b>Lodos Activados</b>	<b>Lagunas Aireadas</b>
<b>Área</b>	0.5 m2 por persona	0.7 m2 por persona	5 m2 por persona
<b>Tiempo de retención</b>	es de treinta minutos	de seis a ocho horas	veinte días
<b>Equipos utilizados y proceso</b>	Muy simple (Bombas y desinfección)	Complejo (bombas, tanques de aireación, tratamiento de lodos y desinfección)	Simple (bombas, aireador y desinfección)
<b>Energía requerida</b>	menor energía	muy elevada energía	elevada energía
<b>Recurso generado</b>	el humus	-	-
<b>Eficiencia</b>	> 90 % de Remoción de DBO5	> 90 % de Remoción de DBO5	80 % de Remoción de DBO5

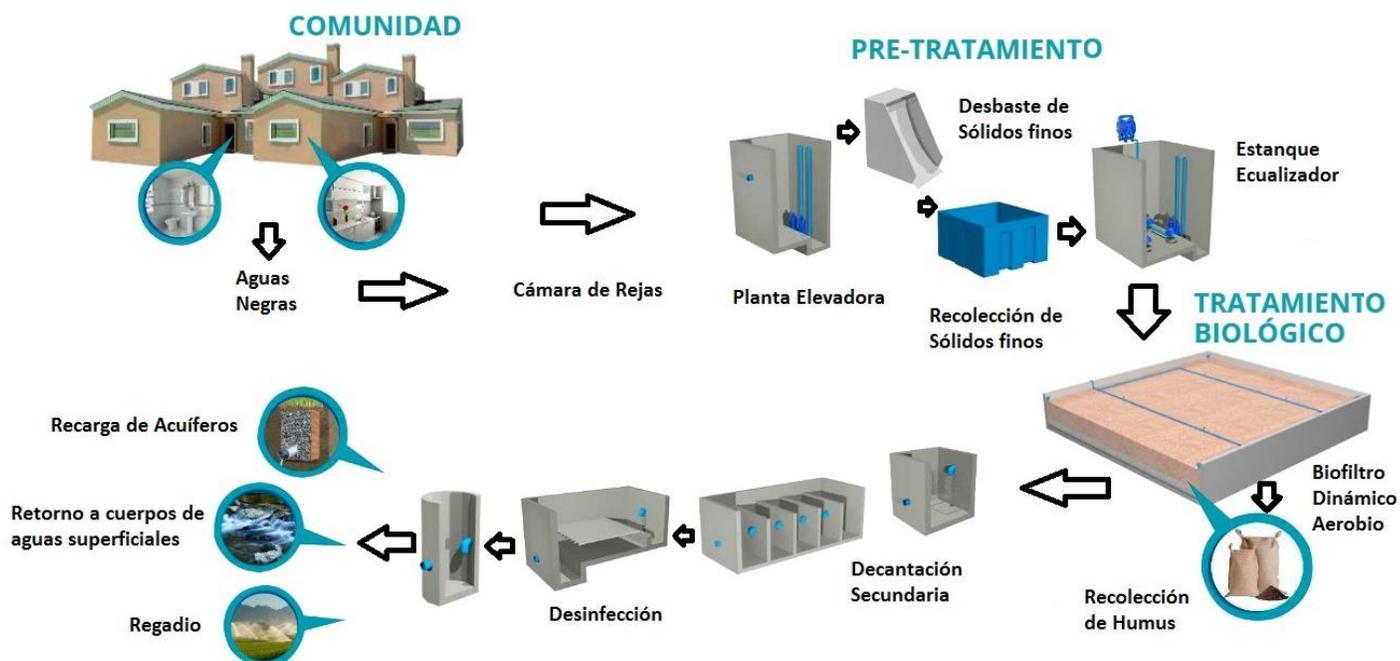
**Fuente:** Sinha et al., 2014, p. 15

La biofiltración se define como tecnología para tratamiento de agua residual creada por el profesor José Tohá en la Universidad de Chile en 1992 y se ha demostrado que es una alternativa, ya que es un proceso rápido; el "Sistema Tohá" considerado también como un Filtro de Gusano (vermifiltro) o "Biofiltro Dinámico Aeróbico", que es un filtro percolador que está compuesto por diferentes lechos filtrantes y gusanos, es así que las aguas residuales se filtran por los diferentes lechos, para retener la materia orgánica que luego es carcomido por los gusanos (Tohá. 2015, p. 1), la *Eisenia foetida* tiene la ventaja de modificar las propiedades físicas, biológicas y químicas pertenecientes a la materia orgánica de manera diversa (Yang et al., 2013, p. 10). Además, el afluente es asperjado en la superficie del filtro, después el agua se filtra a través de las diferentes capas, la materia orgánica queda retenida en la superficie y las lombrices la guían dando como subproducto el humus (Serrano. 2008, p. 90).

Los biofiltros también se consideran una de las tecnologías más sostenibles preferidas por ser económica y ecoeficiente con el medioambiente en comparación con otros procesos biológicos como las fosas sépticas, el tratamiento de lodos activados fijos, el filtro de arena recirculante, los filtros percoladores, el contactor biológica rotativo, etc (Samal, Dash y Bhunia. 2017, p. 5).

El biofiltro dinámico aerobio se podrá usar cuando el agua residual haya pasado por un pre-tratamiento de diferentes procesos como se muestra la (figura 2). El biofiltro sirve para la eliminación de una variedad de contaminantes, incluso para las sustancias clasificadas como relativamente nocivas, compuestos tóxicos y difícilmente biodegradables, las características de los materiales sólidos utilizados para los medios de filtración juega un papel importante para lograr el nivel de eficiencia deseado en la eliminación de contaminantes (Suprihatin et al., 2017, p. 203).

**Figura 1.** Procesos antes y después de utilizar el biofiltro.



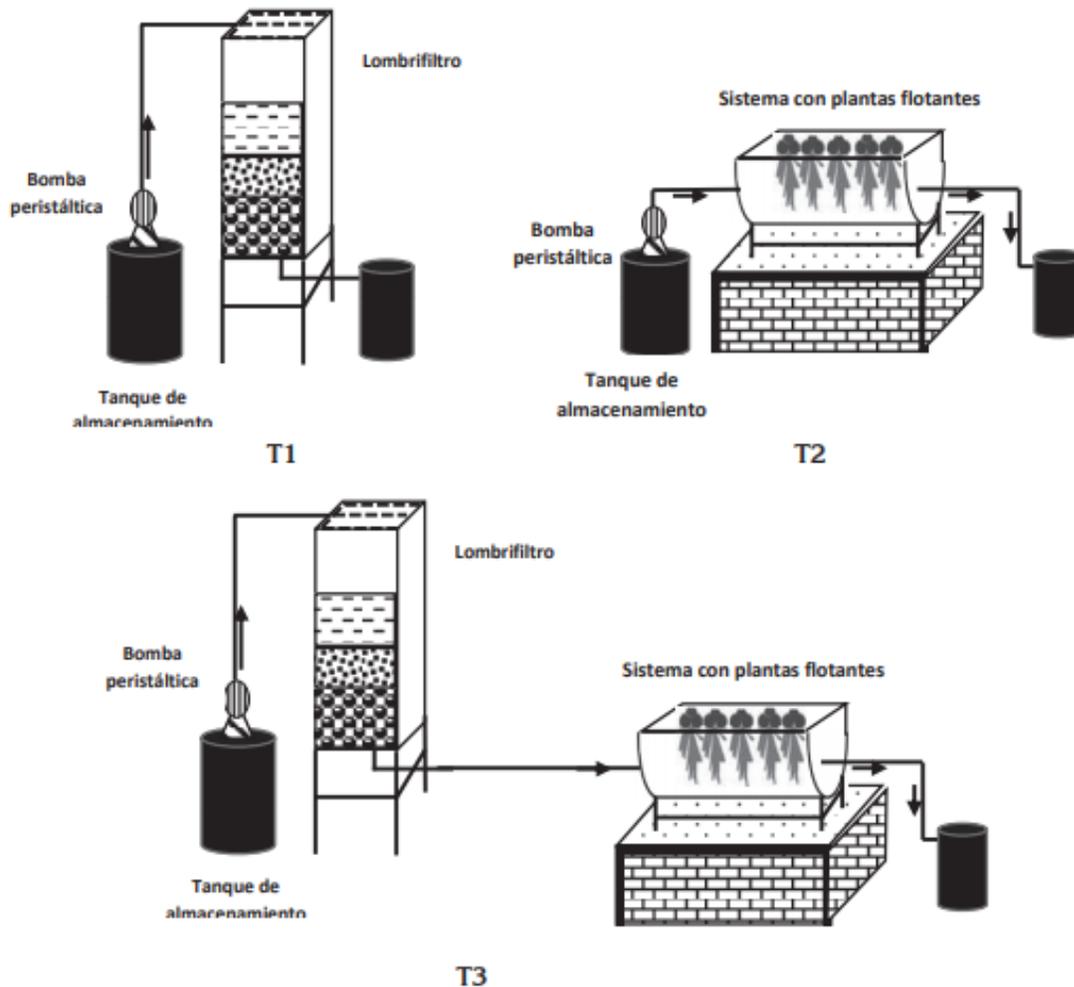
**Fuente:** Tohá. 2015, p. 2

También se usan para mejorar la calidad del agua, existen métodos diferentes para que el agua tenga una buena calidad y la biofiltración es como una parte del componente total, especialmente para la recirculación de sistemas de acuicultura o acuarios; ayudará a eliminar amoníaco, nitritos, exceso de nitrógeno, gases, sólidos orgánicos disueltos, entre otros (Smith. 2013, p. 1). Los principales parámetros que remueven los biofiltros son DBO, DQO, coliformes termotolerantes, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas (Gallegos. 2019, p. 24).

Existen 3 tipos de biofiltros, los cuales son los biofiltros de flujo subsuperficial vertical, donde las aguas filtran verticalmente a través de diferentes sustratos como la arena y grava, recogiendo usualmente sobre una red de drenaje que se encuentra en el fondo del humedal (Herrera. 2018, p. 34); los biofiltros de flujo horizontal, en este sistema el agua circulara de manera horizontal por medio de material granular, los rizomas y las plantas, con una profundidad promedio de 0,3 y 0,9 m (Rivera, 2015, p. 102) y biofiltros con las plantas acuáticas que flotan sobre la superficie del agua, en este sistema utilizan plantas flotantes, como el jacinto de agua o lenteja de

agua, los tipos de biofiltros se ilustran en la (figura 3), el nivel de entrada está localizada en el mismo nivel que la salida, su dificultad principal es por su capacidad limitada de acumular biomasa, porque los cuerpos de las plantas no alcanzan una altura significativa, es por ello que permanecen próximo a la superficie del agua (Herrera. 2018, p. 40).

**Figura 2.** Sistemas de tratamiento.



T1) Biofiltro dinámico aerobio de flujo vertical con lecho de *E. foetida* ; T2) Sistema con plantas flotantes de flujo horizontal, para tratamiento con *E. crassipes*; T3) sistema en serie para tratamiento combinado (Vizcaino y Fuentes. 2016, p. 191).

Sus principales ventajas de los biofiltros es que no genera olores, es de menor costo y operación, es ampliable ya que se obtiene un nivel alto en porcentaje para remover la materia orgánica, genera el humus, cumplen para las normas de riego, su

disposición es ecológica y segura del agua tratada; y se adapta a distintas condiciones climáticas (Tohá. 2015, p. 3) y sus desventajas es que son sensibles a las sustancias tóxicas, la reposición al lecho de soporte, es decir cada año aproximadamente se debe cambiar el aserrín por uno nuevo, también que debe ser regado continuamente por las aguas residuales por la materia orgánica que contiene que es el alimento para las lombrices ya que sin periodo de riego sería perjudicial para el biofiltro (Gallegos. 2019, p. 34).

Los biofiltros remueven mayormente la DBO5 que es expresado comúnmente en miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra durante 5 días de incubación a 20 °C (DBO5) y a menudo se utiliza como sustituto del grado de contaminación orgánica de agua; la DBO es usado como un indicador de la efectividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Armiento Mirko. 2016, p. 13); los ríos pueden ser considerados severamente contaminados cuando los valores de DBO exceden los 8mg/L (Grover y Wats. 2013, p. 51). Para DQO se expresa comúnmente en masa del oxígeno consumido sobre el volumen de la solución, que en unidades SI es de miligramos por litro (mg/L); una prueba de DQO puede ser usada para cuantificar fácilmente la cantidad de orgánicos en el agua, la aplicación más común de la DQO es en la cuantificación de la cantidad de contaminantes oxidables que se ubican en aguas superficiales (por ejemplo, lagos y ríos) o en las aguas residuales (Li y Liu. 2019, p. 215).

### **Diseños de Reactores Biológicos Aerobios (biofiltro) a Escala de Laboratorio**

En esta parte tomamos como ejemplo el estudio de (Cuyotupa. 2017, p. 59). Esta etapa consiste en el diseño del biofiltro a escala de laboratorio, la cual se realiza a partir de los datos obtenidos en la búsqueda de la revisión bibliográfica con respecto a la calidad del afluente y a los parámetros de diseño que se tienen que considerar, algunos de los diseños se encuentran en la (tabla 2) de antecedentes.

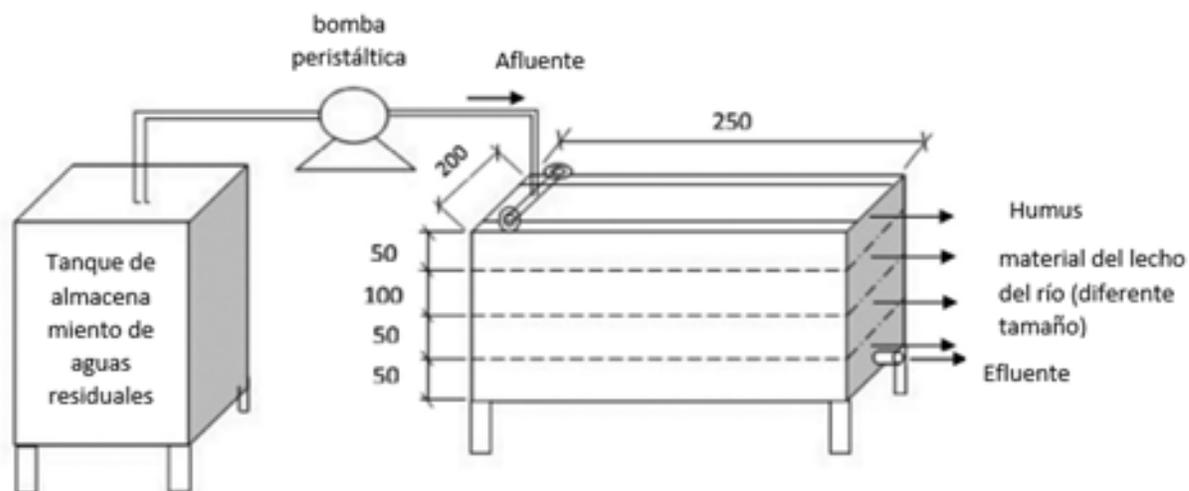
A continuación, daremos a conocer 2 biofiltros de forma de paralelepípedo y cilíndrico que se ilustran en la (Figura 3 y 4), estas son las formas más utilizadas por estudios realizados ya sea nacionales como internacionales.

**Figura 3.** Diagrama esquemático de un Biofiltro de flujo vertical cilíndrico.



**Fuente:** Singh, R., et al. 2019, p. 142

**Figura 4.** Diagrama esquemático del biofiltro de flujo horizontal paralelepípedo.



**Fuente:** KUMAR, Tarun, et al. 2014, p. 78.

## **Ecuaciones para la construcción de un biofiltro.**

Aquí mencionaremos algunas fórmulas para el cálculo del volumen y área de los reactores ya mencionados de acuerdo a sus formas (Coronel. 2015, p. 39).

1. Volúmenes y áreas de los Biofiltros (VB).

$V_{total} = L \times A \times H$  (para la forma paralelepípedo)

Área =  $L \times A$ .

$V_{total} = \pi \times r^2 \times H$  (para la forma cilíndrica)

Área total =  $2\pi \times r \times h + 2\pi r^2$

## **Agua Residual doméstica**

Cuyotupa (2017, p. 59) en su diseño de su reactor usó como lecho el agua residual doméstica, donde opta con una dotación de agua residual doméstica de 1200 m<sup>3</sup>/día, las muestras que tomaron de agua fueron de una laguna.

A continuación, presentamos un esquema donde se representa los mecanismos de remoción de la materia orgánica, nutrientes y adaptación de la lombriz de tierra (Figura 6).

El esquema empieza primero con la entra del agua (afluente) al biofiltro esto pasa por cada lecho filtrante interactuando con cada una y las lombrices este mismo hace túneles para que haya una mejor aireación en los reactores haciendo que ayude en la degradación de los contaminantes, la lombriz consume la materia orgánica retenida en la primera capa haciendo digestión y produciendo el humus y así después de pasar todos esos procesos es liberada el agua tratada (efluente).

**Figura 5.** Representación de mecanismo de biofiltración y adaptación de la lombriz.



**Fuente:** Singh et al., 2017.

Siguiendo con la construcción de un biofiltro también es importante la selección de los materiales para la utilización y preparación del vermifiltro, la altura del vermifiltro y la cantidad de población de las lombrices (Singh y Dash. 2017, p. 660). La importancia de las características para los lechos filtrantes son la granulometrías, porosidad, permeabilidad y resistencia en contra del desgaste que es provocado por aguas residuales (COSUDE. 2006, p. 14). Se compone de diferentes lechos filtrantes, principalmente de lombrices y el aserrín, continuamente de antracita, en la cual eliminará las impurezas que están presentes en el agua, para después esta

sea filtrada en un lecho triturado de piedra, ya que estas piedras de río lograrán un líquido más limpio, que estará tratado con una menor impureza y más limpio para posteriormente sea vertidos a los ríos (Ramón, León y Castillo. 2015, p. 50), así como también la arena (Higuera, Arroyave y Flores. 2008, p.109), grava fina y gruesa (Herrera y Rey. 2018, p. 62), bolones (LABIC CR. 2019, párr. 10).

Para el relleno del biofiltro usaron las siguientes fórmulas para tener un promedio de cada lecho filtrante.

#### **Fórmula para la capa de piedra.**

$$X = \frac{\% \text{ total del estrato de piedra } \times \text{ altitud util del biofiltro}}{100}$$

#### **Fórmula para la Capa de aserrín-viruta-humus.**

$$X = \frac{\% \text{ total del estrato de aserrin, viruta, humus } \times \text{ altitud util del biofiltro}}{100}$$

#### **Fórmula para él % de la capa de humus.**

$$X = \frac{\text{estrato humua en cm } \times 100}{\text{altitud de la capa de aserrin, viruta, humus}}$$

#### **Fórmula para la Capa de aserrín.**

$$X = \frac{\% \text{ estrato humua en cm } \times \text{ altitud de la capa de aserrin, viruta, humus}}{100}$$

#### **Condiciones de operación**

Para realizar el estudio, se debe realizar un ensayo donde se operen los biofiltros. Ambos estarán trabajando bajo los mismos parámetros de operación. Por tanto se debe realizar lo siguiente (Farrás. 2016, p. 20):

#### **Parámetros de operación**

Los parámetros principales de operación fijados para llevar a cabo el tratamiento se describen a continuación:

1. Caudal de Alimentación (Q).

2. Tiempo de Retención Hidráulica o Residencia Hidráulica (TRH).

3. Tasa de Carga Hidráulica (HLR).

Para tener un mejor detalle de estos parámetros se describe a continuación.

Los criterios o parámetros de diseño de operación para el óptimo funcionamiento de los biofiltros dinámicos aerobios, son de suma importancia para llegar a tener un rendimiento sostenible del tratamiento, se trata de operaciones generales que se usan mayormente en estudios tenemos como primero a caudal (Q), el tiempo de retención hidráulica (TRH) y la tasa de carga hidráulica (HLR por sus siglas en inglés) tienen un papel clave en el funcionamiento para la alta eficiencia de eliminación del biofiltro dinámico aeróbico.

El caudal (Q) es la cantidad de agua residual que fluye por un canal, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo), principalmente, el caudal es identificado por el flujo volumétrico que este atraviesa por una determinada área (biofiltro) en una unidad de tiempo específica y se calcula con la fórmula (1) (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2015, párr. 1).

$$Q_w = \frac{\text{volumen}}{\text{Tiempo}} \dots\dots\dots (1)$$

El tiempo de retención hidráulica (TRH), está estrechamente relacionado con la cantidad de sustrato que se puede manipular por unidad de tiempo, y por lo tanto tiene un impacto directo en la viabilidad económica de un bioproceso. Un TRH corto produce una mayor tasa de producción de hidrógeno y reduce el gasto de capital al reducir el tamaño del biorreactor (Kim, Cha y Kim. 2013, p. 276), como también es el tiempo de interacción de las aguas residuales con la columna de suelo en la que viven los bichos de tierra, es utilizado para calcular la solubilidad de una sustancia particular mantenida en un reservorio biológico con respecto al tiempo y se calcula con la fórmula (2) (Singh. 2017, p. 660).

$$TRH = \frac{V}{Q_w} \dots\dots\dots (2)$$

V = Volumen del tanque de biofiltración, m3, Q = Caudal del afluente, m3 /d.

En este tiempo de retención hidráulica, las lombrices de tierra tienen como función etapas físicas y bioquímicas para degradar la materia orgánica y los nutrientes; mientras más larga sea el TRH mayor será la eficiencia del proceso de biofiltración y la retención de nutrientes, también ofrece mecanismos como la nitrificación y amonificación, ayuda eficazmente a reducir los compuestos nitrogenados, no obstante, al brindar un TRH más larga no siempre resulta beneficioso debido al requisito de una mayor huella para poder manejar el volumen de las aguas residuales, hasta ahora no se han hecho estudios sobre un determinado TRH óptimo con menos huella (Singh. 2017, p. 660).

Mientras que; HLR es la tasa de aplicación de las aguas residuales al área de la unidad del biofiltro por unidad de tiempo, según (Singh. 2017, p. 660, Lourenco y Nunes. 2017, p. 140), se utiliza la siguiente fórmula (3):

$$HLR = \frac{Q_w}{A} \dots\dots\dots (3)$$

Donde, Qw = Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/día) de agua residual y A = área (m<sup>2</sup>) del reactor (biofiltro); ambos parámetros pueden influir de manera significativa en la fase de biofiltración, puesto que pueden afectar la relación simbiótica entre las lombrices de tierra y los microbios (Singh. 2017, p. 660).

También se aplicará la siguiente fórmula para hallar la eficiencia de remoción, que es el porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos químicos analizados que se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula (4) (Gutiérrez, Valencia y Aragón, 2014, p.154).

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{(CO_i - CO_f)}{CO_i} * 100 \dots\dots\dots (4)$$

Dónde: CO<sub>i</sub> = Concentración inicial y CO<sub>f</sub> = Concentración final (Gutiérrez, Valencia y Aragón. 2014, p. 129).

A continuación, se presenta algunos antecedentes referentes a los biofiltros que se mostrará en la tabla 2.

**Tabla 2.** Antecedentes

TIPOS DE EFLUENTES	COMPOSICIÓN INICIAL DEL AGUA	CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DE DISEÑO DE BIOFILTROS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN	REFERENCIAS
Agua sintética	DQO = 480 mg/L, DBO = 330 mg/L, SDT= 587 mg/L, SST = 230 mg/L.	Cada reactor tiene una medida transversal de 250 mm x 200 mm y una profundidad de 300 mm. 1ra capa tiene 100 mm de una cama de <i>Eisenia foetida</i> . 2da capa tiene 50 mm material de lecho de río. 3ra capa contiene 50 mm arena 2-4 mm. 4ta capa contiene 50 mm de grava 10 - 12,5 mm. Se usó 150 lombrices de especie <i>Eisenia foetida</i> . Con un caudal de 1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d durante 20 días.	DQO= 59.8%, DBO= 70,9% SDT=53% SST= 75%	(Kumar Tarum et al., 2015, p. 371)
Aguas residuales domésticas	DBO = 242 mg/L, DQO = 242 mg/L.	Ambas cámaras de los biofiltros tenían 80 cm de largo y 40 cm de ancho con una profundidad de 80 cm, y tienen 65 cm de lecho. 1er lecho con Humus maduro con <i>Eisenia foetida</i> (600 – 800 µm) con 20 cm de altura. 2do lecho con arena (1 – 2 mm) con 15 cm de altura. 3er lecho con gravas pequeñas (6 – 8 mm) con 15 cm de altura. 4to lecho con grava grande y piedras (10 – 12 mm) de 15 cm altura. Y tuvo un espacio libre de 15 cm de altura.	DBO = 92%, DQO = 74%	(Arora, Sudipti et al., 2014, p. 133)

<p>Agua residuales urbanas</p>	<p>DQO = 542 - 771 mg/L</p>	<p>Biofiltro en forma de paralelepípedo de 37cm x 57 cm x 20 cm. 1er lecho de 10 cm con <i>Eisenia foetida</i> y aserrín. 2do lecho de 10 cm con antracita. 3er lecho de 10 cm con grava. 4to lecho de 7 cm con piedra (canto rodado) de río. Variación de caudales. 0,050-0,147-0,450-0,614-0,846.</p>	<p>DQO= 92,066 - 89.494 %</p>	<p>(Jacipt Alexander Ramón et al. 2015, p. 50)</p>
<p>Aguas residuales domésticas sintética</p>	<p>DBO = 220.32 mg/L DQO = 243.76 mg/L</p>	<p>Ecofiltro de con forma de cubo (40 cm de largo, 40 cm de ancho y 115 cm de profundidad). 1er lecho de 30 cm con suelo y lombriz de tierra (6- 9 mm). 2do lecho de 30 cm con arena (100 – 800 µm). 3er lecho de 30 cm con detrito (3 – 10 mm). 4to lecho de 20 cm con adoquines (10 – 50 mm).</p>	<p>DBO = 90 %, DQO = 80 %</p>	<p>(WANG, Longmian et al. 2011, p. 246)</p>
<p>Aguas servidas</p>	<p>DBO = 300 mg O2/L SST = 300 mg O2/L</p>	<p>Los módulos de forma rectangulares de 13 m de ancho x 55 m de largo, con una superficie por filtro de 715 m2, con una altura de 1.5 m. Se usó a la <i>Eisenia foetida</i> Caudal de diseño = 25,92m3/d.</p>	<p>DBO = 95%, SST = 95%</p>	<p>(Guzmán y Marcelo. 2004, p. 47)</p>

<p>Aguas residuales urbanas</p>	<p>SDT = 568.3 mg/L, SST = 216.67 mg/L, DQO = 863.0 mg/L.</p>	<p>El vermibiofiltro de forma cilíndrica se llenó (de abajo a arriba).  Lecho 1 de 12,5 cm con piedras grandes (10 – 15 cm de diámetro).  Lecho 2 de 5,08 cm con pequeñas piedras y gravas (5 – 7 cm de diámetro).  Lecho 3 de 5,08 cm con una gruesa capa de aserrín.  Lecho 4 de 5,08 cm con hojas de árbol secas.  Lecho 5 de 25,4 cm con capa gruesa de tierra mezclada con pequeñas piedras y guijarros, junto con el <i>Cyprus rotundus</i>.  Lecho 6 de 10 – 15 cm con vegetación de <i>Cypre</i>.  El segundo VBF se llenó con: rectangular de tamaño (23. 5 pulgadas de largo x 18 pulgadas de ancho x 15 pulgadas de profundidad).  Lecho 1 de 10-15 cm de diámetro y altura 15,24 cm con piedras.  Lecho 2 de 5-7 cm de diámetro con pequeños guijarros y mezclado con arena fina con una altura de 24,5 cm, que será la cama de la <i>Eisenia foetida</i>.  Lecho 3 como es la capa superior se plantó <i>Cyprus rotundus</i>.</p>	<p>SDT = 99,8%, SST = 88,6%, DQO = 90%</p>	<p>(Tomar y Suthar. 2011, p. 97)</p>
---------------------------------	---------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------	--------------------------------------

Agua sintética	DBO = 327 mg/L, SST = 289 mg/L, SDT = 472 mg/L.	Los biofiltros en forma de paralelepípedo con una medida transversal de 250 mm x 200 mm y una profundidad de 300mm. 1er lecho de 50 mm con una cama de <i>Eisenia foetida</i> . 2do lecho de 100 mm con piedra (6-8 mm). 3er lecho de 50 mm con piedra (1- 2 mm). 4to lecho de 50 mm con piedra (10- 12,5mm). Se usó 150 lombrices de tierra ( <i>E. foetida</i> ). Con un de caudal de 2,5 m3/m2d.	DBO= 96% SST=90% SDT= 82%	(KUMAR, Tarun et al. 2014, p. 78)
Agua residual láctea sintético	DBO = 1105.4 mg/L, COD = 1767.7 mg/L, NT = 91.2 mg/L.	Se diseñaron tres reactores cilíndricos de flujo vertical (BFV) de 90 cm de alto y de diámetro 19.8 cm y tres reactores paralelepípedo de flujo horizontal (BFH) 60 x 18 x 30 formados de 4 y 2 capas: 1ra capa de <i>Eisenia foetida</i> con 30 cm de espesor con tierra de jardín 1:3. 2da capa, 3ra y 4ta en la parte superior con arena lavada (10cm de espesor) ,4-6 mm de piedra de latería (15 cm de espesor) y 8-10 mm de grava gruesa (15 cm espesor). Los BFH completaron con tierra 5cm y laterita 25 cm. Caudal (Q) de 0,3 m3/ m2d. Tasa de carga hidráulica (HLR) de 0,3, 0,6 y 0,9 m d-1.	DBO (BFV) = 90.57% DBO (BFV + BFH) = 91.68%  COD (BFV) = 69.49% COD (BFV + BFH) = 83.09%  NT (BFV) = 42.69% NT (BFV + BFH) = 71.47%	(Samal, Dash y Bhunia. 2018, p. 78)

<p>Aguas residuales domésticas</p>	<p>TOC = 38.1 mg/L, DQO = 272.3 mg/L, NITRÓGENO AMONIACAL = 0.46 mg/L, COLIFORMES = 9300,00 MPN/g.</p>	<p>Para ello se utilizaron cuatro reactores de polipropileno sus dimensiones eran de 25 cm de largo, 20 cm de ancho y 40 cm de profundidad, formado por 4 lechos:          La 4ta capa tenía gravillas (tamaño de 10 -12 mm) de (15 cm).          3ra capa contiene arena (tamaño de 1 – 2 mm) de (5 cm).          2da capa era la capa activa que constituye vermigraciones maduras (5 cm), este era un lecho de empaquetamiento de lombrices de tierra, donde diferentes especies se inocularon lombrices de tierra.          1ra capa de residuos sólidos de 2 kg (10 cm) de peso.</p>	<p>COT = (65-75%), DQOtot = (85-86%), DBO5 = (84-87%), nitrógeno amoniacal = (45-59%) y los coliformes = (99,9%)</p>	<p>(Rajpal, Ankur, et al. 2014, p. 156)</p>
<p>Aguas grises</p>	<p>NH 4+ = 12 mg/L, NO 3 - = 37 mg/L, NO 2 - = 61 mg/L, PO 43 - = 32 mg/L.</p>	<p>4 reactores fueron llenados con 10 cm de grava de las cuales una capa de grava tiene un (espesor de 5 cm, tamaño de los agregados 20 - 40 mm), en la parte de abajo y una capa de grava gruesa con (5 cm de espesor, tamaño de agregados, 10 - 20 mm en la parte superior, luego se llenará con 20 cm de arena d60 = 0,2 mm, d10 = 0. 118mm.Para terminar tres de ellos, se llenaron con aserrín, mientras que el cuarto se llenó con estiércol de vaca con 40 cm (0,05 - 5 mm). Finalmente, tres de ellos, VF1, la unidad de control, y VF2 se rellenaron con 40 cm de serrín fino (0,05-5 mm) y el cuarto filtro, VF3, se llenó de estiércol de vaca de 40 cm (0,05-5 mm). Los tres vermifiltros fueron inoculados con 200 <i>Eudrilus eugeniae</i> y <i>Eisenia foetida</i> excepto para el control que se llenó con el aserrín.</p>	<p>NH 4+ = 75,0%, NO 3 - = 83.8%, NO 2 - = 68.9%, PO 43 - = 31.3%.</p>	<p>(Adugna, A. T., et al. 2019, p. 100)</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El informe de investigación tiene un enfoque de tipo básico, pretende obtener una información más profunda de definiciones y de significados de la situación como presentan las personas (Salgado. 2007, párr. 2), con un diseño cualitativo narrativo de tópicos porque se enfoca en una temática, suceso o fenómeno. (Fernández, Hernández y Baptista. 2014, p. 470).

#### 3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Se debe ser puntual con las categorías y subcategorías en el informe de investigación, donde la categoría es el tópico, mientras que subcategorías son los que van a detallar el tópico, que lo ha disgregado en micro aspectos, estas deben ser de manera apriorística, es decir que deben ser definidas antes de construirlas, de origen de referencias válidas a partir de la formulación de objetivos específicos que se irán desglosando y operacionalizando (Cisterna. 2005, p. 64).

A continuación, le daremos a conocer la (tabla 3) donde nos mostrará la matriz de categorización del estudio de investigación.

Matriz de categorización apriorística.

**Tabla 3.** Matriz de categorización.

Objetivos Específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
<p>Identificar los componentes de un biofiltro dinámico aeróbico que permite mayores eficiencias para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos.</p>	<p>¿Cuáles son los componentes de los biofiltros dinámicos aerobios que permiten mayores eficiencias para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos?</p>	<p>Componentes del biofiltro</p>	<p>Humus de lombriz Aserrín Gravilla Bolones (canto rodado) Arena fina Lombriz de tierra (<i>Eisenia foetida</i>) Otros componentes</p>	<p>(Ramón, León y Castillo. 2015, p. 50); (Yang et al., 2013, p. 10); (Higuera, (Arroyave, Flórez, 2008, p.109); (Herrera, Rey. 2018, p.62); (LABIC CR. 2019, párr.10); (Chang., et al. 2019, párr. 1); (Kumar Tarum et al. 2015, p. 2); (Sinha et al., 2014, p. 15); (Yang et al., 2013, p. 10); (Samal, Dash y Bhunia. 2017, p. 5); (Ramón, León y Castillo. 2015, p. 50); (Singh, R., et al. 2019, p. 142); (Suprihatin et al., 2017, p. 203); (Singh y Dash. 2017, p. 660); (Lourenco y Nunes. 2017, p. 140); (Gutiérrez, Valencia y Aragón, 2014, p.154); (Kumar Tarum et al. 2015, p. 371); (Arora, Sudipti. [et al]. 2014, p. 133); (Jacipt Alexander Ramón [et al]. 2015, p. 50); (WANG, Longmian, et al. 2011, p. 246); (Tomar y Suthar. 2011, p. 97); (KUMAR, Tarun, et al. 2014, p. 78); (Samal, Dash y Bhunia. 2018, p. 78); (Rajpal, Ankur, et al. 2014, p. 156); (Adugna, A. T. [et al]. 2019, p. 100)</p>

<p>Determinar los criterios de diseño de los biofiltros para la remoción de la carga orgánica y nutrientes de los cuerpos hídricos.</p>	<p>¿Cuáles son los criterios de diseño de un biofiltro dinámico aeróbico para remoción de carga orgánica y nutrientes en cuerpos hídricos?</p>	<p>Criterios de diseño</p>	<p>Caudal TRH Tasa de carga hidráulica (HLR) Eficiencia Calidad del agua</p>	<p>(Kim, Cha y Kim. 2013, p. 276); (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2015, párr. 1); (Singh. 2017, p. 660, Lourenco y Nunes. 2017, p. 140); (Gutiérrez, Valencia y Aragón. 2014, p.154); (Zoppini, Annamaria et al. 2019, p. 4); (Reyes y Mazzoco. 2009. p. 102); (Samal, Dash y Bhunia. 2017, p. 5); (Ramón, León y Castillo. 2015, p. 50); (Suprihatin et al., 2017, p. 203); (Singh y Dash. 2017, p. 660); (Lourenco y Nunes. 2017, p. 140); (Arora, Sudipti. [et al]. 2014, p. 133); (Jacipt Alexander Ramón [et al]. 2015, p. 50); (Samal, Dash y Bhunia. 2018, p. 78); (Rajpal, Ankur, et al. 2014, p. 156)</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3. Escenario de estudio

En este estudio no cuenta con un escenario específico, ya que se trata de una revisión bibliográfica de artículos nacionales e internacionales sobre el uso de biofiltros dinámicos aerobios en la remoción de la carga orgánica y nutrientes en los cuerpos hídricos.

### 3.4. Participantes

Los participantes en esta investigación son artículos científicos, capítulos de libros, revistas obtenidos de las siguientes bases de datos: Science Direct, Scielo, Libros, Bibliotecas virtuales, así mismo está compuesto por tesis obtenidas de repositorios de universidades de prestigio como también de instituciones relacionadas con el medio ambiente.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el informe de investigación se utilizó la técnica de análisis documental, emplearemos una ficha como instrumento (Edumaglis Perdomo. 2020, párr, 7). Asimismo, el uso el instrumento de recolección de datos que es una ficha Ficha de análisis de contenido mostrada en el (anexo 1), en esa ficha se recoge información sobre los autores, objetivos, metodología, programas estadísticos, dimensiones, criterio de diseño, componentes, resultados y conclusiones.

### 3.6. Procedimiento

El procedimiento consta de 3 etapas; en la etapa 1 se tomaron la cantidad de documentos revisados, en la etapa 2 es de un muestreo inicial de documentos mediante palabras clave como biofilter, vermifilter, caudal y en la etapa 3 es de elección de los documentos a través de criterios de inclusión y exclusión que se detalla en la siguiente tabla (4).

**Tabla 4.** Resumen de criterios de búsqueda.

<b>Tipo de documento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Palabras clave de búsqueda</b>	<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
<b>Artículos científicos</b>	40	Biofiltro, biofilter, vermifilter, hydraulic retention time, Caudal, Nutrients, Carga orgánica, Eisenia foetida, Tasa de carga hidráulica, Diseños, Tiempo de retención hidráulica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artículos que sean de los últimos 5 años (mayor o igual a 2015).</li> <li>- Artículos que tengan información sobre tipos y diseños de biofiltros.</li> <li>- Artículos que tengan biofiltros que utilicen Lombrices de tierra y plantas revistas indexadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artículos que sean muy antiguos (menor a 2015).</li> <li>- Artículos que no tengan información sobre biofiltros.</li> <li>- Algunos artículos que sean nacionales.</li> </ul>
<b>Libros</b>	5	Cuerpos hídricos, rivers, Lagos, Mares, Lagunas, phosphorus, Nitrogen, Lechos filtrantes, Eutrofización, polluted water in the world, Materia orgánica, Nutrientes, Tipos de tratamientos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libros que sean de los últimos 5 años (mayor o igual a 2015).</li> <li>- Libros que tengan información sobre tipos y diseños de biofiltros.</li> <li>- Libros que tengan biofiltros que utilicen Lombrices de tierra y plantas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Libros que sean muy antiguos (menor a 2015).</li> <li>- Libros que no tengan información sobre biofiltros.</li> <li>- Algunos libros que sean nacionales.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.7. Rigor científico

El presente informe de investigación cualitativo presenta los siguientes criterios de rigor científico:

a) Dependencia (consistencia lógica).

La dependencia indica que los diferentes investigadores, recogen datos parecidos en el campo de estudio y que ejecuten los mismos análisis, produciendo resultados equivalentes; en nuestro informe de investigación usaremos la clase de dependencia externa donde trabajaremos con diferentes autores que generan temas similares del mismo ambiente y periodo, pero cada uno tiene sus propios datos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

b) Credibilidad.

El rigor científico implica en la credibilidad la valoración de estados en la cual la investigación pueda ser declarada como creíble, para ello, es esencial la búsqueda de argumentos fiables que puedan ser evidenciados en los resultados del estudio efectuado, de acuerdo con el proceso seguido en la investigación. Se sustenta en los siguientes puntos.

i) Por la estimación valorativa de información y datos derivados del instrumento aplicado.

ii) La experiencia de trabajo continuo tanto en la universidad como en el hogar con los artículos de la investigación.

iii) El manejo y desarrollo de triangulación como procesos de contrastación y la confluencia de métodos, instrumentos y datos dirigidos de acuerdo a un mismo tema, dicho proceso permite la correspondencia continua, derivada del uso de diferentes instrumentos de investigación, para lograr la relación sucesiva de evidencias que fueron ordenadas (Suárez. 2006, p. 647 - 648).

c) transferencia (aplicabilidad de resultados).

Los resultados de este informe de investigación, el lector podrá realizar el traslado y aplicables a otros contextos y/o ámbitos de acción por que ofrece información amplia y clara del problema, criterio del cual se tiene razón plena, en tanto la naturaleza ambiental y compleja del fenómeno estudiado (Suárez. 2006, p. 649).

d) Fundamentación

Este informe de investigación se basa en un marco teórico sólido producto de revisiones literarias referente al tema que lleva por título “Revisión bibliográfica del uso de biofiltros dinámicos aerobios en la remoción de la carga orgánica y nutrientes en los cuerpos hídricos, de referencias actuales y válidas (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

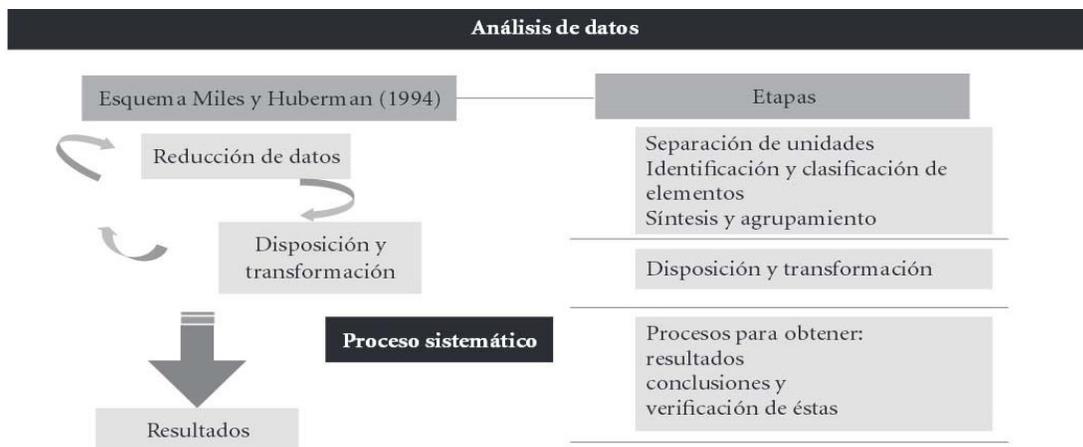
e) Autenticidad

Los resultados no han de ser manipulados a conveniencia o interés particular, serán expresados tal como los autores han puesto en sus investigaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

### 3.8. Método de análisis de datos

El método de análisis consiste en modificar documentos textuales no estructurados en estructurados para poder explicarlos. En este informe de investigación se ha empleado la técnica del análisis cualitativo de contenido continuando una secuencia de fases que forma un proceso analítico básico a la mayoría de las investigaciones que labora con este tipo de datos, que se fundamenta en el esquema general de Miles et al. (Figura 6): a) reducción de datos; b) disposición y transformación de datos; y c) obtención de resultados y verificación de conclusiones.

**Figura 6.** Esquema de proceso analítico de los datos



**Fuente:** Cilleros y Gómez. 2016, p. 4 - 5.

En tanto al análisis de datos en el informe de investigación, fue por medio de grupos de categorías y subcategorías, de los cuales son 2, cada uno está dirigido por su objetivo específico como se detalla en la tabla 5; dichas categorías se precisan por descripciones con unidades de análisis que seas semejantes, dando como ejemplo un grupo de artículos que estén referidos a los componentes de los lechos filtrantes del biofiltro, en especial a la lombriz de tierra *Eisenia fetida*; también tomamos otro grupo de artículos referidos a los criterios de diseño y operación de los biofiltros, los que así mismo se han evaluado por subcategorías que forman los lechos filtrantes tales como (humus con lombriz, aserrín, gravilla, bolones, arena fina entre otros componentes.) y los criterios que son (caudal, TRH, tasa de carga hidráulica, eficiencia y calidad de agua).

### 3.9. Aspectos éticos

Revisión bibliográfica del uso de biofiltros dinámicos aerobios en la remoción y nutrientes en los cuerpos hídricos. También mencionar que el trabajo no ha sido hecho por otra persona, por lo que los autores son los auténticos responsables, por ello se es consciente que vulnerar los derechos privados de diferentes autores ajenos a nuestra investigación, es considerado como plagio, que estarían sujetos a los problemas legales, universitarios y éticos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se detalla los siguientes resultados respecto a la eficiencia de los biofiltros incluyen: los componentes del biofiltro (humus más la lombriz de tierra *Eisenia foetida*, aserrín, arena, grava, piedras, otros componentes) y criterios de diseño (caudal, TRH Y HLR).

Para cada componente:

1. Respecto al humus más la lombriz de tierra, se ha investigado, los estudios de kumar (2015, p. 2), Arora (2014, p. 372), Wang (2011, p. 246), Kumar (2014, p. 78), Samal (2018, p. 38), Rajpal y Ankur (2014, p.155) y Jacipt (2015, p.49); por su similitud; usaron en sus capas alturas que dan un promedio que varían entre los 10 - 30 cm dentro de sus biofiltros.

El uso de este componente, obtuvo un rendimiento promedio de remoción de DBO5 que va de 87 - 92%, porque, las lombrices se alimentan de la materia orgánica que se queda atrapada en el primer lecho filtrante que es el humus.

2. Respecto al aserrín, se ha investigado, los estudios de Wang (2011, p. 246), Samal (2018, p.38), Rajpal y Ankur (2014, p.155), Adugna (2019, p.100); por su similitud; usaron en sus capas alturas que dan un promedio que varían entre los 10 - 40 cm dentro de sus reactores.

El uso de este componente, tuvo como promedio de remoción a la carga orgánica y nutrientes reportada por la literatura y está en torno a un 95%, porque, el aserrín es un muy buen adsorbente para contaminantes de las aguas residuales.

3. Respecto a la arena, se ha investigado, los estudios de Kumar (2015, p.371), Arora (2014, p.134), Tomar (2011, p. 97), Samal (2018, p.38), Rajpal y Ankur (2014, p.155) y Adugna (2019, p.100); usaron en sus capas alturas que dan un promedio que varían entre los 5 - 30 cm dentro de sus reactores.

El uso de este componente, obtuvo un rendimiento promedio de remoción de nutrientes de un 53.6%, porque, tienen una capacidad de amortiguación para

soportar las variaciones de temperatura y actúa como un buen absorbente para varios tipos de contaminantes inorgánicos de las aguas residuales.

4. Respecto a la grava, se ha investigado, los estudios de Kumar (2015, p. 371), Arora (2014, p. 134), Tomar (2011, p. 97), Rajpal y Ankur (2014, p.155), Adugna (2019, p. 100), Samal (2018, p.18), usaron en sus capas alturas que dan un promedio que varían entre los 5 - 15 cm dentro de sus reactores.

El uso de este componente, tuvo una excelente tasa de reacción y de eliminación de P y materia orgánica, porque, actúa como unidad de filtración y crea una especie de turbulencia durante el agua y proporciona espacio para la aireación de las aguas residuales, ya que está por debajo de los lechos filtrantes este evitará posibles problemas de mosquitos.

5. Respecto a las piedras, se ha investigado, los estudios de Kumar (2015, p.371), Arora (2014, p.134), Tomar (2011, p. 97), Samal (2018, p. 38), Rajpal y Ankur (2014, p.155) y Adugna (2019, p.100); usaron en sus capas alturas que dan un promedio que varían entre los 5 - 15 cm dentro de sus reactores.

El uso de este componente, facilita la creación rápida de biopelícula (ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos) que se responsabiliza mediante su consumo a la materia orgánica del agua que no fue tratada en primera instancia, porque, la piedra es el sistema de cámara de aire y para el almacenamiento de agua en la base del sistema,

6. Respecto a otros componentes, se ha investigado, los estudios de Kumar (2015, p.371), Wang (2011, p. 246), Kumar (2014, p.78), Jacipt (2015, p.49), Adugna (2019, p.100), Tomar (2011, p. 97) y Samal (2018, p.56); en la revisión de otros componentes usaron diferentes lechos con diferentes alturas.

El uso de estos componentes, facilitan la creación rápida de biopelícula (ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos) y a la remoción de diferentes contaminantes de las aguas a tratar, del mismo modo, la eliminación total de sólidos suspendidos que dan un promedio de 55 - 75%,

respectivamente, para los diferentes medios; la *canna indica* crece más rápido, absorbe nutrientes y crea condiciones favorables para la lombriz de tierra existencia.

Para los criterios de diseño de los biofiltros:

1. Respecto al caudal ( $Q_w$ ), se ha investigado, los estudios de (Saboya. 2018, p. 109 - 111), (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2015, párr. 1), Ipuz y Reyes (2015, p. 47) y Chicaiza (2018, p.47); en los diseños de los biofiltros usaron diferentes tipos de caudales de acuerdo al tamaño de este.

El uso de este parámetro de operación, los artículos revisados reportan un valor de  $Q_w$  óptimos o ideales en un rango de 148.3 ml/min, 0,12 m<sup>3</sup> /h y 1.2 L/día, este se utilizó para el arranque del biofiltro, porque, al poder determinar el caudal óptimo se pudo apreciar un riego más homogéneo que favorece una filtración estable y constante e incluso se podía operar en tiempos prolongados y los resultados positivos eran visibles.

2. Respecto al tiempo de retención hidráulica (TRH), se ha investigado, los estudios de Cardoso (2011), Jacipt (2015, p.50), Singh (2017, p. 660), Arora (2014, p.133) y Gallegos (2019. p. 51); en los diseños de los biofiltros usaron diferentes tipos de TRH de acuerdo al tamaño de este.

El uso de este parámetro de operación, interviene en la eliminación de la materia orgánica, nutrientes, sólidos y turbidez atrapando estos materiales complejos o simples en el lecho filtrante puesto que este parámetro va de la mano con el caudal inicial, porque, a mayor tiempo de retención se tiene mayor eficiencia del proceso de biofiltración, no obstante, al brindar un TRH más larga no siempre resulta beneficioso.

3. Respecto a la tasa de carga hidráulica (HLR), se ha investigado, los estudios de Castro (2019, p. 34), Kumar (2014, p. 78), Li (2015, p.3), Arora (2014, p. 133), Arora (2014, p. 133), SUBDERE (2009, p.121) y Singh (2017, p. 660); en los diseños de los biofiltros usaron diferentes tipos de HLR de acuerdo al tamaño de este.

El uso de este parámetro de operación, los artículos revisados reportan un valor de HLR en un rango de 0,2 - 2.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, este influye en la eliminación de la DBO<sub>5</sub> a un 96 % y nutrientes como N y P, porque, la tasa de carga hidráulica tiene como función en los reactores el controlar la humedad y oxigenación de los biofiltros, condición que favorece la supervivencia de las lombrices y otros microorganismos asociados.

## V. CONCLUSIONES

Referente a los objetivos del informe de investigación para tratar los cuerpos hídricos, permitió llegar a las siguientes conclusiones.

Las capas de los biofiltros están compuestas por diferentes lechos filtrantes una de ellas es el humus (donde se encuentran las lombrices de tierra de la especie *Eisenia Foetida*), también está la arena, grava y piedras (canto rodado), así puede haber otros tipos de lechos filtrantes como el aserrín, plantas, entre otros. Donde el actor principal en la degradación de la materia orgánica es la *Eisenia foetida* por su alta eficiencia en la remoción de los contaminantes así este después de su digestión convierte MO en humus; el biofiltro da un beneficio adicional de que es el humus de lombriz que puede ser usado como fertilizante.

Es muy importante tener claro los criterios de diseño tales como el caudal, primero poder calcular un caudal óptimo ya que viene a ser un parámetro de operación determinante en el tratamiento de las aguas residuales por parte del biofiltro, pues se pudo apreciar mediante el proceso de revisiones bibliográficas, que los autores prueban distintos niveles de volúmenes de agua para la alimentación de los reactores. Para llegar al tiempo de retención hidráulica (TRH), primero se debe calcular el caudal inicial u óptimo de entrada al biofiltro. Utilizar un caudal óptimo de operación que permita tener un tiempo de retención hidráulico medio, de manera que el agua residual permanezca en contacto con los materiales filtrantes en un tiempo moderado y así retener los contaminantes. El tiempo de retención hidráulica (TRH) en esta investigación demuestra que a mayor TRH y con un menor caudal ( $Q_w$ ) los agentes como bacterias y lombrices actúan mejor en la remoción y reducción de carga orgánica. Para la tasa de carga hidráulica (HLR), es importante entender la función de HLR en los reactores ya que controla la humedad y oxigenación de los biofiltros, por lo cual dicha condición favorece la supervivencia de las lombrices y ayuda a la eliminación de la materia orgánica.

## VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se tiene para la mejora de los biofiltros, son las siguientes:

- Se recomienda para investigaciones futuras que hagan un monitoreo de cada lecho filtrante en los biofiltros, para así poder comprender mejor y ver la eficiencia de cada una, entre otros componentes según el criterio del autor.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar estudios donde no solo sea tratado la carga orgánica, sino también se tengan en cuenta otros factores como los metales pesados que se encuentran en el agua, que no fueron incluidos en los artículos revisados.
- Se recomienda respecto a otros componentes como el carbón activado para mejorar la remoción de sólidos disueltos, bacterias y otros contaminantes, también se puede usar a las plantas oriundas en donde se desarrolle el proyecto tales como la *Cyperus rotundus* que ayuda a tener una mayor eficiencia para la remoción de contaminantes.
- Se ha reportado el uso de dichos componentes tales como la grava y piedras en el uso del biofiltro, sin embargo, no se explica la forma de cómo actúa por lo tanto se recomienda hacer estudio respecto a esto.

## REFERENCIAS

1. Adugna, A. T. [et al]. Fate of filter materials and microbial communities during vermifiltration process. Journal of Environmental Management [en línea]. Julio 2019, vol. 242., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719305432>

doi:10.1016/j.jenvman.2019.04.076

2. Adugna, Amare & Andrianisa, Harinaivo. Filter Media Layers Contribution in Removal of Pollutants from Concentrated Greywater by Vermifiltration. Civil and Environmental Research [en línea]. Julio 2017, Vol. 9, n.º 6. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/318110468\\_Filter\\_Media\\_Layers\\_Contribution\\_in\\_Removal\\_of\\_Pollutants\\_from\\_Concentrated\\_Greywater\\_by\\_Vermifiltration](https://www.researchgate.net/publication/318110468_Filter_Media_Layers_Contribution_in_Removal_of_Pollutants_from_Concentrated_Greywater_by_Vermifiltration)

n

ISSN 2225-0514

3. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). 19 de enero de 2017. Disponible en: <https://www.epa.gov/nutrientpollution/issue>

4. ANA. ESTADO SITUACIONAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS CHILLÓN, RÍMAC Y LURÍN 2016/2017. Septiembre de 2018. Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2902>

5. Anamika, y Beevi Ummalyma, S. (2020). Bioremediation and biomass production of microalgae cultivation in river watercontaminated with pharmaceutical effluent. Bioresource Technology. [en línea]. Marzo 2020, n.º. 307. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420305046>

doi: 10.1016 / j.biortech.2020.123233

6. Arora, Sudipti. [et al]. Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system. Bioresource Technology [en línea]. Agosto 2014, vol. 166. [Fecha de consulta: 21 de abril del 2020].

- Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414007007>  
doi:10.1016/j.biortech.2014.05.041
7. Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades [en línea]. Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE). 2006. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].  
Disponible en: <https://www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/biofiltro.pdf>
8. Calidad del agua [Mensaje en un blog]. España: Maceira, Alejandro, (14 de enero de 2020). [Fecha de consulta: 23 de marzo de 2002].  
Recuperado de <https://camblab.info/wp/index.php/what-is-natural-organic-material-nom-and-how-is-it-measured/>
9. Cardoso, Ramírez y Garzón. Vermifiltración para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales Proyecto TC-1107. Informe final, 2011. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Disponible en <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1448/TC-1107.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Castro, Elizabeth. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TOHÁ (LOMBRIFILTRO) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE TINJACÁ-BOYACÁ. Tesis (Ingeniera Ambiental). Caldas: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019. Disponible en <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/22771/1/CastroCastellanosElizabeth2019.PDF..pdf>
11. CAUDAL: Definición y métodos de medición [Blog profesional]. Colombia: Fibras y Normas de Colombia S.A.S., (15 de febrero de 2015). [Fecha de consulta: 14 abril de 2020]. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/caudal-definicion-y-metodos-de-medicion/>
12. Chang, Junjun [et al]. Treatment of heavily polluted river water by tidal-operated biofilters with organic/inorganic media: Evaluation of performance and bacterial community. Bioresource Technology. [en línea]. Mayo 2019, n°. 114. [Fecha de consulta: 13 de abril de 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419300732?via%3>

Dihub

DOI: 10.1016/j.biortech.2019.01.060

13. Chicaiza, Carlos. Estudio de la influencia de la tasa de carga hidráulica en la biodegradación de aguas residuales domésticas tratadas por sistema no convencionales de vermifiltración. Tesis (Ingeniero Ambiental). Quito: Escuela Politécnica Nacional de Quito, 2018. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19276>

14. Chonw Hui Hoon. THE REMOVAL METHODS OF PHOSPHORUS/PHOSPHATE AND NITROGEN/ NITRATE FROM WATER AND WASTER WATER. [en línea]. 2013, n.º 1. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en

<https://www.researchgate.net/publication/235898906> THE REMOVAL METHOD S OF PHOSPHORUSPHOSPHATE AND NITROGEN NITRATE FROM WATE R AND WASTERWATER

15. CILLEROS, María Victoria Martín y GOMEZ, Maria Cruz Sánchez. Análisis cualitativo de tópicos vinculados a la calidad de vida en personas con discapacidad. *Ciênc. saúde coletiva* [online]. 2016, vol.21, n.8 [citado 2020-06-18], pp.2365-2374.

Disponible en: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232016000802365&lng=es&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232016000802365&lng=es&tlng=es).

ISSN 1678-4561.

DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015218.04182016>.

16. Cisterna Cabrera, Francisco. Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa [en línea]. Junio 2005, vol. 14, n.1 [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020].

Disponible en <https://es.slideshare.net/marilini1ili/categorizacion-y-trinagulacion>

ISSN: 0717-196X

17. Coronel, Nancy. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN A ESCALA DE UN BIOFILTRO TOHÁ EN LA ESPOCH PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA COMUNIDAD LANGOS LA NUBE. Tesis (Ingeniería en Biotecnología Ambiental). Riobamba: Escuela Superior Politécnica

de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2015. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4802/1/236T0150.pdf>

18. Cuyotupa, Clous. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO PARA LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DEL DISTRITO DE SAN AGUSTÍN DE CAJAS HUANCAYO. Tesis (Ingeniero Químico Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú Huancayo, 2017. Disponible en

<http://repositorio.unCP.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3776/Cuyotupa%20Nu%c3%b1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

19. De la Cruz Vera, Martha. Eliminación de Nitrógeno y Fósforo en EDARs con Biodiscos "Evaluación de la formación de estruvita", Newsletter. [en línea]. 2014, n.º 1. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en <https://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/eliminacion-de-nitrogeno-y-fosforo-en-edars-con-biodiscos-evaluacion-de-la-formacion-de-estruvita>

20. DEGREMONT. Water Technical Handbook [en línea]. 7ta. ed. Estados Unidos: Lavoisier, 2009. [fecha de consulta: 25 de abril de 2020].

Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/18177606/Water-Treatment-Handbook-ONdeo-Degremont-II>

ISBN-10: 2743009705

21. Devlinny y Ramesh (2005). A phenomenological review of biofilter models. Chemical Engineering Journal, 113(2-3), 187–196.

Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894705001026>

doi:10.1016/j.cej.2005.03.005

22. Farrás, Queralt. DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIADO (Q A.R= 9000 m<sup>3</sup>/d) PARA REDUCIR LA PRODUCCIÓN DE FANGOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN DESACOPLADOR METABÓLICO. Tesis (Master en Ingeniería Química). Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2016. Disponible en [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77405/151216\\_TFM\\_FARRAS%20GENTO%20QUERALT\\_1481795528107417457534161014436.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77405/151216_TFM_FARRAS%20GENTO%20QUERALT_1481795528107417457534161014436.pdf?sequence=3)

23. Ferdowsi, Milad [et al]. Elimination of mass transfer and kinetic limited organic pollutants in biofilters: A review. International Biodeterioration & Biodegradation [en línea]. Abril 2017, vol. 119.[Fecha de consulta: 5 de junio del 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830516305157>

doi:10.1016/j.ibiod.2016.10.015

24.Gandhare, Nilesh [et al]. Analysis of Ground Water of Hinganghat region using Physico-Chemical Parameters. International Journal of Researches in Biosciences, Agriculture & Technology [en línea]. Febrero 2015, vol. 5., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible

en.

[https://www.researchgate.net/publication/272832433\\_Analysis\\_of\\_Ground\\_Water\\_of\\_Hinganghat\\_region\\_using\\_Physico-Chemical\\_Parameters?enrichId=rgreq-3a71b67fb60172605942f2bf4f173a42-](https://www.researchgate.net/publication/272832433_Analysis_of_Ground_Water_of_Hinganghat_region_using_Physico-Chemical_Parameters?enrichId=rgreq-3a71b67fb60172605942f2bf4f173a42-)

[XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzl3MjgzMjZtBUzoyMTQzODc2MDEyMTk1ODRAMTQyODEyNTM5NTcyMg%3D%3D&el=1\\_x\\_3&esc=publicationCoverPdf](XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzl3MjgzMjZtBUzoyMTQzODc2MDEyMTk1ODRAMTQyODEyNTM5NTcyMg%3D%3D&el=1_x_3&esc=publicationCoverPdf)

ISSN: 2347-517X

25. Guidance on Natural Organic Matter in Drinking Water [en línea]. Canada: Web Health Canada. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020]. Disponible en

<https://www.canada.ca/en/health-canada/programs/consultation-organic-matter-drinking-water/document.html>

26. Guidance on Natural Organic Matter in Drinking Water [en línea]. Canada: Web Health Canada. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020].

Disponible en <https://www.canada.ca/en/health-canada/programs/consultation-organic-matter-drinking-water/document.html>

27. Grover Alka S. y Wats Meenu. Decaying Water Bodies – Victims of Human Neglect or Urbanization. IACSIT Press [en línea]. Marzo 2013, vol. 54., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en <http://www.ipcbee.com/vol54/010-ICEES2013-ES2009.pdf>

DOI: 10.7763/IPCBEE. 2013. V54. 10

28. GUTIÉRREZ, Nelson, VALENCIA, Eduardo y ARAGÓN, Renso. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO5 Y SS EN SEDIMENTADOR Y LECHO FILTRANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BENEFICIO DE CAFÉ (Coffea arabica). Red de Revistas Científicas de América Latina [en línea]. Julio-diciembre, 2014, v. 17, n.º 2. [Fecha de consulta: 20 de mayo 2019]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939663003.pdf>

ISSN: 0120-0739

29. Guzmán Sepúlveda y Marcelo Gustavo. Estudio De La Factibilidad De La Aplicación Del Sistema Tohá En La Planta De Tratamiento De Aguas Servidas De Valdivia. Tesis (Ingeniero Civil en Obras Civiles). Chile: Universidad Austral de Chile, 2004.

Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfcig993e/sources/bmfcig993e.pdf>

30. Guía de habilitación y operación del Biofiltro de Lombrices para agua residual doméstica [en línea]. LABIC CR Laboratorio de innovación ciudadana. 2019. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2020].

Disponible en: [https://www.innovacionciudadana.org/laboratorios/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-1\\_Gu%C3%ADa-de-habilitaci%C3%B3n-y-operaci%C3%B3n-del-Biofiltro.pdf](https://www.innovacionciudadana.org/laboratorios/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-1_Gu%C3%ADa-de-habilitaci%C3%B3n-y-operaci%C3%B3n-del-Biofiltro.pdf)

31. GALLEGOS V., Diego. EVALUACIÓN DEL LOMBRIFILTRO COMO TRATAMIENTO PRIMARIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROYECTO MANCHAY VERDE. Tesis (Ingeniero ambiental) Perú: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. facultada de ingeniería y gestión, 2019.

Disponible en [http://repositorio.untels.edu.pe/bitstream/UNTELS/414/1/Gallegos\\_Diego\\_Trabajo\\_Suficiencia\\_2019.pdf](http://repositorio.untels.edu.pe/bitstream/UNTELS/414/1/Gallegos_Diego_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf)

32. GIL, José Alexander; KHAN P., Luis y HERNÁNDEZ, Ana. Arenas de río procesadas como filtros de riegos localizados. *Agronomía Trop.* [online]. 2002, vol.52, n.4 [citado 2020-07-01], pp. 463-483. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2002000400004&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000400004&lng=es&nrm=iso)

ISSN 0002-192X.

33. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria del pilar. Metodología de la investigación [en línea]. 6.a ed. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014 [fecha de consulta: 25 de mayo de 2020].

Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

ISBN: 978-1-4562-2396-0

34. Higuera, Arroyave y Florez. DISEÑO DE UN BIOFILTRO PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR CROMO GENERADO EN LAS INDUSTRIAS DEL CURTIDO DE CUEROS [en línea]. Octubre 2008, n.160, pp. 107-119 [Fecha de consulta: 22 de mayo del 2020].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n160/a10v76n160.pdf>

ISSN 0012-7353

35. HERRERA V., Wilmer y REY C., Anyi. IMPLEMENTACIÓN DE BIOFILTRO COMO AGENTE DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES DEL CONJUNTO ARANJUEZ II, EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO META. Tesis (Ingeniero Civil) Colombia: Universidad cooperativa de Colombia. facultada de ingeniería, 2018.

Disponible en [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4174/1/2018\\_implementation](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4174/1/2018_implementation)

36. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019 [en línea]. Francia. UNESCO, 2019 [fecha de consulta: 14 de abril de 2020].

Disponible en <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

ISBN 978-92-3-300108-4

37. INEI. INFORME TÉCNICO. Estadísticas ambientales. Marzo 2018.

Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-n04\\_estadisticas-ambientales-mar2018.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-n04_estadisticas-ambientales-mar2018.pdf)

38. Ipuz, A. y Reyes, M. Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de

agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola. Tesis (Ingeniero ambiental y sanitario). Bogota, D.C: Universidad de la Salle Bogota, 2015. Disponible en [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/285](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/285)

39. Jacipt Alexander Ramón [et al]. Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. Mutis [en línea]. Octubre 2015, vol. 5. n°. 1, [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018>

40. Kumar, Tarun [et al]. A comparative study on vermifiltration using epigeic earthworm *Eisenia fetida* and *Eudrilus eugeniae*. Desalination and Water Treatment [en línea]. Febrero 2015, vol 14. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020].

Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2015.1010230>

DOI: 10.1080/19443994.2015.1010230

41. Kim, M.-S., Cha, J., & Kim, D.-H. *Fermentative Biohydrogen Production from Solid Wastes. Biohydrogen* [en línea]. Junio 2013, cap. 11., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59555-3.00011-8>  
doi: 10.1016/b978-0-444-59555-3.00011-8

42. Kumar Tarun. [et al]. Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. Ecological Engineering [en línea]. Octubre 2015, vol. 75. [Fecha de consulta: 21 de abril del 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857414006405>  
doi:10.1016/j.ecoleng.2014.11.044

43. Kumar, Tarun [et al]. Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. Ecological Engineering [en línea]. Enero 2014, vol. 62., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857413004527>  
doi:10.1016/j.ecoleng.2013.10.028

44. Li, D. y Liu, S. (2019). Detección de la calidad del agua del río. Monitoreo y gestión de la calidad del agua [en línea]. Enero 2019, vol. 5., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en  
[https://www.researchgate.net/publication/330050633\\_Detection\\_of\\_River\\_Water\\_Quality](https://www.researchgate.net/publication/330050633_Detection_of_River_Water_Quality)  
doi: 10.1016 / b978-0-12-811330-1.00007-7

45. LOURENCO, N. Y NUNES, L. Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering* [en línea]. Marzo 2017, n°1. [Fecha de consulta: 21 de octubre del 2018].

Disponible en:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857416307145>  
ISSN: 0925-8574

46. Leigh y Summers (2018). Biodegradable organic matter and rapid-rate biofilter performance: A review. *Water Research*, 128, 234–245.

Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417308023#undfig1>  
doi: 10.1016/j.watres.2017.09.048.

47. Li, Y., Zhang, F., Ai, X., Wang, X., Robin, P., Cavanagh, J., ... Qiu, J. (2015). *Antioxidant and behavior responses of earthworms after introduction to a simulated vermifilter environment. Ecological Engineering* [en línea]. Julio 2017, Vol. 81. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092585741500155X>

48. Morgane, Le Moal [et al]. Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of The Total Environment*. [en línea]. Febrero 2019, n°. 651. [Fecha de consulta: 16 de abril de 2020].

Disponible en  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718335836>  
doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.139

49. MINAM. LÍNEA BASE AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA. Octubre de 2013. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>
50. Martínez, Pedro. Evaluación y Diseño de un Humedal Construido para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas. Título (Ingeniero Químico). Murcia: Universidad de Murcia, 2014. Disponible en <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/286327/TPAM.pdf;sequence=1>
51. Metcalf L. y Eddy HP. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse [en línea]. 4ta. ed. New York: McGraw-Hill, 2004 [fecha de consulta: 29 de abril de 2020].  
Disponible en: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1979505>  
ISSN: 007124140X
52. Matt Smith. FILTROS BIOLÓGICOS PARA LA ACUICULTURA. (15 de octubre de 2013). [Fecha de consulta: 14 abril de 2020].  
Recuperado de <http://biofilters.com/webfilt.htm>
53. Mirko Armiento. The Sustainable Welfare Index for Italy, 1960-2013. Falcota di economia, [en línea]. Marzo 2016, vol. 1., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].  
Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Mirko\\_Armiento/publication/299283956\\_The\\_Sustainable\\_Welfare\\_Index\\_for\\_Italy\\_1960-2013/links/56f0479a08ae70bdd6c9479c/The-Sustainable-Welfare-Index-for-Italy-1960-2013.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mirko_Armiento/publication/299283956_The_Sustainable_Welfare_Index_for_Italy_1960-2013/links/56f0479a08ae70bdd6c9479c/The-Sustainable-Welfare-Index-for-Italy-1960-2013.pdf) ISSN 1974-4110
54. Populares tipos de instrumentos de recolección de datos para tu investigación [Mensaje en un blog]. Barquisimeto Estado Lara: Edumaglis, P., (5 de marzo de 2020). [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2020].  
Recuperado de <https://soporteacademico20.com/instrumentos-recoleccion-datos/>
55. Putting Drinking Water First to Address Nutrient Pollution [CLEAN WATER ACTION]. USA: Joel Beauvais, (22 de septiembre de 2016). [Fecha de consulta: 18 de abril de 2020].  
Recuperado de <https://www.cleanwateraction.org/sites/default/files/docs/publications/Putting%20Dr>

[inking%20Water%20First%20-%20Nutrient%20Pollution%20-%20June%202018%20-%20Clean%20Water%20Action.pdf](#)

56. ¿Qué es Sistema Tohá? [Mensaje en un blog]. Chile: José, Tohá, (14 de marzo de 2015). [Fecha de consulta: 29 de abril de 2020].

Recuperado de <https://sistematoha.cl/newSistematoha/sistema-toha/>

57. Reyes Lara, René y Reyes Mazzoco, Sofía. EFECTO DE LAS CARGAS HIDRÁULICA Y ORGÁNICA SOBRE LA REMOCIÓN MÁSCICA DE UN EMPAQUE ESTRUCTURADO EN UN FILTRO PERCOLADOR. Revista Mexicana de ingeniería química [en línea]. Febrero 2009, vol. 8, n°. 1. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020].

Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v8n1/v8n1a10.pdf>

58. Ramón, Jacipt Alexander, León, José Alejandro y Castillo, Nelson. Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida. Mutis [en línea]. Octubre 2015, vol. 5. n°. 1, [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018>

59. Rivera Vergara, Diego A. Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. Junio 2015, Vol. 1. [Fecha de consulta: 21 de abril del 2020].

Disponible en <Humedales de Flujo Subsuperficial - revistas@udenar.edu.com>

60. Rajpal, Ankur [et al]. Co-treatment of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) and sewage by vermireactor. Ecological Engineering [en línea]. Diciembre 2014, vol. 73., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857414004091>

doi:10.1016/j.ecoleng.2014.09.012

61. SUNASS. Decreto Supremo que aprueba la Política Nacional de Saneamiento, N° 007-2017-VIVIENDA. Marzo de 2017. Disponible en [http://www.sunass.gob.pe/normas/ds7\\_2017viv.pdf](http://www.sunass.gob.pe/normas/ds7_2017viv.pdf)

62. Shao, T. y Wang, T. Effects of land use on the characteristics and composition of fluvial chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Yiluo River

watershed, China. *Ecological Indicators*. [en línea]. Julio 2019, n°. 279. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X20302697>

DOI: 10.1016 / j.ecolind.2020.106332

63. Strom, Peter F. Technologies to Remove Phosphorus from Wastewater, New Jersey Effluents. [en línea]. 2007, n.º 40. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020].

Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/237325515 Technologies to Remove P  
hosphorus from Wastewater](https://www.researchgate.net/publication/237325515_Technologies_to_Remove_P_hosphorus_from_Wastewater)

64. Sinha, Rajiv K. Earthworms for safe and useful management of solid wastes and wastewaters, remediation of contaminated soils and restoration of fertility, promotion of organic farming and mitigation of global warming: A Review. *Journal of Environment and Waste Management* [en línea]. Abril 2014, n.º 1. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2020].

Disponible en <https://es.slideshare.net/pd81xz/a-dq24>

65. Samal, K., Dash, R. R., y Bhunia, P. Performance assessment of a *Canna indica* assisted vermifilter for synthetic dairy wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. Octubre 2017, vol. 132., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017302422>

doi:10.1016/j.psep.2017.07.027

66. Singh, Rajneesh, [et al]. Vermifiltration as a sustainable natural treatment technology for the treatment and reuse of wastewater: A review. *Journal of Environmental Management* [en línea]. Octubre 2019, Vol. 247. [Fecha de consulta: 21 de abril del 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719308771>

doi:10.1016/j.jenvman.2019.06.075

67. Suprihatin, Suprihatin [et al]. Use of biofilter as pre-treatment of polluted river water for drinking water supply, . [en línea]. 2017, n.º 2. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2020].

Disponible en <http://www.eeer.org/upload/eeer-22-2-203.pdf>

68. Singh Asha Lata. NITRATE AND PHOSPHATE CONTAMINATION IN WATER AND POSSIBLE REMEDIAL MEASURES. Springer Verlag GmbH Heidelberg [en línea]. Febrero 2013, vol. 1., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/304019296\\_NITRATE\\_AND\\_PHOSPHATE\\_CONTAMINATION\\_IN\\_WATER\\_AND\\_POSSIBLE\\_REMEDIAL\\_MEASURES](https://www.researchgate.net/publication/304019296_NITRATE_AND_PHOSPHATE_CONTAMINATION_IN_WATER_AND_POSSIBLE_REMEDIAL_MEASURES)

ISSN: 978-3-659- 33649-2

69. Singh, R., Bhunia, P., & Dash, R. R. A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. Journal of Environmental Management [en línea]. Julio 2017, Vol.197. [Fecha de consulta: 21 de abril del 2020].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717303900>

doi:10.1016/j.jenvman.2017.04.042

70. Samal, K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2018). Effect of hydraulic loading rate and pollutants degradation kinetics in two stage hybrid macrophyte assisted vermifiltration system. Biochemical Engineering Journal [en línea]. Abril 2018, vol. 132., [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369703X18300020>

doi:10.1016/j.bej.2018.01.002

71. Salgado Lévano, Ana Cecilia. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *liber*. [en línea]. Septiembre 2007, vol.13, n.13 [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020]. pp.71-78.

Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&nrm=iso)

ISSN 1729-4827.

72. Suárez, Martín. El saber pedagógico de los profesores de la Universidad de Los Andes Táchira y sus implicaciones en la enseñanza. Tesis (Doctorado en Pedagogía) España: Universitat Rovira i Virgili. Departament de Pedagogia de tarragona - Catalunya - España, 2006.

Disponible en <https://tdx.cat/bitstream/handle/10803/8922/10CapituloXEIcaracterCientificodelainvestigaciontfc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

ISBN: 978-84-690-7627-9

73. Serrano O., José. DISEÑO HIDROSANITARIO, SISTEMA DE EVACUACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE LÁCTEOS (ECOLAC) Y CÁRNICOS. Tesis (Magíster en Educación). Lima: Universidad Técnica Particular de Loja, 2008.

Disponible en <https://es.scribd.com/document/318863269/Diseno-Hidrosanitario-Sistema-de-Evacuacion-y-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-de-La-Planta-de-Lacteos-ECOLAC-y-Carnicos>

74. Sinha, Bharambe y Bapat. Removal of high BOD and COD loadings of primary liquid waste products from dairy industry by vermifiltration technology using earthworms. Indian Journal of Environmental Protection [en línea]. Junio 2007, Vol. 27, n.º 7. [Fecha de consulta: 20 de junio de 2020]. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/45812932\\_Removal\\_of\\_high\\_BOD\\_and\\_COD\\_loadings\\_of\\_primary\\_liquid\\_waste\\_products\\_from\\_dairy\\_industry\\_by\\_vermifiltration\\_technology\\_using\\_earthworms](https://www.researchgate.net/publication/45812932_Removal_of_high_BOD_and_COD_loadings_of_primary_liquid_waste_products_from_dairy_industry_by_vermifiltration_technology_using_earthworms)

75. Saboya, Xiomi. Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de chachapoyas - Amazonas. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión, 2018. Disponible en <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1123>

76. SUBDERE. (2009). Manual de soluciones de saneamiento sanitario para zonas rurales. Chile: Gobierno de Chile. Ministerio del interior. Disponible en [http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-80176\\_archivo\\_fuente.pdf](http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-80176_archivo_fuente.pdf)

77. Tomar, P., & Suthar, S. Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system. *Desalination* [en línea]. Noviembre 2011, vol. 282. [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411007880?via%3>

Dihub

doi:10.1016/j.desal.2011.09.007

78. VIZCAINO, Lissette y FUENTES, Natalia. Efectos de *eisenia foetida* y *eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes. *rev.udcaactual.divulg.cient.* [en línea]. 2016, vol.19, n.1 [citado 2020-06-27], pp.189-198. Disponible en:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012342262016000100](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012342262016000100)

022&lng=en&nrm=iso

ISSN 0123-4226.

79. ¿What is Natural Organic Material (NOM) and how is it measured? [Mensaje en un blog]. USA: Sophie Bryant, (16 de diciembre de 2015). [Fecha de consulta: 23 de marzo de 2002].

Recuperado de <https://camblab.info/wp/index.php/what-is-natural-organic-material-nom-and-how-is-it-measured/>

80. Wang Yifei y Huang Haiou. Carbon nanotube composite membranes for microfiltration of pharmaceuticals and personal care products. *Advanced Nanomaterials for Membrane Synthesis and Its Applications* [en línea]. 2019, n.º 1. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2020].

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128145036000082>

DOI:10.1016/b978-0-12-814503-6.00008-2

81. WANG, Longmian [et al]. Performance and mechanisms of a microbial-earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater. *Journal of Hazardous Materials* [en línea]. Noviembre 2015, vol. 195. [Fecha de consulta: 22 de abril del 2020].

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389411010405?via%3>

Dihub

doi:10.1016/j.jhazmat.2011.08.035

82. Yang, Jian [et al]. Effect of earthworms on the biochemical characterization of biofilms in vermifiltration treatment of excess sludge. *Bioresource Technology* [en línea]. 2013, n.º 143. [Fecha de consulta: 26 de abril de 2020].

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413008675>

doi:10.1016/j.biortech.2013.05.099

83. Zoppini, Annamaria [et al]. Bacterial diversity and microbial functional responses to organic matter composition and persistent organic pollutants in deltaic lagoon sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. [en línea]. Febrero 2020, n.º. 233. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2020].

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272771419307462>

DOI:10.1016/j.ecss.2019.106508

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha de análisis de contenido

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------

TÍTULO:

PAGINAS UTILIZADAS:	AÑO DE PUBLICACIÓN:	LUGAR DE PUBLICACIÓN:
TIPO DE DOCUMENTO:	AUTOR (ES):	
CODIGO:		
PALABRAS CLAVES:		
OBJETIVOS:		
METODOLOGIA:		
DIMENSIONES:		
CRITERIOS DE DISEÑO:		
COMPONENTES:		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		

**Fuente:** Elaboración propia.

## Anexo 2. Declaratoria de autenticidad del (de los) autor(es)

### DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL (DE LOS) AUTOR(ES)

Yo (Nosotros), ....., alumnos de la Facultad / Escuela de Posgrado ..... y Escuela Profesional / Programa Académico ..... de la Universidad César Vallejo ..... (filial o sede) declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado “.....” son:

1. De mi (nuestra) autoría
2. El presente Trabajo de Investigación / Tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El Trabajo de Investigación / Tesis no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en el presente Trabajo de Investigación /Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

Lugar y fecha, .....

.....

Apellidos y nombres del autor

DNI: .....

.....

Apellidos y nombres del autor

DNI: .....