



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON EL SISTEMA DE LOMBRIFILTRO”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Autoras:

María del Pilar Huamán Díaz

Karla Camila Misme Tasilla

Asesor:

M. Cs. Sara Esther García Alva

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Es un orgullo el ser sus hijas, a nuestros hermanos por estar siempre presentes, por el apoyo que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que este estudio se realice con éxito, en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos a lo largo de nuestra formación.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradecemos a Dios y a nuestros padres por guiarnos en este camino que no ha sencillo, pero gracias a sus aportes, amor y apoyo, estamos logrando a una de nuestras metas principales.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte, por habernos compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y por su valioso aporte para nuestra investigación. Así mismo agradecemos a nuestra asesora la M. Sc. Sara Esther García Alva, por su apoyo y disposición brindada.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Objetivos.....	21
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	21
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	22
2.1. Tipo de investigación.....	22
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	22
2.2.1. <i>Población</i>	22
2.2.2. <i>Muestra</i>	22
2.2.3. <i>Materiales, instrumentos y métodos</i>	22
2.2.3.1. <i>Materiales</i>	22
2.2.3.2. <i>Método</i>	23
2.2.4. <i>Técnicas de recolección de datos</i>	23
2.2.5. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	23
2.2.6. <i>Análisis de datos</i>	25
2.3. Procedimiento	25
CAPITULO III. RESULTADOS.....	26
CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	47
4.1. Discusión.....	47
4.2. Conclusiones.....	51
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS.....	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formato de la Ficha de registro de Datos.	24
Tabla 2. Base de datos	27
Tabla 3. Eficiencia del sistema de lombrifiltro.....	28
Tabla 4. Comparación del DBO (mg/L) con los VMA.	33
Tabla 5. Comparación del DBO (mg/L) con los LMP.....	35
Tabla 6. Comparación del DQO con VMA.	36
Tabla 7. Comparación del DQO con LMP.	37
Tabla 8. Comparación de Coliformes Termotolerantes con los LMP.	39
Tabla 9. Comparación de Aceites y grasas con los VMA.	40
Tabla 10. Comparación de Aceites y grasas con los LMP.	41
Tabla 11. Comparación de pH con los VMA.	42
Tabla 12. Comparación de pH con los LMP.....	43
Tabla 13. Comparación de Sólidos Totales en suspensión con los VMA.	44
Tabla 14. Comparación de Sólidos Totales en suspensión con los LMP.	45
Tabla 15. Matriz de Consistencia.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales..	18
Figura 2. Representación esquemática de una lombriz.....	19
Figura 3. Porcentaje de remoción para Demanda Bioquímica de Oxígeno.	29
Figura 4. Porcentaje de remoción para Demanda Química de Oxígeno.....	30
Figura 5. Porcentaje de remoción para Coliformes Termotolerantes.	30
Figura 6. Porcentaje de remoción para pH.....	31
Figura 7. Porcentaje de remoción para Sólidos Totales en Suspensión.	32
Figura 8. Porcentaje de remoción para Aceites y Grasas.....	32
Figura 9. Comparación del DBO con los VMA.....	34
Figura 10. Comparación del DBO con los LMP.....	35
Figura 11. Comparación del DQO con los VMA.	36
Figura 12. Comparación del DQO con los LMP.	38
Figura 13. Comparación de Coliformes Termotolerantes con los LMP.....	39
Figura 14. Comparación de Aceites y Grasas con los VMA.	40
Figura 15. Comparación de Aceites y Grasas con los LMP.	41
Figura 16. Comparación de pH con los VMA.	42
Figura 17. Comparación de pH con los LMP.	43
Figura 18. Comparación de Sólidos Totales en Suspensión con los VMA.	45
Figura 19. Comparación de Sólidos Totales en Suspensión con los LMP.	46

RESUMEN

Las aguas residuales tienen un efecto muy adverso sobre la salud y el medio ambiente que es preocupante a nivel mundial, por ende, es necesario un tratamiento adecuado y eficaz de éstas, el objetivo principal de la investigación se enfoca en demostrar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de lombrifiltro. Este estudio es una revisión sistemática, el instrumento que se utilizó fue la ficha de registro de datos, en la que se tomó en cuenta los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, pH, Aceites y grasas y Coliformes Termotolerantes. En esta investigación se observó una remoción de 88.0% en Demanda Bioquímica de Oxígeno, y 88.3% en Coliformes Termotolerantes, siendo estos los parámetros con mayor remoción debido a los beneficios de la especie *Eisenia fetida*. Por consiguiente, se recomienda emplear sistemas de lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales por el alto porcentaje de eliminación de contaminantes presentes.

Palabras clave: Sistema Tohá, aguas residuales, lombrifiltro, *Eisenia fetida*, *Lumbricus terrestris*.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las aguas residuales se componen de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos o suspendidos. Es probable que más del 80% de las aguas residuales a nivel mundial, se liberan al medio ambiente sin un tratamiento adecuado. (UNESCO, 2017) En este sentido es importante el tratamiento de estas aguas, puesto que se transfieren al ambiente y traen consigo enfermedades para los animales y las personas que lo consumen directa o indirectamente.

De acuerdo al informe realizado por las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, se registra que, en los países desarrollados, los niveles de tratamiento del agua residual alcanzan un 70%, los países de desarrollo intermedio un 38% y se reduce hasta el 8% en los más pobres. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), más de 323 millones de personas en África, Asia y Latinoamérica se encuentran en riesgo de contraer enfermedades debido a la creciente contaminación del agua en esas zonas del planeta. (UNESCO, 2016) Por lo expuesto, la preocupación de los investigadores se acrecentó y nos facilita soluciones eficientes con menor costo para tratar las aguas residuales de diferentes fuentes.

Las aguas servidas se dividen en industriales que son consecuencia de un proceso productivo, tales como las actividades mineras, agrícolas, agroindustriales, lácteas, entre otras; y en domésticas, que son de fuente de las viviendas, estas contienen desechos provenientes de las actividades antropogénicas. Por último, las municipales que son la mezcla de aguas del drenaje con aguas industriales, para ser vertido en las diferentes redes de alcantarillado. (OEFA, 2014)

Según el Reglamento de la Ley N°29338, artículo 132° menciona que las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana y las aguas

residuales municipales son aquellas aguas residuales domésticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

De acuerdo al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) el Perú genera aproximadamente 2217946 m³/ día de aguas residuales y solo el 32% de estas recibe el tratamiento adecuado, debido a esto se estima que, en el 2024, el Perú generará más del doble de aguas residuales con 4842579 m³/día que actualmente manejan las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS). Esto demuestra que el crecimiento poblacional es proporcional a la generación de aguas residuales.

Las aguas que no tienen conexión con la red de alcantarillado no llegan a las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), por desconocimiento y falta de educación ambiental la población los vierte a los cuerpos de agua natural, o son empleadas inadecuadamente para el riego de cultivos, lo que representa un riesgo directo para la salud en general y a los ecosistemas. Ver Anexo N° 1. (OEFA, 2014)

El manejo de las aguas residuales inicia con las EPS de saneamiento u otras entidades, éstas utilizan el agua de cuerpos receptores, para tratarlas con métodos y tecnologías, para el consumo humano. El agua tratada es empleada para actividades domésticas, comerciales e industriales, las cuales generan aguas residuales. Éstas son vertidas a la red de alcantarillado las cuales son manejadas por las EPS u otras. (Saboya, 2018)

El impacto ambiental de la falta de cobertura de servicios de agua y alcantarillado, están generando presión en los recursos hídricos del país, debido a la gran cantidad de aguas residuales sin tratamiento y de desechos sólidos que son arrojados hacia los cuerpos de agua, degradando su calidad, con la consecuente afectación a la salud de la población, usos del

recurso hídrico y a los ecosistemas acuáticos. Por lo expuesto, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) desde el año 2010 viene desarrollando actividades de identificación de fuentes contaminantes (IFC) en el ámbito de las unidades hidrográficas que cubren el territorio nacional; es así que hasta el año 2017, se tiene un registro de 4708 fuentes contaminantes, de las cuales 3364 son vertimientos de agua residual no autorizados y 1344 corresponden a la disposición inadecuada de residuos sólidos. (PLANEFA, 2019)

Para el tratamiento tanto de aguas residuales domésticas como industriales hay que empezar a considerar nuevas tecnologías, nuevos procesos y en general nuevas líneas de tratamiento. (Ramalho, 2003). Con esto tendremos un tratamiento adecuado y eficaz para disminuir el impacto causado por los residuos industriales y domésticos.

En la actualidad, existen sistemas de tratamiento que han sido utilizados por mucho tiempo, denominados sistemas convencionales, donde sus características, ventajas y desventajas son conocidas, debido a muchos años de estudio y seguimiento. Sin embargo, estas tienen altos costos en la construcción, operación (especialmente eléctrica) y mantenimiento, además generan lodos. (Salazar, 2005) Por otro lado, tenemos los sistemas no convencionales los cuales evidencian un 90% de remoción de contaminantes (Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno, Fosforo, Coliformes Termotolerantes y Aceites y grasas) de acuerdo a los estudios revisados, siendo esta una alternativa a elegir por su bajo costo y eficiencia para el tratamiento de aguas residuales.

El objetivo del tratamiento de aguas residuales domésticas es eliminar o disminuir los contaminantes hasta alcanzar los Límites Máximos Permisibles de acuerdo con las normas y estándares nacionales o internacionales. Las técnicas que se utilizan para el tratamiento de dichas aguas son diversas, se clasifican según su operación, en convencionales y alternativas. (Díaz et. al, 2012)

Según La Ley General del Ambiente N° 28611, indica que las aguas residuales cuentan con un marco normativo donde se establece que las personas tienen el derecho a vivir en un ambiente sano, en equilibrio y conveniente para el desarrollo de la vida, y el deber de apoyar con la gestión ambiental y de velar por el ambiente. Además, el estado fomenta el tratamiento de las aguas residuales para la adecuada reutilización, con el objeto de obtener la calidad necesaria sin perjudicar la salud o el ambiente. También establece la autorización previa para el vertimiento de aguas residuales de cualquier actividad antropogénica.

Según la Ley General del Ambiente, en el artículo 32.1 hace referencia que el Límite Máximo Permisible (LMP), indica el grado de concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos, que deben ser inofensivos para el ambiente y humanidad. El cumplimiento de esta normativa le pertenece al Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM) y a los organismos del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los LMP nos indican la calidad del agua residual, según corresponde a los parámetros medidos, para establecer si se encuentran dentro de ellos.

Los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua presentan los parámetros: aceites y grasas que no puede pasar de 20 mg/L, coliformes termotolerantes no debe superar 10000 NMP/100, demanda bioquímica de oxígeno no puede sobrepasar 100 mg/L, demanda química de oxígeno no debe exceder los 200mg/L, el pH debe estar en un rango de 6.5 a 8.5, sólidos totales en suspensión no debe pasar de 150 mg/L y la temperatura debe ser <25 °C. Ver Anexo N° 2.

Según la Ley N°29338 de recursos hídricos, artículo 79° hace referencia: al vertimiento de agua residual tratada a un cuerpo natural de agua, el cual es autorizado por la ANA, teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Por lo expuesto, se prohíbe el vertimiento directo o indirecto de este tipo de agua sin autorización. En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar

la calidad del cuerpo receptor, la Autoridad Nacional debe imponer las medidas necesarias para la calidad del agua.

En el Perú también existe una ley de vertimientos de efluentes al alcantarillado (D.S. N° 010-2019-VIVIENDA), la cual regula parámetros físicos y químicos con Valores Máximos Admisibles (VMA) que no deben ser excedidos; además, se encarga del procedimiento de efluentes de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con el objetivo de conservar las instalaciones, la infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos de los servicios de alcantarillado sanitario y motivar al tratamiento de las aguas mencionadas para su adecuada disposición final o rehúso. (El Peruano, 2019)

El Reglamento de los VMA (Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA) establece el programa de monitoreo y el procedimiento de fiscalización y sanción en el caso de incumplimiento por una descarga no doméstica. Los VMA se dividen en dos grupos de parámetros. Un exceso en los VMA conlleva a pagos adicionales del usuario a la EPS por la descarga en el sistema de alcantarillado, mientras que el incumplimiento implicaría el cierre de la descarga. (SUNASS, 2015)

Los VMA para descargas de agua residuales no domésticas evalúan que los valores de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno no sobrepase de 500 mg/L, demanda química de oxígeno no pase de 1000 mg/L, sólidos suspendidos totales no excedan de 500 mg/L y en aceites y grasas no supere de 100 mg/L. En cambio, en los VMA para descargas industriales al alcantarillado se estima que los valores no excedan en los parámetros: el pH puede estar en el rango de 6 a 9, la Temperatura debe ser <35 °C, sólidos sedimentables de 8.5 mg/L, nitrógeno amoniacal de 80 mg/L, los sulfatos de 500 mg/L, cromo total de 10 mg/L y arsénico de 0.5 mg/L. Ver Anexo 3.

En base a las investigaciones observamos que se cumple con la normativa existente en nuestro país, el tratamiento del vertimiento de aguas residuales se transformaría en una obligación ciudadana, esto aportaría en la economía, evitando multas o cierres empresariales y en el sector ambiental ayudaría a mitigar los impactos causados por dicha contaminación.

Ante la problemática presentada en esta investigación, se realizará el análisis de la eficiencia del sistema de lombrifiltro para tratamiento de aguas residuales, para esto se procede a la revisión de estudios referentes al tema. A continuación, se presentan los antecedentes.

Caicedo(2017)en su investigación: “Diseño, Construcción y Evaluación de un prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales en la Granja del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, Riobamba 2015” por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, para obtener el Título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental, investigación que tuvo como objeto principal diseñar, construir y evaluar un prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia en la disminución de coliformes fecales 94,4%, demanda bioquímica de oxígeno se ha determinado una eficiencia del 87.7% y demanda química de oxígeno 92.2%. Por lo expuesto se concluye que, el filtro biológico tiene una eficiencia alta en el tratamiento de aguas residuales.

Manrique y Castañeda (2016) en su estudio “Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia fetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio” por la Fundación Universidad de América - Bogotá, para optar el título de Ingeniero Químico, esta investigación tuvo como finalidad evaluar el sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra en aguas residuales procedentes de industrias lácteas. Teniendo como resultados de la experimentación, donde la demanda química de oxígeno es igual a 79.56% de reducción en el lombrifiltro y de 55.18% en el geofiltro, la demanda bioquímica de oxígeno no tuvo reducción respecto a la muestra sin tratar, el pH

alcanzo un valor de 4.56. Por lo tanto, fue evaluada la factibilidad del uso de un sistema de depuración biológica.

Por otro lado, Flores (2019) ejecutó el proyecto: “Evaluación de la Eficiencia de un Sistema de Vermifiltros en el Tratamiento de Aguas Residuales el Camal de Ibarra”, por la universidad Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, para obtener el título de Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, en el cual se tuvo como objetivo caracterizar mediante análisis físicos - químicos la calidad de agua, antes y después del tratamiento con vermifiltros. Los dos tratamientos estudiados fueron eficientes en la descontaminación de aguas residuales, de ellos el Vermifiltro 1 obtuvo los mejores resultados: 96,27% de eficiencia en la disminución de DQO, 64,01% en la remoción de Sólidos Totales, cumpliendo con los límites permisibles para las descargas al sistema de alcantarillado público.

Quille (2019) se desarrolló la tesis: “Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera la Bodeguilla – Valle de Moquegua”, por la Universidad Nacional del Altiplano, para optar el grado de Magister Scientiae en Ingeniería Ambiental - Puno. El propósito fue evaluar el efecto de aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de una planta quesera. A través de una investigación experimental realizó la aplicación de microorganismos eficaces, aplicación del lombrifiltro y la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro, fueron evaluados respecto al parámetro indicador de demanda química de oxígeno, donde el residuo lácteo obtuvo 55530 mg/L de DQO y los efluentes de los métodos aplicados midieron lo siguiente; microorganismos eficaces (DQO = 25200 mg/L), del lombrifiltro (DQO = 12000 mg/L) y de la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro (DQO = 13600 mg/L). Se verificó que los efluentes son influidos por la aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro logrando estar dentro de los límites máximos permisibles.

Acuña y Reyes (2015) realizaron la investigación titulada: “Eficiencia de *Lumbricus terrestris* Y *Eisenia fetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015”, por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, para obtener Título Profesional de Ingeniero Ambiental, la investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la *Lumbricus terrestris* y *Eisenia fetida* en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales, se inocularon al sistema de biofiltro conformado por dos estanques con capas inertes, organismos vivos y estanque de almacenamiento, el cual tuvo como resultados se obtuvo que la especie *Eisenia fetida* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de Bagua, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 73% mientras que *Lumbricus terrestris* obtuvo un promedio de remoción del 63%.

Saboya (2018) presentó la tesis “Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas”, por la Universidad Peruana Unión, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, la finalidad fue determinar la eficiencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) en el tratamiento de las aguas residuales. En este estudio se hizo el análisis de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Obteniendo los resultados que la especie *Eisenia fetida* redujo en un 92% la DBO5, 86% DQO, 78% NT, 84.4% turbidez, 93% pH y 84% en coliformes totales a diferencia de la especie *Lumbricus terrestris* que obtuvo una reducción del 91% en la DBO5, 84% DQO, 77% NT, 83% turbidez, 93% pH y 80% en coliformes totales. En conclusión, que la especie *Eisenia fetida* es más eficiente en la remoción de los contaminantes del agua residual doméstica con un promedio de 87% en comparación con la especie *Lumbricus terrestris* que logró un 85% por ende el tratamiento con ambas especies.

Chávez (2017) realizó la tesis “Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín”, por la Universidad Nacional de Cajamarca, para obtener el título profesional de Ingeniero ambiental, la finalidad fue determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de un biofiltro para un efluente industrial en la ciudad de Celendín. Obteniéndose como resultado una reducción en DQO del 92%, el cual es el parámetro principal de la investigación, pero también, se ha hecho el análisis de la DBO₅ del cual se ha obtenido una reducción del 94%, aceites y grasas 96%, de sólidos sedimentables 96% y el oxígeno disuelto se incrementó en un 59%; esto nos indica las bondades del tratamiento con el biofiltro, para este tipo de industria, que también podría aplicarse a otro tipo de aguas residuales

Gamarra (2021) realizó la tesis “Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga”, por la Universidad Continental- Huancayo, para obtener el título profesional de Ingeniero ambiental, la finalidad fue determinar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. Obteniéndose como resultado una remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) para los 3 tratamientos; 86,5%, 82,57% y 79,95% de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente; 95,3%, 96,1% y 95,5% de Sólidos Suspendidos Totales (SST) para tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente y el pH en los 3 sistemas de tratamiento tienden a estabilizarse, ya que inicialmente se tuvo un pH ácido de 6,58 y después del tratamiento se obtuvo agua residual con pH neutro de 7,51; esto nos indica las bondades del tratamiento con el biofiltro, para este tipo de industria, que también podría aplicarse a otro tipo de aguas residuales.

Chávez (2018) sustentó la tesis: “Estudio de Tratabilidad Biológica de Aguas Residuales Domésticas En Biorreactores Aerobios a Escala Piloto en el Distrito de Celendín”, por la Universidad Nacional de Cajamarca, para obtener el grado Académico de Maestro en Ciencias, con el objeto principal de determinar el nivel de tratabilidad biológica de las aguas residuales domésticas en biorreactores aerobios continuos a escala piloto. Determinando que en cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO₅ se obtuvo una eficiencia superior al 77%, para los sólidos sedimentables mayor a 99%; y se obtuvieron los principales coeficientes cinéticos de tratabilidad biológica para los biorreactores. El nivel de tratabilidad biológica de las aguas residuales alcanzado en el sistema de biorreactores aerobios continuos a escala piloto fue superior al 70% referente al contenido de materia orgánica; y superior al 90% en el contenido de coliformes termotolerantes; convirtiéndose en una tecnología favorable para la zona rural.

A continuación, se presenta el sustento teórico en el cual se basa nuestra investigación.

Sistema Tohá: Este sistema no convencional fue realizado por el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, el cual recoge experiencias en 1981 sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el Sistema Tohá. Este tiene características físicas o estructurales con alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y organismos patógenos, éste se basa en la tecnología de lombrices. Es un biofiltro formado por cuatro capas de diversos materiales, el cual permite el paso del agua residual. (Fernández, 2011)

Las características que posee este lombrifiltro es para tratar aguas servidas de pequeñas localidades rurales, ya que ofrece ventajas tales como: Cumplir con las emisiones ambientales de descargas, es un proceso rápido (elimina el olor y las moscas), es económico y de fácil gestión. No produce lodos inestables al degradarse la totalidad de sólidos orgánicos del agua residual, en su lugar se obtiene humus (fertilizante de suelos), tiene el carácter de tratamiento de tipo aeróbico. No obstante, por ser un tratamiento biológico debe destacarse que su principal

desventaja es su sensibilidad a variaciones bruscas de carga orgánica y parámetros químicos de agua residual. (Salazar, 2005)

Lombrifiltro: Es de carácter biológico, esta tecnología de tratamiento para aguas tiene como objetivo remover la contaminación por materia orgánica del agua servida, además de ser aplicable en la remoción biológica de nutrientes. Este se compone generalmente por una capa superior de aserrín con lombrices, cuando el agua residual pasa a través del lecho filtrante o sustrato, estos organismos absorben y digieren la materia orgánica eliminando su principal contaminante que son los residuos sólidos patógenos; posteriormente se filtra a un estrato de antracita, que permite la eliminación de impurezas; después pasa por una capa de grava pequeña para ser filtrada y finalmente llega a la última capa de grava grande, donde el agua se purifica y tiene menos impurezas para su vertimiento y uso adecuado. Las principales ventajas del sistema de lombrifiltro es que no producen lodos, tiene un alto índice de eficiencia, en cuanto al lecho filtrante no se impermeabiliza, es un sistema ecológico que reutiliza el agua tratada y produce un subproducto que es abono natural ecológico. Por el contrario, las desventajas son que no son recomendadas para tratar grandes volúmenes de efluente, no soporta variaciones grandes de carga ni caudal, requiere de un proceso de adaptación. (Salazar, 2005)

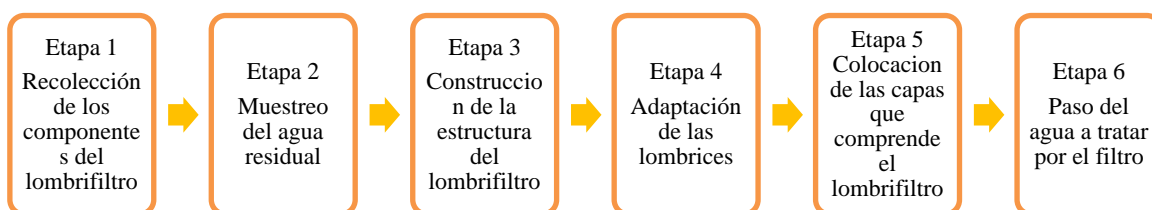


Figura 1. Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales. Fuente: Salazar, 2005.

Lombriz: Las lombrices de tierra son anélidos macroscópicos que se encuentran en el suelo. Por ello, influyen de forma muy significativa en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, modifican la estructura del suelo y aceleran la descomposición de la materia orgánica. Se han descrito más de 8000 especies de lombrices de tierra, ocupan nichos ecológicos distintos y se clasifican, sobre la base de su alimentación y de la zona del suelo en la que viven, en tres categorías ecológicas: epigeas, anécicas y endógenas. (Domínguez et.al.,2009)

El sistema digestivo de la lombriz de tierra incluye una boca, una faringe muscular, que empuja el alimento después de humedecerlo, hacia el esófago, luego hacia un buche, donde el alimento es almacenado, y una molleja donde el alimento es triturado. A continuación, sigue el intestino, en donde se lleva a cabo la digestión extracelular y la absorción de los productos. Los residuos pasan luego al recto y salen al exterior por el ano. (Salazar, 2010)

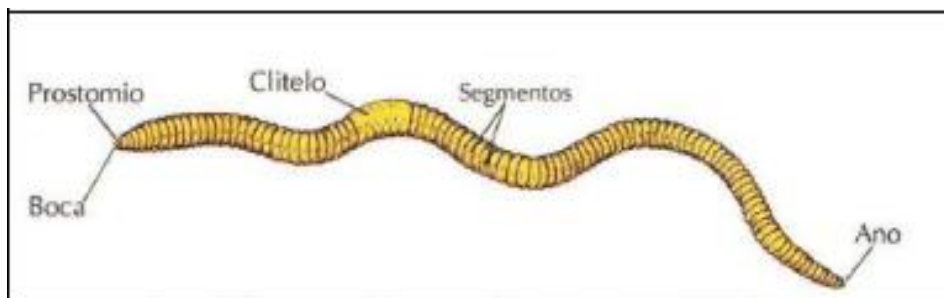


Figura 2. Representación esquemática de una lombriz. Fuente: Domínguez et al. (2009)

***Eisenia fetida*:** Conocida como “lombriz roja” o “californiana”. (Durán & Heríquez, 2009) Fisiológicamente, el desarrollo de los gusanos está influenciado por varios factores físicos que son fundamentalmente: la aireación, la humedad debe estar entre 70 y 80% para su supervivencia, es fotofóbica, la acidez de pH medio de 5 a 8.4 y la temperatura óptima es de 18 ° a 25 ° C. (Rivas, 2019)

***Lumbricus terrestris*:** Es la lombriz de tierra, vive en el suelo, alimentándose de materia orgánica. Su actividad favorece la estructura y porosidad del suelo, aumentando a la vez las

capacidades de retención de agua y de aire, y la fertilidad al triturar la materia orgánica y poner de nuevo en circulación los nutrientes que contenía. (Menéndez, 2018)

Aguas residuales: El artículo 131° del reglamento de la ley N°29338 de recursos hídricos, denomina a las aguas residuales, a aquellas cuyas aguas han sido modificadas por actividades antropogénicas y califican como vertimiento de aguas residuales a la descarga de éstas previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua.

Por lo expuesto, es relevante demostrar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de lombrifiltro e identificar el porcentaje de remoción de los contaminante presentes que dañan el ambiente y a la salud humana.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de Lombrifiltro?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Demostrar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de lombrifiltro.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar el porcentaje de remoción de los contaminantes DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas presentes en las aguas residuales.
- Comparar los parámetros DBO₅, DQO, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas con los Valores Máximos Permisibles establecidos según el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.
- Verificar si los parámetros DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es un estudio integrativo, observacional, retrospectivo y transversal, en el cual se ha revisado estudios previos que se relacionan con la eficiencia del sistema lombrifiltro para aguas residuales. Esta es cualitativa, porque se describió e interpretó datos de estudios primarios realizados dentro de los últimos 10 años sin ser alterados. (Beltrán, 2005)

El diseño usado para esta investigación es la no experimental que se define como “la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables”. (Hernández et.al., 2014)

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

La población de esta investigación es de 30 estudios revisados acerca del tratamiento de agua residual.

2.2.2. Muestra

La muestra es de 7 estudios acerca del sistema de lombrifiltro para el tratamiento de agua residual doméstica e industrial.

2.2.3. Materiales, instrumentos y métodos

2.2.3.1. Materiales

- Laptop
- Tesis
- Artículos
- Documentos
- Libros

2.2.3.2. Método

El método que se utilizara en esta investigación es el método deductivo, ya que se pasa de un conocimiento general a otro de menor nivel de generalidad. Consiste en inferir soluciones o características concretas a partir de generalizaciones, principios, leyes o definiciones universales. Se trata de encontrar principios desconocidos, a partir de los conocidos o descubrir consecuencias desconocidas, de principios conocidos. (Rodríguez & Pérez, 2017)

2.2.4. Técnicas de recolección de datos

La técnica utilizada para esta investigación es el análisis documental de 7 estudios relacionados con la eficiencia del sistema lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales, dónde 4 estudios son de aguas residuales domésticas y 3 de aguas residuales industrias lácteas, para esto se recopiló información en fuentes previas de investigaciones realizadas, con esto se hizo una base de datos, el origen de búsqueda para esta investigación fue Google Chrome, luego se realizó la indagación de estudios con la palabra clave en diversos sistemas de información científica como Scielo, Repositorios de universidades, Ebsco y Google Académico, según el tipo de estudio y año de publicación.

2.2.5. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento utilizado para la recolección de datos es la ficha de registro de datos la cual nos servirá para organizar los estudios utilizados en esta investigación, en ella tenemos el título, autor, ciudad o país, año y un resumen de las investigaciones tomadas, también, se indicará los parámetros que tomaremos en cuenta como BDO₅, DQO, coliformes termotolerantes, TSS, pH y, aceites y grasas, los cuales nos sirven para la realización de esta investigación.

Tabla 1

Formato de la Ficha de registro de Datos.

Título:

Autor:

Ciudad/País:

Año:

Resumen:

Parámetros

para utilizar:

Codificación:

2.2.6. Análisis de datos

Se presentó mediante cuadros comparativos, la representación gráfica de la eficiencia de lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales en función a parámetros tales como DBO₅, DQO, pH, aceites y grasas, coliformes termotolerantes y STS, para ello se realizó una tabla general y por cada parámetro indicado. Posteriormente se comparó, cada parámetro con la normativa correspondiente según su vertimiento, mediante tablas comparativas y gráficos con el uso del programa Excel.

2.3. Procedimiento

Esta investigación inicio con la búsqueda de datos referentes al tema; después, se determinó la población y la muestra, el cual servirá para desarrollar el estudio de eficiencia y obtener conclusiones que aportarán a la investigación. Para el desarrollo de este estudio se tomó en cuenta 9 estudios de los cuales, 3 son de nivel internacional, 4 son nacionales y 2 locales; estos nos servirán para cumplir con el objetivo principal trazado; sin embargo, solo se trabajó con 7 estudios, 4 de estos de aguas residuales domésticas y 3 de aguas residuales industriales, los parámetros medidos en los estudios son útiles para la comparación con los LMP y VMA según su vertimiento, los 2 estudios restantes tenían parámetros diferentes a los que nosotros deseábamos y no se podía realizar la comparación mencionada, por lo que los descartamos, ya que no brindaría buena información a futuras investigaciones.

CAPITULO III. RESULTADOS

Después de estudiar detenidamente las investigaciones y escoger las principales investigaciones (ver Tabla N° 2) para identificar los porcentajes de eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceites y grasas, Sólidos Totales en Suspensión (STS), pH y Coliformes Termotolerantes que se presentan en el agua residual, que se logró con las especies: *Eisenia fetida* y *Lumbricus terrestris*. Dichos resultados se encuentran en la Tabla N° 3.

Tabla 2

Base de datos

N°	Título	Autor (es)	Año	País/ Ciudad	Tipo de estudio	Fuente
1	Diseño, Construcción y Evaluación de un Prototipo Biológico compuesto de <i>Eisenia fetida</i> y <i>Agave filifera</i> , para el tratamiento de aguas residuales en la Granja del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura Y Pesca, Riobamba	Caicedo Camposverde, Jenniffer Alexandra	2017	Ecuador	Tesis de grado	Scielo
2	Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (<i>Eisenia foetida</i>) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio	Manrique Delgado, Erika; Piñeros Castañeda, Jennifer	2016	Bogotá	Tesis de grado	Google académico
3	Microorganismos eficaces y Lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “LA BODEGUILLA – VALLE DE MOQUEGUA	Quille Quille, Lenin	2019	Perú	Tesis de grado	Google académico
4	Eficiencia del método de Lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas	Saboya Ríos, Xiomi Vasni	2018	Perú	Tesis de grado	Google académico
5	Eficiencia de <i>Lumbricus terrestris</i> y <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015	Acuña Marrufo, José Edgardo; Reyes Sánchez, Jean Jhonatan	2017	Perú	Tesis de grado	Ebsco
6	Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín	Chávez Rodrigo, Julio César	2017	Cajamarca/ Perú	Tesis de grado	Repositorio UNC
7	Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga	Gamarra Silva, Baneza	2021	Perú	Tesis de grado	Repositorio UC

Tabla 3

Eficiencia del sistema de lombrifiltro.

Estudios	Especie utilizada	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno	% de remoción		pH	Sólidos Totales en Suspensión	Aceites y Grasas	Promedio de eficiencia (%)
				Coliformes Termotolerantes					
Estudio 1	<i>Eisenia fetida</i>	87.9	92.2	94.6	-	-	-	91.6	
Estudio 2	<i>Eisenia fetida</i>	64.0	79.6	-	79.6	-	-	71.8	
Estudio 3	<i>Eisenia fetida</i>	76.3	75.5	-	66.9	95.3	15.9	75.9	
Estudio 4	<i>Eisenia fetida</i>	91.5	85.6	83.7	92.5	-	-	86.9	
	<i>Lumbricus terrestris</i>	90.6	83.7	80.5	92.8	-	-	84.9	
Estudio 5	<i>Eisenia fetida</i>	97.1	97.3	94.1	28.1	50.8	56.6	96.2	
	<i>Lumbricus terrestris</i>	91.9	92.7	88.6	4.68	11.9	3.3	91.1	
Estudio 6	<i>Eisenia fetida</i>	95.3	95.2	-	-	96	98.9	96.4	
Estudio 7	<i>Eisenia fetida</i>	97.6	79.9	-	86.7	95.5	-	89.93	
Promedio de eficiencia (%)		88.0	86.9	88.3	64.5	69.9	43.7	87.2	

Nota. La tabla nos muestra la eficiencia del lombrifiltro en cuanto al porcentaje de remoción de los parámetros DBO 88.0%, DQO 86.9%, Coliformes Termotolerantes 88.3%, pH 64.5%, Sólidos Totales en Suspensión 69.9% y Aceites y grasas 43.7%. Por lo tanto, el sistema de lombrifiltro tiene mayor eficiencia en Coliformes termotolerantes y Demanda Bioquímica de Oxígeno y menor eficiencia en Aceites y grasas. También, se observa que la especie *Eisenia fetida* muestra más eficiencia en los parámetros evaluados a diferencia de la *Lumbricus terrestris*.

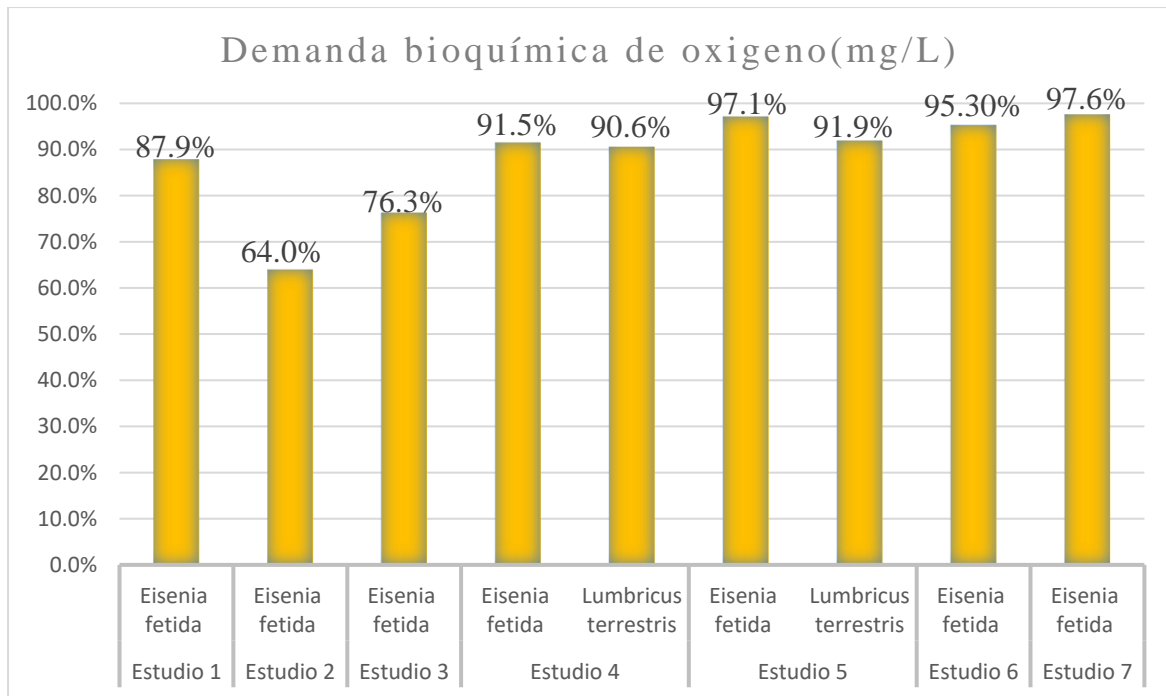


Figura 3. Porcentaje de remoción para Demanda Bioquímica de Oxígeno.

En la figura 3 podemos observar la eficiencia del sistema de lombrifiltro en el porcentaje de remoción del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en el cual notamos que su eficiencia es favorable en los 7 estudios analizados, siendo el estudio 7 en donde se obtuvo mayor porcentaje de remoción con 97.6% con la especie *Eisenia fetida*. Además, se observa que en el estudio 2 solo hubo un 64.0% de remoción de DBO₅, esto se puede deber a la mala aplicación del sistema de lombrifiltro o causas externas, ya que en los otros 6 estudios se tienen altos porcentajes de remoción.

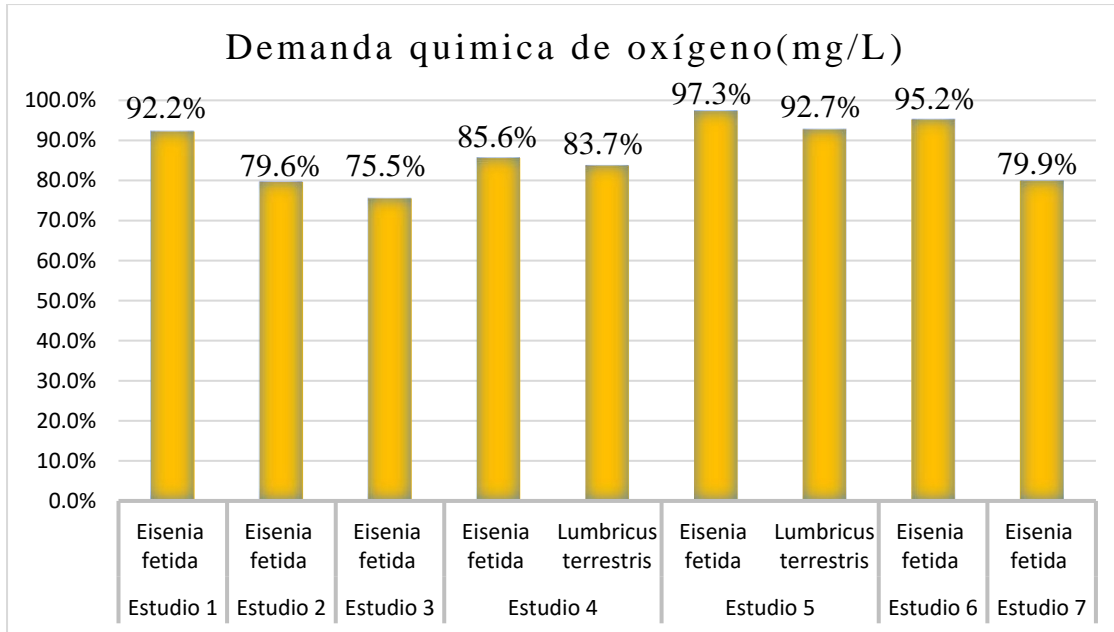


Figura 4. Porcentaje de remoción para Demanda Química de Oxígeno.

En la figura 4 podemos observar la eficiencia del sistema de lombrifiltro en el porcentaje de remoción del parámetro Demanda Química de Oxígeno, en cual se observa que el estudio 5 tiene el mayor porcentaje de remoción con un 97.3% utilizando la especie *Eisenia fetida*. Sin embargo, notamos que en los 7 estudios sin excepción se tuvo buenos porcentajes de remoción, lo que indica que el sistema es el ideal para la remoción de este parámetro.

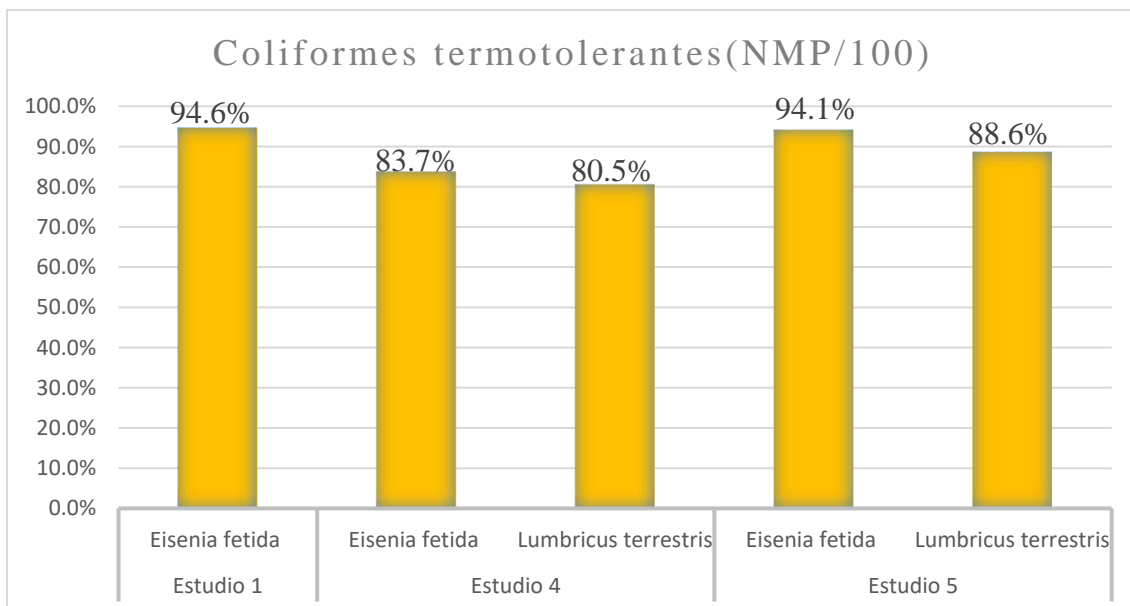


Figura 5. Porcentaje de remoción para Coliformes Termotolerantes.

En la figura 5 podemos observar la eficiencia del sistema de lombrifiltro en el porcentaje de remoción para el parámetro de Coliformes Termotolerantes, en el cual notamos que su eficiencia es buena en los 7 estudios analizados, siendo el estudio 1 en donde se obtuvo mayor porcentaje de remoción con un 94.6% con la especie *Eisenia fetida*. Se observa también que en los otros tres estudios se tienen buenos resultados en la remoción de este parámetro, esto significa que el sistema de lombrifiltros es bueno para el tratamiento de aguas residuales.

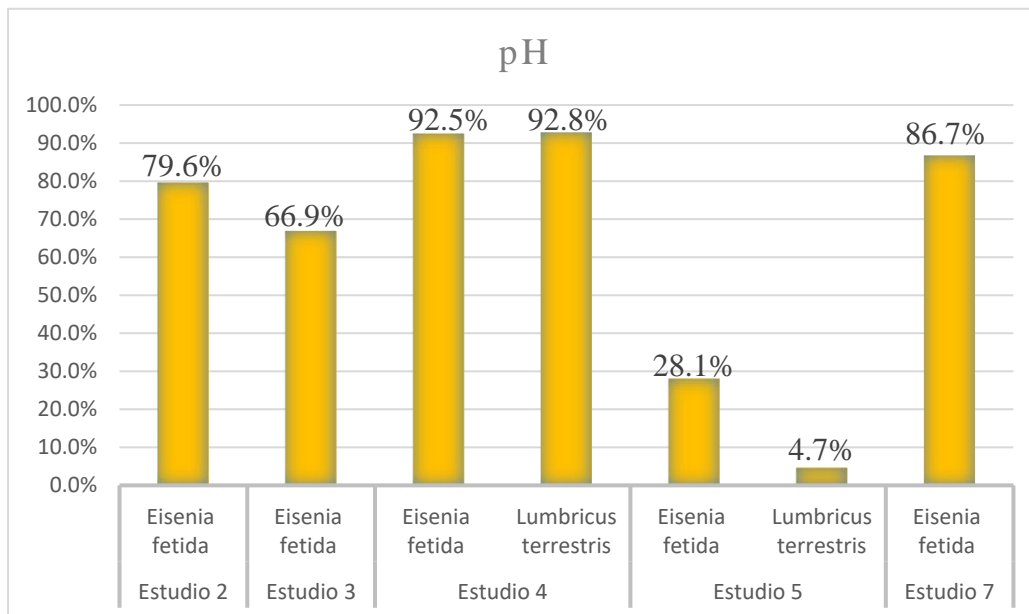


Figura 6. Porcentaje de remoción para pH.

En la figura 6 podemos observar la eficiencia del sistema de lombrifiltro en el porcentaje de remoción para el parámetro de pH, en el cual notamos que su eficiencia es buena en la mayoría de los estudios, sin embargo, en el estudio 5 la remoción es baja con un porcentaje de 4.7% con la especie *Lombrices terrestris*, por otra parte, el estudio 4 obtuvo mayor porcentaje de remoción con un 92.5% con la especie *Eisenia fetida* y 92.8% con la especie *Lombricus terrestris*.

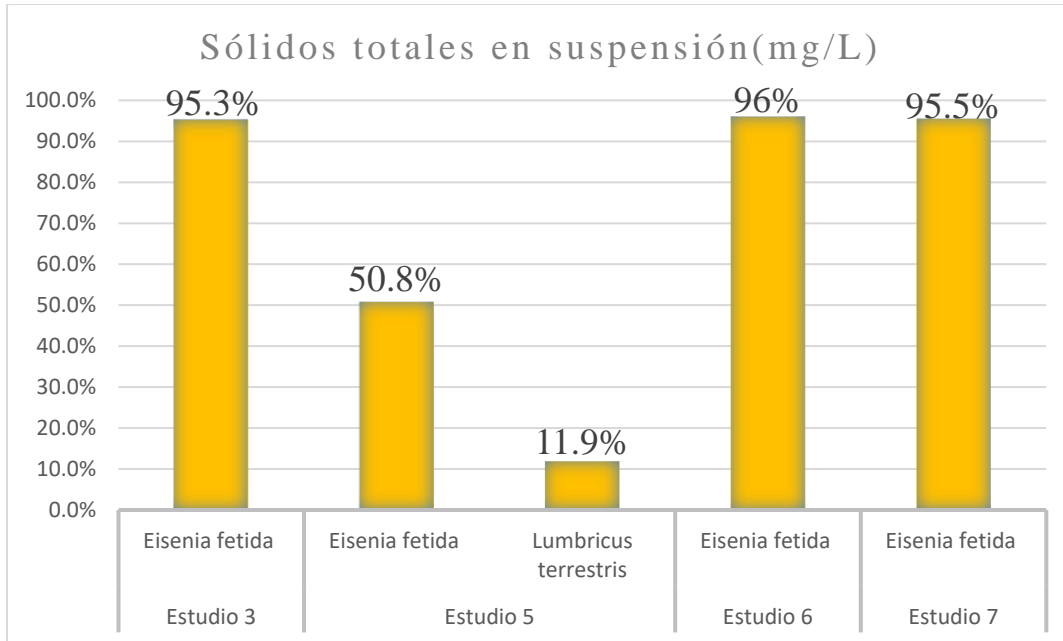


Figura 7. Porcentaje de remoción para Sólidos Totales en Suspensión.

En la figura 7 podemos observar la eficiencia del sistema de lombrifiltro en el porcentaje de remoción para el parámetro de Sólidos Totales en Suspensión, en el cual notamos que el estudio 6 se obtuvo mayor porcentaje de remoción con un 96% con la especie *Eisenia fetida*. Sin embargo, se tiene un bajo porcentaje de remoción en el estudio 5 con la especie *Lumbricus terrestris* con de 11.9%.

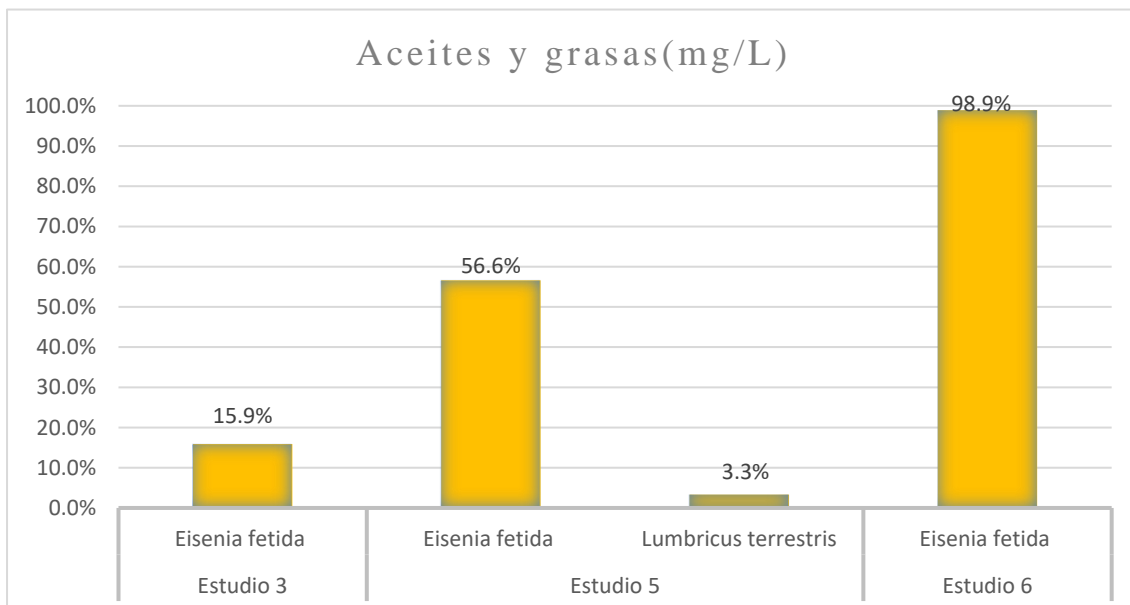


Figura 8. Porcentaje de remoción para Aceites y Grasas.

En la figura 8 podemos observar la eficiencia del sistema de lombrifiltros en el porcentaje de remoción para el parámetro de Aceites y grasas en el cual notamos notablemente una buena eficiencia en el estudio 6 teniendo un 98.9% de remoción con la especie *Eisenia fetida*. También se observa también que existe un bajo porcentaje de remoción en el estudio 5 con un 3.3% de remoción en donde se utilizó la especie *Lumbricus terrestris*.

Posteriormente, comparamos con el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) en los diferentes estudios revisados con los Valores Máximos Admisibles para descarga al alcantarillado y los Límites Máximos Permisibles para vertidos a cuerpos de agua.

Tabla 4

Comparación del DBO (mg/L) con los VMA.

Estudios	Especie	DBO después del tratamiento(mg/L)	VMA	Cumple
Estudio 2	E. F.	325	500	SI
Estudio 3	E. F.	751	500	NO
Estudio 6	E. F.	312	500	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación con los valores máximos admisibles 2 de los 3 estudios cumplen con lo establecido, el valor que no cumplen con la normativa se debe a la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro.

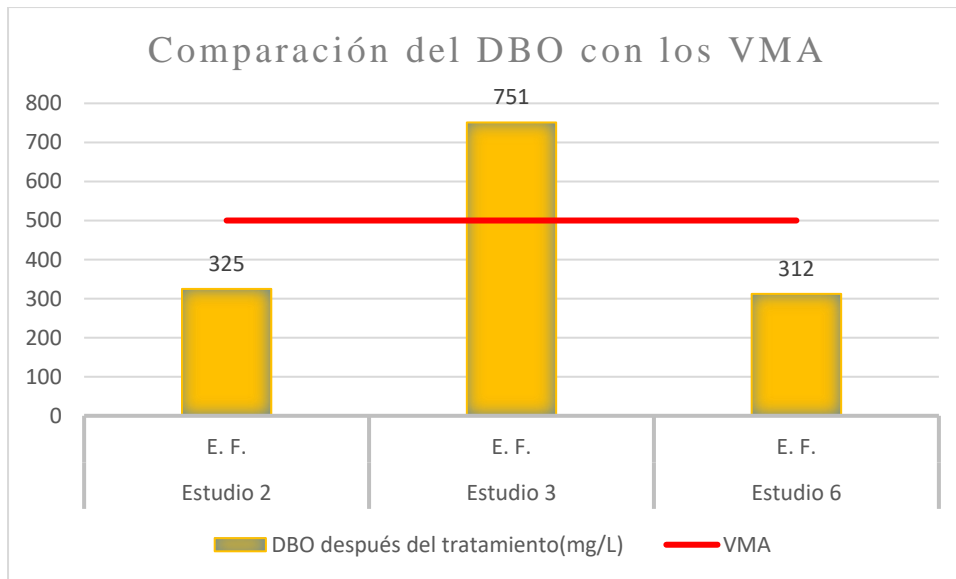


Figura 9. Comparación del DBO con los VMA.

En la figura 9 se observa que en los estudios 2 y 6 si cumplen con los valores máximos admisibles y el estudio 3 sobrepasa lo indicado, esto significa que el agua está contaminada, es decir a mayor presencia de la demanda bioquímica de oxígeno es mayor la contaminación en el cuerpo receptor.

Tabla 5

Comparación del DBO (mg/L) con los LMP.

Estudios	Especie	DBO después del tratamiento(mg/L)	LMP	Cumple
Estudio 1	E. F.	30	100	SI
Estudio 4	E. F.	9.5	100	SI
	L.T.	10.52	100	SI
Estudio 5	E. F.	5.06	100	SI
	L.T.	13.91	100	SI
Estudio 7	E. F.	7	100	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los Límites Máximos Permisibles con la Demanda Biológica de Oxígeno en el que cumple en los 4 estudios evaluados.

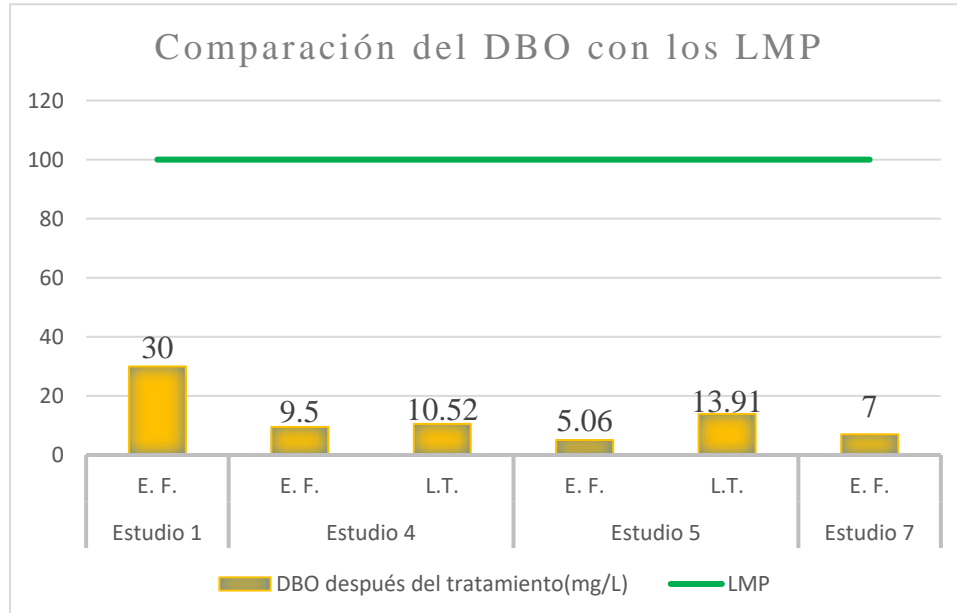


Figura 10. Comparación del DBO con los LMP.

En la figura 10 se observa que en los estudios 1; 4; 5 y 7 cumplen con los límites máximos permitidos, esto demuestra que el sistema de lombrifiltro es eficiente en la remoción del parámetro DBO₅ en aguas residuales domésticas.

Luego, comparamos con el parámetro de Demanda Química de Oxígeno (mg/L) en los diferentes estudios revisados con los Valores Máximos Admisibles para descarga al alcantarillado y los Límites Máximos Permisibles para vertidos a cuerpos de agua.

Tabla 6

Comparación del DQO con VMA.

Estudios	Especie	DQO después del tratamiento(mg/L)	VMA	Cumple
Estudio 2	E. F.	531	1000	SI
Estudio 3	E. F.	2000	1000	NO
Estudio 6	E. F.	885	1000	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los valores máximos admisibles con la Demanda Química de Oxígeno en el que no cumple 1 estudio de los 3 evaluados, debido a la mala adaptación de las lombrices.

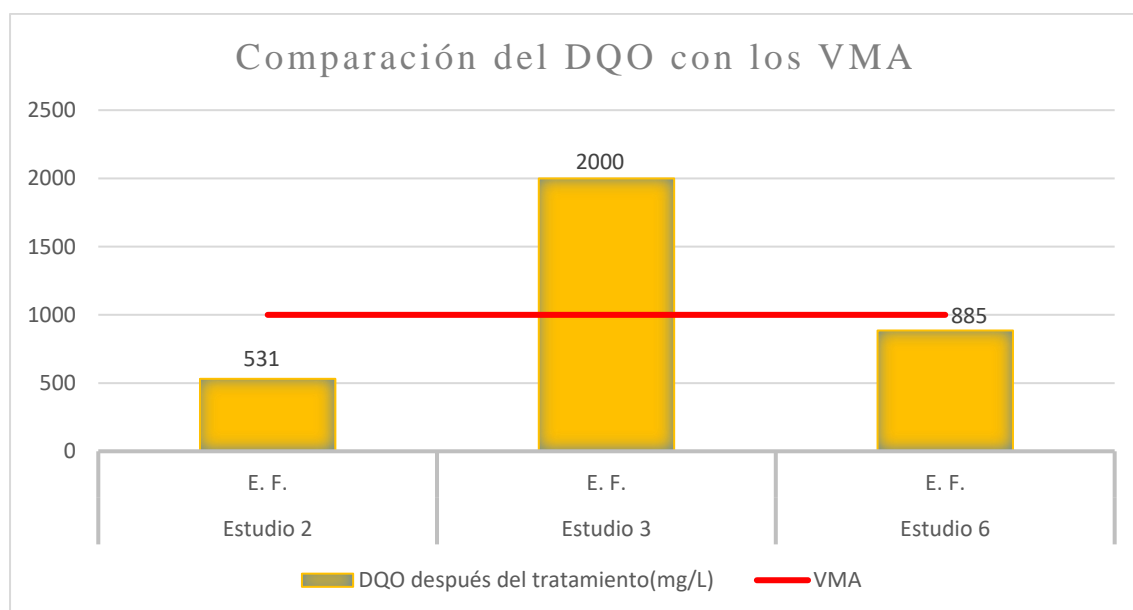


Figura 11. Comparación del DQO con los VMA.

En la figura 11 se observa que el estudio 3 en demanda química de oxígeno sobrepasa los valores máximos admisibles, lo que nos indica que mientras mayor sea la demanda química de oxígeno, más contaminación existe en el agua. Los estudios 2 y 6 no sobrepasan los valores máximos admisibles.

Tabla 7

Comparación del DQO con LMP.

Estudios	Especie	DQO después del tratamiento(mg/L)	LMP	Cumple
Estudio 1	E. F.	54	200	SI
Estudio 4	E. F.	36.3	200	SI
	L.T.	41	200	SI
Estudio 5	E. F.	4.37	200	SI
	L.T.	11.78	200	SI
Estudio 7	E. F.	101.3	200	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los límites máximos permitidos con la Demanda Química de Oxígeno en el que todos los estudios revisados cumplen con la normativa de los LMP.

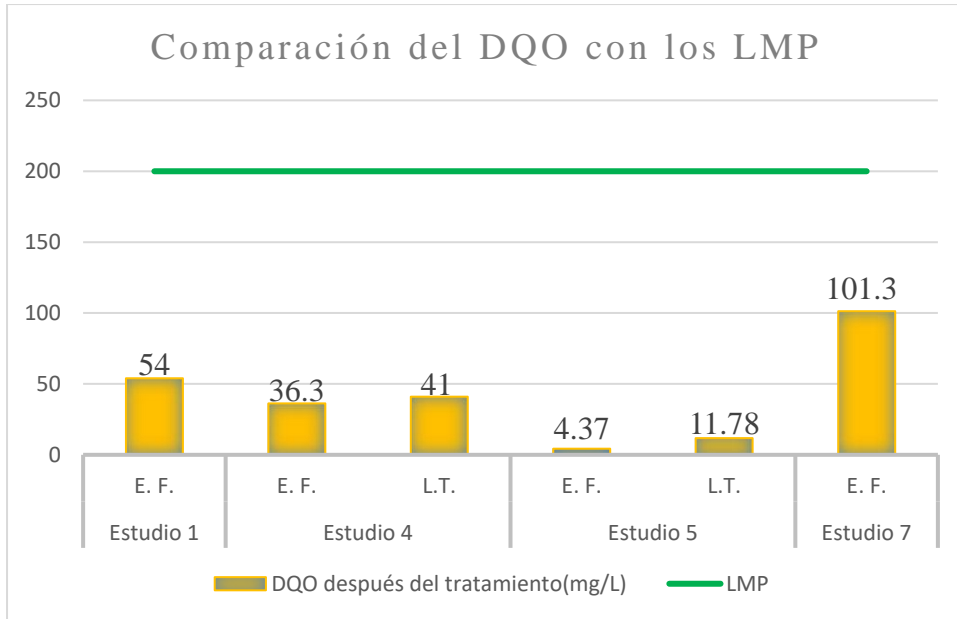


Figura 12. Comparación del DQO con los LMP.

En la figura 12 se observa que los estudios 1; 4; 5 y 7 no sobrepasan con los límites máximos permitidos, esto quiere decir que el lombrifiltro es útil para la eliminación del parámetro DQO en relación al agua residual de viviendas.

A continuación, comparamos con el parámetro de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) en los diferentes estudios revisados con los Límites Máximos Permisibles para vertidos a cuerpos de agua.

Tabla 8

Comparación de Coliformes Termotolerantes con los LMP.

Estudios	Especie	Coliformes después del tratamiento (NMP/100mL)	LMP	Cumple
Estudio 1	E. F.	30	10000	SI
Estudio 4	E. F.	685	10000	SI
	L.T.	820	10000	SI
Estudio 5	E. F.	9371400	10000	NO
	L.T.	18273749	10000	NO

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los límites máximos permisibles con los Coliformes Termotolerantes en el que no cumple en 1 estudio de los 3 evaluados, los valores que no cumplen con la normativa se deben a la presencia de elevada descomposición de materia orgánica o inorgánica.

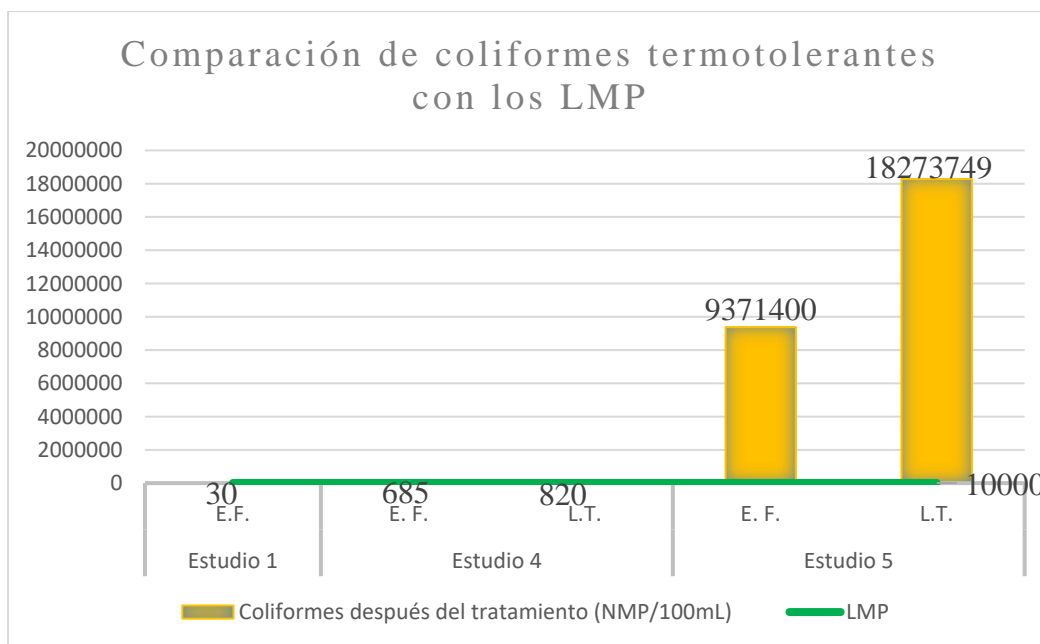


Figura 13. Comparación de Coliformes Termotolerantes con los LMP.

En la figura 13 se observa la comparación de coliformes termotolerantes con los LMP en donde los estudios 1 y 4 no sobrepasan los límites máximos permisibles, pero el estudio 5 sobrepasa

los LMP, esto puede disminuir el nivel de oxígeno del agua causando la muerte de especies acuáticas.

Posteriormente, comparamos con el parámetro de Aceites y Grasas (mg/L) en los diferentes estudios revisados con los Valores Máximos Admisibles para descarga al alcantarillado y los Límites Máximos Permisibles para vertidos a cuerpos de agua para determinar si cumple o no con estos instrumentos.

Tabla 9

Comparación de Aceites y grasas con los VMA.

Estudios	Especie	Aceites y grasas después del tratamiento(mg/L)	VMA	Cumple
Estudio 2	E. F.	18.5	100	SI
Estudio 3	E. F.	8.7	100	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los valores máximos admisibles con Aceites y grasas en el que se cumple en los 2 estudios revisados que la remoción de este contaminante es significativa y considerable.

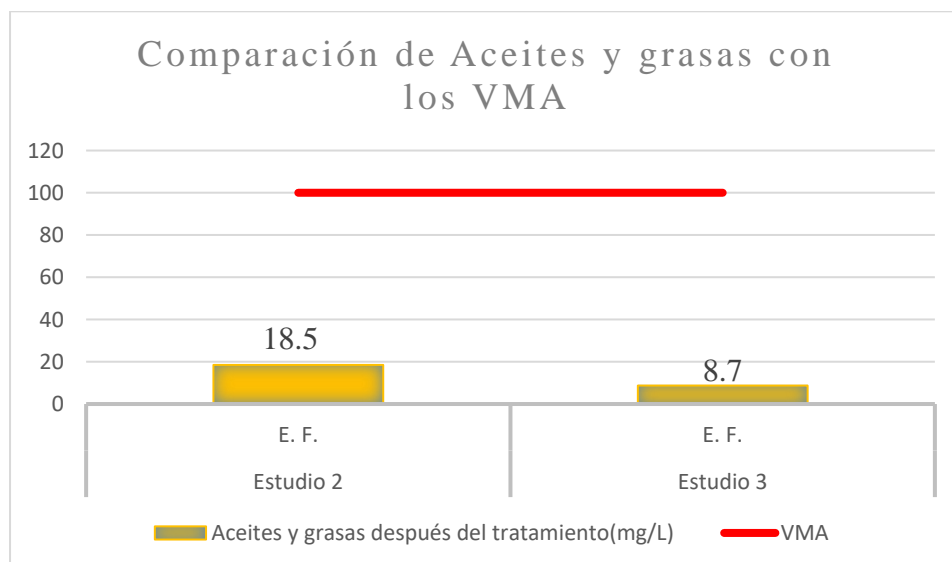


Figura 14. Comparación de Aceites y Grasas con los VMA.

En la figura 14 se observa la comparación de aceites y grasas con los VMA en donde el estudio 2 y 6 no sobrepasan los valores máximos admisibles, esto indica que el sistema de lombrifiltro remueve los aceites y grasas de manera efectiva en aguas residuales industriales.

Tabla 10

Comparación de Aceites y grasas con los LMP.

Estudios	Especie	Aceites y grasas después del tratamiento(mg/L)	LMP	Cumple
Estudio 5	E. F.	32.18	20	NO
	L.T.	71.7	20	NO
Estudio 6	E. F.	1.9	20	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los límites máximos permisibles con Aceites y grasas en el que no cumple en 1 estudio de los 2 evaluados, los valores que no cumplen con la normativa se deben a la baja actividad de descomposición de las lombrices.

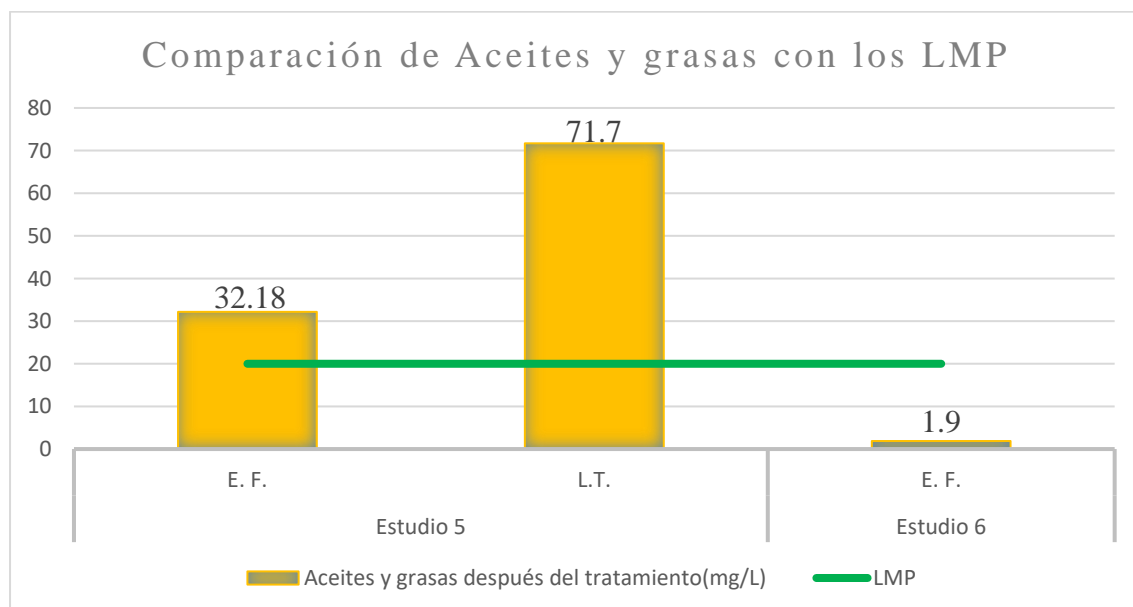


Figura 15. Comparación de Aceites y Grasas con los LMP.

En la figura 15 se observa la comparación de aceites y grasas con los LMP, donde el estudio 5 que sobrepasa lo LMP, esto disminuye el oxígeno disuelto y absorbe la radiación, afectando la fotosíntesis y la producción de oxígeno.

En seguida, comparamos con el parámetro de pH en los diferentes estudios revisados con los Límites Máximos Permisibles para vertidos a cuerpos de agua para determinar si cumple o no con estos instrumentos.

Tabla 11

Comparación de pH con los VMA.

Estudios	Especie	pH después del tratamiento	VMA	Cumple
Estudio 2	E. F.	4.4	6 - 9	NO
Estudio 3	E. F.	7.4	6 - 9	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los valores máximos admisibles con el pH en el que no cumple en 1 estudio de los 2 evaluados, el valor que cumple con la normativa se debe a que las aguas residuales contienen un pH parcialmente neutro, es decir no son aguas ácidas, ni alcalinas. En el estudio que no cumple con los valores permitidos se debe a que los sistemas de lombrifiltro no están diseñados para tratar el pH.

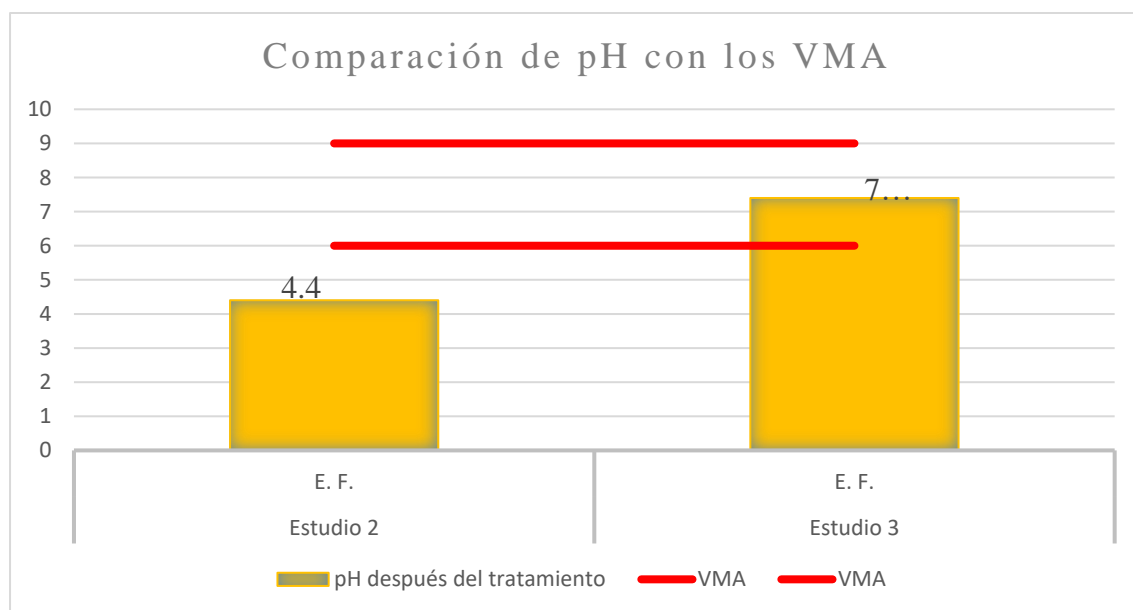


Figura 16. Comparación de pH con los VMA.

En la figura 16 se observa la comparación de pH con los Valores Máximos Admisibles en donde el estudio 2 se encuentra por debajo de los valores máximos admisibles con 4.4 siendo un agua de tipo ácida y el estudio 3 cumple con el valor permitido en los VMA.

Tabla 12

Comparación de pH con los LMP.

Estudios	Especie	pH después del tratamiento	LMP	Cumple
Estudio 4	E. F.	6.7	6.5-8.5	SI
	L.T.	6.68	6.5-8.5	SI
Estudio 5	E. F.	7.13	6.5-8.5	SI
	L.T.	6.68	6.5-8.5	SI
Estudio 7	E. F.	7.5	6.5-8.5	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los límites máximos permitidos con el pH en el que no cumple en 1 estudio de los 2 evaluados, el valor que cumple con la normativa se debe a que las aguas residuales contienen un pH parcialmente neutro, es decir no son aguas ácidas, ni alcalinas.

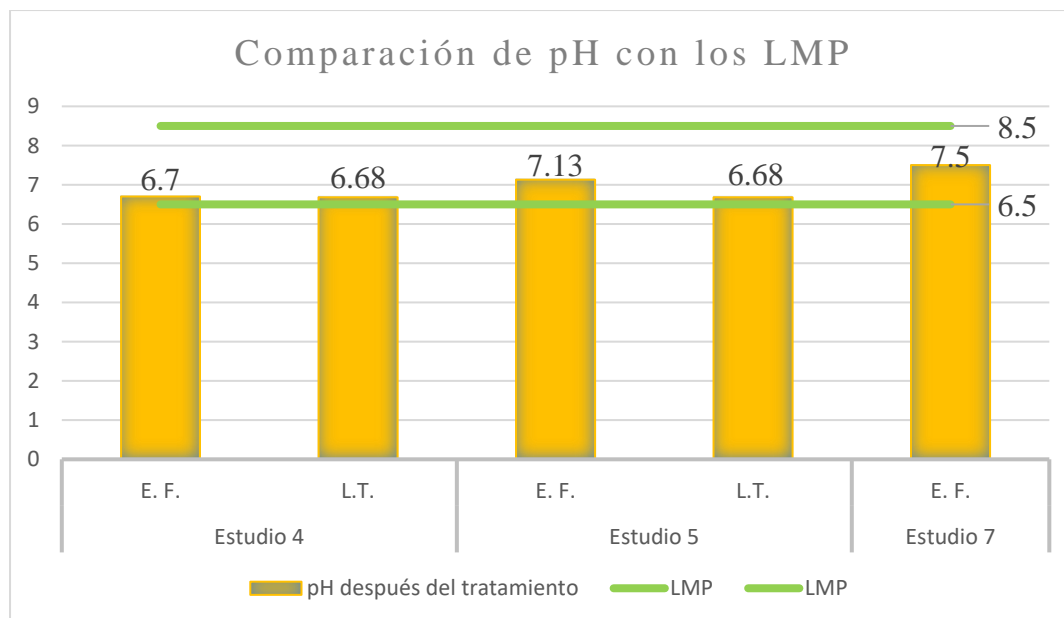


Figura 17. Comparación de pH con los LMP.

En la figura 17 se observa la comparación de pH con los Límites Máximos Permitidos, el cual demuestra que en el estudio 4; 5 y 7 se cumple con la normativa ya que sus valores se encuentran dentro del rango indicado por los LMP.

Finalmente se comparó con el parámetro de Sólidos Totales en Suspensión (mg/L) en los diferentes estudios revisados con los Valores Máximos Admisibles para descarga al alcantarillado y los Límites Máximos Permisibles para vertidos a cuerpos de agua para determinar si cumple o no con estos instrumentos.

Tabla 13

Comparación de Sólidos Totales en suspensión con los VMA.

Estudios	Especie	Sólidos totales en suspensión después del tratamiento(mg/L)	VMA	Cumple
Estudio 2	E. F.	30	500	SI
Estudio 3	E. F.	139	500	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los valores máximos admisibles con los sólidos totales en suspensión en el cual los 2 estudios cumplen con la normativa, esto se debe a que los sistemas biológicos de tratamiento utilizados para agua residual son eficientes en la remoción de este parámetro.

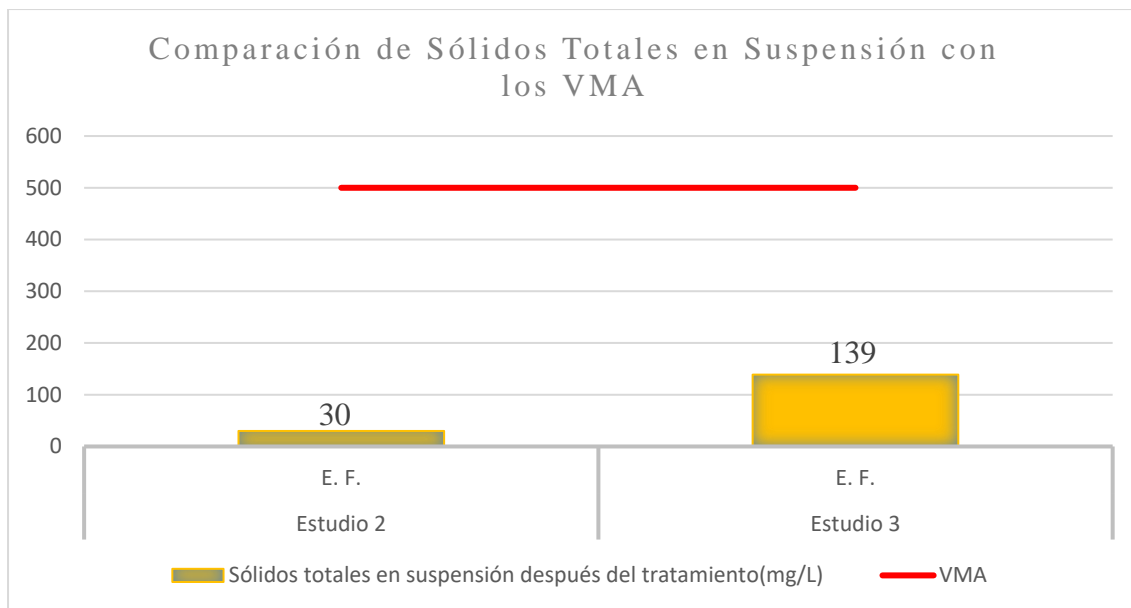


Figura 18. Comparación de Sólidos Totales en Suspensión con los VMA.

En la figura 18 se observa la comparación de sólidos totales en suspensión con los valores máximos admisibles, en donde todos los estudios cumplen con los estándares permitidos, esto indica que el tratamiento reduce significativamente los sólidos en suspensión.

Tabla 14

Comparación de Sólidos Totales en suspensión con los LMP.

Estudios	Especie	Sólidos totales en suspensión después del tratamiento (mg/L)	LMP	Cumple
Estudio 5	E. F.	0.03	150	SI
	L.T.	0.01	150	SI
Estudio 6	E. F.	1	150	SI
Estudio 7	E. F.	10	150	SI

Nota. La tabla nos muestra la comparación de los límites máximos permitidos con los sólidos totales en suspensión en el cual los 3 estudios cumplen con la normativa, esto se debe a que los sistemas biológicos de tratamiento utilizados son eficientes.

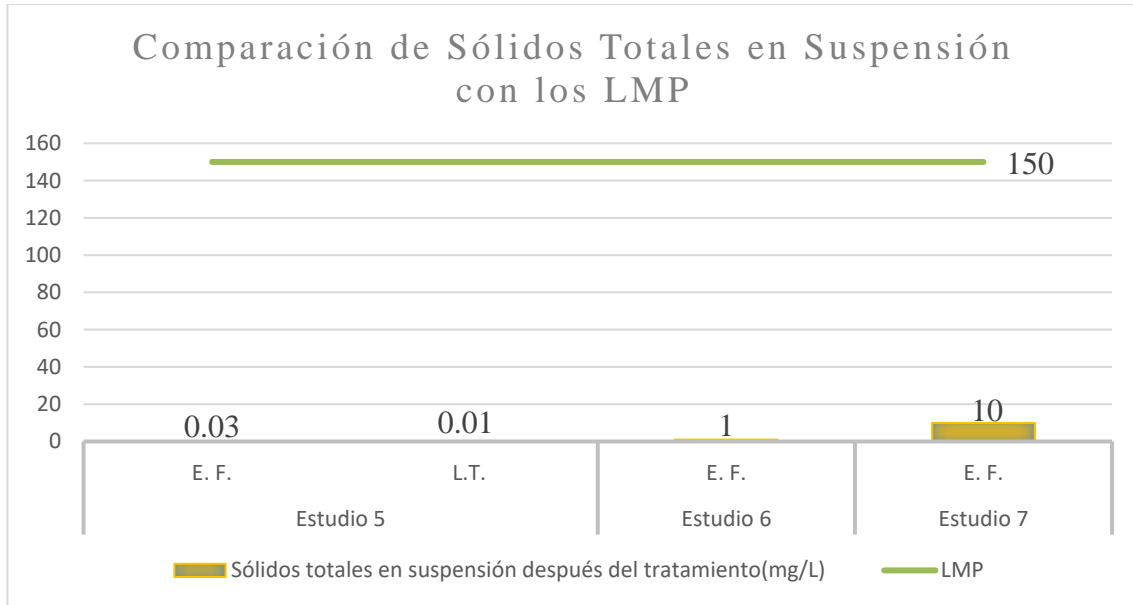


Figura 19. Comparación de Sólidos Totales en Suspensión con los LMP.

En la figura 19 se observa la comparación de sólidos totales en suspensión con los límites máximos permitidos, en donde el estudio 5; 6 y 7 cumplen con los estándares permitidos respecto a la normativa con la que se comparó.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Al realizar el análisis de las investigaciones con los parámetros de interés con la especie *Eisenia fetida* y en dos investigaciones con la especie *Lumbricus terrestris* más la especie mencionada, con esta información se llevó a cabo los resultados respectivos en donde se consideraron los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, Sólidos Totales en Suspensión, pH, Coliformes Termotolerantes y Aceites y grasas; se hizo una tabla de los 7 estudios en general, con esta tabla N°3 (eficiencia del sistema de lombrifiltro), se determina la eficiencia promedio: en el estudio 6 se tiene un 96.4%, el estudio 5 con la especie *Eisenia fetida* se tiene un 96.2 % , el estudio 1 tiene 91.6%, en el caso del estudio 5 se obtuvo 91.1% con la especie *Lumbricus terrestris*, en el estudio 4 con la especie *Eisenia fetida* se tiene un 86.9%, en el estudio 4 con la especie *Lumbricus terrestris* existe un 84.9%, en el estudio 7 se obtuvo 89.93%, en el estudio 3 se tiene un 75.9%, y por último en el estudio 2 se obtuvo un 71.8%. Por lo expuesto se puede decir que el sistema de lombrifiltro sirve para el tratamiento de agua residual tanto doméstica como industrial.

En el lombrifiltro propuesto por Caicedo (2017), se utiliza la especie *Eisenia fetida* y *Agave filifera*. Los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia en la disminución de Coliformes fecales 94,6%, Demanda Bioquímica de Oxígeno se ha determinado una eficiencia del 87.9% y Demanda Química de Oxígeno 92.2%. Con la comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles se comprueba que el sistema de lombrifiltro es ventajoso en cuanto a la remoción de Coliformes Termotolerantes, Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, existe una eficiencia considerable ya que no excede con los valores de los LMP. Por esto, se debe aplicar el sistema de lombrifiltro con las especies mencionadas para el tratamiento de aguas

residuales domésticas, con menor costo, mayor eficiencia; y mejor cuidado de los ecosistemas aledaños al vertimiento de estas.

En el estudio realizado por Manrique y Castañeda (2016), se obtuvieron los siguientes porcentajes de remoción después de 21 días de la experimentación en Demanda Química de Oxígeno se obtuvo 79.6% de remoción, 64% en Demanda Bioquímica de Oxígeno y 79.6% en pH, lo cual se esperaba más remoción en la materia orgánica. En comparación con los Valores Máximos Admisibles nos arroja que cumple con lo permitido, el parámetro pH se encuentran dentro de los valores permitidos. Con esto se verifica que con un buen uso y manejo del lombrifiltro se obtendría mayor eficiencia.

En el estudio de Quille (2019) se evalúa los parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), donde el residuo lácteo obtuvo 55530mg/L de DQO y los efluentes de los métodos aplicados midieron lo siguiente; microorganismos eficaces (DQO = 25200mg/L), del lombrifiltro (DQO = 12000mg/L) y de la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro (DQO = 13600 mg/L), siendo los efluentes con mayor porcentaje de remoción de DQO, los métodos de aplicación del lombrifiltro (78.39%) y la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro (75.51%), seguido por la aplicación de microorganismos eficaces (54.62%). En comparación con los Valores Máximos Admisibles los parámetros DBO₅ y DQO excede con los rangos permisibles por posibles errores de los autores, clima, falta de información, tiempo; y los demás parámetros se encuentran dentro de los valores permitidos.

En la investigación realizado por Saboya (2018), se propone un lombrifiltro que tiene como resultados que la especie *Eisenia fetida* redujo en un 91.5% la DBO₅, 85.6% DQO, 92.5% pH y 83.7% en Coliformes termotolerantes a diferencia de la especie *Lumbricus*

terrestris que obtuvo una reducción del 90.6% en la DBO₅, 83.7% DQO, 92.8% pH y 80.5% en Coliformes termotolerantes. En contraste con los LMP cumple con los valores permitidos con las dos especies usadas para el tratamiento de agua residual, de este efluente. En esta investigación se tiene que hay más remoción de contaminantes con la especie *Eisenia fetida* con un 86.9% a comparación de la *Lumbricus terrestris* el que obtuvo un 84.9%.

En el estudio de Acuña y Reyes (2015), se plantea un lombrifiltro que tuvo como resultado que la especie *Eisenia fetida* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 96.2%, mientras que *Lumbricus terrestris* obtuvo un promedio de remoción del 91.1%. Por lo que podemos expresar que el sistema de lombrifiltro es eficiente para el tratamiento de aguas residuales empleando la especie *Eisenia fetida*, en donde se obtuvo un porcentaje de remoción en DBO₅ de 97.1%, DQO de 97.3%, Coliformes termotolerantes 94.1%, pH 28.1%, sólidos totales suspendidos 50.8% y aceites y grasas 56.6%, en contraste con la especie *Lumbricus terrestris* que tiene un menor porcentaje de remoción en cuanto a en DBO₅ de 91.9%, DQO de 92.7%, Coliformes termotolerantes 88.6%, pH 4.68%, sólidos totales suspendidos 11.9% y aceites y grasas 3.3%. En comparación con los LMP se encuentran bajo los valores permitidos. Por lo expuesto se recomienda utilizar la especie *Eisenia fetida* para el tratamiento de aguas residuales domésticas, puesto que tiene mayor eficiencia en cuanto a remoción de los contaminantes estudiados.

En la investigación de Chávez (2017), se presenta un lombrifiltro que tiene una reducción en DBO₅ del 95.3%, DQO 95.2%, sólidos totales suspendidos 96% y aceites y grasas 98.9%. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el sistema de lombrifiltros es eficaz, ya que tiene buenos porcentajes de remoción de los parámetros

medidos en comparación con los VMA, este tipo de tratamiento debería ser utilizado para el tratamiento de agua residual industriales ya que muestra una eficiencia de 96.4%, además, de ser un sistema de bajo costo.

En el estudio de Gamarra (2021), se propone un lombrifiltro que obtuvo como resultado final una remoción de 97.6% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), de Demanda Química de Oxígeno (DQO) 79.9%, Sólidos Suspendidos Totales (SST) 95.5% y el pH en 86.7%, ya que inicialmente se tuvo un pH ácido de 6,58 y después del tratamiento se obtuvo agua residual con pH neutro de 7,51. En este estudio el porcentaje de remoción y eliminación de contaminantes es eficiente con relación a los LMP.

Según nuestros resultados, la eficiencia del lombrifiltro en los estudios 1; 4; 5 y 7 es de 86.9% para aguas residuales domésticas vertidas en cuerpos receptores; en cambio, en las investigaciones 2; 3 y 6 referentes a aguas residuales industriales se tienen un 81.4%, esto quiere decir que el sistema de lombrifiltro es más eficiente para aguas residuales domésticas; sin embargo, no deja de ser útil para la remoción de contaminantes de aguas residuales industriales.

Las especies *Eisenia fetida* y *Lumbricus terrestris* son las más usadas en los sistemas de tratamiento de agua residual con lombrices por su eficiencia; después de realizar la revisión documentaria de las investigaciones y sus respectivos resultados nos arrojan que la especie más eficiente en la eliminación de contaminantes presentes en estas aguas es la *Eisenia fetida*, esto se debe a sus características genéticas. Pero, si se utilizan las dos especies en una sola capa del lombrifiltro, existe una remoción significativa a cuando están separadas.

4.2. Conclusiones

Después de la revisión bibliográfica y su respectivo análisis se llegó a las siguientes conclusiones:

Se demostró la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de lombrifiltro respecto a los 7 estudios revisados, el cual nos arrojó un promedio de 87.2% de eficiencia, en donde el estudio 6 obtuvo la mayor eficiencia con un 96.4%, el estudio 5 un 93.6%, el estudio 1 un 91.6%, el estudio 7 un 89.9%, el estudio 4 un 85.9%, , el estudio 3 un 75.9% y la menor eficiencia fue en el estudio 2 con un 71.8%.

Se identificó el porcentaje de remoción de los contaminantes DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas presentes en las aguas residuales, en donde se obtuvo los siguientes porcentajes: Coliformes Termotolerantes 88.3%, DBO₅ 88%, DQO 86.9%, STS 69.9%, pH 64.5%, aceites y grasas 43.7%.

Se compararon los parámetros DBO₅, DQO, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas con los Valores Máximos Permisibles establecidos según el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para vertimientos al alcantarillado con los estudios 2; 3 y 6 que corresponden a aguas residuales industriales. Donde, en su mayoría cumplen con la normativa, excepto el estudio 3 en los parámetros DBO y DQO y en el estudio 2 el parámetro pH.

Se verificó que los parámetros DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM en los estudios 1; 4; 5 y 7; a excepción del estudio 5 en los parámetros coliformes termotolerantes y aceites y grasas.

REFERENCIAS

- Acuña Marrufo, J. E. y Reyes Sánchez, J. J. (2015). *Eficiencia de Lumbricus terrestris Y Eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015*. (Título Profesional). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú.
- Beltrán G., Óscar A. (2005). Revisiones sistemáticas de la literatura. Revista Scielo. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcg/v20n1/v20n1a09.pdf>
- Caicedo Campoverde, J. A. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del ministerio de agricultura, ganadería, acuacultura y pesca, Riobamba 2015*. (Título Profesional). Escuela de Ciencias Químicas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Chávez Horna, G. E. (2018). *Estudio de tratabilidad biológica de aguas residuales domésticas en biorreactores aerobios a escala piloto en el distrito de Celendín*. (Maestro en ciencias). Escuela de Posgrado. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Chávez Rodrigo, J. C. (2017). *Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín*. (Título Profesional). Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Díaz Cuenca, Elizabeth; Alavarado Granados, Alejandro Rafael y Camacho Calzada, Karina Elizabeth (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera. Revista de Estudios Territoriales. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894005>

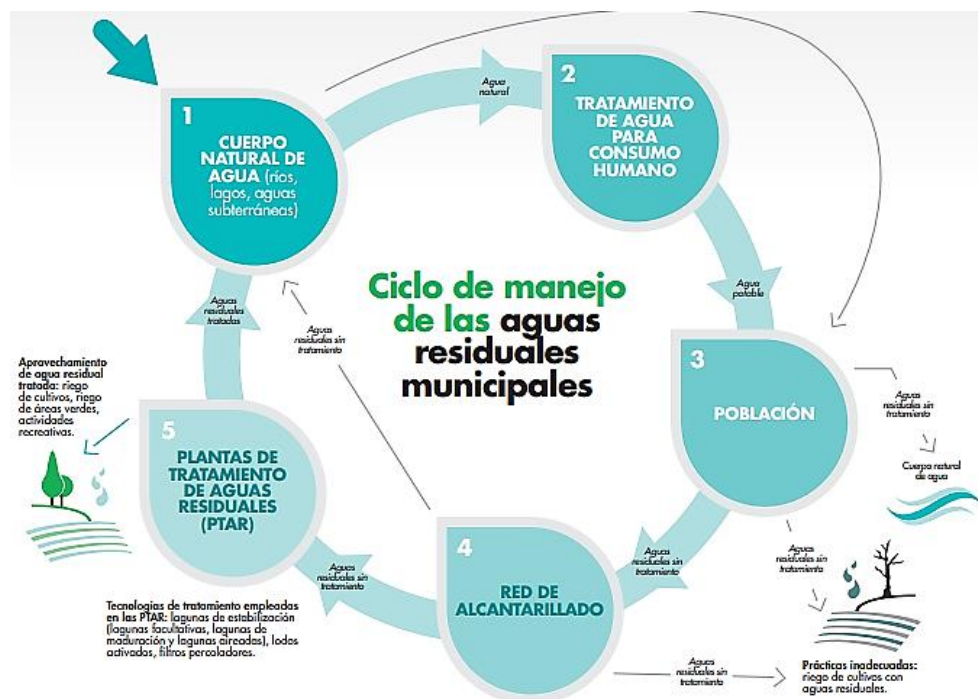
- Domínguez, J.; Aira, M. y Gómez, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Revista Ecosistemas*. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/61>
- Durán, L., y Heríquez, C. (2009). *Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (Eisenia foetida) en cinco sustratos orgánicos*. Costa Rica: Ministerio de Agronomía. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3196375.pdf>
- El Peruano (2019). Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Recuperado de: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- Fernández P., Raúl (2011), *Sistema de aguas residuales a través de "Sistema Tohá"*. Recuperado de: www.sistematoha.cl
- Flores Landeta, F. E. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra*. (Título Profesional). Escuela de Ciencias Agrícolas Y Ambientales. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Ecuador.
- Gamarra Silva, Baneza (2021). Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. (Título Profesional). Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Continental, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (Sexta edición). México: McGRAW-HILL.

- Manrique Delgado, E. P., & Castañeda Piñeros, J. (2016). *Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (Eisenia foetida) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio*. (Título Profesional). Facultad de Ingenierías. Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia.
- Menéndez Valderrey, J. L. (2018). *Lumbricus terrestris Linnaeus, 1758. Asturnatura*. Recuperado de: <https://www.asturnatura.com/especie/lumbricus-terrestris.html>
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- PLANEFA. (2019). Plan anual de evaluación y fiscalización ambiental de la autoridad nacional del agua. Recuperado de: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3414/ANA0002166.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quille Quille, L. (2019). *Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La bodeguilla – Valle de Moquegua”*. (Maestro en ciencias). Escuela de Posgrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ramallo, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. (Segunda edición). España: Reverté
- Rivas Ortigosa, C. (2019). Anatomía y fisiología de la lombriz roja. Recuperado de: <http://www.compostadores.com/eng/discover-composting/biodiversity-in-my-composter/296-anatomy-and-physiology-of-the-red-worm.html>
- Rodríguez, A., & Pérez, A. O. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n82/0120-8160-ean-82-00179.pdf>

- Saboya Rios, X. V. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas- Amazonas*. (Tesis de Licenciatura). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Peruana Unión, Lima.
- Salazar Miranda, P. I. (2005). *Sistema Tohá; Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. (Título Profesional). Escuela de Construcción Civil. Universidad Austral De Chile, Chile.
- Salazar, R. (22 de Septiembre de 2010). *Sistema digestivo en lombriz de tierra*. En Blog: Nutrición de animales. Recuperada de: <http://nutrianimales.blogspot.com/2010/10/sistema-digestivo-en-lombriz-de-tierra.html>
- SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Recuperado de: <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- UNESCO. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Recuperado de: <https://es.unesco.org/water-security/wwap/wwdr>
- UNESCO. (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)

ANEXOS

Anexo N° 1: Manejo de aguas residuales. OEFA 2014



Anexo N° 2: Límites Máximos Permisibles

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100	10,000
	mg/L	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. La tabla nos muestra los límites máximos permisibles para efluentes vertidos a cuerpos de agua.

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Anexo N° 3: Valores Máximos Admisibles para descargas de aguas residuales no domésticas

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno			
(DBO)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno			
(DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales			
(S.S.T)	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas (Ay G)	mg/L	A y G	100

Nota. La tabla nos muestra los valores máximos admisibles para descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado. Fuente: El Peruano, 2019.

Anexo N° 4: Valores Máximos Admisibles para descargas de aguas residuales no domésticas

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
Aluminio	mg/l	Al	10
Arsénico	mg/l	As	0.5
Boro	mg/l	B	4
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN-	1
Cobre	mg/l	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/l	Cr+6	0.5
Cromo total	mg/l	Cr	10
Manganeso	mg/l	Mn	4
Mercurio	mg/l	Hg	0.02
Níquel	mg/l	Ni	4
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Sulfatos	mg/l	SO4-2	1000
Sulfuros	mg/l	S-2	5
Zinc	mg/l	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	NH+4	80
Potencial Hidrógeno	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/l/h	S.S.	8.5
Temperatura	°C	T	<35

Nota. La tabla nos muestra los valores máximos admisibles para descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado. Fuente: El Peruano, 2019.

Anexo N° 5: Ficha de registro de datos N° 1

Título: **Diseño, Construcción y Evaluación de un Prototipo Biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales en la Granja del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura Y Pesca, Riobamba 2015.**

Autor: Caicedo Campoverde, Jenniffer Alexandra

Ciudad/País Ecuador

Año: 2017

Resumen: En esta investigación el objeto principal fue diseñar, construir y evaluar un prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales, los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia en la disminución de Coliformes fecales 94,4%, Demanda Bioquímica de Oxígeno se ha determinado una eficiencia del 87.7% y Demanda Química de Oxígeno 92.2%. Por lo expuesto se concluye que, el filtro biológico tiene una eficiencia alta en el tratamiento de aguas residuales.

Parámetros a utilizar: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Termotolerantes.

Codificación: 1

Anexo N° 6: Ficha de registro de datos N° 2

Título: **Evaluación del Sistema de Depuración Biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia fetida*) En Aguas Residuales Procedentes de Industrias Lácteas a nivel laboratorio.**

Autores: Manrique Delgado, Erika Paola; Castañeda Piñeros, Jeniffer

Ciudad/País Bogotá/Colombia

Año: 2016

Resumen: La investigación tuvo como finalidad Evaluar el sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra en aguas residuales de industrias lácteas, los resultados obtenidos del experimento fueron: DQO con un 79.56% de reducción en el lombrifiltro y de 55.18% en el geofiltro, el DBO no tuvo reducción respecto a la muestra sin tratar, el pH alcanzo un valor de 4.56, fue realizado un dimensionamiento a escala real del lombrifiltro. Por lo tanto, fue evaluada la factibilidad del uso de un sistema de depuración biológica

Parámetros a utilizar: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH.

Codificación: 2

Anexo N° 7: Ficha de registro de datos N° 3

Título: Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera la Bodeguilla – Valle de Moquegua- Puno.

Autor: Quille Quille, Lenin

Ciudad/País Puno/Perú

Año: 2019

Resumen: El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces y el lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de una planta quesera, los resultados obtenidos fueron: Demanda Química de Oxígeno (DQO), donde el residuo lácteo obtuvo 55530 mg/L de DQO y los efluentes de los métodos aplicados midieron lo siguiente; microorganismos eficaces (DQO = 25200 mg/L), del lombrifiltro (DQO = 12000 mg/L) y de la aplicación combinada de microorganismos eficaces con el lombrifiltro (DQO = 13600 mg/L). Se verificó que los efluentes son influidos por la aplicación de los microorganismos eficaces y el lombrifiltro logrando estar dentro de los límites máximos permisibles.

Parámetros a utilizar: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, Sólidos Totales en Suspensión, Aceites y grasas.

Codificación: 3

Anexo N° 8: Ficha de registro de datos N° 4

Título:	Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas
Autor:	Saboya Ríos, Xiomi Vasni
Ciudad/País	Chachapoyas - Amazonas
Año:	2018
Resumen:	<p>La finalidad de este estudio fue determinar la eficiencia de la lombriz de tierra y la lombriz roja californiana en el tratamiento de las aguas residuales. En este estudio se hizo el análisis de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Obteniendo los resultados que la especie <i>Eisenia fetida</i> redujo en un 92% la DBO₅, 86% DQO, 78% NT, 84.4% turbidez, 93% pH y 84% en coliformes totales a diferencia de la especie <i>Lumbricus terrestris</i> que obtuvo una reducción del 91% en la DBO₅, 84% DQO, 77% NT, 83% turbidez, 93% pH y 80% en coliformes totales. En conclusión, que la especie <i>Eisenia fetida</i> es más eficiente en la remoción de los contaminantes del agua residual doméstica con un promedio de 87% en comparación con la especie <i>Lumbricus terrestris</i> que logró un 85% por ende el tratamiento con ambas especies.</p>
Parámetros a utilizar:	Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Termotolerantes, pH.
Codificación:	4

Anexo N° 9: Ficha de registro de datos N° 5

Título: *Eficiencia de Lumbricus terrestris y Eisenia fetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015*

Autor: Acuña Marrufo, José Edgardo; Reyes Sánchez, Jean Jhonatan

Ciudad/País Bagua - Amazonas

Año: 2015

Resumen: La investigación tuvo como objetivo Evaluar la eficiencia de la *Lumbricus terrestris* y *Eisenia fetida* en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales, se inocularon al sistema de biofiltro conformado por dos estanques con capas inertes, organismos vivos y estanque de almacenamiento, el cual tuvo como resultados se obtuvo que la especie *Eisenia fetida* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 73% mientras que *Lumbricus terrestris* obtuvo un promedio de remoción del 63%.

Parámetros a utilizar: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Termotolerantes, pH, Sólidos Totales en Suspensión, Aceites y grasas.

Codificación: 5

Anexo N° 10: Ficha de registro de datos N° 6

Título: Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín”

Autor: Chávez Rodrigo, Julio César

Ciudad/País Celendín - Cajamarca

Año: 2017

Resumen: En el presente trabajo se ha realizado el tratamiento del efluente de una industria láctea en la ciudad de Celendín para lo cual se ha construido un biofiltro tipo Tohá de un metro cúbico de capacidad. Obteniéndose una reducción en DQO del 92%, el cual es el parámetro principal de la investigación, pero también, se ha hecho el análisis de la DBO del cual se ha obtenido una reducción del 94%, aceites y grasas 96%, de sólidos sedimentables 96% y el oxígeno disuelto se incrementó en un 59%; esto nos indica las bondades del tratamiento con el biofiltro, para este tipo de industria, que también podría aplicarse a otro tipo de aguas residuales

Parámetros a utilizar: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales en Suspensión, Aceites y Grasas.

Codificación: 6

Anexo N° 11: Ficha de registro de datos N° 7

Título: Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga

Autor: Gamarra Silva, Baneza

Ciudad/País Huancayo - Perú

Año: 2021

Resumen: La finalidad fue determinar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. Obteniéndose como resultado una remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) para los 3 tratamientos; 86,5%, 82,57% y 79,95% de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente; 95,3%, 96,1% y 95,5% de Sólidos Suspendidos Totales (SST) para tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente y el pH en los 3 sistemas de tratamiento tienden a estabilizarse, ya que inicialmente se tuvo un pH ácido de 6,58 y después del tratamiento se obtuvo agua residual con pH neutro de 7,51.

Parámetros a utilizar: Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales en Suspensión, pH.

Codificación: 7

Tabla 15. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Justificación	Variables	Indicadores	Metodología
<p>General: ¿Cuál es la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de Lombrifiltro?</p>	<p>General: - Demostrar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con el sistema de lombrifiltro.</p> <p>Específicos: - Identificar el porcentaje de remoción de los contaminantes DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas presentes en las aguas residuales.</p> <p>- Comparar los parámetros DBO₅, DQO, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas con los Valores Máximos Permisibles establecidos según el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.</p> <p>- Verificar si los parámetros DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales en suspensión, aceites y grasas cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM.</p>	<p>La preocupación a nivel mundial es la contaminación de cualquier ámbito, en este caso el agua residual contiene sustancias orgánicas que resultan de la transformación de la materia prima a un producto final, por lo que se busca reducir los contaminantes, aplicando el sistema de lombrifiltro.</p>	<p>Dependiente (Y): Se toma como variable dependiente el Agua residual.</p> <p>Independiente (X): Se toma como variable independiente al sistema de lombrifiltro.</p>	<p>- DBO₅ - DQO - Aceites y grasas en suspensión - pH - Coliformes Termotolerantes</p>	<p>La presente investigación es una revisión sistemática, ya que se basará en el estudio del tratamiento de aguas residuales utilizando el sistema de lombrifiltro con criterios teóricos.</p> <p>Tipo de estudio: Revisión Sistemática</p> <p>Población: 30 estudios sobre el tratamiento de agua residual.</p> <p>Muestra: 7 estudios sobre el sistema de lombrifiltro para el tratamiento de agua residual doméstica e industrial.</p> <p>Instrumentos Ficha de registro de datos</p>

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS O TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El Asesor Sara Esther García Alva, docente de la Facultad de Ingeniería, de la carrera de Ingeniería Ambiental; ha realizado el seguimiento del proceso de formulación, desarrollo, revisión y verificación en programa de anti plagio de la Tesis () o Trabajo de Suficiencia Profesional () de:

Huamán Díaz, María del Pilar

(Nombre completo del bachiller)

Misme Tasilla, Karla Camila

(Nombre completo del bachiller)

Por cuanto, **CONSIDERA** que la Tesis () o el Trabajo de Suficiencia Profesional () titulado: ESTUDIO DE SISTEMAS DE LOMBRIFILTRO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, para aspirar al Título Profesional de: Ingeniero Ambiental por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas; por lo cual, **AUTORIZA**, al o los interesados para su presentación.

Con respecto al uso de la información de la empresa; el Asesor declara, según los criterios definidos por la universidad, lo siguiente:

() Este trabajo Requiere la autorización de uso de información la empresa.

() Este trabajo No requiere autorización de uso de información.

Cajamarca, de del 2021

(Lugar) (día) (mes) (año)

M. SC. Sara Esther García Alva

(Nombre completo del Asesor)

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN

El Jurado Evaluador de Titulación Profesional de la Tesis () Trabajo de Suficiencia Profesional (), titulada:
ESTUDIO DE SISTEMAS DE LOMBRIFILTRO EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Que ha sustentado el (la) Bachiller:

.....

Acuerda por:

(Unanimidad/Mayoría); (Aprobar/desaprobar)

Otorgando la calificación de.....

Este acuerdo se hizo de conocimiento del interesado (a) y del público presente.

Presidente(a) del Jurado	Nombre y Apellidos	Firma

Miembro del Jurado	Nombre y Apellidos	Firma

Miembro del Jurado	Nombre y Apellidos	Firma

....., de.....del 20.....

Aprobado

Calificativo:

() Excelente

() Sobresaliente

() Bueno

() Aprobado

Desaprobado

Observaciones en el caso de desaprobación