



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

EFICIENCIA DE TRES SISTEMAS POR VERMIFILTRACIÓN PARA LA
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Navidad Carrascal, Eder Richard

Asesora:

Vega Ventosilla, Violeta

ORCID: 0000-0002-7763-6993

Jurado:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

Alva Velasquez, Miguel

Paricoto Simon, Maria Mercedes

Lima - Perú

2024



“EFICIENCIA DE TRES SISTEMAS POR VERMIFILTRACIÓN PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS”

INFORME DE ORIGINALIDAD

30%

INDICE DE SIMILITUD

29%

FUENTES DE INTERNET

12%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	3%
4	repositorio.cientifica.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
7	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
8	1library.co Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
EFICIENCIA DE TRES SISTEMAS POR VERMIFILTRACIÓN PARA LA REMOCIÓN
DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales, Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Navidad Carrascal, Eder Richard

Asesora:

Vega Ventosilla, Violeta

ORCID: 0000-0002-7763-6993

Jurado:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

Alva Velasquez, Miguel

Paricoto Simon, Maria Mercedes

Lima – Perú

2024

Dedicatoria

A Dios, quien, en su infinito amor me da sabiduría y fuerzas para superarme y no darme por vencido en cada proyecto.

A mi Familia, porque siempre han estado a mi lado inculcándome valores y comportamientos idóneos, pero en especial a mis padres, Gilbertina y Frolian, quienes son mi ejemplo de lucha y superación constante.

A mi amado Pueblo Huancapón, por ser mi inspiración en mis proyectos de investigación.

Agradecimiento

A mis docentes, quienes me impartieron en la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV) sus enseñanzas, experiencias profesionales y motivaciones para lograr ser un líder. En especial al Dr. Ahuber Omar Vásquez Aranda por su asesoría y motivación para la realización de la tesis y al Dr. Alfonso Valverde Torres por su consejo en la etapa más difícil de mi vida universitaria.

ÍNDICE

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1.1 Descripción del Problema.....	13
1.1.2 Formulación del Problema.....	14
1.2 ANTECEDENTES	15
1.2.1 Antecedentes Internacionales.....	15
1.2.2 Antecedentes Nacionales	17
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 JUSTIFICACIÓN	21
1.5 HIPÓTESIS	22
1.5.1 Hipótesis General.....	22
1.5.2 Hipótesis Específicas	22
II. MARCO TEÓRICO	23
2.1 BASES TEÓRICAS	23
2.1.1 Aguas Residuales	23
2.1.2 Características del Agua Residual Doméstica	23
2.1.3 Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales.....	29

2.1.4 Tratamiento de Aguas con Vermifiltración	30
2.1.5 Componentes del Sistema de Vermifiltro	30
2.1.6 Procesos de Remoción del Vermifiltro	32
2.1.7 Características de los parámetros para el diseño del Vermifiltro	34
2.1.8 Parámetros de Diseño del Vermifiltro	35
2.1.9 Eisenia foétida o Lombriz Roja Californiana	35
2.1.10 Ciclo de Vida y Hábitat de la Lombriz Roja.....	36
2.1.11 Condiciones de Vida de la Lombriz Roja	36
2.1.12 Características Generales de la Lombriz Roja	37
2.1.13 Eficiencia del Tratamiento	38
2.1.14 Remoción de la Materia Orgánica	39
2.1.15 Marco Conceptual	40
2.1.16 Marco Legal Ambiental	41
III. MÉTODO	44
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.2 ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL	44
3.2.1 Ámbito Temporal.....	44
3.2.2 Ámbito Espacial.....	44
3.3 VARIABLES	45
3.3.1 Variable Independiente	45
3.3.2 Variable Dependiente.....	45

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.4.1 Población.....	47
3.4.2 Muestra	47
3.5 INSTRUMENTOS	47
3.5.1 Técnicas	47
3.5.2 Instrumentos.....	47
3.5.3 Equipos	47
3.6 PROCEDIMIENTOS.....	48
3.6.1 Toma de Muestras.....	48
3.6.2 Caracterización del Agua Residual y Acondicionamiento del Biofiltro.	48
3.6.3 Determinación de Parámetros Fisicoquímicos.....	49
3.6.4 Determinación de las Eficiencias.....	50
3.7 ANÁLISIS DE DATOS	50
IV. RESULTADOS	51
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	51
4.2 NIVELES DE REMOCIÓN DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	52
4.2.1 Indicadores Fisicoquímicos en el proceso de remoción de materia orgánica.....	54
4.3 EFICIENCIAS ALCANZADAS POR CADA SISTEMA DE TRATAMIENTO	64
4.3.1 Turbiedad	65
4.3.2 Sólidos Suspendidos Totales.....	65

4.3.3 Aceites y Grasa	66
4.3.4 Demanda Química de Oxígeno	66
4.3.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno	67
4.3.6 Nitrógeno Total	68
4.3.7 Fosforo Total	68
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	69
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
VI. CONCLUSIONES.....	76
VII. RECOMENDACIONES	77
VIII. REFERENCIAS	78
IX. ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales bacterias patógenas en Aguas Residuales	28
Tabla 2 Clasificación Taxonómica de la Lombriz Roja	37
Tabla 3 Operacionalización de la Variables de Investigación	46
Tabla 4 Resultados iniciales de la caracterización del agua residual doméstica	51
Tabla 5 Resultados fisicoquímicos para 7 días de tratamiento	52
Tabla 6 Resultados fisicoquímicos para 14 días de tratamiento	53
Tabla 7 Resultados fisicoquímicos para 21 días de tratamiento	53
Tabla 8 Eficiencias alcanzadas para Sólidos Suspendidos Totales	65
Tabla 9 Eficiencias alcanzadas para Aceites y Grasa	66
Tabla 10 Eficiencias alcanzadas para la Demanda Química de Oxígeno	67
Tabla 11 Eficiencias alcanzadas para la Demanda Bioquímica de Oxígeno	67
Tabla 12 Eficiencias alcanzadas para Nitrógeno Total.....	68
Tabla 13 Eficiencias alcanzadas para Fosforo Total.....	68
Tabla 14 Agrupación de datos para prueba ANOVA de un solo factor	69
Tabla 15 Contrastación de Hipótesis	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del Sistema Vermifiltro.....	31
Figura 2 Corte Esquemático de un Vermifiltro	32
Figura 3 Morfología de la Lombriz Roja.....	38
Figura 4 Resultados de Temperatura para los tres sistemas de tratamiento	54
Figura 5 Resultados de pH para los tres sistemas de tratamiento	55
Figura 6 Resultados de la Conductividad Eléctrica para los tres sistemas de tratamiento	56
Figura 7 Resultados de los Sólidos Totales Disueltos para los tres sistemas de tratamiento	57
Figura 8 Resultados de Turbiedad para los tres sistemas de tratamiento	58
Figura 9 Resultados de Sólidos Suspendedos Totales.....	59
Figura 10 Resultados de Aceites y Grasa	60
Figura 11 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno	61
Figura 12 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	62
Figura 13 Resultados de Nitrógeno Total.....	63
Figura 14 Resultados de Fósforo Total.....	64
Figura 15 Eficiencias alcanzadas para la Turbiedad.....	65
Figura 16 Resultados de prueba ANOVA aplicada a los tratamientos por vermifiltración. .	70
Figura 17 Gráfica de intervalos de efectividad del tratamiento por Vermifiltración.....	71
Figura 18 Eficiencia del tratamiento por Vermifiltración a los 21 días de aplicación	71

RESUMEN

Las aguas residuales domésticas presentan altas cargas de materia orgánica que pueden conllevar a la eutroficación de los ambientes acuáticos al ser vertidos sin un adecuado tratamiento, en tal sentido la presente investigación planteó como objetivo general remover la materia orgánica mediante sistemas por vermifiltración. El desarrollo metodológico se basó en la preparación y acondicionamiento de tres sistemas de tratamiento para 7, 14 y 21 días de trabajo, M1 se elaboró con 10% de lombrices más lecho orgánico, 60% de aserrín, 20% de grava y 10% de arena, M2 con 20% de lombrices más lecho orgánico, 50% de aserrín, 20% de grava y 10% de arena, M3 con 30% de lombrices más lecho orgánico, 40% de aserrín, 20% de grava y 10% de arena. Para evaluar los resultados iniciales y finales se utilizaron indicadores de presencia de materia orgánica como la DBO y DQO principalmente, complementados con SST, Aceites y Grasa, Turbiedad, Nitrógeno Total y Fosforo Total, los cuales mostraron niveles de remoción máxima en el sistema M3 con 97.7% para DBO y DQO, 93% para SST, 88.5% para Aceites y Grasa, 87.6% para Nitrógeno Total y 92% para Fosforo Total. De los resultados concluimos que el sistema de tratamiento M3, resultó ser el más eficiente en la remoción de materia orgánica, llegando a cumplir los Límites Máximos Permisibles del DS N°-003-2010-MINAM. Sin embargo, es preciso indicar que los sistemas de tratamiento M1 y M2, también alcanzaron el cumplimiento de los LMP terminado el tiempo proyectado de 21 días.

Palabras clave: contaminación del agua, vermifiltración, aguas residuales.

ABSTRACT

Domestic wastewater has high loads of organic matter that can lead to the eutrophication of aquatic environments when discharged without adequate treatment. In this sense, the present research proposed the general objective of removing organic matter through vermifiltration systems. The methodological development was based on the preparation and conditioning of three treatment systems for 7, 14 and 21 days of work, M1 was made with 10% worms plus organic bedding, 60% sawdust, 20% gravel and 10% sand, M2 with 20% worms plus organic bedding, 50% sawdust, 20% gravel and 10% sand, M3 with 30% worms plus organic bedding, 40% sawdust, 20% gravel and 10% sand. To evaluate the initial and final results, indicators of the presence of organic matter were used, such as BOD and COD mainly, complemented with TSS, Oils and Grease, Turbidity, Total Nitrogen and Total Phosphorus, which showed maximum removal levels in the M3 system with 97.7% for BOD and COD, 93% for TSS, 88.5% for Oils and Grease, 87.6% for Total Nitrogen and 92% for Total Phosphorus. From the results we conclude that the M3 treatment system turned out to be the most efficient in the removal of organic matter, meeting the Maximum Permissible Limits of DS N° 003-2010-MINAM. However, it is necessary to indicate that treatment systems M1 and M2 also achieved compliance with the LMP after the projected time of 21 days.

Keywords: water pollution, vermifiltration, wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

Las normas que regulan los sistemas de tratamientos secundarios están sustentadas en las tasas de eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos y patógenos presentes en aguas residuales. Una buena cantidad de las normas implantadas en los últimos tiempos, más exigentes, consideran el control y la eliminación de nutrientes, sumándose a ellos otros considerados como contaminantes prioritarios. En este sentido, cuando se pretende reutilizar el agua residual, los requerimientos normativos incluyen a su vez la eliminación de sustancias orgánicas refractarias, metales pesados y, en otros casos consideran sólidos inorgánicos disueltos. (Metcalf y Eddy, 1996)

En la actualidad existen una gran cantidad de tratamientos biológicos que aseguran elevadas eficiencias de remoción de materia orgánica, sin embargo, muchas de ellas se complementan necesariamente con el uso de reactivos químicos o requieren el uso de energía, con la finalidad de obtener un efluente de mejor calidad, haciéndolos en definitiva poco amigables con el medio ambiente. Es así como en la presente investigación se optó por aplicar una tecnología que asegure buenos resultados y no altere el ecosistema tras el vertimiento del agua residual domestica tratada, el vermicompostaje es un proceso biotecnológico que biodegrada materiales orgánicos y que implica el uso de lombrices de tierra y microorganismos (Villegas-cornelio y Laines, 2016). En este sentido podría ser una tecnología adecuada para tratar efluentes industriales y domésticos, debido a sus características de rentabilidad y ambientalmente sustentables. (Singh et al., 2017)

Debido a la falta de sistemas de tratamiento ecológicamente sostenibles con la naturaleza, la vermifiltración aparece como una alternativa innovadora para el tratamiento de aguas residuales domesticas que puede ser aplicado en zonas rurales donde carecen de sistemas de saneamiento, sin embargo, hay pocos estudios informados que han examinado este medio para el tratamiento de aguas residuales. (Taylor et al., 2003)

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del Problema

El agua pura no la tenemos en forma natural en el planeta, así por ejemplo cuando el agua entra en contacto con el suelo, aire, o actividades antropogénicas, adquiere impurezas y termina contaminándose, lo que conlleva a contraer enfermedades y perjuicios al ser humano. (Raffo, 2013). El agua que ha sido tomada y devuelta a un cuerpo natural estará contaminada de un modo u otro. Por ejemplo, el agua de retorno agrícola contiene sales, pesticidas y fertilizantes; el agua de aporte municipal arrastra desechos domésticos, farmacéuticos y detergentes; las centrales eléctricas vierten agua que está a elevadas temperaturas. De lo anteriormente indicado, el sector industrial aporta con contaminantes químicos y residuos de naturaleza orgánica. (Masters, 2008)

De acuerdo con Ramalho (2003) la eutrofización es el proceso natural de envejecimiento de los lagos, pero se incrementa aún sin tener aportes del hombre, sin embargo, la contaminación orgánica con aporte de nutrientes acelera el envejecimiento natural y reduce considerablemente la vida del cuerpo receptor. La escorrentía urbana en general, lleva carga orgánica junto con varios químicos peligrosos que no solo estropean el sentido estético del río, pero al mismo tiempo también degrada el ecosistema acuático. (Tomar y Suthar, 2011)

Los compuestos orgánicos están formados comúnmente por mezclas de Carbono, Hidrogeno y Oxigeno, y con la presencia en algunos casos de Nitrógeno, no obstante, pueden estar presentes otros elementos como Azufre, Fosforo o Hierro. En cuanto a la composición de los principales grupos de compuestos orgánicos presentes en el agua residual domestica tenemos a las proteínas con 40 al 60%, los hidratos de carbono con 25 al 50%, y aceites y grasas con un 10%. Cabe mencionar también, que otro compuesto orgánico de importante presencia en las aguas residuales es la urea, un principal componente de la orina, sin embargo,

debido a la rápida degradación de la urea, muy raramente está presente en las aguas residuales domesticas que no sean muy recientes. (Metcalf y Eddy, 1995)

Los compuestos orgánicos por lo general son los mayores constituyentes de las aguas residuales domésticas, que requieren ser tratados para evitar su impacto negativo en los diferentes cuerpos receptores tras su vertimiento. La materia orgánica presente en los efluentes, al entrar en contacto con las aguas superficiales reducen los niveles de Oxígeno Disuelto como producto de la biodegradación, trayendo como consecuencia la muerte de especies hidrobiológicas y/o migración de estas. En la actualidad existen una variada forma para el tratamiento de efluentes domésticos que van desde procesos fisicoquímicos, biológicos y avanzados, que muchas veces requieren el uso de reactivos químicos y de energía, a fin de reducir las concentraciones de materia orgánica, y no resultando muy amigable al ambiente.

Las aguas residuales en general están constituidas por una amplia gama de compuestos orgánicos con diversas propiedades físicas y variados niveles de biodegradabilidad. Por ejemplo, para sistemas de tratamiento de lodos activados, se requiere necesariamente conocer estas características en el agua residual, ya que nos informarán sobre el contenido de la materia soluble y particulada, biodegradable y no biodegradable. (Ekama y Wentzel ,2008). Una de las formas en el tratamiento de aguas residuales domesticas propuesta en la presente investigación es el uso de tres biofiltros, quien conjuga el uso de lombrices y un lecho orgánico (vermifiltración), a fin de remover la materia orgánica y obtener un efluente de mejor calidad para poder ser vertido a un cuerpo receptor o ser reutilizado. Existe una correlación lineal positiva entre la densidad de lombrices de tierra y la cantidad de nitrobacterias, lo que significa que las lombrices de tierra y las nitrobacterias pueden existir sinérgicamente. (Chen, 2008)

1.1.2 Formulación del Problema

1.1.2.1 Problema general. Se describe a continuación:

- ¿Cuál será la eficiencia de tres sistemas por Vermifiltración para la remoción de la

materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas?

1.1.2.2 Problemas específicos. Se describe a continuación:

- ¿Cuáles serán las características de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas antes del uso de tres sistemas por vermifiltración?
- ¿Cuáles serán los niveles de remoción de los parámetros fisicoquímicos en aguas residuales domésticas mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración?
- ¿Cuál será el tratamiento más eficiente en la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Castillo y Chimbo (2021) en su investigación que realizaron sobre “*Eficiencia en la Remoción de Materia Orgánica mediante Lombrifiltros (Eisenia foetida) en Aguas Residuales Domésticas para Zonas Rurales*” planteó como objetivo general: Evaluar la eficiencia en la remoción de materia orgánica empleando lombrifiltros en las aguas residuales domésticas de una zona rural. Dentro de la Metodología empleada en esta investigación se diseñó el lombrifiltro empleando como base el sistema de tratamiento Tohá, formado por 4 componentes: aserrín + *Eisenia foetida*, carbón activado, grava y piedras de río. Luego se procedió a evaluar la concentración de materia orgánica del afluente, obteniendo como resultado altas concentraciones de DBO, DQO, SST y ST; alcanzando grandes porcentajes de eficiencia con un flujo volumétrico de 1.8×10^{-2} l/s y TRH de 0.92 h obteniendo 52.25 % para DBO y DQO, 66.74 % de SST y 52.91 % de ST. Concluyéndose que el uso de lombrifiltros a base de *Eisenia foetida* para la remoción de materia orgánica se considera un sistema de tratamiento óptimo, eficiente y favorable con el ambiente el cual necesita de una baja inversión.

Salazar (2005) en la investigación que realizó sobre: “*Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*” planteó como uno de

sus objetivos específicos: Comprender los mecanismos de depuración asociados al Sistema Tohá. Dentro de la metodología el desarrollo de esta investigación consiste en conocer el uso del Sistema Séptico en los sectores rurales, proponiéndola como una alternativa de reemplazo al Sistema Tohá, un método de tratamiento que puede emplearse en zonas rurales, gracias a sus características: fácil de operar, sin requerir de personal calificado, ecológica, economiza recursos, espacio físico, etc. Algunas comunidades rurales, escuelas, residencias, mataderos, empresas del área agroalimenticia, etc. y municipalidades tratan sus aguas residuales con este sistema. Concluyendo que el uso de lombrifiltro, produce resultados óptimos en la calidad de las aguas que son vertido a los cuerpos de agua o al subsuelo, puesto que el tratamiento es óptimo para la remoción de contaminantes y microorganismos patógenos, logrando remociones mayores a 90%. Lo que se debe a que el sistema está diseñado para cumplir la norma de uso de agua para riego. Pero no es el caso del sistema séptico, que presenta niveles bajos en eficiencia de remoción de contaminantes, cuyos niveles oscilan entre el 40% - 50%, y el efluente no cumple con la norma de riego, ya que la fosa séptica emite un efluente que cuenta con una gran carga bacteriana.

Coronel (2015) en su estudio sobre: *“Diseño e Implementación a escala de un Biofiltro Tohá en la Epoch para la depuración de Aguas Residuales Domésticas procedentes de la comunidad Langos La Nube”*, planteó como uno de sus objetivos específicos: Determinar las condiciones óptimas del funcionamiento del biofiltro a escala para la eficiente degradación biológica de contaminantes orgánicos en el agua residual doméstica. Dentro de la metodología se implementó un biofiltro Tohá a escala piloto (biofiltro aeróbico dinámico) para el tratamiento de aguas residuales domésticas producidas en la Comunidad Langos La Nube. El biofiltro se constituyó por un tambor homogenizador, sistema de impulsión, sistema de aspersión, tanque de biofiltración, trampa para lombrices y un tanque de almacenamiento y desinfección del agua tratada. El tanque de biofiltración se llenó con un 30% de capas de piedra,

bola y grava, mientras que el aserrín viruta y humus en un 70%; para introducir el estrato humus se adaptó la lombriz roja *Eisenia foétida* al agua residual doméstica por 7 días y la capacidad de filtración fue de 12 L/día, se realizaron 3 tratamientos por 3 semanas, obteniendo una eficiencia mayor para la remoción DBO₅, en el tratamiento de la semana 1, siendo el tratamiento 3 el de más estabilidad, con un tiempo de retención hidráulico de 12 horas; siendo los parámetros de control empleados para el análisis antes y después del tratamiento: pH, conductividad, turbiedad, amonios, DBO₅, DQO, nitratos, fosfatos y TDS; en la biorremediación del agua residual se alcanzó un % de remoción en los parámetros de turbiedad 77.69%, amonios 68.24%, DQO 51.69%, DBO₅ 84.38%, nitratos 80.00%, fosfatos 73.47% y TDS 22.96%, con un incremento de pH de 0.06 Und. y una disminución en la conductividad de 480 μ Siems/cm, concluyendo que la biofiltración es un tratamiento óptimo y factible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, no genera lodos inestables, es de fácil manejo, sin embargo, se recomienda la implementación de una capa con carbón activado para minimizar los TDS, mejorar el parámetro color empleando aserrín de pino o álamo.

1.2.2 Antecedentes Nacionales

Gamarra (2021) en su estudio sobre: “*Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga*”, planteó como objetivo: Determinar la eficiencia del sistema de vermifiltro para la remoción de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. Dentro de la metodología empleada, se instaló una planta piloto de sistema de vermifiltro, formada por 3 tratamientos regados con distintos caudales, n 1 que el 1er tratamiento alcanzó un caudal de 25 mL/min, el 2do 50 mL/min y el 3er tratamiento 75 mL/min; cada filtro tuvo 4 capas: humos y lombriz (*Eisenia foetida*), aserrín, arena gruesa y grava, donde se filtraron las aguas residuales domésticas y se obtuvo aguas residuales tratadas. Para calcular la eficiencia de remoción del sistema se analizó los parámetros

fisicoquímicos del agua que entra al sistema y el agua residual ya tratada que sale del sistema de vermifiltro. Los análisis de los parámetros se realizaron cada 7 días, durante 3 semanas. Obteniendo como resultado remociones de 96,7% de DBO5 para los 3 tratamientos; 86,5%, 82,57% y 79,95% de DQO para el 1er, 2do y 3er tratamiento; 95,3%, 96,1% y 95,5% de SST para el 1er, 2do y 3er tratamiento y el pH en los 3 sistemas están estabilizados, al inicio se tuvo un pH ácido de 6,58 y luego del tratamiento se logró un pH neutro de 7,51 con el agua ya tratada. Concluyéndose que el sistema de vermifiltro posee gran eficiencia en la remoción de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas.

Castillo (2020) en su investigación que realizó sobre: *“Remoción de parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos mediante un proceso de Vermifiltración y Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) del AA.HH Lomas de Zapallal – distrito de Puente Piedra – Lima”*, planteó como objetivo: Evaluar la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos empelando un proceso de vermifiltración y jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) del A. H. Lomas de Zapallal Distrito de Puente Piedra para minimizar los valores del agua residual doméstica contaminada en función a los LMP para efluentes de PTAR según el D.S. N° 003 – 2010 MINAM. Dentro de la metodología empelada en esta investigación se utilizó compost y lombrices, bagazo de caña, arena fina, piedra chancada, y jacinto de agua (Eichhornia crassipes); obteniéndose como resultado una reducción de los parámetros de 94.4% de AyG, 45.8% de Coliformes Termotolerantes, 82.2% de DBO, 64.8% de DQO, 94.9% de SST lográndose tener los parámetros dentro del rango establecido por la norma para el pH y Temperatura. Siendo para AyG un valor inicial de 87.3 mg/L y se alcanzó una reducción a 05 mg/L; para la DBO5 se tuvo un valor inicial de 259 mg/L y obtuvo una reducción a 46 mg/L; para la DQO su valor inicial fue de 52 mg/L y obtuvo una reducción a 19 mg/L; para los SST se tuvo un valor inicial de 98 mg/L y obtuvo una reducción a 5 mg/L; para el pH se tuvo un mínimo y máximo de 6.9 y 8.5; para la Temperatura se logró un mínimo y máximo de 24

°C y 26°C. Concluyéndose que el agua obtenida cumple con los LMP para los efluentes de PTAR del D.S. N° 003 – 2010-MINAM.

Román (2020) en su investigación que realizó sobre: “*Vermifiltración con Lombriz Roja (Eisenia Foetida) para el Tratamiento de Aguas Residuales*”, propone la vermifiltración empleando lombrices *Eisenia foetida* para el tratamiento de aguas residuales, el cual consta de un sistema con medios filtrantes orgánicos, la cual presenta lombrices y microorganismos degradadores, así como medios filtrantes inorgánicos, donde percola el agua residual. En el medio filtrante orgánico se llevan a cabo procesos de degradación de materia orgánica del agua residual, por parte de las lombrices *Eisenia foetida*, obteniéndose como resultado humus. Los vermifiltros son una tecnología eficiente para tratar aguas residuales domésticas, ya que muchos estudios han demostrado el potencial de las lombrices *Eisenia foetida* para la eliminación de DBO, SST, DQO y microorganismos patógenos presentes en el agua residual, aguas que luego de ser tratada pueden reutilizarse para riego en áreas agrícolas o vertida a cuerpos de agua naturales cumpliendo con las normas ambientales vigentes.

Barragán y Espinoza (2019) en la investigación que realizaron sobre: “*Eficiencia de Vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en Aguas Residuales Domésticas*”, plantearon como objetivo: Evaluar la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas, basándose en indicadores como el caudal (QW), tiempo de retención hidráulica (TRH) y la densidad de lombrices (EWD). Dentro de la metodología, se realizó ensayos experimentales donde el caudal varió de 553ml/min a 1005ml/min, TRH de 4.97h a 9.04h, EWD de 0 a 10.000 lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) /m³ y de 0.288- 0.528 m³/m². d, respectivamente. Lo que muestra que el fluido aplicado al vermifiltro, la densidad de lombrices/m³ y la biopelícula formada en las piedras y el polipropileno son eficientes para remover contaminantes orgánicos;

un fluido ideal para un determinado volumen de vermifiltro y con una biopelícula asistido en el polipropileno asegura resultados óptimos para eliminar la carga orgánica. De la misma forma la digestión y el TRH son directamente proporcional; se muestra el % de eficiencia de remoción de todo los reactores en un 62.4%(1153mg/l) de TDS, 94.8%(459mg/l) de DQO y 94.5%(169.2mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 4 utilizando 10000 lombrices/m³, TRH de 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h); también se evidencia el % de eficiencia de remoción máximo de 86.9% (93mg/l) de SST en el vermifiltro 3 empleando 5000 lombrices/m³, TRH de 7.07h con un caudal de 708 ml/min (y carga hidráulica de 0.015 m³/m²*h). Llegando a concluir que la digestión de la biopelícula construida en el polipropileno; digieren contaminantes del agua en función al TRH; se observa un % eficiencia de remoción máximo de 1.62%(30mg/l) de TDS y 13%(13mg/l) de SST en el vermifiltro 4 y el vermifiltro 3 con un TRH de 9.03h con un caudal de 553ml/min (y carga hidráulica de 0.012 m³/m²*h), también se muestra % eficiencia de remoción máximo de 6.85%(36mg/l) de DQO y 12.72%(24.55mg/l) de DBO5 en el vermifiltro 3 con un TRH de 7.07h con un caudal de 708ml/min (y carga hidráulica de 0.015 m³/m²*h). Las lombrices, la biopelícula y el TRH en este estudio son eficientes en la remoción y reducción de material particulado y carga orgánica.

Chávez (2017) en su estudio que realizó sobre *“Eficiencia de un Biofiltro en la Reducción de Carga Orgánica de un Efluente Industrial en la Ciudad de Celendín”*, planteó como objetivo: Determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de un biofiltro para un efluente industrial en la ciudad de Celendín. Dentro de la metodología empleada en esta investigación, se utilizó el sistema de tratamiento Tohá Modificado; en esta zona de estudio existen industrias lácteas que no cuentan con sistemas de tratamiento de efluentes que evite la contaminación de aguas por elevada carga orgánica. Se realizó el tratamiento del efluente de la industria láctea, para lo cual se construyó un biofiltro tipo Tohá de 1m³ de capacidad, tomándose para el volumen de muestra para cada análisis 60 L de agua residual que provienen

de una industria láctea, de las cuales se realizó la caracterización antes de ingresarlo al biofiltro y después de pasar por el mismo, obteniendo una reducción en DQO del 92%, para la DBO una reducción del 94%, AyG 96%, de sólidos sedimentables 96% y el oxígeno disuelto aumentó en 59%; esto muestra la eficiencia del tratamiento con el biofiltro, para esta industria. Concluyendo que este tratamiento para la industria láctea ya sea a pequeña o mediana escala es eficiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la eficiencia de tres sistemas por Vermifiltración para la remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas antes del uso de tres sistemas por vermifiltración.
- Determinar los niveles de remoción de los parámetros fisicoquímicos en aguas residuales domésticas mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración.
- Determinar el tratamiento más eficiente en la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración.

1.4 Justificación

Ante el crecimiento constante de la población, el cual conlleva a un mayor consumo de agua, y por ende a una mayor generación de aguas residuales, la investigación pretende dar a conocer una nueva alternativa en el tratamiento de aguas residuales domésticas, el cual conjuga el uso de lombrices, microorganismos, un lecho orgánico y una granulometría variada de materiales, a fin de que pueda adquirir características semejantes a un biofiltro.

El presente proyecto busca un tratamiento natural que no considera el uso de energía, ni reactivos químicos para la remoción de materia orgánica, por el contrario, busca la forma de

alcanzar la mayor remoción posible mediante el uso de un macroinvertebrados como las lombrices y microorganismos como las bacterias, las cuales realizaran sus trabajos de remoción de acuerdo a las características de cada una, generando un efluente de mejor calidad, que permita alcanzar los Límites Máximos Permisibles, y poder ser descargados o reutilizados.

Desde el punto de vista metodológico, el proyecto será desarrollado mediante ensayos a nivel de laboratorio, el cual consiste en probar tres tipos de sistemas con diferentes características, y conocer las máximas eficiencias de remoción en cada uno de los casos; y desde un enfoque ambiental se busca reducir al máximo posible la presencia de materia orgánica biodegradable en los diferentes cuerpos receptores, donde generalmente se descargan las aguas residuales domesticas después de su tratamiento, los cuales sin un adecuado control pueden acelerar los procesos de eutrofización.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

- Un sistema de tratamiento por Vermifiltración presenta un alto grado de eficiencia en la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas, 2021.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- Los niveles de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas se encuentran en concentraciones elevadas.
- Los elevados niveles de los parámetros fisicoquímicos serán removidos de las aguas residuales domésticas mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración.
- El acondicionamiento de tres sistemas por vermifiltración permitirá conocer al más eficiente para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que se generan del uso de un agua natural o potable después de sufrir variaciones por distintas actividades que se generan en el área doméstica, industrial y comunitaria; las aguas residuales están conformadas por sustancias orgánicas e inorgánicas, los degradadores de la materia orgánica que se encuentra en el agua residual son los microorganismos. (Coronel, 2015)

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2015) las aguas residuales se pueden clasificar en:

2.1.1.1 Aguas residuales domésticas: generadas por actividades antropogénicas, se obtienen del uso domiciliario y poseen contaminación con materia orgánica, coliformes, entre otros.

2.1.1.2 Aguas residuales municipales: Son aquellas aguas domésticas que se combinan con lluvia, pero pueden estar combinadas con aguas de origen industrial.

2.1.1.3 Aguas residuales industriales: son aguas que se obtienen luego de un proceso industrial, como actividades mineras, agrícolas, energéticas entre otras.

2.1.2 Características del Agua Residual Doméstica

Las aguas residuales domésticas se caracterizan de acuerdo a su composición física, química y biológica. Así tenemos:

2.1.2.1 Características Físicas. Se detallan a continuación.

A. Partículas Sólidas. Materia que se forma como residuo luego que una muestra de agua se evapora a temperaturas de 103 a 105°C. según sea el contenido total de sólidos existe una variación de las características físicas.

B. Sólidos Totales (ST). De acuerdo a su condición física se clasifica en sólidos

sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos disueltos; y según su condición química en sólidos fijos (inorgánicos) y sólidos volátiles (orgánicos).

C. Sólidos Sedimentables (SS). Son aquellos que sedimentan en el Cono Imhoff; procedimiento que trata en poner un litro de muestra en el cono Imhoff y dejar reposar durante 1 hora, luego se da lectura en el cono graduado (mililitros). El tamaño de los sólidos sedimentables es mayor a 10-2 mm. Los SS indica aproximadamente la cantidad de lodo que se produce en el proceso de decantación primaria.

D. Sólidos Suspendidos (SS). Son aquellos sólidos detenidos por acción del filtro, para luego ser llevados a temperaturas de 103-105 °C y por último dé un residuo, el tamaño es mayor de 10-3 mm, por lo general son detenidos mediante procesos de filtración. Están formados por 70% de sólidos orgánicos y el 30% de sólidos inorgánicos.

E. Sólidos Disueltos (SD). Son aquellos sólidos detenidos por filtración resultando como residuo luego de ser sometido a la evaporación a una temperatura de 103 a 105°C. Al determinarse los SD se obtiene un aproximado de las sales disueltas que se encuentran en la muestra. Los sólidos disueltos están constituidos de sólidos en estado coloidal y disuelto; la fracción coloidal formada de partículas de materia cuyo tamaño varía de 10-3 y 10-6 mm. Para eliminar esta fracción se necesita un proceso de coagulación u oxidación biológica la que finalmente debe ser sedimentada. Los sólidos disueltos están conformados por un 40% de materia orgánica y un 60 % de materia inorgánica.

F. Sólidos Fijos y Volátiles. Aquí se intenta determinar el contenido orgánico e inorgánico presente en una muestra. Este proceso trata en someter la muestra a 550 °C, las cenizas que resultan son los sólidos inorgánicos (Fijos) y la fracción orgánica se oxidará y evaporará (gas) estos son los sólidos orgánicos (Volátiles). Los sólidos orgánicos conforman los desechos orgánicos generados de la vida animal y vegetal, y están presentes en compuestos orgánicos sintéticos. Los sólidos orgánicos están constituidos por C, H y O y pueden estar

combinadas con N, S o P que por lo general se descomponen gracias al accionar de bacterias y otros microorganismos, también son combustibles. Los sólidos inorgánicos, son inertes no se pueden degradar a excepción de los sulfatos que se convierten en sulfuros con ciertas condiciones, a los sólidos inorgánicos se les conoce como sustancias minerales entre ellos encontramos arena, grava y sales minerales, los sólidos inorgánicos no son combustibles.

G. Conductividad. Parámetro que calcula la concentración de sustancias disueltas en el agua cargadas iónicamente que pueden trasladar una corriente eléctrica.

H. Temperatura. Parámetro necesario en el desarrollo de diferentes fenómenos; como ejemplo tenemos la solubilidad de los gases, viscosidad en la sedimentación y es útil para el control de actividades biológicas ya que esta es mayor cuando la temperatura llega a los 30°C, cuando la temperatura aumenta se tiene una baja en la viscosidad obteniéndose una mayor sedimentación. En las aguas residuales cuando la temperatura aumenta se produce una reducción en la solubilidad de oxígeno produciendo más desgase del oxígeno disuelto.

I. Olor. La característica principal de las aguas residuales frescas es que son casi inodoras, los olores desagradables se presentan cuando las aguas residuales entran a un estado de descomposición teniéndose: ácido sulfúrico, mercaptanos presentan un olor representativo a coles podridas, el amoníaco y aminas poseen un olor a pescado, etc.

J. Color. Parámetro que indica la concentración y la composición, varía de una tonalidad gris a negro según la cantidad de materia orgánica que posee. Las aguas residuales comunes y frescas presentan una coloración grisácea, si la coloración es muy oscura es un indicador de que las aguas son de origen séptico o han sufrido alguna alteración esto afecta el paso de la luz solar y por lo tanto a la fotosíntesis. (Coronel, 2015)

K. La turbidez. Parámetro que indica la pérdida de la transparencia y se debe gracias a la materia suspendida, la cual puede ser pequeña como: limos, arcillas, etc., mientras mayor sea la turbidez mayor la contaminación del agua, un elevado nivel de turbidez afecta la

depuración de aguas, puesto que un elevado nivel de turbidez protege a los microorganismos patógenos de un sistema de desinfección solar, e la misma forma se produce la proliferación de bacterias y reduce la capacidad de fotosíntesis de las plantas acuáticas y zooplancton. (Coronel, 2015)

2.1.2.2 Características Químicas. Se detallan a continuación.

A. *Materia Orgánica.* componente principal de las aguas residuales domesticas por la presencia de proteínas, carbohidratos, AyG que provienen de las heces fecales y de los residuos líquidos originados en viviendas. La materia orgánica es la característica principal que presentan las aguas residuales y lo que genera la degradación de especies que requieren OD, interviene en el desarrollo de las condiciones aeróbicas y anaeróbicas, también afecta la composición química y biológica del agua, así como la turbidez color del agua. (Coronel, 2015)

B. *Oxígeno Disuelto (OD).* Parámetro indispensable para controlar la calidad del agua, es un elemento poco soluble en agua, el OD resulta del proceso de fotosíntesis y de la aireación natural; la concentración y solubilidad dependen de la temperatura, los movimientos del agua, la salinidad, etc. El OD es un indicador, un elevado nivel de OD indica que el agua presenta una calidad buena mientras que un bajo nivel genera la muerte de especies acuáticas. (Coronel, 2015)

C. *DBO5.* Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica existente en una muestra de agua, se expresa en mg/L (ppm). Para determinar la DBO5, se necesita medir el OD que consume los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. La oxidación biológica de materia orgánica dura alrededor de 20 días, pero el análisis realizado durante 5 días de incubación (DBO5), a una temperatura de 20 °C. (Gamarra, 2021)

D. *DQO.* Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente la materia orgánica y se expresa en mg/L (ppm). Es un parámetro que por lo general es superior que la

DBO5, puesto que es mucho mayor la cantidad de compuestos que pueden oxidarse químicamente. (Gamarra, 2021)

E. Potencial de Hidrógeno. Es el valor de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH de las aguas residuales domésticas oscila de 6,5 a 8,5; fuera de este rango la Eisenia foetida empieza a morir, por lo tanto, el pH debe medirse antes de ser utilizado en el tratamiento de sistema de vermifiltro. (Gamarra, 2021)

2.1.2.3 Características Biológicas. Las aguas residuales poseen una variedad de organismos vivos y se consideran esenciales para controlar enfermedades generadas por microorganismos perjudiciales, la actividad microbiológica se caracteriza por descomponer y estabilizar la materia orgánica. Los microorganismos presentes en el agua residual son usualmente las bacterias, estas conforman la mayoría de microorganismos presentes en aguas residuales, se alimentan de diversos componentes y generan compuestos más estables, hay diferentes tipos de bacterias las patógenas que ocasionan algunas enfermedades como cólera, tifoidea, disentería, e infecciones de carácter intestinal, otras son las saprófitas las que se alimentan de materia orgánica muerta, no son consideradas como patógenas se usan en procesos de depuración de aguas residuales.

Las bacterias aerobias captan el oxígeno del agua residual, junto a la degradación producen sólidos orgánicos y se genera la descomposición aerobia y no produce malos olores; a diferencia de las bacterias anaerobias que recaudan el oxígeno presente en sólidos orgánicos e inorgánicos ocasionando la degradación de sólidos orgánicos e inorgánicos, proceso denominado descomposición anaeróbica y produce malos olores y condiciones. Finalmente se tiene a las bacterias facultativas que poseen la capacidad de adaptarse a condiciones tanto aerobias como anaerobias.

La E. coli es considerado un indicador de contaminación por fecas, otra bacteria estreptococos (Streptococos) común en las aguas residuales, las bacterias coliformes se

encuentran en el suelo, plantas, animales y también en los seres humanos, cada persona elimina de 100000 a 400000 millones de coliformes por gramo de heces. Los coliformes fecales indican la patogenicidad, pero existen organismos microscópicos como los estreptococos fecales, enterococos, colifagos y hongos que tienen esta función y se clasifican en 2 grupos: Coliformes totales; son aquellas bacterias aerobias y anaerobias facultativas que se reproducen en el exterior del intestino animal. El nivel de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales se beneficia gracias a las condiciones de humedad, pH, temperatura, MO y se reproducen en las biopelículas de las tuberías de agua. Coliformes fecales; subgrupo de coliformes totales que tienen forma de bastón miden de 0.0002-0.0003 mm por 0.002 a 0.003 mm y son bacterias aerobias, anaerobias facultativas. La diferencia entre los coliformes fecales y totales es la tolerancia; puesto que los coliformes totales resisten elevadas temperaturas, estos crecen a 44,5 °C, por lo que desarrollan y adaptan más al interior de animales. Entre 90% y 100% del total de coliformes fecales de heces humanas pertenecen a *Escherichia coli*, en 1 gr de heces humana puede haber de 5 a 50 mil millones de coliformes fecales, un 40% del peso húmedo de los excrementos humanos son células bacterianas.

Tabla 1

Principales bacterias patógenas en Aguas Residuales

Bacteria	Fuente	Periodo de Incubación	Enfermedad
<i>E. coli</i>	Hombre	1 a 6 días	Diarreas, vómitos
<i>Salmonella</i>	Hombre y animales	8 - 48 horas	Diarreas acuosas
<i>Salmonella Typhi</i>	Heces humanas y animales	7 - 28 horas	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella Paratyphi</i>	Hombre	7-28 horas	Fiebre paratifoidea
Otras <i>Salmonellas</i>	Hombre	1 a 7 días	Intoxicación
<i>Shigella spp</i>	Hombre	9 horas a 7 días	Disentería bacilar

Bacteria	Fuente	Periodo de Incubación	Enfermedad
<i>Vibrio Cholerae</i>	Hombre	-	Cólera
<i>Otros Vibrios</i>	Hombre	-	Diarreas
<i>Campylobacter spp</i>	Hombre y animales	-	Diarreas y septicemias
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Hombre y animales	1 a5 días	-
<i>Leptospira icterohamorhagiae</i>	Ratas	-	Leptospirosis

Nota. Tomado de Coronel, 2015.

2.1.3 Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales

Según la OS-090 se pueden clasificar en:

2.1.3.1 Pretratamiento. Proceso que tiene como finalidad de retener los residuos sólidos más grandes previniendo los daños a la infraestructura, esta etapa empela cribas o cámara de rejas, desarenadores y trampa de grasas para el tratamiento de aguas residuales municipales, con el fin de no obstaculizar los siguientes procesos de tratamiento.

2.1.3.2 Tratamiento primario. En esta etapa se remueven los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables; pueden ser tanque Imhoff, tanque de sedimentación primario y tanques de flotación, que remueven de 60 a 70% de SST, 30% de DBO, en zonas rurales comúnmente se utilizan tanques sépticos para el tratamiento primario.

2.1.3.3 Tratamiento secundario. Según la OS.090, en el tratamiento secundario se incluye los procesos biológicos para remover la MO disuelta en el efluente después del tratamiento primario, con una eficiencia de remoción de 75 a 95% en DBO5 y SS; los sistemas más usados son: filtros biológicos, lodos activados como zanjas de oxidación lagunas de estabilización y módulos rotatorios de contacto.

2.1.3.4 Tratamiento terciario. Aquí se tiene como objetivo la remoción de patógenos y nutrientes como P y N, entre estos métodos se tiene la separación de “SS (filtración, coagulación, absorción en carbón activo, intercambio iónico, etc.), eliminación de nutrientes”

(eliminación de nitrógeno y fósforo) y oxidación de materia orgánica (cloración o zonación). (Gamarra, 2021)

2.1.4 Tratamiento de Aguas con Vermifiltración

La Vermifiltración es un sistema de tratamiento biológico, aerobio de cultivo fijo en el cual se emplean lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) y diversos materiales filtrantes como: grava, viruta de madera y piedras bolones. Este tratamiento está basado en reacciones de oxidación, biodegradación y estimulación microbiana; en el cual las aguas residuales domésticas son rociados por gravedad en la superficie del lombrifiltro percolando por el medio filtrante, en donde queda retenida la materia orgánica y otros elementos que se emplean de alimento para las lombrices y microorganismos, los cuales oxidan y degradan los contaminantes presentes en el agua. La lombriz después de la materia orgánica y diversos contaminantes produce humus mediante sus deyecciones y son ricas en nutrientes, lo cual puede ser empleado como fertilizante natural para los suelos. La vermifiltración no genera lodos inestables, proliferación de vectores, ni malos olores, y no es un tratamiento costoso; es una alternativa a los métodos de tratamiento de aguas residuales químicas y puede disminuir otros efectos adversos causados por los productos químicos empleados en el tratamiento de efluentes.

Las lombrices degradan por lo general productos químicos y actúan como un estimulador biológico. Con este método los resultados del efluente pueden usarse para el riego de cultivos, parques y jardines. (Barragán y Espinoza, 2019)

2.1.5 Componentes del Sistema de Vermifiltro

El sistema de Vermifiltro está constituido por 4 capas, la 1era capa está formada por humos de lombriz en el cual está la lombriz *Eisenia foetida*, la 2da capa está formada por aserrín el cual se usa como filtro y alimento en el caso de que la carga contaminante sea baja, el cual debe tener como mínimo un espesor de 25 cm para alcanzar la máxima eficiencia, la 3era capa está formada de arena gruesa o ripio que se utiliza como filtro y la 4ta capa está compuesta de

pedras más grandes como grava, que se emplean como aireador y permite se origine la flora bacteriana que favorece la degradación de la materia orgánica del efluente, que dejó pasar las primeras capas del sistema de vermifiltro. Entre las capas de aserrín y arena gruesa se tiene una malla de tipo Rachell, la cual sirve para la separación y retención para el estrato de aserrín y que las lombrices no ingresen a las otras capas del filtro. En la parte inferior se coloca el piso del filtro llamado falso fondo el cual posee una pendiente de 1% aprox., para realizar la salida de agua, en el perímetro interno del sistema de vermifiltro se debe colocar tubos de PVC con un diámetro de 110 mm, con pequeños orificios de 10 milímetros y con una distancia aproximada de 2 m cada uno, los cuales van de forma vertical y sobresaliendo 20 cm de lecho filtrante, estos tubos permiten airear la capa inferior del soporte. El ingreso del agua residual se realiza a través de la parte superior del filtro gracias a los aspersores pequeños y en la parte inferior se colocan tubos recolectores de las aguas residuales tratadas. (Gamarra, 2021)

Figura 1

Estructura del Sistema Vermifiltro



Nota. Tomado de Gamarra, 2021.

2.1.5.1 Aserrín o estrato de soporte. Resulta del proceso de serrado de madera, conformado por fibra celulosa, hemicelulosa y lignina de materia orgánica, se utiliza como materia prima, para tratar aguas residuales, se emplea como sustrato alimenticio para la lombriz *Eisenia foetida* cuando el efluente presenta baja de carga de materia orgánica. Puede usarse

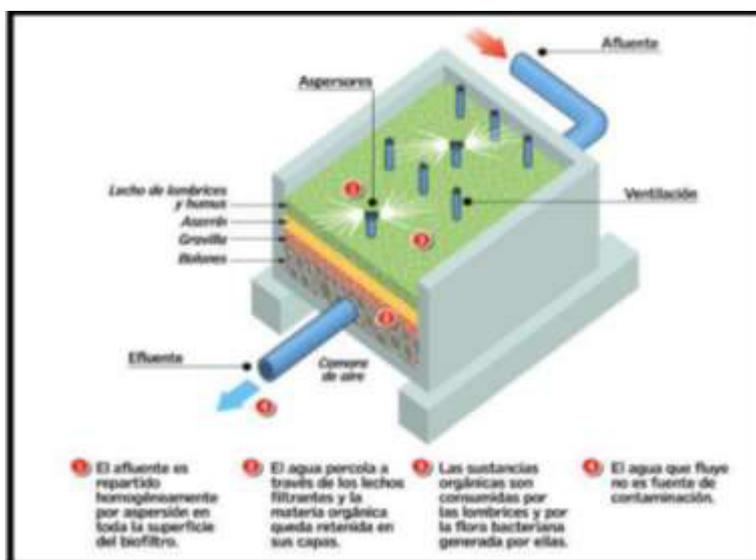
también para la depuración de materia orgánica, ya que presenta diferentes bacterias filamentosas que logran estabilizarse como *Sphaerotilus Natans*, *Beggiatoa*, entre otras.

2.1.5.2 Humos de lombriz. Se genera del consumo de materia orgánica por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), presenta 60% de ello, es un fertilizante orgánico con presencia de flora bacteriana, con un pH neutro, tiene una estructura apelmazada, suave, esponjosa que favorece la retención hidráulica del suelo, aireación del mismo, tiene también un valor nutritivo para las plantas como el Mg, Ca, P y N, lo cual favorece el crecimiento de las plantas y permite enriquecer el suelo, los humos son empelados como enmienda para recuperar diferentes suelos contaminados por metales pesados y sustancias químicas.

2.1.5.3 Grava. Última capa del sistema de vermifiltro, donde las piedras grandes se colocan en la parte inferior, mientras que los más pequeños van en la parte superior, acá se lleva a cabo el drenaje de las aguas residuales y la aireación del sistema

Figura 2

Corte Esquemático de un Vermifiltro



Nota. Tomado de Guzmán, 2004.

2.1.6 Procesos de Remoción del Vermifiltro

2.1.6.1 Procesos Físicos. En el interior del vermifiltro se desarrolla la eliminación de la materia orgánica presente en el agua residual, dicho proceso empieza con el vertimiento del

agua residual en la parte superficial del vermifiltro, porque la depuración del agua residual se da en la parte superior donde se concentra una gran cantidad de lombrices. Para que las lombrices tengan un eficiente trabajo de degradación de contaminantes del agua residual se necesita que el medio de vida en el que está, presente las condiciones adecuadas, que no presente valores bajos de temperatura, pH y humedad. En el proceso de vermifiltración se da la remoción de una gran cantidad de materiales sólidos, ya que entrar el agua residual por la superficie del vermifiltro estos se retienen en las capas; las capas filtrantes se mantienen aireadas y con una gran permeabilidad gracias a movimientos migratorios que realizan las lombrices. En el proceso de depuración del agua residual las lombrices *Eisenia foetida* consumen los sólidos suspendidos presentes en ella, convirtiendo los sólidos en anhídrido carbónico y agua mediante un proceso de oxidación, y los restos de sólidos pasan a constituir la masa corporal de las lombrices, así como desechos que eliminan las lombrices y que luego son transformados en humus. (Román, 2020)

2.1.6.2 Procesos Químicos. En la vermifiltración para eliminar el nitrógeno del agua residual se desarrollan 2 etapas: nitrificación y desnitrificación, la nitrificación trata en convertir el amonio a nitrito y este nitrito en nitrato empleando bacterias nitrificadoras, quienes generan energía para su crecimiento del carbono inorgánico presente en el medio, mientras que, en la etapa de desnitrificación, el nitrato se transforma a nitrógeno, el cual se libera a la atmósfera. En este proceso las capas filtrantes realizan un papel importante puesto que la eliminación del nitrógeno se lleva a cabo en condiciones aerobias y empleando bacterias autótrofas quimiosintetizadoras, estas bacterias conforman una biopelícula en los medios filtrante del vermifiltro. Durante la nitrificación la presencia de materia orgánica debe ser mínima puesto que las lombrices *Eisenia foetida* influyen en la desnitrificación mediante el consumo de materia orgánica presente en el agua residual, así mismo influyen indirectamente en la producción del derivado de cal, lo cual sirve para la reducción del nitrógeno amoniacal

del agua residual, ya que proporciona oxígeno al agua, y como consecuencia favorecen al trabajo de las bacterias reductoras de nitrógeno en el tratamiento. La alcalinidad es un parámetro importante para el tratamiento de aguas residuales en la vermifiltración ya que este debe encontrarse en condiciones óptimas para que se lleve a cabo la desnitrificación, ya que favorece la producción de biomasa de bacterias nitrificantes. Por otro lado, los materiales filtrantes inorgánicos que forman el vermifiltro resalta la utilización de aserrín ya que este material contribuye a la reducción del nitrógeno del agua residual gracias a su capacidad bioadsorbente. (Román, 2020)

2.1.6.3 Procesos Biológicos. En la vermifiltración, los microorganismos que se encuentran en el agua residual son degradados por las sustancias que generan las lombrices *Eisenia foetida* y los microorganismos que consumen materia orgánica, los cuales conviven con las lombrices. Mientras que la reducción de microorganismos patógenos se da por acciones enzimáticas que se realizan en el sistema intestinal de las lombrices *Eisenia foetida*, secreción de fluidos del celoma de las lombrices, los que presentan propiedades antibacterianas que eliminan los patógenos del agua residual. En el vermifiltro existe una comunidad biológica constituida bacterias aerobias y facultativas, las que se adhieren al medio creando una biopelícula, las bacterias facultativas predominan puesto que son las más eficientes para la degradación del agua residual. (Román. 2020)

2.1.7 Características de los parámetros para el diseño del Vermifiltro

Los parámetros principales que se consideran para un óptimo tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de vermifiltración son: pH, humedad y temperatura; la temperatura ideal para un sistema de vermifiltración debe ser entre 15°C y 24°C y evitando exponer a las lombrices *Eisenia foetida* a variaciones extremas de temperatura, puesto que sería fulminante para la especie. El pH para el proceso de vermifiltración debe ser entre 6.5 y 7.5, neutro, ya que variaciones extremas del pH podrían terminar con la vida de las lombrices

Eisenia foetida. Mientras que el rango de humedad para un vermifiltro debe ser entre 70% y 80%, puesto que si las lombrices Eisenia foetida se encuentran en un medio mayor a 80% de humedad entrarían a un periodo de latencia y causaría su muerte. (Román, 2020)

2.1.8 Parámetros de Diseño del Vermifiltro

Para el diseño del vermifiltro se realiza un balance de masas donde se toma en cuenta: la cantidad de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que las lombrices puedan y tasa máxima de riego que soporta el lecho para prevenir la muerte de lombrices si falta el oxígeno, que corresponde a $1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$. De esta forma se tiene en cuenta para el diseño:

$$T_{Riego} = \frac{Q}{A} \leq 1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / d$$

Conocido el caudal de diseño, y asumiendo una tasa de riego se determina el área que se requiere para el tratamiento.

2.1.9 Eisenia foétida o Lombriz Roja Californiana

En la década de los 50 se descubrió los beneficios de esta lombriz en el estado de California - Estados Unidos originando los primeros criaderos. La lombriz roja californiana se considera un animal ecológico, cuya función es transformar los residuos orgánicos en humus, y forma parte del grupo de los anélidos, existen 8000 especies de lombrices de las cuales 3 especies son domesticables y entre ellas esta Eisenia foétida siendo la que más se adapta a diferentes sustratos, cambios de temperatura, variabilidad de Ph y humedad. (Coronel, 2015)

Gamarra (2021), indica que la lombriz roja californiana es de un color rojo oscuro, y es la que se encarga de consumir la materia orgánica o nutrientes como C, K y P existentes en el agua residual, convirtiéndolas mediante la oxidación, en anhídrido carbónico y agua, esta especie cada 24 horas consume una cantidad de MO proporcional a su peso, de los cuales el 60% de lo que consume lo transforma en humos y el 40% lo usa en respiración, síntesis celular y otros procesos vitales. Gracias a sus movimientos migratorios aumenta la porosidad del

medio filtrante, favoreciendo la oxigenación lo que genera que no existan malos olores, así mismo realiza mecanismo de biodegradación, ingestión y absorción reduciendo patógenos y compuestos presentes en el agua residual. La lombriz Roja presenta gran eficiencia reproductiva, tolerancia a factores ambientales y alta remoción en la DBO y DQO.

2.1.10 Ciclo de Vida y Hábitat de la Lombriz Roja

Las lombrices *Eisenia foetida* son hermafroditas, poseen órganos sexuales femeninos y masculinos, pero no poseen la capacidad de autofecundarse, es por ello que realizan fecundación cruzada. En su etapa de reproducción, realizan un intercambio de espermatozoides, los cuales no fecundan a los óvulos en el mismo momento, las lombrices *Eisenia foetida* se reproducen una vez a la semana, donde se obtiene 2 capsulas llamadas capullos o cocones, los que presentan forma de pera, estos capullos eclosionan a una temperatura adecuada entre 20°C - 25°C y al cabo de 23 días, concluido el tiempo de eclosión de cada capullo nacen entre 2 a 4 lombrices. Las lombrices *Eisenia foetida* recién nacidas son de color palo rosa transparente, y en la etapa juvenil tienen un color más claro que en su etapa adulta. Luego de los 50 días de haber nacido son consideradas adultas y ya muestran un color rojizo. (Saboya, 2018)

El hábitat de la lombriz roja *Eisenia foetida* es en la tierra húmeda, pero pueden habitar en el barro que se encuentra a las orillas de pantanos o lagos, también pueden estar en los suelos de los patios y cerca de cuerpos de agua salada y dulce. Una gran cantidad de lombrices rojas viven en la capa superior del suelo y la minoría en profundidad. (Saboya, 2018)

2.1.11 Condiciones de Vida de la Lombriz Roja

Las condiciones de vida óptimas para el hábitat de la lombriz Roja es con una temperatura que oscile entre los 15°C y 24°C, siendo la ideal 20°C; un pH entre 6.5 y 7.5; humedad de 70% y 80% para favorecer su reproducción. La lombriz roja posee la capacidad de adaptarse para optimizar el aprovechamiento del medio en condiciones ambientales

desfavorables, pese a su gran resistencia se debe tener cuidado con los factores que puedan llegar a alterar su funcionamiento. Las lombrices de no poseen ningún órgano de defensa así que se encuentran expuestas a cualquier animal que pueda matarlas involuntariamente, porque es común en las cadenas tróficas, siendo los principales depredadores de lombrices de tierra las serpientes, pájaros, ratas y sapos. (Saboya, 2018)

2.1.12 Características Generales de la Lombriz Roja

2.1.12.1 Taxonomía de la Lombriz Roja. A continuación, se muestra la clasificación

Taxonómica de la Lombriz Roja:

Tabla 2

Clasificación Taxonómica de la Lombriz Roja

<i>Reino</i>	<i>Animal</i>
<i>Phylum</i>	<i>Annelida</i>
<i>Clase</i>	<i>Oligochaeta</i>
<i>Familia</i>	<i>Lumbricidae</i>
<i>Género</i>	<i>Eisenia</i>
<i>Especie</i>	<i>Eisenia foetida</i>

Nota. Tomado de Barragán y Espinoza, 2019.

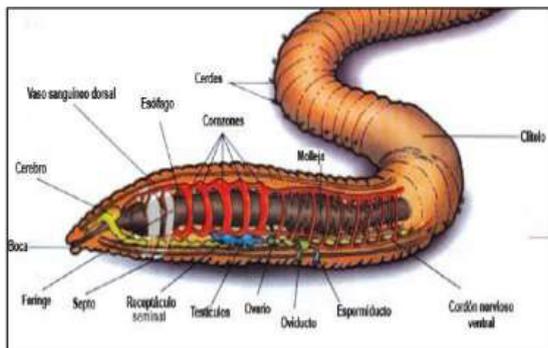
2.1.12.2 Características. A continuación, se detalla las características.

- Presenta una boca que se une con la faringe donde lubrica el alimento que pasa al esófago, ahí se encuentran las glándulas calcáreas que tiene la función de excretar el carbonato de calcio y cumplen la función de controlar el pH.
- Vive a una temperatura de 15 a 24 °C, las temperaturas por debajo a 0 °C y superiores a 42 °C” son letales para la lombriz.
- Requiere de humedad de 70 a 80% para sobrevivir.
- Vive con valores de 6 a 8 de pH.

- Posee sangre en el cuerpo cuya función es absorber sustancias alimenticias y liberar residuos solubles en los riñones, transportar oxígeno y liberar gas carbónico.
- Respira mediante la epidermis.
- Posee un cuerpo en forma cilíndrica que tienen numerosos anillos de 120 a 175 segmentos.
- En la etapa adultez puede pesar desde un 1 gr a 1,4 gr.
- Su tiempo de vida varía de 1 a 4 años cuando están en cautiverio.
- Son hermafroditas, pero necesita aparearse para reproducirse, la fecundación se da mediante el clitelo, que producen la cápsula donde surgen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación, en una cantidad de 2 a 21 ejemplares. Dentro de 50 y 56 días pueden medir entre 2 y 3 centímetros y a los 4 meses ya son adultos y ya pueden aparearse.
- Expuesto a los rayos ultravioletas muere en pocos minutos.

Figura 3

Morfología de la Lombriz Roja



Nota. Tomado de Gamarra, 2021.

2.1.13 Eficiencia del Tratamiento

Según investigaciones hechas con los sistemas del lombrifiltro o Sistema Toha, indican los siguientes niveles de remoción de contaminantes. (Pérez y Pérez, 2016)

- 95% de la DBO
- 95% de ST.

- 93% de los SS Volátiles.
- 80% A y G.
- 60% a 80% de N Total.
- 60% a 70% del P Total.
- 99% Coliformes fecales.

2.1.14 Remoción de la Materia Orgánica

Por lo general las encargadas de la degradación de la materia orgánica son las bacterias, mediante su acción enzimática, desde donde obtienen energía y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Estos procesos pueden presentarse de vía aerobia, anaerobia o facultativa, empleando un sistema de cultivo fijo o en suspensión. Es así que el metabolismo de las células bacterianas se lleva a cabo mediante reacciones químicas de oxidación y de síntesis, las cuales se obtienen de diversos procesos de la célula, que se desarrollan a través de numerosas reacciones catalizadas por enzimas que oxidan una fracción de la materia orgánica, generando así productos finales y liberando la energía necesaria para la síntesis de nuevo tejido celular, es decir nuevas células bacterianas. En ausencia de materia orgánica, el tejido celular será utilizado endógenamente, produciéndose productos gaseosos finales y materia residual. En la mayoría de los sistemas de tratamiento biológicos estos tres procesos (oxidación, síntesis y respiración endógena) tienen lugar simultáneamente. (Salazar, 2005)

Estequiométricamente, los 3 procesos pueden representarse como sigue para un proceso aerobio.

- Oxidación: $\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{Bacterias} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{Otros productos finales} + \text{Energía (materia orgánica)}$
- Síntesis: $\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{Bacterias} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ (nuevas células bacterianas)
- Respiración endógena: $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + \text{Energía}$ (Salazar, 2005).

2.1.15 Marco Conceptual

2.1.15.1 Aguas Residuales Tratadas. Efluentes que sufrieron tratamiento y están listos para su reutilización con finalidad de usarse para riego o para ser descargado a un cuerpo receptor.

2.1.15.2 Aguas Negras. Residuos líquidos originados de inodoro, que trasladan excremento, orinas, coliformes fecales.

2.1.15.3 Afluente. Líquido que entra a cualquier planta de tratamiento de aguas residuales.

2.1.15.4 Efluente. Líquido tratado que sale de un sistema de tratamiento de aguas residuales, listo para verterse a un cuerpo receptor.

2.1.15.5 Concentración. Relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia.

2.1.15.6 Contaminación. Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud.

2.1.15.7 Dosis. Cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo.

2.1.15.8 Eficiencia. Es la capacidad de lograr lo deseado con el mínimo de recursos, es decir disponer de algo para conseguir lo que queremos.

2.1.15.9 Sistema Tohá (Lombrifiltro). Tratamiento biológico de agua residual originada por el doctor José Tohá, en el cual se emplea la lombriz roja californiana para consumir material orgánico y un filtro percolador.

2.1.15.10 Vermicompost o humos de lombriz. Abono natural enriquecido de nutrientes, que se obtiene de la descomposición de materia orgánica que le sirvió como

alimento a *Eisenia foetida*.

2.1.15.11 Tratamiento. Métodos, técnicas o procesos diseñados para la remoción de sólidos y/o contaminantes de efluentes o emisiones.

2.1.16 Marco Legal Ambiental

2.1.16.1 La Constitución Política del Perú de 1993. Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.

2.1.16.2 Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991. Penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en zonas no autorizadas, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público.

2.1.16.3 Ley General de Salud N° 26842, del año 1997. El Estado es responsable del cuidado de la salud del ambiente, es así que para la disposición de sustancias y productos peligrosos se debe considerar todas las medidas preventivas para evitar daños a la salud y el ambiente, los Arts. 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, describen los desechos y responsabilidad de las personas naturales o jurídicas para no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.

2.1.16.4 La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611. Toda persona tiene el derecho de vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como a sus componentes, asegurando la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país. En el Artículo N° 31 habla sobre el Estándar de

Calidad Ambiental, y lo define como: La medida que establece el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

2.1.16.5 Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009.

Normaliza el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica; creándose el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos.

Para el uso del agua y su vertimiento se establece una retribución económica cuyas tarifas están de acuerdo con el uso de infraestructuras hidráulicas mayores y menores, por el servicio de monitoreo y por la gestión de las aguas subterráneas. La presente ley deroga el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el D S N° 261-69-AP.

2.1.16.6 Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 – AG. La protección del agua tiene como fin la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar las causas que generan su contaminación y degradación.

2.1.16.7 Decreto Legislativo N° 1083-2008-ANA. Promueve el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada.

2.1.16.8 Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Se aprueban los

Estándares de Calidad Ambiental para agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo.

Las categorías establecidas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

- Categoría 1: Poblacional y Recreacional.
- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

2.1.16.9 Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límite Máximo Permisible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, para el sector Vivienda, con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con el objetivo que se persigue, la presente investigación es de tipo aplicada, debido a que se busca obtener nuevos conocimientos, de tal manera que puedan ser aplicados para resolver una situación problemática. Por el enfoque de nuestro planteamiento se pretende conocer el sistema de tratamiento más eficiente para la remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas, mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración, los cuales variarán en su composición, pero mantienen las mismas dimensiones de operación y volumen. En cuanto al diseño metodológico desde un punto de vista cuantitativo es experimental, puesto que se va a manipular intencionalmente la variable independiente “Sistemas por Vermifiltración” acondicionados en tres prototipos semejantes, con la finalidad de observar cambios en el comportamiento de la variable dependiente “Remoción de Materia Orgánica en aguas Residuales Domesticas”.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1 Ámbito Temporal

El presente trabajo de investigación tuvo tres etapas definidas, el cual partió con la búsqueda de información, una fase de desarrollo experimental e informe final. El proyecto de tesis se inició con una búsqueda bibliográfica en Julio del 2021, donde se consideró revisiones comprendidas entre los años 2012 y 2019, una fase experimental de los ensayos programados entre setiembre y diciembre del 2021; y un informe final proyectado para enero del 2022.

3.2.2 Ámbito Espacial

La muestra de agua residual será tomada inicialmente del parque Maria Reich de Miraflores. El ámbito espacial corresponde al lugar donde se desarrollará toda la fase experimental, en tal sentido, este corresponde al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV. Las muestras

en los tres sistemas de vermifiltros serán acondicionadas en el mismo laboratorio bajo un ambiente controlado por el tesista. La georreferenciación del lugar de estudio presenta las coordenadas siguientes 277097 E y 8667468 N, las cuales corresponden al Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV.

3.3 Variables

3.3.1 Variable Independiente

Sistemas por Vermifiltración.

3.3.2 Variable Dependiente

Remoción de Materia Orgánica en Aguas Residuales Domesticas.

Tabla 3*Operacionalización de la Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
V.I Sistemas por Vermifiltración.	Sistema de tratamiento biológico, en el cual se emplean lombrices rojas californianas (<i>Eisenia foetida</i>) y diversos materiales filtrantes como: grava, viruta de madera y piedras bolones. Este tratamiento se basa en reacciones de oxidación, biodegradación y estimulación microbiana; en el cual las aguas residuales domésticas son rociados por gravedad en la superficie del lombrifiltro percolando por el medio filtrante, donde queda retenida la materia orgánica y otros elementos que sirven de alimento para las lombrices y microorganismos, estos se encargan de oxidar y degradar los contaminantes presentes en el agua. (Barragan y Espinoza, 2019)	La vermifiltración fue evaluada mediante el uso de tres sistemas de filtrado con la lombriz roja en un lecho orgánico de aserrín y una capa inorgánica de gravas a fin de remover la materia orgánica de las aguas residuales domesticas que son percoladas a través del sistema y obtener un efluente con baja carga orgánica.	Longitudes	Largo	Metros
				Ancho	Metros
				Alto	Metros
			Parámetros de Control	Tiempo	días
				Volumen	Litros
				Cantidad de lombrices	%
				Materiales	Kg
				Materia Orgánica	Kg
V.D Remoción de Materia Orgánica en aguas Residuales Domésticas	Las aguas residuales domésticas se producen por actividades antropogénicas, se obtienen del uso domiciliario y presentan contaminación con materia orgánica, coliformes, entre otros. Siendo la Materia Orgánica el componente principal de las aguas residuales de origen doméstico por la presencia de proteínas, carbohidratos, aceites y grasas que provienen de las heces fecales y de los residuos líquidos generados en las viviendas. La remoción de Materia Orgánica presente estará dada por la Lombriz Roja mediante el proceso de vermifiltración, este tratamiento específico permite la remover: DBO ₅ , DQO, SST, TDS. (Coronel, 2015)	La remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales domesticas será evaluada a través de los parámetros de pH, Temperatura, DBO, DQO, Aceites y Grasa, SST y Coliformes Termotolerantes, cuyo indicador será medido a través del porcentaje de eficiencia para cada caso en particular.	Parámetros Físicoquímicos	pH	U de pH
				Temperatura	°C
				DBO	mg/l
				DQO	mg/l
				Aceites y Grasa	mg/l
				SST	mg/l
				Coliformes Termotolerantes	NMP/100
				Eficiencia	%

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

La población correspondiente para nuestro estudio son las aguas residuales de la planta de tratamiento del parque María Reich de Miraflores, el cual trata un caudal aproximado de 600 m³/día.

3.4.2 Muestra

La población considerada para nuestro estudio está de acuerdo con el volumen a ser tratado por cada uno de los vermifiltros, en este sentido correspondería aproximadamente 15 litros por cada sistema de tratamiento y tiempo de retención (7, 14 y 21 días), haciendo un subtotal de 45 litros, lo cual implica un total de 135 litros para los tres sistemas.

3.5 Instrumentos

3.5.1 Técnicas

- Protocolo de seguridad de laboratorios.
- Métodos Estandarizados.
- Protocolo de toma de muestras.

3.5.2 Instrumentos

- Fichas de recolección de datos.
- Cadena de Custodia.

3.5.3 Equipos

- Reactor Digital.
- Colorímetro Digital
- Multiparámetro de mesa.
- Reactor de DBO
- Incubadora para DBO
- Estufa de secado

3.6 Procedimientos

El procedimiento para el desarrollo de la presente investigación se ha proyectado trabajar en cuatro fases secuenciales, el cual se inicia con la toma de muestras de aguas residuales, caracterización del agua residual y acondicionamiento del sistema por vermifiltración, determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; y la determinación de las eficiencias.

3.6.1 Toma de Muestras

El procedimiento se inicia con la toma de muestras de aguas residuales domésticas a la entrada de la PTAR del Parque María Reich en Miraflores, para lo cual se ha considerado desarrollarlo siguiendo el protocolo de monitoreo de “Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales Domésticas o Municipales”, R.M N° 273-2013-VIVIENDA. El volumen de muestra a tomar será de aproximadamente 45 litros para los tres sistemas y llenadas en dos bidones de 25 litros. Los parámetros a medir in situ serán de Temperatura y pH los demás parámetros serán caracterizados en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE.

3.6.2 Caracterización del Agua Residual y Acondicionamiento del Biofiltro

Los primeros ensayos para caracterizar el agua residual serán los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como la Temperatura, pH, DBO, DQO, SST, AyG; y Coliformes Termotolerantes, para lo cual se va a considerar analizarlos haciendo uso de los Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales de la APHA.

Terminada la caracterización del agua residual, se acondicionará el sistema por vermifiltración, donde se armarán tres sistemas o biofiltros con material de vidrio de 60 cm de ancho, por 120 cm de largo y 80 cm de alto, en cuyo interior serán colocados una primera capa de lecho orgánico con diferentes porcentajes de lombrices al 10, 20 y 30%, , una capa de aserrín con porcentajes al 60, 50 y 40%, una capa de grava y arena para los tres sistemas del 20 y 10%

respectivamente, donde los porcentajes asumidos están en relación al 100% del volumen total de cada vermifiltro. Los tres sistemas serán alimentados simultáneamente por un tanque o depósito homogeneizador de 50 litros a una altura de 1.5 metros por encima de los tres vermifiltros, y conectados por medio de tuberías y llaves de paso que posibilitarán obtener un caudal homogéneo para alimentar los tres sistemas. La toma de muestra en la PTAR Maria Reich, para alimentar el tanque homogeneizador se realizará cada 7, 14 y 21 días, tiempos en los cuales se analizarán los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a fin de verificar la eficiencia de la remoción de la materia orgánica en cada uno de los casos.

3.6.3 Determinación de Parámetros Fisicoquímicos

Transcurrido cada tiempo de retención hidráulica de 7, 14 y 21 días, se determinarán los niveles de Temperatura, pH, DBO, DQO, SST, Aceites y Grasa y Coliformes Termotolerantes. Los valores de Temperatura y pH serán medidos con un equipo multiparámetro marca HANNA, el cual será previamente calibrado mediante soluciones Buffer de 4, 7 y 10, antes de cada medición. Para analizar los indicadores orgánicos como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se utilizará un reactor de DBO y una incubadora donde serán llevadas las muestras a una temperatura de 20 °C por un tiempo de 5 días, en el caso de la determinación de la DQO será analizado mediante el uso del reactor HACH a 150 °C por 2 horas y cuya reacción final será leída en un colorímetro digital marca HACH. Los Sólidos Suspendidos Totales, serán determinados por el método gravimétrico mediante el uso de filtros de fibra de vidrio previamente secados y medidos a peso constante en la balanza analítica, antes y después del filtrado de la muestra. La Determinación de Aceites y Grasa, será determinada mediante el método gravimétrico con extracción de un solvente como el Hexano, el cual consiste en filtrar previamente la muestra para retención de sólidos para luego llevada a una pera de decantación adicionando 25 ml de solvente y agitando durante 7 minutos para su completa homogenización, transcurrido dicho tiempo será tomada la muestra en un vaso de precipitado previamente

pesado y llevado a la estufa a 105 °C hasta secado completo y peso constante. Cabe indicar que no se determinaron parámetros microbiológicos como Coliformes Termotolerantes, debido a que la investigación sólo se basó en la remoción de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas mediante los tres sistemas de tratamiento antes indicados.

3.6.4 Determinación de las Eficiencias

Luego de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se evaluarán analíticamente los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas residuales domésticas y los resultados finales después de los tiempos de retención hidráulica (7, 14 y 21 días). Los resultados iniciales menos los resultados finales nos indicaran los porcentajes de remoción de materia orgánica para cada uno de los tres sistemas en estudio. De acuerdo a la remoción podremos saber finalmente cuál de los tres sistemas es el más eficiente, y obtener las conclusiones de nuestra investigación.

3.7 Análisis de datos

Para el desarrollo del análisis de datos cuantitativos se tomará en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicará la estadística que permitirá describir las principales características de las variables dependientes e independientes, tomadas individualmente. En tal sentido, se llevará a cabo un análisis y descripción cada una de las variables para lo cual se utilizará el programa MINITAB; donde se presentará la estadística descriptiva en tablas y gráficas de datos; y para presentar la distribución de los datos y ver la prueba de normalidad se realizará una tabulación de datos cuantitativos de las variables en estudio en una matriz factorial de 7 x 3 (7 parámetros por 3 repeticiones), con el uso del ANOVA, que incluye a su vez, el análisis de varianza y significancia, todo esto con el propósito de conocer cuáles serán los sistemas por vermifiltración más eficientes, y contrastar nuestra hipótesis de investigación para la toma de decisión de aceptarla o rechazarla.

IV. RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron en base a tres monitoreos llevados a cabo entre diciembre del 2021 y enero del 2022. El primer monitoreo se realizó el 06 de diciembre con la caracterización del agua residual e inicio del tratamiento por 7 días, el segundo monitoreo y caracterización se realizó el día 13 de diciembre y se determinaron los parámetros fisicoquímicos del primer monitoreo, y el tercer monitoreo y caracterización se realizó el día 27 de diciembre y se determinaron los parámetros fisicoquímicos del segundo monitoreo. Finalmente se determinaron los parámetros fisicoquímicos del tercer monitoreo el día 17 de enero del 2022.

4.1 Caracterización del Agua Residual

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del agua residual tomada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas del parque María Reich en Miraflores el día 6 de diciembre del 2022.

Tabla 4

Resultados iniciales de la caracterización del agua residual doméstica

Muestra	PARAMETROS FISICOQUIMICOS (*)										
	TEMPERATURA (°C)	pH	C.E (uS)	TDS (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/l)	ACEITES Y GRASA (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)
M1-M2-M3	22.5	7.11	2150	1123	89.4	165	70.3	585	280	35.6	7.5

(*) Monitoreado el 6 de diciembre del 2021

4.2 Niveles de remoción de los parámetros fisicoquímicos

En las tablas abajo indicadas, se muestran los resultados alcanzados por los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3, los cuales fueron monitoreados en tiempos de 7, 14 y 21 días. Los parámetros fisicoquímicos considerados para evaluar la remoción de la materia orgánica fueron 11 en total, esto en razón, de tener un mayor panorama con respecto al comportamiento de las variables en estudio, sin embargo, cabe indicar que los principales indicadores de la presencia de cargas orgánicas son principalmente 7 (Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Aceites y Grasa, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Turbiedad y Solidos Suspendidos Totales).

Tabla 5

Resultados fisicoquímicos para 7 días de tratamiento

Muestra	PARAMETROS FISICOQUIMICOS (*)										
	TEMPERATURA (°C)	pH	C.E (uS)	TDS (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/l)	ACEITES Y GRASA (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)
M1	22.4	7.14	2540	1213	29.6	31.7	27.1	74	38.3	18.6	6.2
M2	22.3	7.36	2414	1272	24.4	27.5	23.3	58	29.7	14.3	5.3
M3	22.3	7.73	2430	1211	27.5	21.6	20.1	31	16.5	11.4	3.1

(*) Monitoreado el 13 de diciembre del 2021

Tabla 6*Resultados fisicoquímicos para 14 días de tratamiento*

Muestra	PARAMETROS FISICOQUIMICOS (*)										
	TEMPERATURA (°C)	pH	C.E (uS)	TDS (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/l)	ACEITES Y GRASA (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)
M1	22.8	7.36	2644	1315	25.6	27.3	22.1	30	16.6	13.4	4.8
M2	22.7	7.57	2613	1321	20.4	23.5	18.4	25	13.2	10.1	3.5
M3	22.8	7.81	2632	1307	22.5	18.2	16.1	20	11.3	6.4	2.1

(*) Monitoreado el 27 de diciembre del 2021

Tabla 7*Resultados fisicoquímicos para 21 días de tratamiento*

Muestra	PARAMETROS FISICOQUIMICOS (*)										
	TEMPERATURA (°C)	pH	C.E (uS)	TDS (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/l)	ACEITES Y GRASA (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)
M1	22.9	7.73	2758	1385	19.4	15.7	13.1	18	10.6	7.6	2.2
M2	22.9	7.81	2714	1395	17.2	13.5	10.3	15	9.7	5.3	1.5
M3	22.8	8.12	2730	1378	18.3	11.6	8.1	13	6.4	4.4	0.6

(*) Monitoreado el 17 de enero del 2022

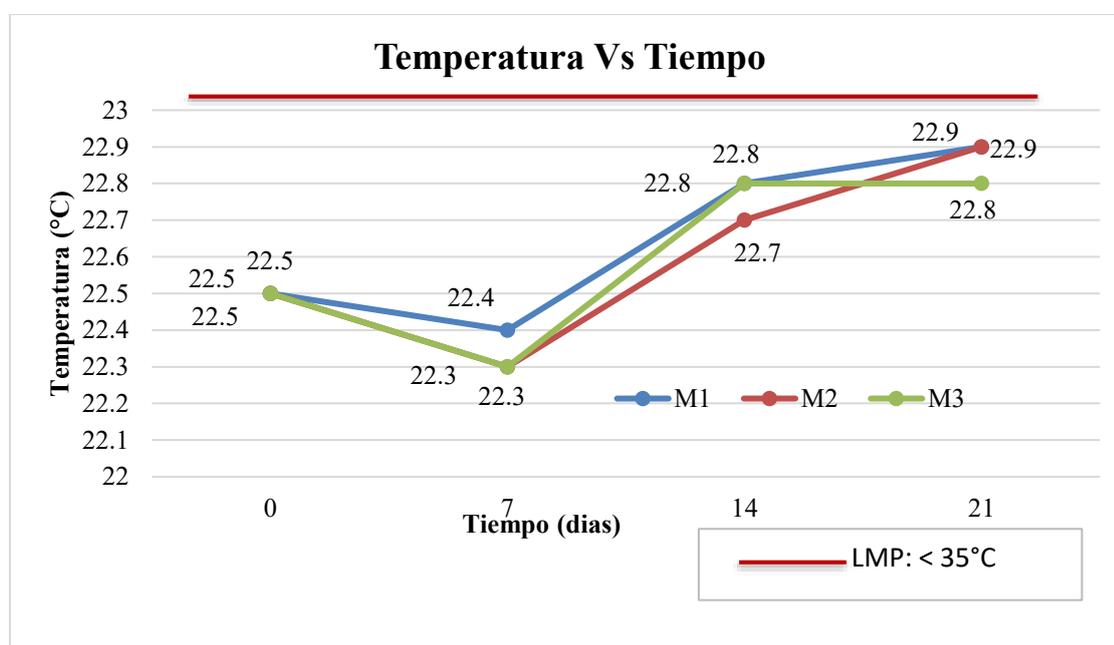
4.2.1 Indicadores Fisicoquímicos en el proceso de remoción de materia orgánica

A continuación, se evalúan cada uno de los parámetros fisicoquímicos, a fin de conocer el comportamiento y sus niveles de remoción alcanzados en los tres sistemas de tratamiento.

4.2.1.1 Temperatura. A continuación, en la figura 4, se muestran los resultados de temperatura para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 4

Resultados de Temperatura para los tres sistemas de tratamiento

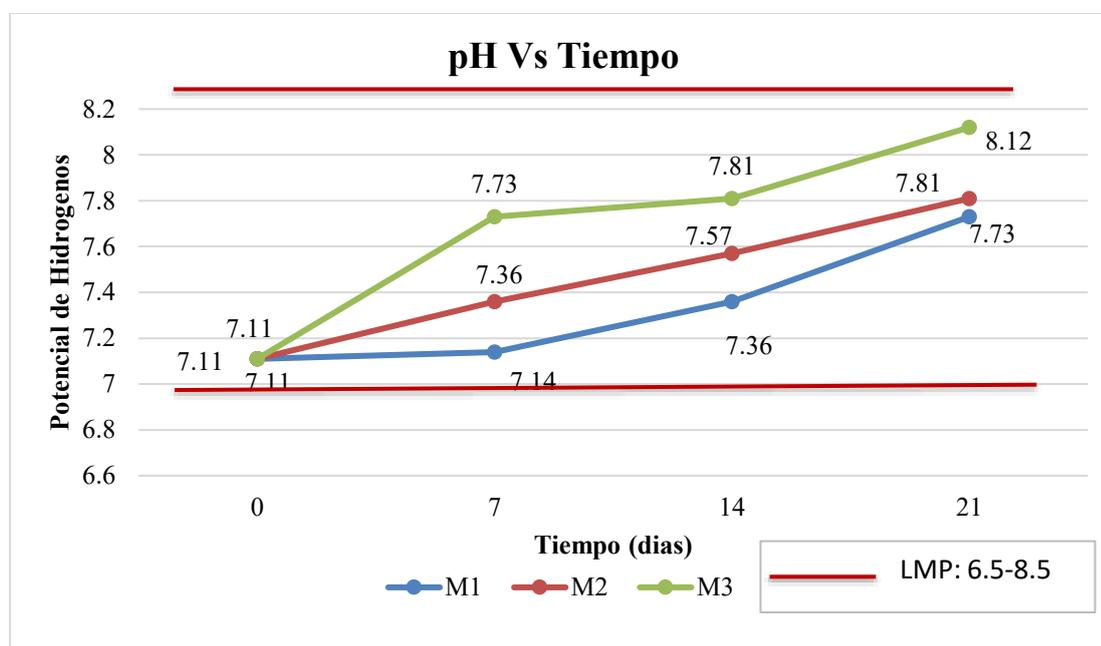


Los resultados de temperatura muestran para el sistema de tratamiento M1, una variación mínima en los tres tiempos monitoreados (22.5 a 22.9 °C), asimismo el sistema de tratamiento M2, presenta un ligero incremento ascendente en los tres tiempos monitoreados (22.5 a 22.9 °C), y por último, el sistema de tratamiento M3 de igual forma presenta un incremento y un descenso en los tres tiempos monitoreados (22.5 a 22.8 °C). En ninguno de los tres sistemas de tratamiento se aprecia que los niveles alcanzados hayan excedido los Límites Máximos Permisibles de acuerdo con la norma del DS N° 003-2010-MINAM.

4.2.1.2 Potencial de Hidrógenos (pH). A continuación, en la figura 5, se muestran los resultados de pH para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 5

Resultados de pH para los tres sistemas de tratamiento

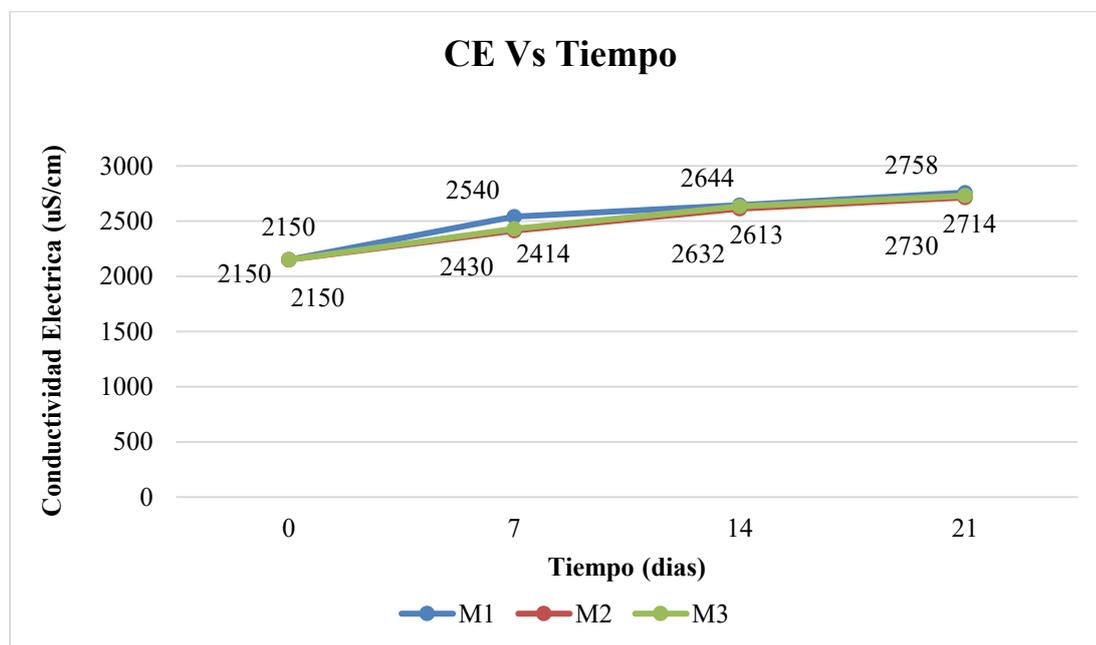


Los resultados muestran un comportamiento ligeramente ascendente de los niveles de pH en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una variación mínima de incremento que va desde 7.11 hasta 7.33, de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otro ligero incremento ascendente en los tres tiempos monitoreados que van desde 7.11 hasta 7.81; y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta un incremento en los tres tiempos monitoreados con niveles que van desde 7.11 hasta 8.12. En ninguno de los tres sistemas de tratamiento se aprecia que los niveles alcanzados hayan excedido los Límites Máximos Permisibles de acuerdo con la norma del DS N° 003-2010-MINAM.

4.2.1.3 Conductividad Eléctrica (C.E). A continuación, en la Figura 6, se muestra el resultado de la Conductividad Eléctrica para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 6

Resultados de la Conductividad Eléctrica para los tres sistemas de tratamiento

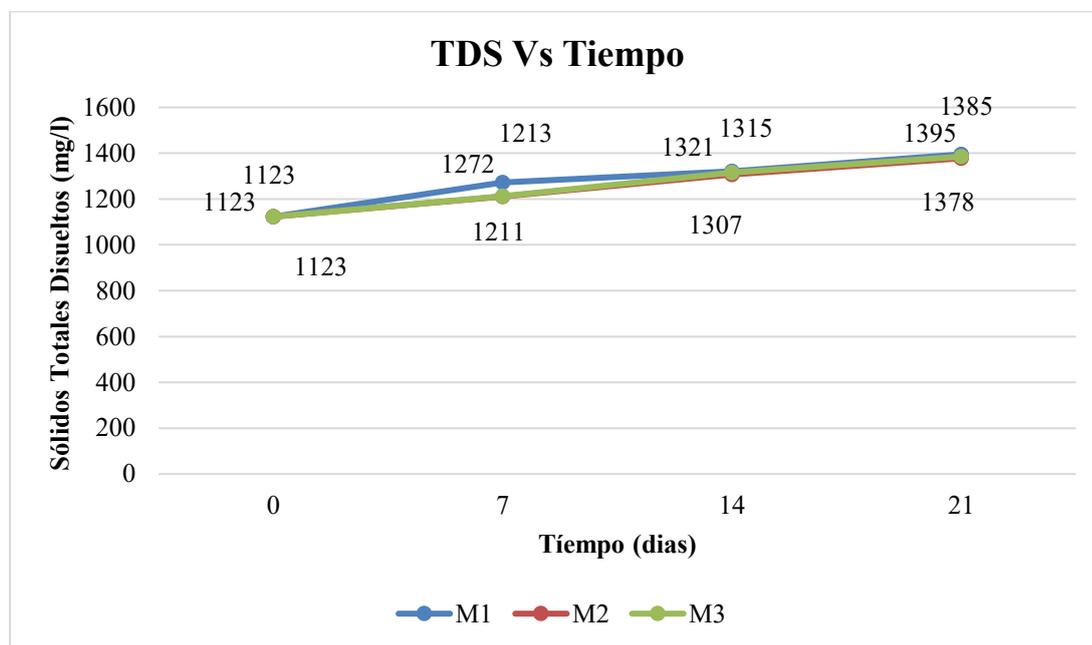


Los resultados de la Conductividad Eléctrica muestran un comportamiento ascendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta un incremento que va desde 2150 uS/cm hasta los 2758 uS/cm, de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otro incremento ascendente que van desde los 2150 uS/cm hasta los 2714 uS/cm; y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta un incremento en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 2150 uS/cm hasta los 2730 uS/cm. En todos los casos, los resultados obtenidos se pueden deber al grado de mineralización alcanzada al termino de los tiempos de tratamiento considerados. Para el caso de la Conductividad Eléctrica no se cuenta con Límites Máximos Permisibles para casos de comparación.

4.2.1.4 Solidos Totales Disueltos (TDS). A continuación, en la Figura 7, se muestra el resultado de los Solidos Totales Disueltos para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 7

Resultados de los Sólidos Totales Disueltos para los tres sistemas de tratamiento

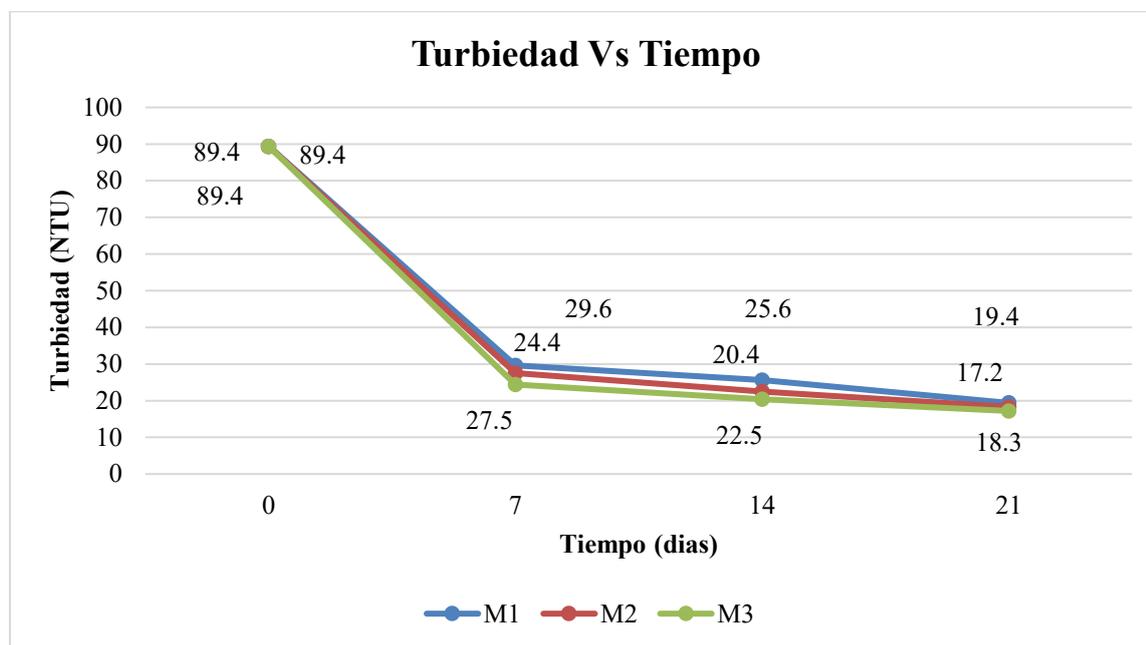


Los resultados de Sólidos Totales Disueltos muestran un comportamiento ascendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta un incremento que va desde 1123 mg/l hasta los 1385 mg/l, de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otro incremento ascendente que van desde los 1123 mg/l hasta los 1395 mg/l; y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta un incremento en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 1123 mg/l hasta los 1378 mg/l. En todos los casos, los resultados obtenidos se pueden deber al grado de mineralización alcanzada al término de cada uno de los tiempos de tratamiento analizados. Para el caso de los Sólidos Totales Disueltos no se cuenta con Límites Máximos Permisibles para casos de comparación.

4.2.1.5 Turbiedad (TB). A continuación, en la Figura 8, se muestra el resultado de Turbiedad para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

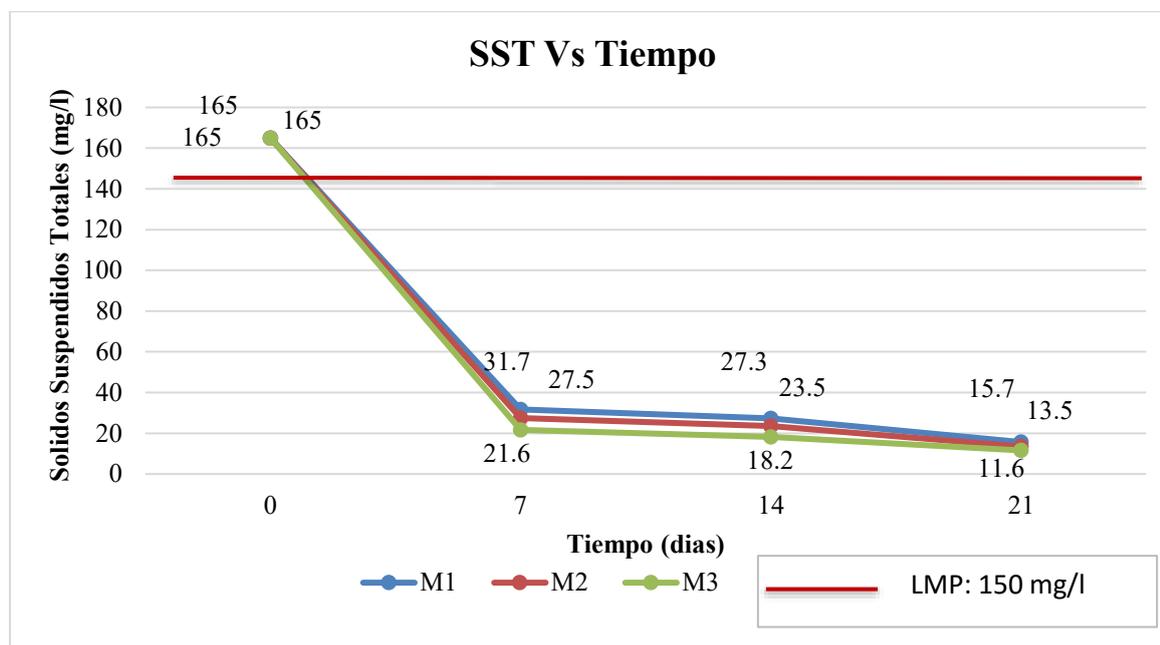
Figura 8

Resultados de Turbiedad para los tres sistemas de tratamiento



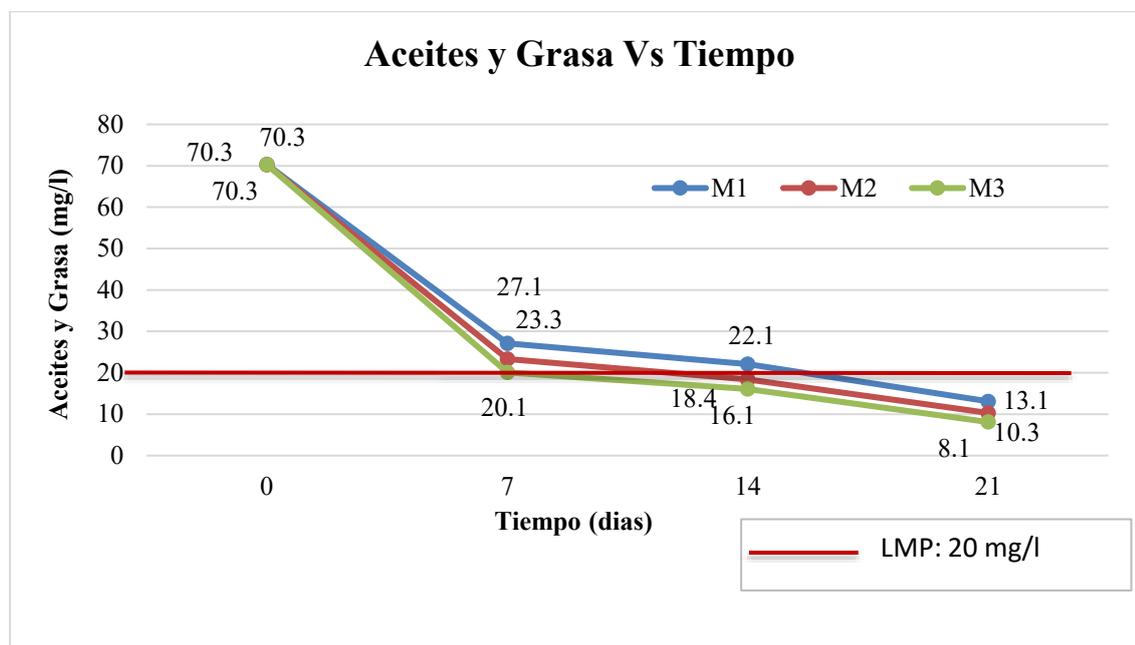
Los resultados de Turbiedad muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 89.4 NTU hasta los 19.4 NTU (70 NTU de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 89.4 NTU hasta los 17.2 NTU (72.2 NTU de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados, con valores que van desde los 89.4 NTU hasta los 18.3 NTU (71.1 NTU de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada de los compuestos que generan turbiedad al culminar los tiempos de tratamiento. Para el caso de la Turbiedad no se cuenta con Límites Máximos Permisibles para casos de comparación.

4.2.1.6 Solidos Suspendidos Totales (SST). A continuación, en la 9, se muestra el resultado de los Solidos Suspendidos Totales para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 9*Resultados de Sólidos Suspendedos Totales*

Los resultados de Sólidos Suspendedos Totales muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 165 mg/l hasta los 15.7 mg/l (149.3 mg/l de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 165 mg/l hasta los 13.5 mg/l (151.5 mg/l de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 165 mg/l hasta los 11.6 mg/l (153.4 mg/l de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada de los sólidos en suspensión culminados los tiempos de tratamiento. Para los tres sistemas de tratamiento se alcanza con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (150 mg/l).

4.2.1.7 Aceites y Grasa (A y G). A continuación, en Figura 10, se muestra el resultado de Aceites y Grasa para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

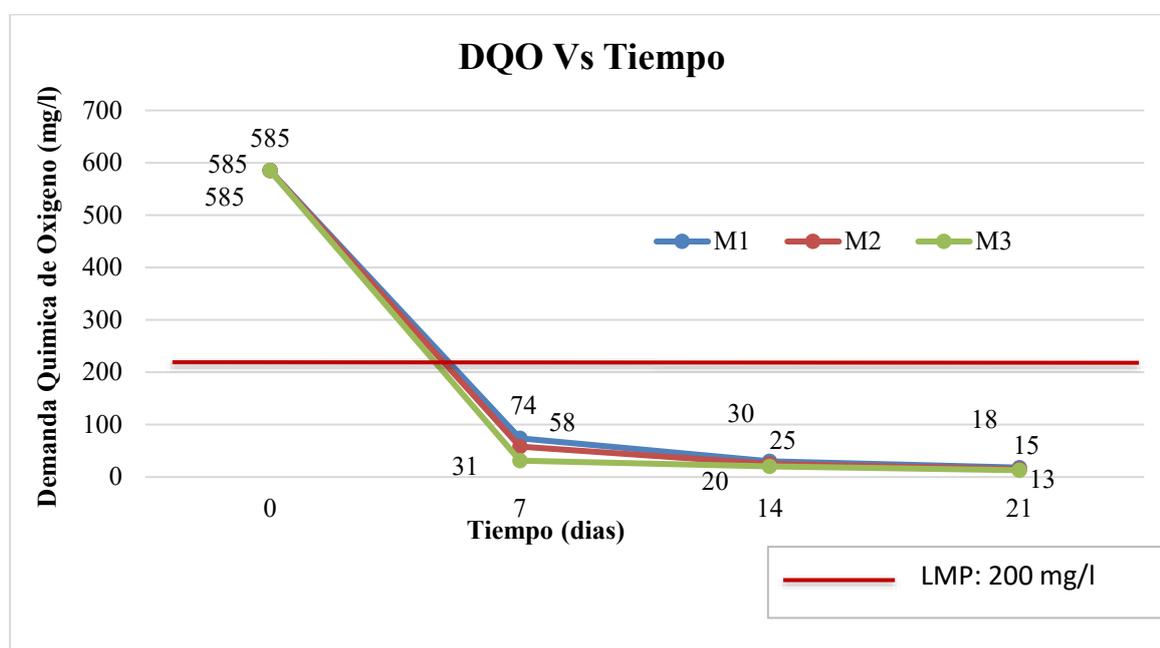
Figura 10*Resultados de Aceites y Grasa*

Los resultados de Aceites y Grasa muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 70.3 mg/l hasta 13.1 mg/l (57.2 mg/l de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 70.3 mg/l hasta los 10.3 mg/l (60 mg/l de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 70.3 mg/l hasta los 8.1 mg/l (62.2 mg/l de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada culminados los tiempos de tratamiento. Para los tres sistemas de tratamiento se alcanza con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (20 mg/l).

4.2.1.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO). A continuación, en la Figura 11, se muestra el resultado de la Demanda Química de Oxígeno para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 11

Resultados de la Demanda Química de Oxígeno

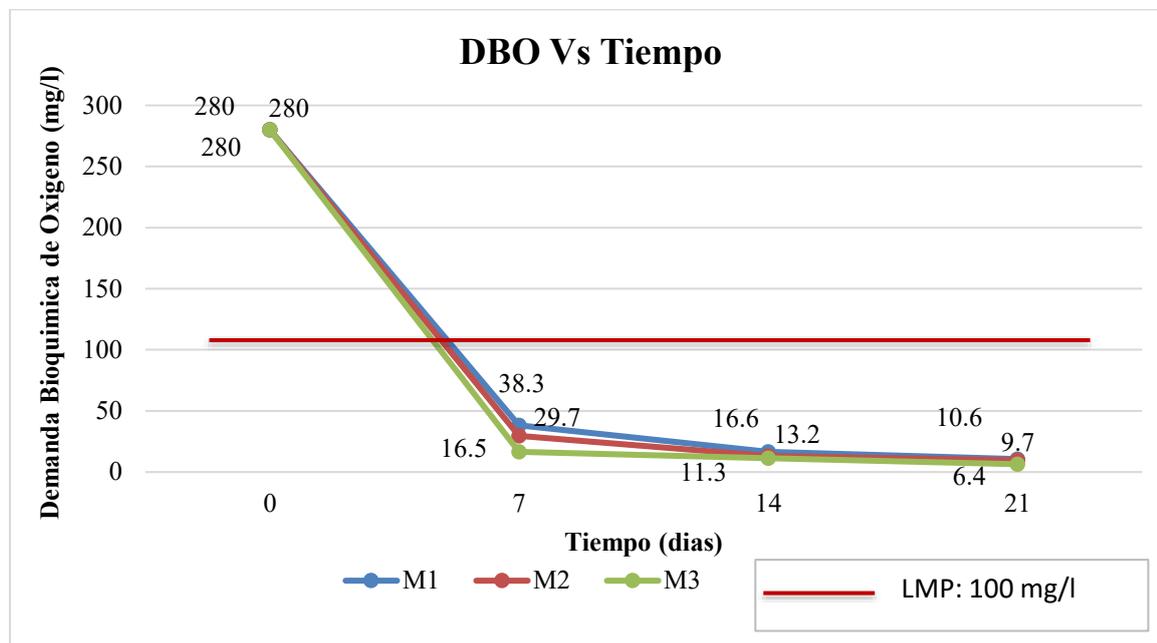


Los resultados de la Demanda Química de Oxígeno muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 585 mg/l hasta 18 mg/l (567 mg/l de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 585 mg/l hasta los 15 mg/l (570 mg/l de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 585 mg/l hasta los 13 mg/l (572 mg/l de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada de la materia orgánica culminados los tiempos de tratamiento. Para los tres sistemas de tratamiento se alcanza con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (200 mg/l).

4.2.1.9 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). A continuación, en la Figura 12, se muestra el resultado de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

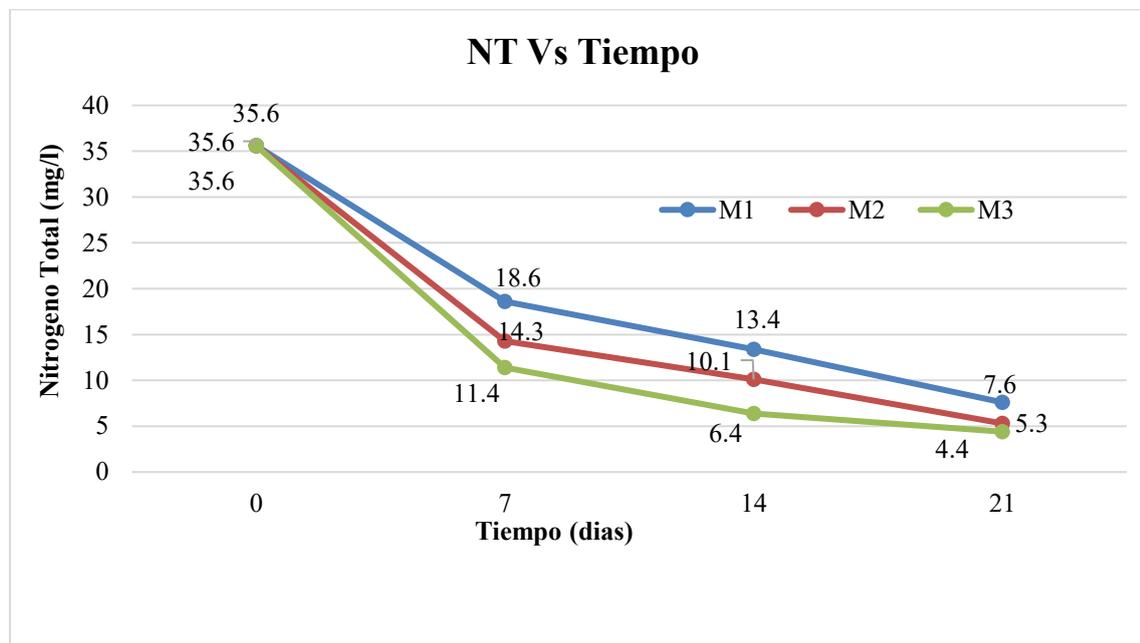
Figura 12

Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno



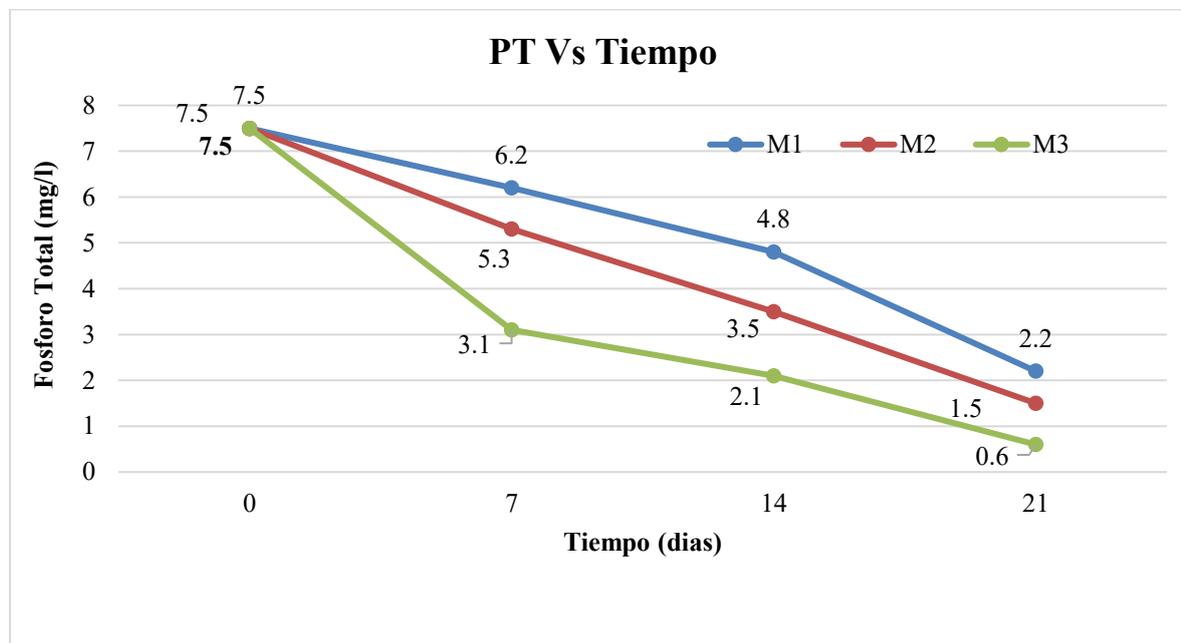
Los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 280 mg/l hasta 10.6 mg/l (269.4 mg/l de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 280 mg/l hasta los 9.7 mg/l (270.3 mg/l de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 280 mg/l hasta los 6.4 mg/l (273.6 mg/l de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada de la materia orgánica culminados los tiempos de tratamiento. Para los tres sistemas de tratamiento se alcanza con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (100 mg/l).

4.2.1.10 Nitrógeno Total (NT). A continuación, en la Figura 3, se muestra el resultado de Nitrógeno Total para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 13*Resultados de Nitrógeno Total*

Los resultados de Nitrógeno Total muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 35.6 mg/l hasta 7.6 mg/l (28 mg/l de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 35.6 mg/l hasta los 5.3 mg/l (30.3 mg/l de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 35.6 mg/l hasta los 4.4 mg/l (31.2 mg/l de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada de la materia orgánica culminados los tiempos de tratamiento. Para el caso de Nitrógeno Total no se cuenta con Límites Máximos Permisibles para casos de comparación.

4.2.1.11 Fosforo Total (PT). A continuación, en la Figura 14, se muestra el resultado Fosforo Total para los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3.

Figura 14*Resultados de Fósforo Total*

Los resultados de Fósforo Total muestran un comportamiento descendente de sus niveles en cada uno de los tiempos monitoreados, así tenemos por ejemplo para el sistema de tratamiento M1, presenta una reducción que va desde 7.5 mg/l hasta 2.2 mg/l (5.2 mg/l de remoción), de igual forma, el sistema de tratamiento M2, presenta otra reducción que van desde los 7.5 mg/l hasta los 1.5 mg/l (6 mg/l de remoción); y finalmente el sistema de tratamiento M3, también presenta una reducción en los tres tiempos monitoreados con valores que van desde los 7.5 mg/l hasta los 0.6 mg/l (6.9 mg/l de remoción). En todos los casos, los porcentajes de remoción se pueden deber a la biodegradación alcanzada de la materia orgánica culminados los tiempos de tratamiento. Para el caso de Fósforo Total no se cuenta con Límites Máximos Permisibles para casos de comparación.

4.3 Eficiencias alcanzadas por cada sistema de tratamiento

Finalizados los tiempos de tratamiento para 7, 14 y 21 días, se determinaron las eficiencias correspondientes a cada sistema de tratamiento M1, M2 y M3; con sus respectivos parámetros indicadores, según se detallan a continuación:

4.3.1 Turbiedad

El cálculo de las eficiencias de la Turbiedad se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo en el día cero, y la concentración final para los días 7, 14 y 21.

Figura 15

Eficiencias alcanzadas para la Turbiedad

TURBIEDAD							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	Eficiencia	
	[] Inicial (NTU)	[] Final (NTU)	%	[] Final (NTU)	%	[] Final (NTU)	%
M1	89.4	26.9	69.9	25.6	71.4	19.4	78.3
M2	89.4	24.4	72.7	20.4	77.2	17.2	80.8
M3	89.4	27.5	69.2	22.5	74.8	18.3	79.5

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 80.8 %, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M3 quienes alcanzaron 78.3 y 79.5 %.

4.3.2 Sólidos Suspendidos Totales

El cálculo de la eficiencia de los Sólidos Suspendidos Totales se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final en el día 21.

Tabla 8

Eficiencias alcanzadas para Sólidos Suspendidos Totales

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	Eficiencia	
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%
M1	165	31.7	80.8	27.3	83.5	15.7	90.5
M2	165	27.5	83.3	23.5	85.8	13.5	91.8
M3	165	21.6	86.9	18.2	89.0	11.6	93.0

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M3, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93%, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M2 quienes alcanzaron 90.5 y 91.8 % respectivamente.

4.3.3 Aceites y Grasa

El cálculo de la eficiencia de Aceites y Grasa se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final en el día 21.

Tabla 9

Eficiencias alcanzadas para Aceites y Grasa

Sistemas de Tratamiento	ACEITES Y GRASA						
	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	21 días	21 días
[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	
M1	70.3	27.1	61.5	22.1	68.6	13.1	81.4
M2	70.3	23.3	66.9	18.4	73.8	10.3	85.3
M3	70.3	20.1	71.4	16.1	77.1	8.1	88.5

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M3, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 88.5%, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M2 quienes alcanzaron 81.4 y 85.3 % respectivamente.

4.3.4 Demanda Química de Oxígeno

El cálculo de la eficiencia de la Demanda Química de Oxígeno se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final en el día 21.

Tabla 10*Eficiencias alcanzadas para la Demanda Química de Oxígeno*

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	Eficiencia	
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%
M1	585	74	87.4	30	94.9	18	96.9
M2	585	58	90.1	25	95.7	15	97.4
M3	585	31	94.7	20	96.6	13	97.7

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M3, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 97.7 %, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M2 quienes alcanzaron 96.9 y 97.4 % respectivamente.

4.3.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La eficiencia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final en el día 21.

Tabla 11*Eficiencias alcanzadas para la Demanda Bioquímica de Oxígeno*

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	Eficiencia	
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%
M1	280	38.3	86.3	16.6	94.1	10.6	96.2
M2	280	29.7	89.4	13.2	95.3	9.7	96.5
M3	280	16.5	94.1	11.3	96.0	6.4	97.7

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M3, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 97.7 %, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M2 quienes alcanzaron 96.2 y 96.5 % respectivamente.

4.3.6 Nitrógeno Total

El cálculo de la eficiencia de Nitrógeno Total se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final en el día 21.

Tabla 12

Eficiencias alcanzadas para Nitrógeno Total

NITROGENO TOTAL							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	Eficiencia	
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%
M1	35.6	18.6	47.8	13.4	62.4	7.6	78.7
M2	35.6	14.3	59.8	10.1	71.6	5.3	85.1
M3	35.6	11.4	68.0	6.4	82.0	4.4	87.6

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M3, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 87.6 %, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M2 quienes alcanzaron 78.7 y 85.1 % respectivamente.

4.3.7 Fosforo Total

El cálculo de la eficiencia de Fosforo Total se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final determinado en el día 21.

Tabla 13

Eficiencias alcanzadas para Fosforo Total

FOSFORO TOTAL							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	7 días		14 días	21 días	Eficiencia	
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%
M1	7.5	6.2	17.3	4.8	36.0	2.2	70.7
M2	7.5	5.3	29.3	3.5	53.3	1.5	80
M3	7.5	3.1	58.7	2.1	72.0	0.6	92

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (7, 14 y 21 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M3, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 92 %, sobre los otros sistemas de tratamientos M1 y M2 quienes alcanzaron 70.7 y 80 % respectivamente.

4.4 Análisis Estadístico

Para la verificación de las hipótesis se tiene que los permeámetros fundamentales a la hora de evaluar remoción de materia orgánica son: P1: SST, P2: ACEITES Y GRASA, P3: DQO, P4: DBO, P5: NT, P6: PT para los cuales analizaremos por medio de la prueba ANOVA de un solo factor para evidenciar la significancia del tratamiento aplicado.

Tabla 14

Agrupación de datos para prueba ANOVA de un solo factor

Tratamiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
M1	31.7	27.1	74	38.3	18.6	6.2
M2	27.5	23.3	58	29.7	14.3	5.3
M3	21.6	20.1	31	16.5	11.4	3.1
M4	27.3	22.1	30	16.6	13.4	4.8
M5	23.5	18.4	25	13.2	10.1	3.5
M6	18.2	16.1	20	16.3	6.4	2.1
M7	15.7	13.1	18	10.6	7.6	2.2
M8	13.5	10.3	15	9.7	5.3	1.5
M9	11.6	8.1	13	6.4	4.4	0.6

Donde M1, M2 y M3 es el tratamiento aplicado en 7 días, M4, M5, M6 es el tratamiento aplicado en 14 días y M7, M8, M9 es el tratamiento aplicado en 21 días. Por ello se realizó la prueba ANOVA de un solo factor y se obtuvo:

Figura 16

Resultados de prueba ANOVA aplicada a los tratamientos por vermifiltración.

Método						Resumen del modelo					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales					S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales					10.4304	44.51%	38.73%	29.77%		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$										
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>											
Información del factor						Medias					
Factor	Niveles	Valores				Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
Factor	6	P1; P2; P3; P4; P5; P6				P1	9	21.18	6.92	(14.19; 28.17)	
						P2	9	17.62	6.28	(10.63; 24.61)	
						P3	9	31.56	20.86	(24.56; 38.55)	
						P4	9	17.48	10.22	(10.49; 24.47)	
						P5	9	10.17	4.72	(3.18; 17.16)	
						P6	9	3.256	1.868	(-3.735; 10.246)	
Análisis de Varianza						<i>Desv.Est. agrupada = 10.4304</i>					
		SC									
Fuente	GL	Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p						
Factor	5	4189	837.8	7.70	0.000						
Error	48	5222	108.8								
Total	53	9411									

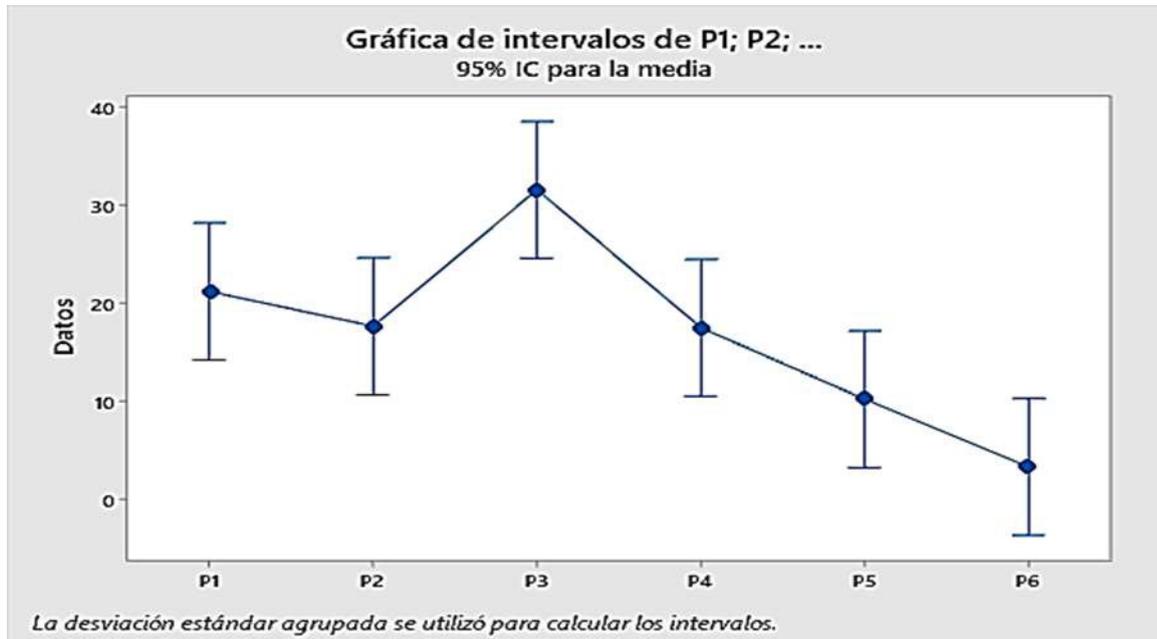
Nota. Elaborado y tomado de MINITAB v.19.

De lo que se desprende que con un valor $F = 7.70$ y un valor p de 0.000 lo que permite que exista significancia en el tratamiento ya que es menor al valor p de la investigación que es 0.05 , esto establece que un sistema de tratamiento por Vermifiltración presenta un alto grado de eficiencia en la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas, 2021, ya que se observa que presenta medias de disminución significativas verificadas en desviaciones típicas de 4.72 y 1.868 verificando y demostrando el alto grado de eficiencia de remoción en parámetros que implican materia orgánica validándose así la hipótesis general planteada.

Así mismo se puede apreciar una significativa efectividad en el tratamiento:

Figura 17

Gráfica de intervalos de efectividad del tratamiento por Vermifiltración

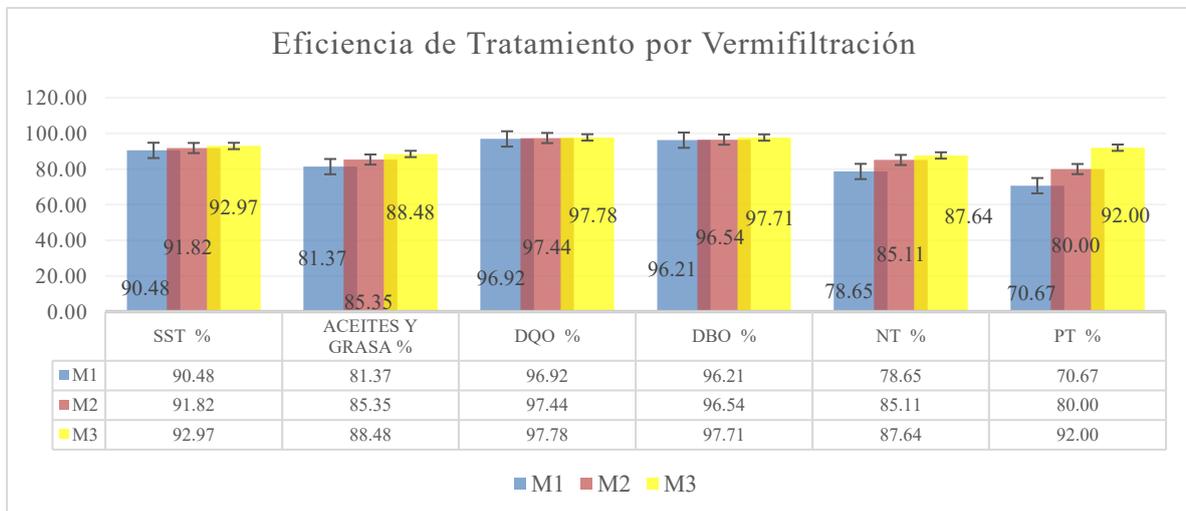


Nota. Elaborado en MINITAB v.19.

En la figura 17 se aprecia que los parámetros NT y PT presentan mayores valores de remoción según valores agrupados presentando valores muy bajos después de los 21 días de tratamiento por Vermifiltración comprobándose su efectividad y comprobando su eficiencia por lo cual se analiza el tratamiento después de 21 días de lo cual se obtiene:

Figura 18

Eficiencia del tratamiento por Vermifiltración a los 21 días de aplicación



De lo cual se desprende que en la tercera aplicación a los 21 días se remueve un promedio mayor al 90% de parámetros que expresan materia orgánica en las aguas residuales tratadas, pero en general en presentado remociones muy altas en este periodo de tiempo de aplicación de tratamiento.

Tabla 15

Contrastación de Hipótesis

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
Un sistema de tratamiento por Vermifiltración presenta un alto grado de eficiencia en la remoción de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas, 2021.	Según lo expuesto con eficiencia mayor a 90% aplicado a los 21 días de tratamientos, se comprueba que presenta un alto grado de eficiencia el tratamiento de aguas residuales con Vermifiltración	Verdadera
HIPOTESIS ESPECIFICAS		
Los niveles de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domesticas se encuentran en concentraciones elevadas.	Los parámetros fisicoquímicos presentan concentraciones elevadas según el uso que se quiere dar ya que presentando valores elevados.	Verdadera
Los elevados niveles de los parámetros fisicoquímicos serán removidos de las aguas residuales domésticas mediante el uso de tres sistemas por vermifiltración domésticas.	Encontrando un valor F de 7.70 y un valor p de 0.00 que establece la significancia del tratamiento se le agrega la eficiencia mayor al 90% de remoción que se obtiene en el tratamiento después de 21 días de aplicación del Vermifiltro	Verdadera
El acondicionamiento de tres sistemas por vermifiltración permitirá conocer al más eficiente para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas.	Se comprueba que el monitoreo de tres sistemas aplicados permite tener mayor eficiencia en el tratamiento para la remoción de materia orgánica y potencia la eficiencia de remoción de la vermifiltración en aguas residuales	Verdadera

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Castillo y Chimbo (2021) en su investigación realizada sobre “*Eficiencia en la Remoción de Materia Orgánica mediante Lombrifiltros (Eisenia foetida) en Aguas Residuales Domésticas para Zonas Rurales*” plantearon como objetivo, evaluar la eficiencia de la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros en las aguas residuales domésticas de una zona rural. Los resultados obtenidos fueron evaluados a través de los parámetros indicadores de presencia de materia orgánica en aguas residuales domésticas, como la DBO, DQO, SST y ST, quienes mostraron elevadas concentraciones en el afluente. Los niveles registrados al finalizar el tratamiento mostraron grandes porcentajes de eficiencia con un flujo volumétrico de 1.8×10^{-2} l/s y Tiempo de Retención Hidráulica de 0.92 h, obteniendo 52.25 % para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, 66.74 % para los Sólidos Suspendedos Totales y 52.91 % para los Sólidos Totales. En nuestro trabajo de investigación se utilizaron tres sistemas de tratamiento por vermifiltración, en el primer sistema M1 donde se utilizó un 10% de lecho orgánico con lombrices, 60% de aserrín, 20% de grava y 10% de arena, se obtuvo una eficiencia del 90.5% para Sólidos Suspendedos Totales, 96.2% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y 96.9% para la Demanda Química de Oxígeno, para el segundo sistema de tratamiento M2 se utilizó un 20% de lecho orgánico con lombrices, 50% de aserrín, 20% de grava y 10% de arena, y se obtuvo una eficiencia del 91.8% para Sólidos Suspendedos Totales, 96.5% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y 97.4% para la Demanda Química de Oxígeno; y finalmente para el tercer sistema de tratamiento M3, el cual se trabajó con 30% de lecho orgánico con lombrices, 40% de aserrín, 20% de grava y 10% de arena, se obtuvo una eficiencia del 93% para Sólidos Suspendedos Totales, 97.7% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y 97.7% para la Demanda Química de Oxígeno. A diferencia de los resultados reportados por Castillo y Chimbo (2021), las eficiencias alcanzadas en nuestro trabajo de investigación resultaron ser mucho mayores, esto posiblemente asociado a los

mayores tiempos de retención hidráulica (TRH).

En la investigación desarrollada por Coronel (2015) sobre el “*Diseño e Implementación a escala de un Biofiltro Tohá en la Epoch para la depuración de Aguas Residuales Domésticas procedentes de la comunidad Langos La Nube*”, planteó como uno de sus objetivos, la determinación de las condiciones óptimas del funcionamiento de un biofiltro a escala piloto para la eficiente degradación biológica de contaminantes orgánicos en el agua residual doméstica. Los parámetros de control utilizados en la determinación antes y después del tratamiento fueron el pH, conductividad eléctrica, turbiedad, amonio, DBO5, DQO, nitratos, fosfatos y TDS; en el proceso de biorremediación del agua residual se alcanzó diferentes porcentajes de remoción en los parámetros de turbiedad con 77.69%, amonio 68.24%, DQO 51.69%, DBO5 84.38%, nitratos 80.00%, fosfatos 73.47% y TDS 22.96%, con un incremento de pH de 0.06 Und. y una disminución en la conductividad de 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acuerdo con nuestro trabajo de investigación los resultados obtenidos varían en relación a cada uno de los sistemas de biofiltración utilizados, así tenemos por ejemplo para el tratamiento M1 se obtuvo una eficiencia del 78.3% para Turbiedad, 78.7% para Nitrógeno Total, 70.7% para Fosforo Total, 90.5% para Solidos Suspendidos Totales, 96.2% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y 96.9% para la Demanda Química de Oxígeno, así mismo para el tratamiento M2 se obtuvo una eficiencia del 80.8% para Turbiedad, 85.1% para Nitrógeno Total, 80% para Fosforo Total, 91.8% para Solidos Suspendidos Totales, 96.5% para la Demanda Bioquímica de Oxígeno y 97.4% para la Demanda Química de Oxígeno; y finalmente para el tratamiento M3 se obtuvo una eficiencia del 79.5% para Turbiedad, 87.6% para Nitrógeno Total, 92% para Fosforo Total, 93% para Solidos Suspendidos Totales y 97.7% para la DBO y DQO. El nivel de pH se incrementó en 1 Unid., y la Conductividad Eléctrica también aumentó en 608 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a diferencia de Coronel (2015) quien reporta una reducción, en términos generales los resultados obtenidos en ambas investigaciones se asemejan en los resultados, a excepción de

la Conductividad Eléctrica.

De acuerdo con Gamarra (2021) en su estudio sobre la *“Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga”*, planteó la construcción de 3 sistemas de tratamientos que fueron regados con diferentes caudales, donde el primer tratamiento tuvo un caudal de 25 mL/min, el 2do tratamiento un caudal de 50 mL/min y el 3er tratamiento un caudal de 75 mL/min; cada filtro contó con 4 capas: humos y lombriz (*Eisenia foetida*), aserrín, arena gruesa y grava, por donde se filtraron las aguas residuales domésticas y se obtuvieron aguas residuales tratadas. Terminada la etapa experimental de los resultados mostrados se obtiene una remoción de 96,7% de DBO5 para 3 tratamientos; 86,5%, 82,57% y 79,95% de DQO para el 1er, 2do y 3er tratamiento respectivamente; 95,3%, 96,1% y 95,5% de Sólidos Suspendidos Totales (SST) para el 1er, 2do y 3er tratamiento respectivamente y el pH en los 3 sistemas de tratamiento tienden a estabilizarse, inicialmente se tuvo un pH ácido de 6,58 y después del tratamiento se obtuvo agua residual con pH neutro de 7,51. De manera similar en nuestra investigación se obtuvo eficiencias de remoción para los tres tratamientos (M1, M2 y M3) en el orden del 96.2, 96.5 y 97.7% para DBO, del 96.9, 97.4 y 97.7% para DQO; y 90.5, 91.8 y 93% para SST. En cuanto a los niveles de pH se apreció de manera similar a la investigación de Gamarra (2021), que para el sistema de tratamiento M3, este alcanza un incremento máximo de una unidad (7.11 a 8.12) según va pasando el tiempo de retención hidráulica.

VI. CONCLUSIONES

A. De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual domestica tomadas de la planta de tratamiento María Reich en Miraflores, los niveles de pH y Temperatura no exceden los LMP, mientras que las concentraciones de Solidos Suspendidos Totales (165 mg/l), Aceites y Grasa (70.3 mg/l), Demanda Bioquímica de Oxigeno (280 mg/l) y Demanda Química de Oxigeno (585 mg/l) excedieron los LMP de acuerdo a la Norma DS N° 003-2010-MINAM, cuyo valores están en 150, 20, 100 y 200 mg/l respectivamente.

B. Con relación a los tres sistemas de tratamiento por vermifiltración, la mayor remoción alcanzada para la Turbiedad lo obtuvo el tratamiento M2 con 72.2 NTU, mientras que el tratamiento M3 alcanzó los mayores índices de remoción de DBO con 273.6 mg/l, DQO con 572 mg/l, SST con 153.4 mg/l, Aceites y Grasa con 62.2 mg/l, Nitrógeno Total con 31.2 mg/l y Fosforo Total con 6.9 mg/l.

C. De los resultados podemos concluir que el sistema de tratamiento M3 es quien alcanzó las mayores eficiencias en la remoción de materia orgánica para 21 días de retención hidráulica, con el 97.7% de DBO y DQO, 93% de Solidos Suspendidos Totales, 88.5% de Aceites y Grasa, 87.6% de Nitrógeno total y 92% de Fosforo Total.

D. De los tres sistemas de tratamiento M1, M2 y M3, se concluye que los parámetros de Solidos Suspendidos Totales, DQO y DBO alcanzan elevadas eficiencias de remoción de materia orgánica a partir del día 7, a excepción de Aceites y Grasa quien recién alcanza con el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles a partir del día 14.

VII. RECOMENDACIONES

A. Con la finalidad de reducir la contaminación por aguas residuales domésticas con bajos caudales, se recomienda el tratamiento por biofiltración o vermifiltración por su alta eficiencia demostrada en la remoción de materia orgánica con cargas contaminantes medias y bajas, así mismo los costos operativos del sistema resultan bastante económicos y amigables con el medio ambiente.

B. De acuerdo con la caracterización de las aguas residuales domésticas de la presente investigación se trabajó con cargas medias contaminantes, por lo que se recomienda realizar otras investigaciones con aguas residuales domésticas que presenten cargas orgánicas más elevadas a fin de conocer si es posible alcanzar eficiencias parecidas a las encontradas en nuestra investigación.

C. A fin de mantener las condiciones ambientales y operacionales del sistema en general se recomienda monitorear los parámetros de temperatura, pH, y estado de las lombrices, de manera que se asegure el normal funcionamiento del tratamiento, sin la presencia de ácidos o la misma radiación solar que pueden afectar a las lombrices.

D. Se recomienda probar con otros componentes, que difieran a los utilizados en la presente investigación, a fin de mejorar el sistema de tratamiento y permitiendo de esta manera encontrar mayores eficiencias en el tratamiento del agua residual doméstica con mayor incidencia a mejorar los tiempos de remoción de la DBO y la DQO, como principales indicadores de materia orgánica.

VIII. REFERENCIAS

- APHA (2005). *Standards methods for the examination of water and wastewater*. (21st ed.) American Public Health Association.
- Atiyeh, R. M., Domínguez J., Subler, S. y Edwards, C.A. (2000). Biochemical changes in cow manure processed by earthworms (*Eisenia andrei*) and their effects on plant growth. *Pedobiologia*, 44, 709-724.
- Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S. y Metzger J.D. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plants growth. *Bioresource Technology*, 78, 11-20.
- Ávila, G., Gaete, H., Morales, M. y Neaman, A. (2007). Reproducción de *Eisenia foetida* en suelos agrícolas de áreas mineras contaminadas por cobre y arsénico. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(3), 435-441.
- Barragán, R. y Espinoza, A. (2019). *Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FAM-Barragan_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castillo, J. y Chimbo, J. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80-99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Castillo, R. (2020). *Remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante un proceso de vermifiltración y jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) del asentamiento humano lomas de zapallal – distrito de Puente Piedra – Lima*. [Tesis para Optar el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Privada del norte]. Repositorio de la

Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26448/Tesis%20finalRonal%20Castillo-%20Vermifiltracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chávez, J. (2017). *Eficiencia de un Biofiltro en la reducción de carga Orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín*. [Tesis para Optar el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1734/EFICIENCIA%20DE%20UN%20BIOFILTRO%20EN%20LA%20REDUCCI%3%93N%20DE%20CARGA%20ORG%3%81NICA%20DE%20UN%20EFLUENTE%20INDUSTRIAL%20EN%20LA%20CIUD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chen, Q. (2008). Study on nitrification performance of vermibiofilter and its influencing factors. *China Water & Wastewater*, 24(3), 6.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:98907610>

Coronel, N. (2015). *Diseño e implementación a escala de un biofiltro tohá en la epoch para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos la nube*. [Tesis para optar el grado académico de Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<https://core.ac.uk/download/pdf/234574519.pdf>

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Decreto Supremo que aprueba los límites máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas o municipales. (17 de marzo de 2010). https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

Gamarra, B. (2021). *Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga*. [Tesis

para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10204/1/IV_FIN_107_T_E_Gamarra_Silva_2021.pdf

Maza, J. (2017). *Lombrifiltro para mejorar la calidad de las aguas residuales*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FAM-Barragan_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metcalf y Eddy, (1996). *Ingeniería de Aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. (3ª ed., Vol. I). McGraw-Hill Interamericana de España.

Pérez, M. y Pérez, S. (2016). *Proyecto de instalación de una planta de procesamiento de las aguas residuales domesticas del Distrito de Motupe usando el sistema TOHA*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8606/P%C3%A9rez_Alarc%C3%B3n_Mois%C3%A9s_Bladimir_y_P%C3%A9rez_Yahuara_Segundo_Ar%C3%ADsteres.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quispe, A, (2018). *Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho - Chosica*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal.
http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/1930/TESIS_ANDREA%20QUISPE%20PULIDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Román, G. (2020). *Vermifiltración con Lombriz Roja (Eisenia Foetida) para el tratamiento de aguas residuales*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Científica del Sur]. Repositorio de la Universidad Científica del Sur. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1412/TB-Rom%c3%a1n%20G.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Saboya, X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/items/452d6a9a-8d61-4af7-a382-e0f4593ac85f>
- Salazar, P. (2005). *Sistema tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. [Tesis para optar el Título de Constructor Civil. Universidad Austral de Chile]. Repositorio de la Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>
- Taylor, M., Clarke, W. P. y Greenfield, P. F. (2003). The treatment of domestic wastewater using small-scale vermicompost filter beds. *Ecological Engineering*, 21(2-3), 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.12.003>
- Tomar, P., y Suthar, S. (2011). Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system. *Current Development of Wastewater Treatment in India*. 282, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.007>

IX. ANEXOS

Anexo A

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Vermifiltración

