

UNIVERSIDAD DE HUANUCO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TESIS

“Eficiencia del sistema vermifiltro utilizando lombriz californiana (*Eisenia foteida*) para la reducción de DBO5 y coliformes fecales presentes en las aguas residuales domésticas, Amarilis - 2024”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Revolledo Ramos, Brandon

ASESOR: Gamez Penadillo, Joel

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

D

H



TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 77707475

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 23018222

Grado/Título: Maestro en ciencias económicas, mención: proyectos de inversión

Código ORCID: 0000-0003-4228-565X

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708
2	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 30 del mes de setiembre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

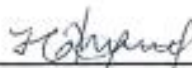
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente)
- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2114-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICIENCIA DEL SISTEMA VERMIFILTRO UTILIZANDO LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) PARA LA REDUCCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES FECALIS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, AMARILIS - 2024"**, presentado por el (la) Bach. **REVOLLEDO RAMOS, BRANDON**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 18:30 horas del día 30 del mes de SEPTIEMBRE del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal
DNI: 22411008
ORCID: 0000-0001-5319-4708
Presidente


Mg. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario


Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Vocal

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: BRANDON REVOLLEDO RAMOS, de la investigación titulada "Eficiencia del sistema vermifiltro utilizando lombriz californiana (*Eisenia Foteida*) para la reducción de DBO5 y coliformes fecales presentes en las aguas residuales domésticas, Amarilis - 2024", con asesor JOEL GAMEZ PENADILLO, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0965-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 18 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 23 de agosto de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

26. Revolledo Ramos, Brandon.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	18%	6%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.cientifica.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO,
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

A Dios por brindarme salud, conocimiento y virtudes para fortalecer mi etapa de vida, y ser mi cimiento de fe en dificultosos momentos.

A mi madre Diana Ramos, que día a día me proporciona su amor incondicional, de infundirme muchos valores de ejemplo en mi vida, enseñarme con solidez la perseverancia y valentía para afrontar cada adversidad, de dedicar su tiempo y comprensión en cada travesía con amor puro y sincero, agradezco inmensamente a mi madre por siempre acompañarme en cada oportunidad.

A mi padre Rodolfo Revollo, que me dio la oportunidad de culminar un propósito más en etapa de mi vida, de preocuparse por mi bienestar, salud e integridad en cada trayecto de mi carrera, agradezco rotundamente a mi estimado padre de estar presente en mi etapa profesional.

A mis hermanos, Diego y Juan por brindarme cada apoyo necesario en toda oportunidad, de cada aptitud que refleja como ejemplo para continuar y de muchos proyectos que culminar, siempre unidos.

A mis abuelos Juan y Heladia, que en cada momento su presencia fue engreírme y cuidarme, aunque no estén presentes siempre les tendré en lo más profundo de mi ser.

A mi tía Paty, mis primos Nadine y Victor de dedicar su tiempo y contribuir en mi proyecto además de ofrecerme apoyo incondicional en cada oportunidad presente.

A mis mascotas de ser mi inspiración y tenacidad de lograr cada objetivo en el trayecto de mi vida, agradezco infinitamente por enseñarme su empatía.

AGRADECIMIENTO

A todo poderoso de brindarme la vida y como guía en mi largo camino de existencia, de otorgarme la voluntad, apoyo, fortaleza y perseverancia, y no decaer durante este gran esfuerzo que comprendió mi carrera como ambientalista.

Al ingeniero Herman Atilio por compartir sus virtudes, paciencia y constancia al enseñarme sus conocimientos rigurosos y precisos en el desarrollo de mi proyecto.

A mi asesor de tesis Ing. Gamez Penadillo Joel y jurados Mg. Frank Cámara Llanos, Ing. Milton Edwin Morales, por brindarme su tiempo y la oportunidad de usar sus habilidades y conocimientos, así como también de presentarme recomendaciones durante la elaboración de mi tesis y revisarlo proporcionándome su apoyo para finalizar este proyecto.

A la Universidad de Huánuco – Facultad de Ingeniería Ambiental, por aceptar ser parte de ella abriéndome la puerta de bienvenida y de su interior científico para poder formarme como profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMA	18
1.2.1 PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4 JUSTIFICACIÓN	19
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	23
2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	23

2.1.2	ANTECEDENTES NACIONALES	27
2.1.3	ANTECEDENTES LOCALES.....	30
2.2	BASES TEÓRICAS	30
2.2.1	AGUAS RESIDUALES	30
2.2.2	COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	31
2.2.3	CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	37
2.2.4	CONSECUENCIAS DEL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES.....	45
2.2.5	CONTAMINACIÓN Y FALTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AMÉRICA LATINA	47
2.2.6	LAS AGUAS RESIDUALES Y SUS CONSECUENCIAS EN PERÚ	48_Toc179582898
2.2.7	MARCO NORMATIVO DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	49
2.2.8	SISTEMA TOHÁ, VERMIFILTRO O LOMBRIFILTRO	51
2.2.9	LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (<i>EISENIA FOTEIDA</i>)	72
2.3	DEFINICIONES CONCEPTUALES	82
2.4	HIPÓTESIS.....	86
2.4.1	HIPÓTESIS GENERAL	86
2.5	VARIABLES.....	86
2.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	86
2.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE	87
2.6	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	88
CAPÍTULO III		89
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN		89
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	89
3.1.1	ENFOQUE	90
3.1.2	ALCANCE O NIVEL	90

3.1.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	91
3.1.4	CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS FILTRANTES	94
3.1.5	DISEÑO DEL SISTEMA VERMIFILTRO	95
3.1.6	OPERACIÓN DEL SISTEMA VERMIFILTRO	100
3.1.7	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE 105	
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	110
3.2.1	POBLACIÓN	110
3.2.2	MUESTRA.....	110
3.3	TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	111
3.3.1	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	111
3.4	TÉCNICA PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	111
3.4.1	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	112
3.4.2	PRESENTACIÓN DE DATOS.....	112
CAPÍTULO IV.....		113
RESULTADOS.....		113
4.1	PROCESAMIENTO DE DATOS	113
4.1.1	RESULTADO DEL CAUDAL TOTAL (Q_{TOTAL}).....	113
4.1.2	RESULTADO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH) 114	
4.1.3	RESULTADO DE LA TASA DE CARGA HIDRÁULICA (HRL) 116	
4.1.4	RESULTADO DE LA POBLACIÓN DE LOMBRICES ρ	117
4.1.5	RESULTADO DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS EN LOMBRICES	120
4.1.6	RESULTADO DE LOS PARÁMETROS DBO5 Y COLIFORMES FECALES	121
4.1.7	RESULTADO DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO	123

4.1.8 RESULTADOS DE LA TASA DE EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO VERMIFILTRO.....	125
4.2 CONSTRATACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	144
CAPÍTULO V.....	147
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	147
CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES.....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS.....	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aguas grises y negras en una vivienda	40
Tabla 2 Límites máximos permisibles para los efluentes de ptar	51
Tabla 3 Clasificación de los suelos atterberg	62
Tabla 4 Parámetros técnicos en lombrices	77
Tabla 5 Componentes de los sistemas filtrantes	94
Tabla 6 Dimensiones de cada capa en la estructura del vermifiltro	95
Tabla 7 Parámetros para el diseño experimental del vermifiltro	108
Tabla 8 Puntos de coordenadas.....	110
Tabla 9 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	111
Tabla 10 Cálculo del caudal de operación del vermifiltro	113
Tabla 11 Datos para calcular el tiempo de retención hidráulica	114
Tabla 12 Cálculo del tiempo de retención hidráulica	115
Tabla 13 Cálculo de la tasa de carga hidráulica.....	116
Tabla 14 Registro de la población de lombrices eisenia foteida.....	117
Tabla 15 Registro de los parámetros técnicos de la lombriz eisenia foteida	120
Tabla 16 Resultados antes del tratamiento analizados por el laboratorio acreditado	122
Tabla 17 Resultados del agua tratada obtenido después del tratamiento con el sistema filtro	122
Tabla 18 Resultados del agua tratada obtenido después del tratamiento con el sistema vermifiltro	123
Tabla 19 Resultados de los parámetros muestreados antes del tratamiento	123
Tabla 20 Resultados de los parámetros muestreados después del tratamiento con el sistema filtro	124
Tabla 21 Resultados de los parámetros muestreados después del tratamiento con el sistema vermifiltro	124
Tabla 22 Resultados de eficiencia de dbo5 en los sistemas de tratamiento	125
Tabla 23 Resultados de eficiencia de coliformes fecales en los sistemas de tratamiento	126

Tabla 24 Resultados de eficiencia de sst en los sistemas de tratamiento	126
Tabla 25 Resultados de eficiencia de turbidez en los sistemas de tratamiento	127
Tabla 26 Registro de los rangos de temperatura del afluente y efluente	136
Tabla 27 Registro de los rangos de conductividad eléctrica del afluente y efluente	136
Tabla 28 Análisis de varianza del factor inter sujetos	144
Tabla 29 Análisis anova	145
Tabla 30 Análisis de varianza del factor inter sujetos	146
Tabla 31 Análisis anova	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aguas residuales domésticas	42
Figura 2 Lombrifiltro modelo sistema Toha	53
Figura 3 Estratos comunes de un lombrifiltro	56
Figura 4 Sistema de tratamiento lombrifiltro	69
Figura 5 Diseño del vermifiltro.....	95
Figura 6 Composición de los sistemas filtrantes	97
Figura 7 Diseño y construcción de los sistemas filtrantes.....	98
Figura 8 Adaptación y desarrollo de las lombrices Eisenia foteida	99
Figura 9 Recolección del agua residual doméstica y el vertido en los sistemas de filtración.....	100
Figura 10 Cálculo de los parámetros hidráulicos	103
Figura 11 Monitoreo de la población de lombrices.....	104
Figura 12 Toma de muestras de DBO5 y Coliformes Fecales antes del tratamiento	105
Figura 13 Toma de muestras de DBO5 y Coliformes Fecales después del tratamiento	106
Figura 14 Muestras de DBO5 y Coliformes Fecales	107
Figura 15 Análisis de los parámetros secundarios.....	108
Figura 16 Monitoreo de la población de lombrices dentro del sistema vermifiltro	119
Figura 17 Influencia del parámetro DBO5 en el sistema vermifiltro	129
Figura 18 Influencia del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sistema filtro convencional	129
Figura 19 Influencia del parámetro Coliformes Fecales en el sistema vermifiltro	132
Figura 20 Influencia del parámetro Coliformes Fecales en el sistema filtro convencional	132
Figura 21 Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales dentro de los sistemas.....	132
Figura 22 Variación del parámetro pH en el sistema vermifiltro	134
Figura 23 Variación del parámetro pH en el sistema convencional.....	135
Figura 24 Variación del parámetro oxígeno disuelto	138

Figura 25 Influencia del parámetro SST en el sistema vermifiltro	140
Figura 26 Influencia del parámetro SST en el sistema filtro convencional	141
Figura 27 Influencia del parámetro turbidez en el sistema vermifiltro	143
Figura 28 Influencia del parámetro turbidez en el sistema de filtración convencional	143

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Lavado del aserrín	183
Fotografía 2 Lavado de áridos	183
Fotografía 3 Construcción y llenado de los sistemas filtrantes	184
Fotografía 4 Construcción de un sistema de compostaje	184
Fotografía 5 Incorporación del agua residual y aserrín al sistema compostaje lombrifiltro	185
Fotografía 6 Recolección de agua residual doméstica	185
Fotografía 7 Análisis de los parámetros de campo	186
Fotografía 8 Toma de muestras.....	186
Fotografía 9 Vertido del agua residual doméstica al tanque	187
Fotografía 10 Medición del caudal	187
Fotografía 11 Análisis de los parámetros de campo	188
Fotografía 12 Rellenado de la cadena de custodia y envío de muestras de DBO5 y CF.....	188
Fotografía 13 Monitoreo de los parámetros técnicos en lombrices.....	189
Fotografía 14 Inspección del jurado Mg. Frank Cámara Llanos	189

RESUMEN

La presente investigación tuvo como **objetivo**, reducir la contaminación de aguas residuales domésticas utilizando un filtro de tipo vermifiltro con una capa de lombrices californianas de especie *Eisenia foteida*. El tratamiento de filtración con lombriz se utilizó para la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales siendo comparado con un sistema de filtración convencional sin lombrices. Este proyecto estuvo en funcionamiento los días 1, 7, 15 y 23 del mes de febrero del año 2024. No obstante, el **resultado** favorable fue de la semana 4, respecto al sistema biológico (vermifiltro) ya que se obtuvo el promedio de remoción en un 86.9% de DBO5 y 99.8% de Coliformes Fecales, sin embargo, a diferencia del sistema filtro convencional se obtuvo un 78.9% de DBO5 y 99.5% de Coliformes Fecales. Como **conclusión**, los resultados acreditados fueron comparados con el D.S 003-2010-MINAM, resultando una elevada reducción en Demanda Bioquímica de Oxígeno razón que no sobrepasó el límite planteado, pero respecto a los resultados de Coliformes fecales sobrepasó el rango admitido en el sistema filtro convencional, en cambio en el sistema vermifiltro resultó eficiente en la reducción de Coliformes fecales ya que en las dos últimas semanas no sobrepasó el límite.

Palabras claves: Vermifiltro, remoción, tratamiento, contaminantes, aguas residuales domésticas

ABSTRACT

The objective of this research was to reduce the contamination of domestic wastewater using a vermifilter type filter with a layer of Californian worms of the *Eisenia foteida* species. The filtration treatment with worms was used to reduce BOD5 and Fecal Coliforms and was compared with a conventional filtration system without worms. This project was in operation on the 1st, 7th, 15th and 23rd of February 2024. However, the favorable result was from week 4, regarding the biological system (vermifilter) since the average removal was obtained in 86.9% of BOD5 and 99.8% of Fecal Coliforms, however, unlike the conventional filter system, 78.9% of BOD5 and 99.5% of Fecal Coliforms were obtained. In conclusion, the accredited results were compared with D.S 003-2010-MINAM, resulting in a high reduction in Biochemical Oxygen Demand, which did not exceed the proposed limit, but with respect to **the results** of fecal coliforms, it exceeded the range admitted in the filter system. conventional, on the other hand, the vermifilter system was efficient in reducing fecal coliforms since in the last two weeks it did not exceed the limit.

Keywords: Vermifilter, removal, treatment, contaminants, domestic wastewater

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la ciudad de Huánuco no cuenta con ningún sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, provocando principalmente una elevada contaminación hídrica por la presencia de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos que no fueron removidos antes del ingreso al río. Sin embargo, como parte de proponer proyectos relativo al tratamiento de aguas residuales, se propuso implementar un sistema de depuración biológica compuesto por microorganismos y lombrices de especie *Eisenia foetida*, facilitando la operación, construcción y mantenimiento, razón que la investigación accede al desarrollo metodológico para evaluar su eficiencia en la remoción de contaminantes, verificando los parámetros acreditados como DBO5 y Coliformes Fecales, además de analizar en campo, los parámetros de pH, turbidez, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, temperatura y humedad, con la utilidad del multiparámetro HQ2200. La primera etapa consistió en la construcción y operación del sistema vermifiltro para tratar las aguas residuales domésticas provenientes de la matriz del desagüe de Zona 0 que desemboca al río Huallaga, la segunda etapa de la investigación tuvo como objetivo la toma de muestras, para luego ser empaquetadas y enviadas al laboratorio acreditado por la INACAL, de modo que se hizo 4 muestreos en el periodo de 1 mes, obteniendo 20 muestras recolectas en la matriz del desagüe (afluente) y la salida de los sistemas filtrantes (efluente), de tal forma el resultado con mayor eficiencia fue el de la cuarta semana que fueron analizados por el laboratorio acreditado: 86.9% DBO5 y 99.8% Coliformes Fecales. Por otro lado, el análisis en la investigación fue el control poblacional de las lombrices en un periodo de 1 mes realizado en 12 días para evaluar la sostenibilidad del vermifiltro, ya que al inicio se contó con 464 lombrices y al finalizar la investigación aumentó 2112 lombrices.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El recurso hídrico (ríos, lagos, acuíferos, mares) es considerado como finito, estratégico, vulnerable y esencial para la sostenibilidad de todo ser vivo, además de ser aprovechados como fuentes de energía, vías de transporte y abastecimiento de agua. Pero a nivel mundial actualmente se enfrenta una crisis hídrica debido a su explotación y falta de tratamiento, porque la mayoría de aguas residuales son descargadas en ríos, lagos y mares ocasionando daños graves al ecosistema. Según la información del autor Rodríguez (2017) existe más de 1000 millones de toneladas de aguas residuales, debido a los vertidos de metales pesados, detergentes, ácidos, aceites, grasas, entre otros productos, también la finalidad del hombre es utilizar el agua para fines domésticos, industriales y agrícolas donde sus aguas residuales son vertidas sin ningún sistema de tratamiento, modificando las características naturales del agua como de apariencia física y capacidad de albergar vida acuática, por razón que las fuentes hídricas no logran por si mismas absorber y neutralizar las cargas contaminantes.

Las autoras Armijo, E. et al. (2019) afirman que las actividades antropogénicas generan desechos industriales, urbanos, agrícolas, domiciliarios siendo una amenaza constante para la estabilidad de los ecosistemas, además de que alteran la propiedad química y física del agua por la presencia de materia orgánica y exceso de nutrientes vertidos directamente al cuerpo receptor. Por lo tanto, el incremento de aguas residuales y contaminación del recurso hídrico se debe principalmente a no proponer e implementar ningún sistema de tratamiento, pero frecuentemente la mayor parte se debe al requerimiento de inversiones costosas que las comunidades no están a disposición de pagar.

En Latinoamérica las 3/4 partes de aguas residuales son vertidas a los ríos y otras fuentes hídricas, afirmando que el 70% de estas no son tratadas, puesto que el agua es extraída, utilizada y retornada altamente contaminada

al cuerpo receptor, perjudicando la salud pública y ambiente. Además, lamentablemente esta contaminación hídrica atenta contra una de las regiones más biodiversas del planeta, ocupando nada menos que de 1/3 de fuentes de agua (Banco Mundial, 2013).

En Perú de acuerdo al artículo del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) en el año 2024 se generará aproximadamente 4 842 579 m³ por día de aguas residuales, especificando que cada habitante en el Perú genera 142 litros de aguas residuales al día, además de recolectar información por regiones: En la Selva generan 136 lt por día, Sierra 144 lt por día y Costa 145 lt por día, principalmente son descargadas a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicio Saneamiento, pero solo el 32% de estas aguas recibe tratamiento. La autora Sánchez (2017) redacta en su artículo que, los organismos reguladores en Perú como MINAM (Ministerio del Ambiente), SUNASS (La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento) tienen la obligación de supervisar el tratamiento de aguas residuales mediante decretos supremos, como la Norma OS.090, cumplimiento de los LMP (Límites Máximos Permisibles), VMA (Valores Máximos Admisibles) y los ECA (Estándares de Calidad Ambiental).

Donde en el artículo del Gobierno Peruano (2018) detalla que, los Límites Máximos Permisibles están establecidos por el Ministerio del Ambiente, en la normativa Ley General del Ambiente citado en el artículo 32.1 haciendo referencia que los LMP son la medida de concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos que de acuerdo a su gravedad deben ser supervisados porque causan daños a la humanidad y ambiente. Pero cumplir con las normas y evitar las multas no solo deben ser consideración, sino también se debe planificar concientización, capacitaciones y talleres para respetar el ambiente e incorporar novedosas propuestas económicas, factibles y accesibles en sistemas de tratamiento para aguas residuales.

Según la tesista Barreto (2020) informa que, debido al crecimiento poblacional incontrolado en la ciudad de Huánuco incrementa la emisión de aguas residuales domésticas, además de aún no ejecutar el proyecto PTAR

Huánuco planta de tratamiento para aguas residuales, afectan las cuencas hidrográficas presentando un elevado índice de contaminación, por razón que la disposición final de aguas residuales domésticas son vertidas directamente a los ríos Huallaga e Higuera deteriorando la salubridad de la población por el consumo de manera directa e indirecta.

Por esa razón el problema ambiental de vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento afecta el ecosistema natural, de no proponer soluciones con inversión económica en bajos costos y ejecutar proyectos ante una situación alarmante las poblaciones comunitarias, no pueden utilizar el agua no tratada por la razón de elevada concentración de contaminantes. Sin embargo, ante la información detallada se propone el método alternativo Vermifiltro, un sistema de tratamiento biológico a base de lombrices y bacterias, compuesto por capas de materiales filtrantes, esta opción es considerada como solución adaptable y replicable en zonas cuyos recursos económicos son ajustables y no les permiten invertir en costosos sistemas de tratamiento.

1.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la eficiencia de reducción DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe, utilizando un sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana (*Eisenia foetida*) comparado con un sistema de filtración convencional?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cómo calcular los parámetros hidráulicos en el sistema de vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas?

¿Cómo efectuar los parámetros técnicos y densidad poblacional de las lombrices para su adaptación y desarrollo?

¿Cuál es el porcentaje de reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento con el vermifiltro?

¿Cuál de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales cumplen con lo establecido de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de reducción DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe utilizando un sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana (*Eisenia foteida*) comparado con un sistema de filtración convencional

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular los parámetros hidráulicos del sistema vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Controlar los parámetros técnicos y densidad poblacional de las lombrices en su adaptación y desarrollo

Evaluar el porcentaje de reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento con el sistema de vermifiltro

Determinar si los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales, cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos según el D.S. N° 003-2010-MINAM

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales cuyas condiciones físicas y químicas han sido modificadas por actividades domésticas, no reciben ningún tratamiento previo siendo descargadas a la red de alcantarillado o vertidas al cuerpo hídrico, generando sustancias nocivas cuyo impacto está dañando la salubridad y ambiente.

En la actualidad la ciudad de Huánuco en relación a la población urbana y aledaña no cuentan con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales,

debido a la falta de proyectos y propuestas económicas, accesibles y factibles en sistemas de tratamiento para aguas residuales, además de no planificar concientización, capacitaciones y talleres para respetar el ambiente. De esta forma, el incremento de aguas residuales domésticas y la falta de conocimiento sobre implementar medidas o sistemas de tratamientos, seguirá deteriorando el cuerpo hídrico.

Así mismo, en el aspecto social, el desarrollo del estudio e implementación del proyecto referente al sistema de tratamiento de aguas residuales Vermifiltro busca mejorar el tratamiento y calidad de agua como también producir abono natural, beneficiando así a las zonas rurales para el reúso de aguas en riego y abono natural en cultivos, sin embargo, de considerar también como un tratamiento que regula la calidad de aguas residuales domésticas descargadas a la red de alcantarillado. Aportando la iniciativa de contribuir con un sistema ecológico incluyendo capacitaciones o talleres para conservar el ambiente.

El trabajo de investigación tiene una utilidad metodológica, para brindar conocimiento de un sistema de tratamiento óptimo, económico y biológico donde investigaciones futuras utilizarán metodologías compatibles.

Por lo tanto, concorde a un aspecto disciplinario, el trabajo de investigación procura aportar a los estudios que son realizados a nivel nacional particularmente en Perú, sobre la importancia de los sistemas de tratamientos ecológicos, bajos costos de operación, mantenimiento y limpieza, además de la importancia de cuidar nuestro ecosistema natural.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo se requiere una investigación experimental considerando sus diferentes etapas dado que se necesita fuentes teóricas fiables y concretas para mejorar el estudio a gran alcance sobre el diseño, operación y mantenimiento, además considerar la aplicación en campo a través de pruebas reales. De este modo, en investigación experimental la limitación metodológica dificulta, debido al desarrollo procedimental y obtención de resultados de las muestras, por esta razón se debe hacer uso

de un laboratorio acreditado para aguas lo cual no disponen en la ciudad y Universidad de Huánuco.

1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación es un aporte económico, social, ambiental, teórica y práctica:

Respecto a lo económico, el sistema de tratamiento para aguas residuales vermifiltro es una tecnología natural, asequible y efectiva, puesto que su operación no genera malos olores, ni tampoco ruido excesivo, además producto del tratamiento de agua residual se obtiene abono natural que puede ser comercializado o utilizado para los cultivos. La instalación del sistema vermifiltro es asequible a comparación de los tratamientos convencionales dado que es ecológico donde reduce los costos de operación, mantenimiento y gasto de energía.

Respecto a lo social, la implementación del sistema vermifiltro genera beneficios e impactos positivos, porque mejora la calidad de aguas residuales por la reducción de contaminantes, mejora la calidad de vida por la disminución de enfermedades que son producto de patógenos presentes en el agua residual, reduce la contaminación del ecosistema natural contribuyendo con la sociedad mediante conocimientos y cultura ambiental de preservar el ambiente, además el uso de recursos de manera eficiente.

Respecto a lo ambiental, la presente investigación permite que la comunidad acceda a sistema de tratamientos de aguas residuales con impactos positivos al ambiente, puesto que a diferencia de otros sistemas de tratamiento se requiere de insumos químicos y genera lodos en el proceso, en cambio el sistema Vermifiltro produce un sub producto que es utilizado como abono natural, asimismo su aplicación genera agua apta para riego de áreas verdes y vegetales. Por lo tanto, su implementación ecológica, autosostenible y eficiente mejora la calidad de agua de los efluentes por motivo de no exceder la concentración de parámetros físicos, químicos y biológicos, de este modo no cause o pueda causar daños a la salubridad, ecosistema natural y calidad de vida.

Respecto a lo teórico, se desarrolla a base de investigaciones existentes en relación a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, donde la investigación aporta la eficiencia del vermifiltro en la reducción de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.

Respecto a lo práctico, de acuerdo a los avances en sistemas de tratamiento convencionales para aguas residuales, se busca aportar ideas como aplicar métodos ecológicos, sustentables y económicos para tratar la calidad de aguas vertidas a los ríos y lagos más cercanos. Sin embargo, el desarrollo se basa en comprobar la eficiencia del vermifiltro en la reducción de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas. De igual forma, los conocimientos adquiridos en la Universidad De Huánuco sobre Saneamiento Ambiental, Contaminación y Tratamiento de Aguas Residuales permiten desarrollar la investigación con capacidad y determinación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Landeta (2019) en su tesis titulada: “Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra”, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Ecuador), tuvo por **objetivo** evaluar la eficiencia del sistema vermifiltro, de manera que su instalación fue para tratar agua residual proveniente del Camal de la ciudad de Ibarra. Como **metodología** utilizaron 2 tipos de sistema vermifiltro con diferente aserrín, viruta, sustrato de grava y lombrices *Eisenia foetida*; el vermifiltro 1 incluyó en su estructura piedra pómez, mientras que el vermifiltro 2 estuvo compuesto por piedra bola, el tiempo de evaluación fue durante 2 meses. Evaluó los dos tratamientos con tres repeticiones obteniendo un total de 6 unidades experimentales, en cuanto al diseño experimental utilizaron Diseño Completamente Aleatorio, la prueba de significancia fue Turkey con 5%, donde se evaluaron las variables dependientes (DQO, ST) y variables de control (Turbidez, color, pH y conductividad eléctrica). De acuerdo a sus **resultados** los tratamientos propuestos y estudiados en su investigación fueron eficientes en el tratamiento de aguas residuales, el sistema vermifiltro 1 obtuvo mejores resultados dado que el 96,27% fue la remoción de DQO y 64,01% fue la remoción de Sólidos Totales, cumpliendo con la normativa Límites Máximos Permisibles para las descargas al sistema de alcantarillado público. En **conclusión**, la adsorción y absorción que presenta el sistema vermifiltro es eficiente como el tiempo de remoción del contaminante, donde demostraron que el vermifiltro donde implica la piedra poméz es el mejor tratamiento, según la prueba de significancia Turkey, sin embargo, el agua residual fue tratada cumpliendo los Límites Máximos Permisibles.

Portillo & Silva (2020) en su artículo como título: “Evacuación de dos lechos filtrantes en un vermifiltro diseñado a escala laboratorio” Universidad Mariana (Colombia), tuvieron como **objetivo** evacuar dos lechos filtrantes en un vermifiltro diseñado a escala laboratorio, utilizando la **metodología** de realizar un cultivo de la lombriz Eisenia Foetida, constatando el estado de temperatura y humedad con finalidad de facilitar la reproducción y adaptación en cada uno de los sustratos que utilizaron. Obtenido las lombrices, se implementó los vermifiltros donde se utilizaron para degradar la carga orgánica presente en el agua residual. El dimensionamiento del sistema fue una estructura rectangular, diseñado con la finalidad de asegurar que el área superficial este mojado, evitando toda zona seca debido a la distribución de agua en tiempo lento. Además, su implementación fue ubicada en forma paralela con la finalidad de evaluar cada tratamiento separado en la misma categoría. Sin embargo, realizó el análisis de los parámetros físico-químicos, la Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Totales, pH y Turbiedad, donde se obtuvo los siguientes **resultados**, el sistema 1 de vermifiltro con bagazo de caña removió 62,02% respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, mientras que el 44,24% fue el porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno; el sistema 2 de vermifiltro con cáscara de café, removió 75,02% de Demanda Bioquímica de Oxígeno, sin embargo, la Demanda Química de Oxígeno fue inferior con un 57,23%; finalmente la evaluación vermifiltro de control evidenció que el 67,52% fue removido respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, así mismo, el 49,01% fue para la Demanda Química de Oxígeno. En **conclusión**, analizando y comparando los tres sistemas de tratamiento comprobó el sistema 2 vermifiltro con cáscara de café fue eficiente en la remoción de contaminantes permitiendo mayor reducción de los parámetros físico-químicos presentes en las aguas residuales, desde principio a fin de la experimentación.

Bonilla & Espinoza (2021) en su tesis como título: “Tratamiento de aguas residuales sintéticas de la industria láctea, mediante la

implementación de dos vermifiltros para determinar la eficiencia en la reducción de la demanda química de oxígeno” Escuela Politécnica Nacional (Quito), presentó como **objetivo** determinar el tipo de vermifiltro con mayor eficiencia en la reducción de Demanda Química de Oxígeno presentes en las aguas residuales de la industria láctea. De modo, que la **metodología** fue diseñar y construir dos tipos de vermifiltro a escala laboratorio empleando botellas de plástico con capacidad de 6 litros y dividida por 4 capas de 6 centímetros en altura cada una con material filtrante, por lo tanto, indicaron que en los dos vermifiltros utilizaron capa de soporte, grava gruesa (10 a 12 mm) y fina (6 a 8 mm), la capa media se estructuró diferente puesto que en el primero fue arena (0,5 a 1 mm) y segundo fue antracita (0,6 a 1,6 mm), finalmente la capa superior estaba abarcada de dos especies bióticas: *Canna indica* y *Eisenia foetida*. El afluente y efluente de los sistemas vermifiltro fueron monitoreados con los parámetros DQO, pH, Conductividad y Turbidez, con el tiempo de una vez por las primeras 4 semanas, y solo tres veces por las dos últimas semanas de operación. Por lo consiguiente los **resultados** que se obtuvieron fueron eficientes en cada sistema vermifiltro, pero si presentó una mínima diferencia de los siguiente. 93.93% de vermifiltro con capa media de arena y 93% antracita. **Concluyendo** que ambos sistemas de tratamiento fueron admitidos como eficientes, por cumplir con los límites máximos permisibles de Demanda Química de Oxígeno.

Marinni (2019) en su tesis titulada: “Diseño y Evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina”, Universidad del Bio-Bio (Chile); donde propuso como **objetivo** diseñar un sistema lombrifiltro a escala laboratorio con la finalidad de reducir los parámetros de demanda bioquímica y demanda química de oxígeno provenientes de los residuos líquidos industriales producto de carragenina. Por lo tanto, utilizaron la **metodología** de realizar pruebas a escala laboratorio, donde la estructura estaba conformado por cuatro capas filtrantes, de manera ascendente, donde la primera y segunda capa compuesto a base de

pedras de diversos tamaños, la tercera capa era arena y finalmente la última capa estaba constituida por mezcla de compostaje para lombrices, aserrín y tierra de hoja en donde se colocaron los organismos. Además, realizó 2 pruebas con RIL diluido y otra sin diluir, para ello se consideró el caudal de alimentación unos 2 litros por hora mientras que el tiempo de retención hidráulico fue de 2 horas. Así mismo, obtuvo los **resultados** de los parámetros: la demanda bioquímica de oxígeno redujo en 77% y 60%, demanda química en un 78% y 58%, mientras que los sólidos suspendidos totales fueron en un 98% y 97%, según el orden de RIL tratado diluido y no diluido. De este modo, la **conclusión** fue demostrar lo eficiente que es reducir la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en RILes de una campaña de Danisco Chile. Igualmente se aportó sobre la instalación y operación del sistema lombrifiltro a nivel industrial es factiblemente económica y técnica.

Caruzo, J. et al. (2019) en su tesis titulada: “Vermifiltração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto” Universidad Estatal de Campinas (Brasil). Los autores propusieron como **objetivo** demostrar la tecnología de vermifiltración mediante el uso de lombrices de tierra para el tratamiento de aguas residuales. Para ello utilizaron la **metodología** diseñar dos configuraciones distintas de lecho filtrante, vermifiltros 1 y 2 contenían lecho doble que estaba estructura en 5 capas que contenían aserrín combinado con arcilla expandida y otros materiales, a diferencia de los vermifiltros 3 y 4 constituían 6 capas. De este modo, se obtuvieron los **resultados** en remoción de contaminantes superior al 86% demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno 72%, turbidez 85% y sólidos suspendidos totales 83%. Afirmando como **conclusión** que, los vermifiltros son capaces de remover contaminantes como la materia orgánica (DBO y DQO) en un tratamiento directo de aguas residuales no tratadas, sin necesidad de algún reactor o pre tratamiento que lo complemente.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Meza (2022) realizó su artículo de investigación titulada: “Evaluación de la eficiencia de un vermifiltro con la especie *Eisenia Foetida* para el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico”, Universidad de César Vallejo (Lima, Perú). Cuyo **objetivo** fue evaluar la eficiencia del sistema vermifiltro empleando la especie *Eisenia foetida* para tratar las aguas residuales de tipo doméstico. La **metodología** aplicada fue tomar 2 muestras (una muestra de agua sin tratar y otra muestra del agua residual tratada), con periodo de 3 fechas distintas (cada una en tiempo de 7 días), sin embargo, el diseño del vermifiltro fue de acuerdo a los autores Guzmán y Hernández donde indicaron que 1 metro cuadrado de vermifiltro logra tratar 1000L/d (1m^3), por lo tanto, se elaboró en forma de prisma rectangular con dimensiones de 1 metro (ancho), 1 metro (largo) y 1.10 metros (altura) a base de 6.6 kilogramos de lombrices por 1m^3 de suelo, dado lo siguiente presentaron las ecuaciones: Carga Hidráulica= Caudal de agua residual/Área superficial del vermifiltro; Tiempo de Retención Hidráulica= Volumen total del vermifiltro/Caudal del agua residual; Eficiencia de remoción del vermifiltro= Concentración inicial-Concentración final/Concentración inicial. Obtuvieron como **resultado** la reducción de los parámetros: Solidos Totales Suspendidos con 95.30%, Coliformes Totales con 98.57% y nitrógeno total con 97.01%. Como **conclusión** se evaluó la eficiencia del vermifiltro utilizando la especie *Eisenia foetida*, donde se mostró significativa reducción en los parámetros analizados y presentes en el agua residual doméstico con tratamiento, además se adicionó que es efectivo para la remoción de los parámetros físicos (Temperatura y SST) químicos (Ph, nitrógeno total, fósforo total, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y grasas) y microbiológicos (coliformes totales).

Saboya (2021) en su artículo de tesis titulado: “Eficiencia del lombrifiltro para la remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas” Universidad Peruana Unión (Lima, Perú). Presentó como **objetivo** determinar la eficiencia de la lombriz de tierra y lombriz roja

californiana en el tratamiento de aguas residuales del Distrito de Chachapoyas (Perú). De este modo, la **metodología** que empleó el autor fue aplicar la adaptación de las dos especies durante 7 días, aplicando un diseño pre experimental y cuantitativa, donde manipuló las variables de estudio recolectando la medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos, mediante procesos estándares. Obteniendo los siguientes **resultados** que la especie *Eisenia foteida* removi6: Demanda bioquímica de oxígeno (92%), demanda química de oxígeno (86%), nitr6geno total (78%), turbidez (84.4%), ph (93%) y coliformes totales (84%), sin embargo, a diferencia de *Lumbricus terrestres* redujo un 91% de Demanda bioquímica de oxígeno, 84% Demanda química de oxígeno, 77% Nitr6geno total, 83% Turbidez, 93% pH y 80% Coliformes totales. Finalmente, su **conclusi6n** fue que la especie *Eisenia foteida* es m6s efectiva en la remoci6n de contaminantes presentes en el agua residual dom6stica con promedio de 87% a comparaci6n de la especie *Lumbricus terrestres* removi6 85%, pero cuyos par6metros fueron admitidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Umasi (2020) de su tesis titulada: “Evaluaci6n de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales dom6sticas en el distrito de Cusipata-Cusco”, Universidad Peruana Uni6n (Juliaca, Per6). Propuso como **objetivo** evaluar la eficiencia del sistema lombrifiltro utilizando la especie *Eisenia foteida* para la remoci6n de contaminantes de las aguas residuales dom6sticas del distrito de Cusipata Cusco. De este modo la **metodologí**a que utiliz6 fue aplicar la adaptaci6n de la especie de lombriz durante 7 días, para posteriormente trasladar al sistema lombrifiltro. El sistema de tratamiento estaba estructurado por 3 capas: organismo vivo (*Eisenia foteida*), materia orgánica (compost y aserrín) y capa final (piedra de río, grava mediana y arena), adem6s se instal6 un dep6sito de flujo continuo utilizado para acumular y dispersar el agua residual. El flujo fue de 0.77 litros por minuto, sin embargo, el tiempo de retenci6n hidr6ulica fue de 8 horas. El autor obtuvo los siguientes **resultados**, la lombriz *Eisenia foetida* fue eficiente en la remoci6n de contaminantes porque redujo 88% Demanda

bioquímica de oxígeno, 95% Sólidos suspendidos totales, 99% Escherichia Coli y 86% Demanda química oxígeno. **Concluyendo** que el sistema es apto para riego de vegetales y bebida de animales, debido a que no sobrepasa los parámetros que fueron analizados por la eficiencia que presenta en la remoción de contaminantes.

Gamarra (2021) presentó su tesis de título: “Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta-Sapallanga”, Universidad Continental (Huancayo, Perú). Propuso como **objetivo** verificar la eficiencia del sistema vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta- Sapallanga. Por lo tanto, la **metodología** empleada fue: nivel de investigación (explicativo) porque dio una explicación de la eficiencia del vermifiltro, diseño (experimental) debido al control de variable. Además, la instalación e implementación fue a escala piloto conformado por 4 capas: humus, lombriz, aserrín, arena gruesa y grava, también estuvo constituido por 3 sistemas de tratamiento regados con distintos niveles de caudal: Tratamiento 1 (25 mililitros por minuto), Tratamiento 2 (50 mililitros por minuto), Tratamiento 3 (75 mililitros por minuto). El análisis de cada parámetro lo realizó cada 7 días, en un periodo de 3 semanas, obteniendo como **resultados** de forma efectiva en la remoción de los parámetros analizados: 96,7% Demanda Bioquímica de oxígeno en los tres tratamientos; 86,5% T1, 82,59% T2, 78.65% T3 en la remoción demanda química de oxígeno; 95,5% T1, 96,59% T2, 95.65% T3 de Sólidos suspendidos totales; ph neutro de 7,51 en los tres tratamientos. En **conclusión**, los resultados que obtuvo el autor fueron positivos, de ese modo, determinó lo eficiente que es el sistema vermifiltro en la depuración de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.

Rojas (2021) dio a conocer su tesis titulada: “Lombrifiltro para el tratamiento de coliformes en aguas residuales domésticas del colector 31 de octubre Huancan – Huancayo 2021” Universidad de Cesar Vallejo (Lima, Perú). Optó como **objetivo** evaluar el sistema lombrifiltro para el

tratamiento de coliformes presentes en las aguas residuales domésticas del colector 31. Sin embargo, la **metodología** que realizó fue un diseño factorial y método experimental, el tipo factorial fue 2^2 con la finalidad de examinar la variación ph o tiempo de retención hidráulica, disponiendo de lombrices californianas, aserrín, piedra y grava materiales indispensables para el lombrifiltro. De los cuales los **resultados** que obtuvo de las muestras después de aplicar el sistema de tratamiento fue la remoción de coliformes totales en porcentajes máximos de un 99.99997% con un ph de 7.5 y tiempo de retención hidráulica de 24 horas, también se obtuvo la reducción de *E. coli* con un 99.99998% con ph de 7.5 y tiempo de retención hidráulica de 24 horas. Finalmente, el autor **concluyó** que logró mejores resultados disminuyendo la concentración de coliformes totales y *E. coli* debido a mayor tiempo de retención hidráulica y principalmente a la instalación del sistema lombrifiltro para tratar las aguas residuales domésticas del colector 31 de octubre.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

No se encontró antecedentes locales, a causa que es un proyecto de investigación novedoso en nuestra jurisdicción.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 AGUAS RESIDUALES

Los autores Espigares & Pérez (2020) describen las aguas residuales como aguas que fueron utilizadas en las distintas actividades antropogénicas, sin embargo, los usos de estas aguas manifiestan peligro a la salud pública, ambiente y calidad de vida por la voluminosa concentración de contaminantes o microorganismos patógenos. Sin embargo, la entidad Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental (2014) afirma que las aguas residuales son aguas cuya particularidad fueron modificadas por las actividades humanas en sus diferentes usos como doméstico, agrícola, industrial, comercial u otros, lo mismo que debido a su calidad necesitan de un anticipado tratamiento, por lo tanto, no pueden ser reusadas, ni tampoco ser vertidas a los cuerpos

receptores o sistemas de alcantarillado. De este modo, el incremento poblacional abarca una gran escala a este problema, debido a que las aguas residuales son un residuo de la humanidad y una mala gestión del recurso hídrico provoca riesgos eminentes al ambiente y población, porque el agua fue contaminada por residuos, fertilizantes y distintos químicos vertidos de manera directa sin ningún tratamiento (INCyTU, 2019). La autora Lara (2022) expresa en su artículo, debido a los vertidos directos donde no incorporan ningún tratamiento produce un elevado impacto perjudicial en el ambiente y sociedad, así mismo los ecosistemas naturales sufren alteraciones por los cuerpos de agua presentando una consistente concentración de contaminantes que modifican la calidad hídrica, aumentando los riesgos de enfermedades por contaminación química y biológica.

2.2.2 COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

En referencia a la composición de las aguas residuales el autor INNOTECH (2021) detalla que se basa en 3 componentes esenciales (físicos, químicos y biológicos), de tal forma que se ejemplifica de la siguiente manera:

- Para las aguas residuales urbanas la concentración es de origen urbano, doméstico o limpieza, sin embargo, las aguas están conformados por aguas fecales, lavado, materia orgánica e inorgánica y elementos sólidos.
- Conforme a las aguas industriales los vertimientos requieren un tratamiento preliminar, por lo que su composición será variada y tóxica.
- Respecto a las aguas residuales provenientes de lluvia, están compuestos por sólidos en suspensión.
- Por parte de las aguas residuales agrícolas su composición es mayormente herbicidas, plaguicidas, fertilizantes, materia fecal, entre otros.

Con base en la misma forma los autores Espigares y Pérez (2019) afirman que, según la cantidad de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos el agua residual tiene la clasificación de fuerte, media o

débil, de esta manera la cantidad generada de agua residual varía por el porcentaje presente en una comunidad donde realiza actividades económicas y sociales del consumo de agua potable, por lo que prácticamente el 70% al 90% se transforma en agua residual, además si esta cifra porcentual incluimos las aguas residuales pluviales alcanzaríamos cifras superiores a la de consumo.

Los principales contaminantes presentes en las aguas residuales incluyen los siguientes elementos según el artículo del autor Anónimo (2020):

- Sólidos en suspensión, nos referimos a partículas sólidas de dimensión pequeña, residen de forma suspendida en las aguas, varia la calidad de agua, influye en la turbidez, aumento de temperatura y reducción de oxígeno disuelto, sin embargo, la remoción de estos sólidos se da a través de filtros o sedimentación.
- Patógenos, en su mayoría son de origen fecal perjudicando la salud humana a causa de enfermedades que produce.
- Materia orgánica, la remoción de estos contaminantes compuestos por materia son susceptibles a la biodegradación mediante seres vivos o producto de descomposición de forma básica mediante agentes químicos, lo cual la concentración de parámetros está compuesta en materia orgánica como Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Carbono Orgánico Total.
- Nutrientes, debido al exceso de fósforo y nitrógeno induce la eutrofización de las aguas, alterando el ecosistema acuático y limitando el desarrollo de organismos.

2.2.2.1 PARÁMETROS FÍSICOS

Conforme al artículo de los autores Espigares & Pérez (2020) explican sobre los parámetros físicos distinguidos en las aguas residuales considerando los principales como: contenido total de sólidos, olor, temperatura, color, turbiedad, PH y densidad.

- **Sólidos**

La autora Hernández (2017) detalla la clasificación de los sólidos de la siguiente manera:

- Sólidos suspendidos, se encuentra suspendidos en las aguas residuales siendo visibles y flotando entre la superficie y fondo, conformado por dos grupos: sedimentables (materia flotante o decantable) y coloidales (agrupados en partículas mayores no sedimentables ni flotantes). Además, los sólidos suspendidos se observan como sólidos fecales, arcilla, madera descompuesta, partículas de comida y residuos (70% orgánico y 30% inorgánico), no obstante, la remoción de estos componentes se da a través de mecanismos físicos (filtración o sedimentación).
- Sólidos disueltos, se encuentran dispersos en las aguas de forma molecular conformado por 60% inorgánicos y 40% orgánicos, sin embargo, su concentración resulta de los minerales o gases originados debido a la materia orgánica descompuesta, causando distintos problemas de color, sabor y olor.
- Sólidos coloidales, está conformado por bacterias, virus, partículas que intervienen en el color, agentes patógenos, entre otros, caracterizados por no sedimentar excepto si se considera periodos razonables.
- Sólidos totales, están presentes en las aguas residuales, clasificados y agrupados globalmente en sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, así mismo encontramos materia orgánica y sales inorgánicas (bicarbonatos, cloruros, fosfatos y nitratos de sodio).

- **Olor**

De manera común la generación de olores está relacionado con el esparcimiento de gases a causa de los procesos en descomposición de la materia orgánica o bacteriana de proteínas, de tal forma que el sulfuro de hidrógeno está presente en las aguas residuales proliferando un olor peculiar, sin embargo, por medio de

la actuación de microorganismos anaerobios se reduce los sulfatos a sulfitos ofreciendo como resultado la presencia del ácido sulfhídrico. Para el análisis de olor y caracterización se admite factores primordiales como sensación, intensidad, distinción y efecto (Ferrer y Seco, 2008).

- **Temperatura**

Característica singular que presentan las aguas residuales con temperaturas altas que pueden ocasionar alteraciones nocivas en los ecosistemas acuáticos e induciendo al desarrollo de plantas acuáticas y hongos, esto se debe a que los microorganismos influyentes realicen los procesos bioquímicos intensificando el cambio de temperatura (Culqui, 2018). Con respecto al análisis de la temperatura en las aguas residuales, nos guiamos de los autores Poma & Quispe (2016) describiendo que la toma de muestra debe ser en el área situada, para ello se requiere un termómetro de mercurio para luego realizarlo sumergiendo el termómetro en el agua, considerando que el resultado de lectura tiene una espera suficiente en la estabilidad del nivel de mercurio.

- **Color**

Las aguas puras son incoloras, pero su alteración por la presencia de contaminantes suspendidos, desechos orgánicos en descomposición u otras sustancias, ocasionan distintos colores en las aguas residuales como por ejemplo, un color grisáceo es porque fue descargado recientemente y por causa de sólidos suspendidos, pero cada vez aumente el periodo de arrastre por las matrices de alcantarillado tornan un color gris oscuro alcanzando poco a poco un aspecto negro, además las aguas residuales integran un color verde lo cual indica que es producto de sustancias disueltas y coloidales (Carita, 2012).

- **Turbiedad**

La presencia de turbidez ocurrida en las aguas residuales es cuando hay una cantidad suspendida de materia y material coloidal para así indicarnos la calidad de agua vertida. También el aumento de turbidez impide la penetración de luz influenciando en el desarrollo de biomasa acuática. La utilidad de métodos prácticos físicos como la intensidad de luz esparcida en la muestra comparado entre la intensidad de luz limitada a un padrón de suspensión, es un método para obtener la medición de la turbidez (Llano et al., 2014).

- **pH**

Característica física presente en la calidad de agua que podría variar de acuerdo al grado de alcalinidad o acidez alterando el desarrollo y proliferación de los microorganismos, lo cual el incremento de acidez en las aguas residuales sería una dificultad en su tratamiento, no obstante, es un factor esencial donde su control permite determinar los efluentes con concentración de contaminantes para el debido tratamiento mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos, (HANNA, 2018).

- **Densidad**

Característica significativa del agua residual durante los sistemas de tratamiento como en la formación de lodos dado en las instalaciones de sedimentación u otras, especificado por masa/volumen y expresado en kg/m^3 y g/cm^3 . Así mismo se conoce que la densidad de las aguas residuales domésticas que no abarquen residuos industriales es la misma que la del agua a temperatura similar. El peso específico y densidad se relaciona con la temperatura variando en acción de la concentración total de sólidos presentes en el agua (IHA, 2018).

2.2.2.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

En relación a la redacción de la autora Heredia (2019), para la caracterización del agua residual se determina los análisis químicos como principales influyentes. Sin embargo, el problema de mayor magnitud en la concentración de sustancias químicas, son aquellas que poseen propiedades tóxicas, metales pesados y agentes carcinógenas. De tal forma para determinar el análisis de las características químicas presentes en las aguas residuales abarcan los siguientes elementos: Materia orgánica e inorgánica, concentración de gases y medición del contenido orgánico.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

Parámetro químico que nos indica de cuanto oxígeno necesitan los microorganismos aerobios para la degradación metabólica de la materia orgánica acumulado en la toma de muestra, de tal forma determinarlo ayuda a conocer sobre la cantidad de materia orgánica biodegradable para mejorar los sistemas de tratamiento y controlar el exceso de vertidos (Osorio et al., 2021).

- **Oxígeno disuelto**

De acuerdo al artículo de LGSONIC (2023) afirma que, para controlar la calidad de agua requiere de oxígeno disuelto, cuya medida resulta miligramos por litro (mg/L) o parte por millón (ppm), donde sí la concentración de oxígeno obtenida es 5 a 6 mg/L es porque el oxígeno es suficiente para la mayoría de especies, sin embargo, si resulta menor de 3 mg/L es nocivo para el ecosistema y si presenta 2 mg/L es mortífero para mayoría de especies. Por lo tanto, constatando lo anterior, el oxígeno disuelto es un elemento esencial para la vida acuática, considerando que si la concentración es mayor obtendremos que el entorno sea saludable y sostenible permitiendo la formación de diversos organismos. Además, gracias al oxígeno se presenta dos factores principales: respiración de los seres vivos y descomposición de la materia

orgánica (realizada por bacterias, hongos mediante su capacidad oxidante requiriendo oxígeno para el consumo y degradación de los desechos provenientes de los seres vivos).

2.2.2.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Se identifica principalmente por la presencia de microorganismos patógenos producto de los desechos humanos o restos animales infectados con alguna enfermedad, incluyendo una variedad de bacterias, virus, helmintos y protozoos. En consecuencia, debido a las excretas provenientes de los humanos surgen enfermedades en el aparato intestinal como diarreas, cólera, fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería u otros. Por esta razón es importante la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales o cloacales para eliminar todo agente patógeno expuesto en las excretas de origen humano, presentándose los siguientes: Coliformes totales, coliformes fecales (*Escherichia coli*), salmonellas, virus y huevos de helminto.

- Coliformes termotolerantes

Basado en la información de Liendo (2015) detalla sobre las bacterias coliformes fecales o termotolerantes, clasificados como un subgrupo de los coliformes totales, que constan con la capacidad de fermentar la lactosa a 44.5°C y se encuentran compuestos por géneros de *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella*. Su contenido se presencia en grandes proporciones cuyo origen es fecal en altas concentraciones de heces humanas, además como indicador puede ser encontrado en aguas orgánicamente enriquecidas.

2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

El autor Arriols (2018) indica en su artículo que las aguas residuales son clasificadas según su origen, distribuyéndolo en 4 tipos de aguas residuales principalmente doméstico, agropecuario, industrial y

derivados de la lluvia ácida, por lo tanto, las características del agua residual son de acuerdo a la utilidad o actividad que se le haya dado.

2.2.3.1 AGRICULTURA Y GANADERÍA

De acuerdo a la descripción de Ferrovial (2020) se genera principalmente por la ganadería intensiva cuyas aguas residuales son vertidas directamente a los cauces, la calidad de estas aguas se debe por elevada concentración de contaminantes como productos químicos, desechos fecales, orines del ganado y también los cultivos o actividades destinadas al tratamiento de productos agrícolas.

2.2.3.2 DERIVADOS DE LLUVIA ÁCIDA

El autor Arriols (2018) señala que este tipo de aguas residuales no es de interés para mayoría de personas, pero principalmente estas aguas son producto de la acción del hombre debido a que la lluvia es capaz de arrastrar las sustancias nocivas presentes en la atmósfera, la mayor parte de estas aguas acaban en el alcantarillado público.

2.2.3.3 INDUSTRIALES

Aguas vertidas de finalidad industrial y comercial o mejor descrito aguas contaminadas producto de fábricas, industrias o las distintas actividades destinadas a la fabricación de productos. Sin embargo, las aguas residuales industriales presentan un nocivo, eminente y elevado componente contaminante de metales pesados como mercurio, cobre, plomo entre otros, también el de contener químicos sintetizados (Ferrovial, 2020).

2.2.3.4 DOMÉSTICAS

Según la información obtenida del artículo Pure Water (2020), lo define como aguas servidas o negras que fueron generados en viviendas o instalaciones comerciales o públicas, sin embargo, la concentración de contaminantes como enfermedades patógenas,

desechos sólidos, detergentes, grasas, desechos orgánicos entre otros de menor proporción, provenientes de aguas fecales, de limpieza y lavabo. Pero además son aguas residuales catalogadas de menor impacto contaminante debido a su contenido de no presentar químicos cruciales de utilidad en las industrias. Así mismo, de acuerdo al autor Rivera (2021) en su artículo aporta que, las aguas residuales domésticas son producto de actividades diarias del hombre y el vertimiento se da a través de redes alcantarillado en modo directo al cuerpo hídrico y ambiente. Por lo tanto, las características fisicoquímicas y biológicas están presentes de manera muy alterada en las aguas residuales domésticas, cuyas condiciones no son aptas para riego ni consumo humano.

- **Clasificación**

Según el blog de Areaciencias (2021) las aguas residuales domésticas presentan dos tipos, ambas presentan distintas particularidades, pero en su composición permanecen gran cantidad de contaminantes y agentes causantes de enfermedades, por lo tanto, requieren de previo tratamiento. No obstante, se menciona los dos tipos de aguas residuales domésticas:

- Aguas grises, también como término común aguas usadas en fines domésticos. Su composición es mayor en materia orgánica e inorgánica y microorganismo, además el porcentaje de los parámetros nitrógeno y fósforo es menor, sin embargo, su descomposición es más acelerada que las aguas negras, por lo que no presentan malos olores próximos a ser vertidas y son distinguidas de las aguas residuales cloacales cuyo contenido contaminado es debido al excremento proveniente del inodoro, de ese modo las aguas grises no contienen concentración de bacterias fecales como *Escherichia Coli* (*E coli*) (Zarza, 2021). Así mismo la información de Fibras y Normas de Colombia S.A.S (2022) detalla que, este tipo de aguas presentan un aspecto turbio e incoloro,

principalmente son residuos líquidos vertidos por el desagüe de lavaderos, lavabos, lavavajillas, lavadoras y bañeras, pero pueden ser de reúso para la limpieza directa en inodoros y realizando tratamientos de mejora en sus condiciones físicas, químicas y biológicas donde podrán ser utilizados en zonas de riego o áreas verdes.

- Aguas negras, es producto de los desechos orgánicos tanto de animal como ser humano, conformado por contaminantes como heces y orinas, pero mayormente los desechos de los humanos son arrojados por retretes e inodoros generando enfermedades graves en la salud, malos olores, contaminación ambiental entre otros problemas. Generalmente las aguas negras también son llamadas aguas servidas o aguas cloacales descargadas en las redes de alcantarillado y obtenidas luego de que el hombre intervino en la calidad de agua, alterando las características naturales debido al desecho de materia orgánica y química por la presencia de agentes tóxicos (Acción contra el hambre, 2023).

Tabla 1

Aguas grises y negras en una vivienda

ORIGEN	CONTENIDO
Ducha	Jabón, productos de aseo personal, grasas y bacterias
Lavamanos	Jabón, productos de higiene y aseo personal
Lavaplatos	Materia orgánica, detergentes, nutrientes, sólidos, grasas y aceites
Lavadora	Detergentes, cloro y restos de fibras
Sanitarios	Altas concentraciones de materia orgánica y patógenos
Tina	Productos de aseo personal, bacterias, grasas y jabón

Nota. La figura muestra el origen de las aguas residuales grises y negras en una vivienda Fibras & Normas de Colombia S.A.S (2022)

- **Características**

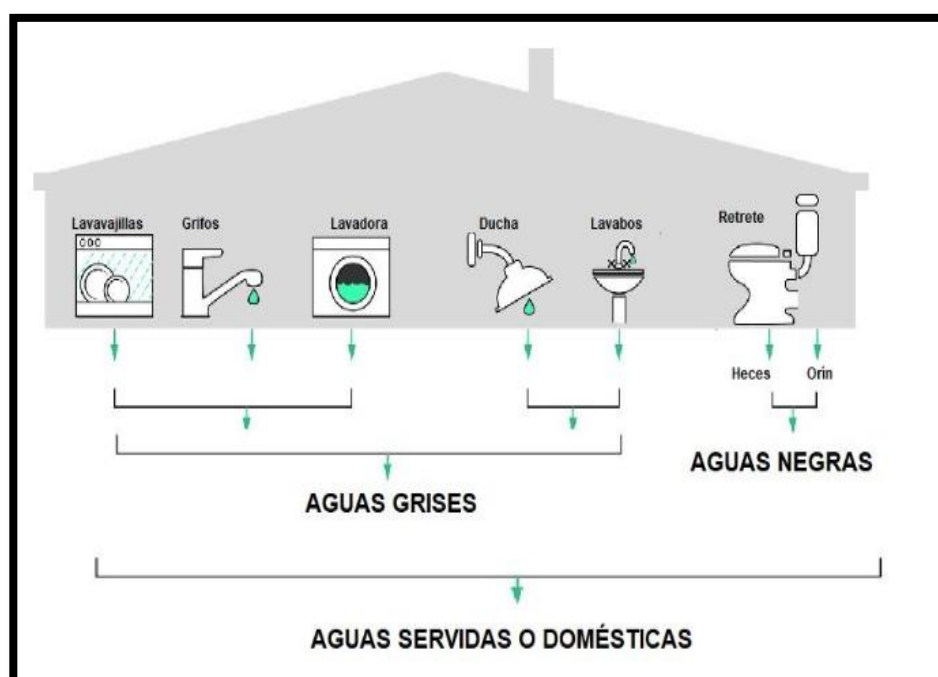
Según la información de Fibras y Normas de Colombia S.A.S (2022), las aguas grises domésticas presentan las siguientes características:

- Para la principal **característica física** de las aguas residuales grises es determinar el color, seguido los demás parámetros físicos como turbidez, temperatura, conductividad y sólidos en suspensión. Sin embargo, debido al desarrollo de contaminantes biológicos presentes en estas aguas la temperatura aumenta. Así mismo, la existencia de sólidos en suspensión es generado por partículas de comida, polvo, fibras de agua de lavandería, entre otros. Además, la turbidez que provocaría posibles obstrucciones en las tuberías es producto de partículas y coloides.
- Las **características químicas** están principalmente relacionado a la acumulación de sustancias que se encuentran directamente en las actividades diarias del hogar, es posible su variación como: un factor socioeconómico de la zona o donde se localice, de este modo en el sector rural las concentraciones químicas son menores, dado que el uso de detergentes es poco y un acceso limitado en el aseo, por el contrario en las zonas urbanas la utilidad de detergentes es masiva para la limpieza y aseo en los hogares; sin embargo, en las aguas grises domésticas se puede presenciar gran concentración de productos químicos artificiales de composición nitrato, fosfato y agentes tenso activos utilizados en limpieza doméstica siendo vertidos de forma directa a la red de alcantarillado.
- Las **características microbiológicas** de las aguas grises se relacionan respecto al contenido de heces y coliformes totales como *E. choli* entre otros debido a la presencia de bacterias y virus que son producto de heces, sangre, orina de humanos y animales, causante de enfermedades y epidemias. Sin embargo, en las aguas grises domésticas se encuentra concentraciones normales de sustancias biológicas, variando por temporadas al año, fuente y

la presencia de contaminantes, por lo tanto, la relación de volumen y actividades desarrolladas en el hogar está directamente relacionada a las concentraciones de contaminantes presentes. Los microorganismos más importantes que podemos encontrar en las aguas son: bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas (por ej. El azul verduoso). La contaminación de tipo bacteriológico es debida fundamentalmente a los desechos humanos y animales, ya que los agentes patógenos bacterias y virus- se encuentran en las heces, orina y sangre, y son de origen de muchas enfermedades y epidemias (fiebres tifoideas, disentería, cólera, polio, hepatitis infecciosa). Desde el punto de vista histórico, la prevención de las enfermedades originadas por las aguas constituyó la razón fundamental del control de la contaminación.

Figura 1

Aguas residuales domésticas



Nota. La figura representa la distribución de aguas grises y negras en una vivienda Areaciencias (2021)

- **Tratamiento de aguas grises**

De acuerdo a la información de Fibras y Normas de Colombia S.A.S (2022) para el tratamiento de aguas grises se hace utilidad de diferentes tecnologías de tratamiento considerando la calidad y cantidad de aguas residuales producidas y siendo aplicado en algunos lugares del mundo. Un sistema de depuración es considerado eficiente si proporciona la calidad de recurso requerido, operación manejable y económicamente asequible al consumo energético, operación y mantenimiento. De este modo, para la reutilización de las aguas residuales se requiere una serie de procesos físicos, químicos y biológicos para la remoción de contaminantes. Las tecnologías de tratamiento no convencionales de aguas grises son empleadas para pequeñas poblaciones debido al bajo costo, mantenimiento y operación, pero la aplicación del procedimiento convencional para tratar las aguas grises en áreas urbanas medianas y grandes es habitual como el proceso de lodos activados. Por lo tanto, para mejorar el tratamiento de estas aguas es recomendable evitar vertidos de grasas, aceites, residuos sólidos en las tuberías dado que algunos sistemas de tratamiento no cuentan con trampas de grasas y aceites, pero si los sistemas de tratamiento están equipados entonces se elimina la grasa, seguido del tratamiento primario que tiene como objetivo separar la suspensión gruesa y sedimentada, grasas y aceites, así como la materia orgánica. También elimina concentraciones de nitrógeno orgánico y fósforo, así como metales pesados asociados a sólidos en suspensión. El procesamiento consiste en una serie de acciones físicas, biológicas y químicas, que se llevan a cabo en cuatro etapas:

- Etapa 1 pre tratamiento, su finalidad consiste en eliminar elementos gruesos, arenas y grasa y se realiza a través de procesos de debaste, dilaceración, desarenado, dilaceración, desarenado, mezclado y homogenización.

- Etapa 2 tratamiento primario, caracterizado por remover los contaminantes físicos por medio de procesos como cribado, flotación, filtración y sedimentación.
- Etapa 3 tratamiento secundario, su finalidad es eliminar la materia orgánica disuelta o coloidal además de la reducción de patógenos presentes y exceso de nutrientes mediante operaciones fisicoquímicas y biológicas de tipo anaeróbicas y aeróbicas.
- Etapa 4 tratamiento terciario, principalmente se centra en eliminar metales pesados, demanda biológica de oxígeno, bacterias, parásitos y contaminantes químicos.

- **Contenido de sustancias en aguas negras**

De acuerdo al artículo de Acción contra el hambre (2023) afirma que el contenido de las aguas negras está compuesto por materia orgánica, esto se debe sobre todo a los residuos animales, vegetales, grasas, aceites, entre otros, además en su composición se encuentra materia inorgánica como telas, plásticos, arena, químicos entre otros sólidos de dimensiones pequeñas o grandes. Por otro lado, la composición de componentes microbiológicos proviene de las heces fecales, hongos, protozoos, bacterias y virus.

- **Tratamiento de aguas negras**

Deberán ser sometidos mediante procesos físicos químicos permitiendo remover el exceso de contaminantes patógenos antes de ser vertidos al cuerpo hídrico, por lo común se da mediante tres procesos según los autores Tilley et al. (2020):

- Tratamiento primario, proceso que impide el ingreso de sólidos mediante la separación y asentamiento.
- Tratamiento secundario, con la finalidad de utilizar procesos biológicos donde la materia orgánica disuelta es transformada en sólidos, para removerlos con mayor facilidad.
- Tratamiento terciario, realizado mediante lagunas de estabilización, desinfección y microfiltración.

Adicionalmente respecto al artículo de Fibras y Normas de Colombia S.A.S (2022) redactan que implemente los tratamientos adecuados para las aguas cloacales, evitando proliferaciones de virus y contaminación ambiental, de este modo existe diversos tipos de tratamiento como los siguientes casos: Procesos de sedimentación y filtración siendo usados para remover la materia orgánica e inorgánica suspendidas en el agua residual. No obstante, el método biológico de oxidación química es utilizado para remover la materia disuelta

2.2.4 CONSECUENCIAS DEL VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES

Concorde a la información de UNESCO (2017) detalla que la contaminación del recurso hídrico (aguas superficiales y subterráneas) y el suelo están expuestas a deteriorarse debido al inadecuado manejo de los sistemas y vertidos sin ningún tratamiento de aguas residuales. De forma que cuando las aguas residuales son descargadas en un cuerpo hídrico, pueden diluirse, trasladarse e infiltrarse en los acuíferos, afectando la calidad disponible de agua dulce. Así mismo, el vertimiento de aguas residuales en lagos o ríos acaban en los océanos, considerando que los vertidos no cuentan con sistemas de tratamiento o si cuentan, pero no es el tratamiento adecuado, por ese motivo se tendrá consecuencias, clasificándose en tres categorías: impactos nocivos en el ambiente causado principalmente por la degradación de cuerpos hídricos y ecosistemas; insalubridad en la calidad de vida debido a la reducción de calidad presente en el agua; e impactos sobre las actividades económicas.

2.2.4.1 EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

Los microorganismos patógenos radican principalmente en las aguas residuales transferidas y expuestas al entorno ambiental y en la población por medio de su utilidad en las distintas actividades como riego de cultivos vegetales, aseo doméstico, cocina, lavandería y ante todo como agua potable. Los métodos convencionales de tratamientos biológicos y fisicoquímicos de

aguas residuales tienen la finalidad de reducir significativamente los efectos de enfermedades, no obstante, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se observó que los virus y protozoos son muy resistentes que las bacterias (Bofill et al., 2005).

2.2.4.2 EFECTOS EN EL AMBIENTE

De acuerdo al artículo de BOSS TECH (2020) manifiesta sobre el impacto ambiental de las aguas residuales, primeramente, cuando el agua no recibió ningún previo tratamiento se acumulan sustancias nocivas para los campos de cultivo, además de contaminar el agua superficial y subterránea, y mientras no se emplea un debido control operacional en el proceso de filtración y drenaje, puede deteriorarse el suelo lo cual aumenta la saturación de agua provocando que las especies vegetativas produzcan malos olores. De igual forma los autores Corcoran et al. (2010) enfatizan que la eutrofización causa un impacto sustancial en los cuerpos hídricos debido al exceso de nitrógeno y fósforo, dos componentes que generan proliferaciones descontroladas de algas fitoplanctónicas altamente tóxicas que repercuten en el ecosistema mediante la integración de mayor turbidez en el agua, impidiendo la penetración de la luz al fondo del ecosistema y perjudicando el proceso de fotosíntesis.

2.2.4.3 EFECTOS EN LA ECONOMÍA

Con respecto a la calidad del agua es un factor esencial en el desarrollo de la economía, porque una mala calidad perjudica la productividad en la agricultura en áreas periurbanas y rurales además de la utilidad que se da en las distintas actividades como producción industrial, pesca, turismo, acuicultura, pero como pérdida primordial es en la producción de alimentos acelerando la pobreza en muchos países (BOSS TECH, 2020).

2.2.5 CONTAMINACIÓN Y FALTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN AMÉRICA LATINA

Citando el contexto de la autora Yee-Batista (2013) la región Latinoamérica está catalogado como una de las más biodiversas del mundo, considerando también un tercio de área hídrica a nivel mundial, pero lastimosamente la realidad es un peligro inminente en la calidad de agua debido que las tres cuartas partes contiene restos fecales, químicos, grasas, residuos, entre otros, que son vertidas a los cuerpos receptores (ríos y otras fuentes hídricas), de esta forma, provocan serios problemas, donde el 80% de la población urbana y lo restante parte rural, están ubicados en fuentes hídricas contaminadas en vista de que el 70% de aguas residuales son recolectadas, utilizadas y vertidas a los ríos sin ningún tratamiento siendo un atentando contra el ambiente, calidad de vida y salud pública. En ese mismo sentido respecto al artículo escrito por la autora Alonso (2022) afirma que la calidad de agua es un factor vital, pero también mortal en la vida a causa de que existen lugares como Honduras, El Salvador y entre otras regiones rurales de distintos países que el agua donde sirve como suministro no es tratada, por lo tanto, la calidad natural hídrica es alterada por distintos factores y mayormente por actividades antropogénicas. Seguidamente se dio a conocer el registro que publicó la Organización Panamericana de Salud (OPS) donde señalan que en América Latina y Caribe más de 28 millones de personas no cuentan con acceso a la calidad de agua tratada o mejorada, a 83 millones le hace falta mejorar las instalaciones de saneamiento y 15,6 millones defecan al aire libre. Concluyendo que el aumento, tratamiento mejorado y no contar con sistemas de tratamiento respecto a las aguas residuales en América Latina provocan conflictos en la diversidad económica, social y ambiental.

2.2.6 LAS AGUAS RESIDUALES Y SUS CONSECUENCIAS EN PERÚ

En lo que respecta sobre consecuencias de las aguas residuales en el Perú los autores Larios et al. (2015) afirman que en el país solo se implementó instalaciones de tratamiento un 30% en acceso público donde el incremento de sustancias contaminantes presentes en el agua es inorgánica y orgánica, no obstante, la cifra aproximada del 70% no cuentan con ningún sistema de tratamiento, con base en la misma forma según el informe de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2022) actualmente en Perú existe la instalación de 202 plantas de tratamiento de aguas residuales, no obstante 171 están operativas lo cual el 85% tiene la finalidad de cumplir la remoción de partículas contaminantes concentradas en las aguas residuales siendo vertidas del acceso de servicio público y redes de alcantarillado disponibles en zonas urbanas para así evitar que estas aguas contaminadas desemboquen en las fuentes hídricas naturales (ríos, lagunas, mares u otros).

2.2.6.1 PROBLEMAS DEL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES

En base a los autores Paucar & Iturregui (2020) se presenta los siguientes problemas de reúso de las aguas residuales distribuidas en el país:

- Instalación, operación y mantenimiento deficiente en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Insuficiencia de infraestructuras ecológicas para el tratamiento de aguas residuales.
- Inversión en tecnologías avanzadas y deficiente tratamiento de aguas residuales.
- No se da a conocer la evaluación nacional respecto al volumen real y necesidad de compensar la escasez de utilidad de aguas superficiales.
- Falta de incorporación en proyectos a base de avances tecnológicos.

- Referente a cumplimientos de compromiso ambiental y sanitario presentes en las actividades productivas no efectúan la vigilancia, control y fiscalización.
- La producción agrícola hace utilidad de las aguas residuales sin ningún tratamiento perjudicando y atentando contra la salud poblacional.
- Se carece de oportunidades en concientizar a la población a base de las distintas actividades domésticas y productivas caracterizando su actividad, disposición final y formas de reutilizar las aguas residuales.

En lo que respecta de lo anterior el artículo de la PUCP (2019) afirma que, Perú presenta un problema fundamental referente a los sistemas de tratamiento de las aguas residuales lo cual está correspondido a la existencia de 50 empresas prestadoras de servicios de saneamiento con cobertura deficiente, por este motivo, el vertimiento de las aguas residuales ocurre directamente a los cuerpos hídricos (mares, ríos, lagos) sin ningún tratamiento quedando concentraciones tóxicas e impactando en el ambiente, sin embargo, se emplea estas aguas como uso para riego de cultivos. Por esta causa, el régimen que respecta a las aguas residuales es esencial para el desarrollo del país.

2.2.7 MARCO NORMATIVO DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Según el autor Fernández (2020) afirma que en Perú el régimen de vertimientos y reutilización de aguas residuales compete sobre el control de calidad y manejo de efluentes tratados, del mismo modo que se debe cumplir los fines sanitarios y ambientales aplicados en los cuerpos hídricos donde vierten aguas residuales tratadas con la finalidad de ser utilizados en agricultura o distintas actividades.

Cabe considerar además la Ley General del Ambiente 28611 establece que las aguas residuales cuentan con un marco legal por la razón que toda persona tiene derecho a vivir un ambiente sano,

sustentable y confortable para desarrollar la vida, además de incluir servicios de apoyo en la gestión y protección del ambiente. Por ello, el Estado promueve aplicar tratamientos de las aguas residuales para mejorar la calidad de agua y ser reutilizadas apropiadamente con el fin de no dañar el ambiente, salud y el desarrollo de las distintas actividades como el riego de campos agrícolas. Así mismo, autoriza anticipadamente que las personas jurídicas o naturales descarguen sus aguas residuales domésticas, industriales u otras actividades en desarrollo, sin deteriorar la calidad de aguas de los cuerpos hídricos (ríos, lagos, otros) por la circunstancia de no afectar la revalorización para otros fines.

Por último, los sistemas de tratamiento de aguas residuales o servidas son obligación de implementarlos en las actividades productivas, extractivas o de comercialización siendo procesos que están a cargo de empresas o entidades, también se incluye que el tratamiento de residuos líquidos domésticos y aguas pluviales son responsabilidades relacionadas a las entidades encargadas con los servicios de saneamiento.

2.2.7.1 DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

Acerca del D.S N° 003-2010-MINAM fue aprobado por el MINISTERIO DEL AMBIENTE, donde la LEY GENERAL 28611 cita en el Art. 32 del inciso 32.1 que el Límite Máximo Permisible (LMP) se refiere a la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos catalogados o emitidos en los efluentes donde no deben exceder el límite para no causar daños en la calidad de vida, sustentabilidad y ambiente.

Sin embargo, el Ministerio del Ambiente (MINAM) y las entidades del Sistema Nacional de Gestión Ambiental se ocupan de verificar el cumplimiento de la normativa determinando que los parámetros correspondientes de la calidad de agua residual no sobrepasen lo establecidos en el ANEXO.

Tabla 2*Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR*

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTE PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100

Nota. Parámetros y sus Límites Máximos Permisibles con valores admitidos antes de ser vertidos a los cuerpos de aguas. MINAM (2020)

Respecto al recuadro anterior, se especifica los parámetros correspondientes a los límites máximos permisibles para vertidos a cuerpos hídricos: Aceites y grasas no deben exceder 20 mg/l, Coliformes totales tienen un límite de 10000 NMP/100 ml, Demanda Bioquímica de Oxígeno no supere los 100 mg/l, Demanda Química de Oxígeno no pase los 200 mg/l, pH se considera un rango de 6.5 a 8.5, Sólidos Totales en suspensión límite de 150 mg/l y Temperatura menor a 25°C.

2.2.8 SISTEMA TOHÁ, VERMIFILTRO O LOMBRIFILTRO

2.2.8.1 RESEÑA HISTÓRICA

El profesor José Tohá Castellá (1923-1999) fue un docente especializado en ciencia donde su camino de investigación le impulsó a instruirse en el origen de la vida, sintetizando macromoléculas biológicas (inicios descubiertos sobre el ADN). Sin embargo, en los años 70 se transfirió a la tecnología comenzando proyectos acerca de biocombustibles con la finalidad de obtener gas por medio de tunas, además de utilizar micro algas como sistema sostenible para la producción de biomasa y fue en este proceso donde examinó sobre el comportamiento de lombrices que eliminaban el material orgánico, producto de esto fue el comienzo de un modelo sostenible para el tratamiento de aguas residuales

(UNIVERSIDAD DE CHILE, 2023). Detallado lo anterior se añade la explicación de Sieber (2021) afirmando que el sistema Tohá fue tecnología chilena implementado en la Universidad de Chile por el médico cirujano José Tohá donde desarrolló su proyecto en los años 90 mediante un reactor biológico a base de lombrices con la finalidad de depurar las aguas residuales. Luego en el año 1994 inició con la ejecución planta piloto para cooperar con mil habitantes de Melipilla, y finalmente resultó aprobatorio para el laboratorio y así cada vez es mejorado en la actualidad.

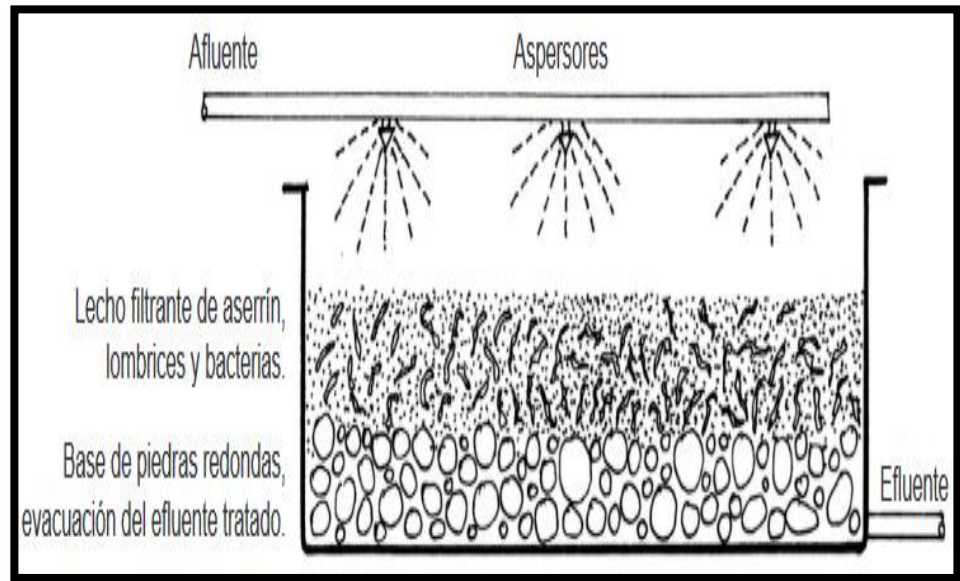
2.2.8.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BIOLÓGICO

Con base a la reseña del autor UNIVERSIDAD DE CHILE (2023) afirmó que, el Sistema Tohá es un filtro biológico, eficiente, ecológico y económico para el tratamiento de aguas residuales lo cual está estructurado por distintas capas para la depurar el agua residual. La primera capa contiene un filtro con la finalidad de retener los sólidos y dejar que transcurra el agua residual. Una vez transcurrida el agua residual por la parte superior, donde contiene la materia orgánica, las lombrices y microorganismos se encargan de absorber y digerir esta materia convirtiéndolo en humus y eliminado los contaminantes esenciales. La siguiente capa se incorpora como estrato de soporte donde contiene aserrín o viruta, posteriormente, la última capa se añade gravas o piedras para complementar como soporte y aireación al sistema, por lo que el agua residual ya tratada circula por un filtro mediante gravedad resultando sin contaminantes ni presencia de materia orgánica.

En resumen el agua residual se bombea a un tanque donde se encuentran las lombrices. Las lombrices consumen los sólidos suspendidos y los nutrientes presentes en el agua. Los microorganismos asociados con las lombrices descomponen los contaminantes orgánicos. El agua tratada se filtra a través de un lecho de materiales porosos (como grava o arena). El agua limpia se recoge y se puede reutilizar para riego, lavado de vehículos, etc.

Figura 2

Lombrifiltro modelo sistema Toha



Nota. La imagen especifica el contenido del sistema Tohá. UNIVERSIDAD DE CHILE (2023)

2.2.8.3 SISTEMA DE FILTRACIÓN

Según la información del autor Marinni (2019) resalta que los sistemas de filtración son tratamientos biológicos cuya operación es posible debido a la instalación de estanques y la estructura es a base de diferentes materiales, como arena, grava, arenillas, tierra entre otros organismos vivos, la implementación del material varía según el efluente que se desee tratar. Así mismo, se considera ciertos parámetros de diseño para obtener una efectiva función, considerando los siguientes: Tasa de carga hidráulica, tiempos de retención hidráulicos y el caudal aplicado sobre el lecho del biofiltro.

2.2.8.4 CARACTERÍSTICAS

El autor Blando (2019) afirma sobre una de las características esenciales del sistema lombrifiltro, que consiste en la cantidad de alimentos disponibles para la población de lombrices, lo cual todo elemento con contenido material orgánico es consumido por las lombrices con una asimilación de 20% para su sustento y 80% como producto de humus, además no genera ni contrae

enfermedades por lo que son especies atribuidas al consumo de organismos patógenos (bacterias, hongos y protozoos), ingiriéndolos para eliminarlos en su tracto intestinal para así ser transformados en materia fecal.

Por otro lado, lo que caracteriza el funcionamiento del lombrifiltro es su alto grado de absorción, donde las lombrices se encarga de degradar el material orgánico sin la producción de olores putrefactos para así evitar toda proliferación de moscas, larvas, insectos, entre otros vectores, adicional a ello no necesita implementar una biomasa degradadora para la materia orgánica presente en el agua residual, sin embargo, la función lo ejercen las lombrices (Salazar, 2005).

2.2.8.5 ETAPAS

De acuerdo a la información de Kelly & Coila (2020) el sistema vermifiltro está estructurado por 4 capas de distinto contenido, como lombrices, humus, aserrín o viruta, grava y bolones, especificado de la siguiente manera:

- La capa donde se observa el contenido de humus es el medio filtrante, considerando 2 centímetros de profundidad según las bases teóricas, fue utilizado con la finalidad de albergar a los microorganismos y lombrices. Adicionalmente, la estructura de soporte está constituida por tres capas: aserrín o viruta (capa 2), grava o ripio (capa 3) y bolones de río (capa 4).
- De la siguiente manera, la segunda capa como medio filtrante hace uso de aserrín o viruta, cuya estructura está basada en 25 centímetros de espesor por lo mínimo, con el objetivo de lograr un área de operación requerida para las lombrices. También proveer de aserrín es como reservar el alimento en caso no se abastezca con suficiente materia contaminante del afluente. Es fundamental que mediante el uso de una malla tipo Raschell sea instalada entre los estratos de aserrín y arena, sirviendo para retener y separar el estrato de aserrín y las lombrices.

- Para la tercera capa de soporte se hace uso de gravas, seguido de la cuarta capa contiene bolones, estas capas tendrán un espesor de 25 centímetros aproximadamente, formada con piedras de mayor tamaño posicionadas en la parte inferior y las de menor tamaño en la parte superior, añadidas con finalidad de drenaje y aireación del sistema. Tomando en consideración sobre la producción de flora bacteriana ubicada en las piedras, siendo necesarias para la digestión de materia orgánica proveniente del agua residual que fluye y no es retenida en el área de degradación del sistema Tohá.
- Finalmente, la base tiene aproximado 1% de pendiente necesario para el flujo de agua hacia la canaleta de evacuación (0.50% de pendiente).

2.2.8.6 DISEÑO

- Composición del sistema vermifiltro

Respecto a la descripción de las autoras Ramón y Duchi (2022) clasifican los estratos de la siguiente manera:

- Primer estrato. - Está compuesta por compost (humus) y lombrices, además es importante el constante mantenimiento y recolección de las deyecciones de las lombrices, para la adaptación de los microorganismos en el biofiltro.
- Segundo estrato. - Principalmente contiene aserrín o viruta, con distintas finalidades, lo primero es que permite la retención de la totalidad de contaminantes inorgánicos, como también disminuye el nitrógeno a través de la formación de complejos de iones. Sin embargo, lo segundo está relacionado a suministro, dado que el aserrín es un aporte alimenticio para la comunidad microbiana y las lombrices además de ser aireado frecuentemente por su desplazamiento.
- Tercer estrato. - Se incorpora grava cuya utilidad es de soporte en el medio filtrante, debido que el agua es distribuida homogéneamente evitando la pérdida a través del drenaje y la

formación de charcos dentro del biofiltro. Así mismo, la concentración porosa acciona la capacidad de permeabilidad para prevenir taponamientos y contribuir con la remoción de agentes contaminantes orgánicos e inorgánicos.

- Cuarto estrato. - Para mejorar la filtración y tratamiento del agua, se emplea piedras de río porque tiene la capacidad de producir flora bacteriana o biopelícula ubicada en las piedras debido a la acumulación de microorganismos adheridos en la superficie.

Figura 3

Estratos comunes de un lombrifiltro



Nota. En la figura anterior es específica los componentes de un lombrifiltro
Ramón y Duchi (2022)

- **Métodos de alimentación del sistema**

En el sistema del vermifiltro existe tres métodos para abastecer la superficie filtrante: modo continuo, modo por lotes (batch) y modo intermitente. Sin embargo, la implementación del riego continuo es frecuente en la incorporación del biofiltro, porque en las industrias generan y desechan constantemente aguas residuales. Por otro lado, para una mejor aireación del biofiltro se implementa el modo intermitente dado que consiste en un riego con tiempos de descarga. Finalmente, el método por lotes es empleado en las descargas inmediatas a través del afluente con gran

contenido de agua residual en el lecho filtrante donde interactúen las lombrices para ser filtradas de una vez.

✓ **Tiempo de retención hidráulico**

Respecto a la revista escrita por los autores Calvache et al. (2003), indican que para la gestión del agua residual en la instalación del biofiltro se opera mediante el tiempo de retención hidráulica, sin embargo, este parámetro es analizado en un periodo donde las aguas residuales fluyen por medio del lecho en la que se encuentran las lombrices. Así mismo, la capa donde habitan las lombrices son alimentadas por la descarga del agua residual, de este modo el afluente debe mantenerse con un tiempo determinado en contacto sobre el área de lombrices, con la finalidad de remover la carga orgánica presente en el agua residual. En consideración con los autores, el periodo es ideal en 2 horas, además la porosidad del lecho difiere entre un 60% y 78%. Finalmente, se interpreta con la siguiente ecuación:

$$HRT = \frac{p \cdot V_s}{Q} ; \frac{Vol}{Q}$$

Donde,

- HRT: Tiempo de retención hidráulico (hr)
- p: Porosidad del medio (%)
- V_s : Volumen de tierra donde habitan las lombrices (m^3)
- Q: Caudal de afluente que atraviesa el biofiltro (m^3/h)
- Vol: Volumen de la superficie (m^3)

✓ **Tasa de carga hidráulica**

En relación al cálculo de la tasa de carga hidráulica se considera la descripción de los autores Robin et al. (2009) donde es conceptualizada como el volumen de agua residual que ingresa al área filtrante donde residen las lombrices y el tiempo que demora

escurrir. No obstante, para determinar la tasa de carga hidráulica se requiere frecuentemente de la densidad de lombrices que se disponga. Además, se debe controlar las cargas hidráulicas, debido que si se produce altas cargas reducirá el tiempo de retención hidráulico en el biofiltro y como consecuencia disminuirá la eficiencia del sistema de tratamiento. De esta forma se admite aplicar de $\leq 1\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ para una eficiente depuración. La siguiente ecuación da como resultado la tasa de carga hidráulico:

$$HRL = \frac{V_{Ar}}{A \cdot t}$$

Donde,

- HRL: Tasa de carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}$)
- V_{Ar} : Volumen de agua residual (m^3)
- A: Área de la superficie (m^2)
- t: Tiempo que demora en escurrir (día)

✓ Tasa de flujo volumétrico

Para determinar la tasa de flujo volumétrico o flujo de fluidos se basa en datos del área sobre el cual circula el fluido a una velocidad homogénea, considerando un ángulo (θ) desde la dirección perpendicular del área y resultando en metros cúbicos por segundo. Pero si en caso el flujo sea perpendicular al área (θ) es igual a 0, entonces la ecuación resalta de la siguiente manera (Irvin, 2018):

$$Q = A \times \vec{V}$$

Donde,

- Q: Caudal de ingreso (m^3/s)
- A: Área de tubería (m^2)
- $\vec{V}$: Velocidad (m/s)

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

- A: Área del estrato (m²)
- d: Diámetro de la tubería (m)

✓ **Superficie del medio filtrante**

Para determinar la superficie del medio filtrante se considera el aporte descriptivo del autor Caicedo (2017), afirmando que el sistema está estructurado por distintas capas filtrantes como: humus con lombrices, aserrín, grava y piedras de río, sin embargo, la dimensión es distinta respecto a cada estrato por lo que es recomendable distribuir un 60% a 70% a la parte biológica, un 40% a 30% en la capa de soporte. Para calcular la altura de los estratos, resulta de la siguiente ecuación con base a una altura útil para el funcionamiento eficiente del biofiltro.

$$hs = \frac{E \cdot H}{100\%}$$

Donde,

- E: estrato correspondiente (%)
- H: altura útil del lombrifiltro (cm)
- hs: altura de cada estrato (cm)

✓ **Determinación del número de lombrices**

En lo que corresponde evaluar la densidad poblacional de las lombrices se sigue la metodología del autor Gallegos (2019) donde se contabiliza las lombrices adultas, juveniles y cocones, considerando cada cocón como adicional de la población, registrándolos en la ficha de recolección de datos seguido del promedio del número de lombrices (p) para ser reemplazadas en la ecuación. Incluso se requiere del área superficial del biofiltro y extractor, datos que permiten el desarrollo de las fórmulas siguientes:

$$(As) = L \times A$$

Donde,

- As: Área superficial del lombrifiltro (m²)
- L: Medida de lo largo del lombrifiltro (m)
- A: Medida de lo ancho del lombrifiltro (m)

$$\text{Área superficial del extractor (Ae)} = B \times H$$

- Ae: Área superficial del extractor (m²)
- B: Base de la capa extractiva (m)
- H: Altura de la capa extractiva (m)

$$N^{\circ} = \frac{(p) \times (As)}{Ae}$$

Donde,

- N°: Número de lombrices
- p: Lombrices extraídas
- As: Área superficial del extractor (m²)
- Ae: Área superficial del lombrifiltro (m²)

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{\text{Número de lombrices}}{m^2}$$

✓ **Determinación del caudal**

La autora Quispe (2021) describe caudal como el contenido de agua que lleva una corriente de fluido atravesando un área, determinado en unidad de tiempo como en litros por segundo [l/s] o minutos [l/min], por lo tanto, para calcular el caudal se precisa a través del método volumétrico resultado del volumen del recipiente llenado sobre el tiempo de llenado del recipiente de la misma manera expresado en la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde,

- V: volumen del envase llenado (lt)

- t: tiempo de llenado del envase (s)
- Q: caudal (lt/s)

✓ **Porcentaje de eficiencia**

Para obtener el porcentaje de eficiencia en el sistema del biofiltro se procede de la ecuación realizada por las autoras Ramón y Duchi (2022), siendo de utilidad para conocer los porcentajes de remoción de los parámetros seleccionados, cuyo resultado se calcula de la siguiente manera:

$$\%Eficiencia = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100\%$$

Donde,

- Ci: Concentración inicial del afluente (mg/L)
- Cf: Concentración final del efluente (mg/L)

✓ **Granulometría del material filtrante**

Para identificar la granulometría filtrante adaptada en el sistema filtrante se consideró de acuerdo a la página Carbotecnia (2023) donde se deduce que en el medio filtrante la granulometría es un factor indispensable para la filtración y depuración del agua. Sin embargo, se debe implementar medios granulares de menor a gran tamaño, de esta manera para identificarlos es mediante la unidad de milímetros, y también siguiendo la clasificación de suelos de Atteberg para incorporar los estratos como grava fina y piedras de río, presentados en la tabla (3)

Tabla 3*Clasificación de los suelos Atterberg*

Clasificación de Suelos - Atterberg	
Dimensión de la partícula experimental	Atterberg (Sistema Internacional)
< 0,001	Arcilla
< 0,002	
0,005	
0,01	Limo
0,02	
0,05	
0,1	Arena Fina
0,25	
0,2	
0,5	Arena Gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava Fina
5,0	
10,0	
20,0	Grava Gruesa y Piedras
> 20,0	

Nota. La tabla detalla sobre la escala granulométrica según Atterberg. Geoxnet (5 de abril de 2016)

✓ **Pérdida de carga**

Para el desarrollo del cálculo de pérdida de carga nos guiamos sobre la información del autor Valencia (2000) cuya explicación se basa en el punto de fluidificación (introducción de un gas comprimido a través de un medio poroso, como polvo de gran

volumen para facilitar el movimiento y cumpla el rol de líquido) ya que el medio filtrante está estructurado por granos esféricos en tamaños uniformes, por lo tanto, la curva de pérdida de carga contra la velocidad ascendente forma el punto de fluidificación. Pero, conforme a medios angulosos, no uniformes, el punto de fluidificación no queda definido exactamente, sin embargo, la pérdida de carga disminuye debido al proceso de reorientación de partículas, considerando una baja velocidad de lavado. De acuerdo a lo anterior para calcular la pérdida de carga inicial en baja velocidad se hace uso de la fórmula de Ergum. Pero, según el caso de alta velocidad las condiciones de equilibrio, pérdida de carga terminal por medio de un lecho fluidificado resulta al peso de las partículas dentro del líquido, expresados de la siguiente manera:

$$h_p g = (1 - P_o) L (\rho_s - \rho) g$$

$$(1 - P_e) L_e (\rho_s - \rho) g$$

Donde,

- ρ = Densidad del agua
- ρ_s = Densidad de la partícula
- P_e = Porosidad del lecho expandido
- L = Espesor del lecho ante la expansión
- L_e = Espesor del lecho expandido

Simplificando,

$$\alpha = (1 - P_o)(S_s - 1)$$

✓ **Mantenimiento del sistema vermifiltro**

Según las indicaciones del autor Shneider (2016) sugiere las siguientes actividades de mantenimiento, para que el vermifiltro esté en correcto funcionamiento:

- La acumulación de sólidos retenidos en la rejilla debe ser retirado por lo menos 2 o 3 veces a la semana, además si es

necesario aumentar la frecuencia con la finalidad de no presenciar estancamientos en el filtrado de agua.

- La capacidad de permeabilidad debe ser mejorada constantemente con la finalidad de evitar empozamiento de aguas, por lo tanto, se debe realizar horqueto del aserrín o viruta en un periodo de 1 vez a la semana, o si es necesario debe incrementarse la frecuencia.
- Si se presencia empozamiento superficial, debe aumentar el sustrato obteniendo un estado de saturación, si en caso no se realiza, las lombrices se alejarán de la zona, reduciendo la consistencia del sistema. Sin embargo, el estado de saturación es controlado mediante las descargas y tasas de filtración de las aguas residuales.
- Si en caso se detecta u observa algún crecimiento vegetal debe ser removido.
- Para conservar el suministro de alimento, se tomará en cuenta 2 a 4 meses de adicionar viruta o aserrín al lecho. Sin embargo, se debe verificar cada cierto tiempo el producto de humus en la superficie del biofiltro, por lo tanto, se remueve aproximadamente 15 a 20 cm y de ser reemplazados por aserrín. Además, se deberá realizar considerando las siguientes indicaciones:
 - El riego deberá ser paralizado para retirar el material, permitiendo que las lombrices migren de las zonas secas a húmedas
 - En la capa de superficie del biofiltro se debe retirar 5 a 6 centímetros.
 - Las capas se rellenan con nuevo material siguiendo la estructura de manera uniforme.
- Las tuberías de filtración son limpiadas periódicamente para optimizar el sistema de riego sobre el lecho.

2.2.8.7 PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO

De acuerdo al aporte de información del autor Atora (2020) detalla que se debe implementar un sistema de pretratamiento o

tratamiento primario en caso sea necesario, con el fin de no obstaculizar el sistema de tratamiento (lombrifiltro) con voluminosas partículas contaminantes, siendo reducido para ingresar con facilidad y de no deteriorar la red de distribución, además las concentraciones de contaminantes presentes en las aguas a tratar reducen por los pretratamientos. Sin embargo, la incorporación de sistemas de distribución como goteo, aspersión, canales abiertos, entre otros, son métodos esenciales para racionar el agua residual sin provocar desbordes ni empozamiento, lo cual si la cantidad excesiva de agua residual con material orgánico incrementa empozando sobre el lecho filtrante provocaría medios anaerobios, por lo tanto, es apropiado distribuir el agua residual uniformemente sobre la cama filtrante.

Cuando la concentración de material orgánico no abarque lo necesario, el aserrín es de reserva para su alimento, se sugiere que el aserrín o viruta provengan de maderas blancas, no obstante, el contenido elevado de lignina y taninos es común en maderas rojas, causando daño letal a las lombrices.

La materia orgánica sobrante es digerida mediante microorganismos que habitan en la capa de aserrín, así mismo, la capa de gravas y bolones de río contienen flora bacteriana, contribuyendo con degradar la materia orgánica como resultado el agua tratada implica una absorbancia inferior (transparente) fluido a través de gravedad mediante la solera con pendiente de 1 a 5% llegando al canal de recogida de drenaje.

2.2.8.8 PROCESOS DE REMOCIÓN

- Proceso de remoción física

En relación a la información de los autores Garkal et al. (2015) explican el proceso de degradación del material orgánico como remoción física, realizado durante el ingreso del afluente de agua residual al sistema de aspersión, siendo rociada en el lecho del vermifiltro constituida principalmente por 4 etapas ya mencionadas

anteriormente, así mismo, el agua residual es escurrida sobre el lecho filtrante donde el material orgánico es obstaculizado, además que, por acción de los microorganismos y lombrices efectúan el mecanismo de depuración del agua residual y degradación de la materia orgánica en la parte superior del vermifiltro. Por lo tanto, se requiere un óptimo balance en los parámetros de pH, humedad y temperatura sobre el lecho filtrante, con la finalidad de conservar el buen estado de las lombrices, pero si en caso los valores del parámetro registran bajos y altos al extremo, será causa de muerte para las lombrices.

En caso del medio filtrante posee un mecanismo de depuración esencial, cumpliendo con la remoción de contaminantes a través de la antracita (si en caso se incluya), gravas y bolones de piedra con diferentes dimensiones utilizados como filtradores, lo cual debido a la capa de microorganismos se forma especies de biopelículas iniciando su proceso de purificación al entrar en contacto con cargas orgánicas. Además, que en el medio filtrante se localiza la comunidad biológica relacionado con el reino protista como: bacterias aeróbicas, facultativas y anaeróbicas, protozoarios, algas y hongos. Sin embargo, las bacterias facultativas son microorganismos numerosos que contribuyen degradar y remover la turbidez, del mismo modo, las lombrices consumen los sólidos suspendidos generando el proceso de oxidación donde se transforma en anhídrido carbónico + agua, lo restante es necesario para la masa corporal de las lombrices y también destituida por deyección como humus de lombriz (Fernandez y Sanchez, 2016).

- **Proceso de remoción química**

La información del autor Envitech (2020) afirma que, el doble mecanismo biológico de nitrificación y desnitrificación es frecuente, y cuya relación tiene como objetivo eliminar el nitrógeno. Posteriormente para el procedimiento se subdividen en dos etapas;

la primera etapa consiste en la nitrificación, donde el nitrito es producto del amonio y la intervención de bacterias nitrificadoras forma el nitrato, a través del uso de carbono inorgánico como fuente de carbono, además de desarrollar reacciones químicas de la nitrificación por medio de la obtención de energía, mientras que, en la segunda etapa el nitrógeno gas es producto de la transformación de nitrato, siendo liberado a la atmósfera y realizado dentro del proceso de nitrificación.

Referente a lo anterior, se determina que el proceso de nitrificación se lleva a cabo en las diferentes etapas filtrantes del vermifiltro, cuyo proceso es fundamental, porque comúnmente es efectuado por dos grupos de bacterias autótrofas y quimio sintetizadoras manifestadas en un ambiente aerobio. Sin embargo, se mencionan los siguientes géneros de bacterias oxidantes del nitrógeno como Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus, Nitrosomonas y Nitrosovibrio. Además de incluir géneros de oxidantes del nitrito como Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus. Por lo tanto, la formación de especies biopelículas son fijadas al medio filtrante por los diferentes organismos mencionados, siendo las encargadas de remover el nitrógeno presente en el agua a tratar. Al respecto, los parámetros de Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno son el porcentaje total de materia orgánica, por lo tanto, la agrupación de estos factores es fundamental en el proceso de nitrificación, en consideración de su remoción, la ingesta de material orgánico presente en el agua residual es función alimenticia de la lombriz, cumpliendo así un rol significativo relativo al proceso de desnitrificación, así mismo este proceso se genera indirectamente a través del derivado de cal, lo cual contribuye a reducir el nitrógeno amoniacal dispersado en el agua residual, oxigenando el agua y favoreciendo la actividad funcional de las bacterias de reducir el nitrógeno en los distintos sistemas de tratamiento (Gallego y García, 2017)

En efecto, respecto a la información de los autores Wang et al. (2016) determinan que el proceso de desnitrificación comprende a la alcalinidad como un parámetro elemental. La biomasa de las bacterias nitrificantes son producto de compuestos carbonatos en relación a la alcalinidad de modo que el pH es un factor esencial donde se admite valores de 6.5 a 7.5 para estabilizar la producción de bacterias, ante ello las lombrices regulan el pH del agua residual mediante las proporciones pequeñas de cal encontradas en las excretas y originadas en la ingesta de material orgánico consumida por la lombriz. De la misma manera, al integrar el aserrín como bio adsorbente se encargará de la remoción de nitrógeno diversificado en las aguas residuales, conjuntamente las lombrices más la interacción con el aserrín efectuarán una reducción de nitrógeno, donde el aserrín será reserva alimenticia directa y remoción de numerosas cantidades del nitrógeno orgánico, considerándolo además como cimientito del sistema de tratamiento de aguas residuales.

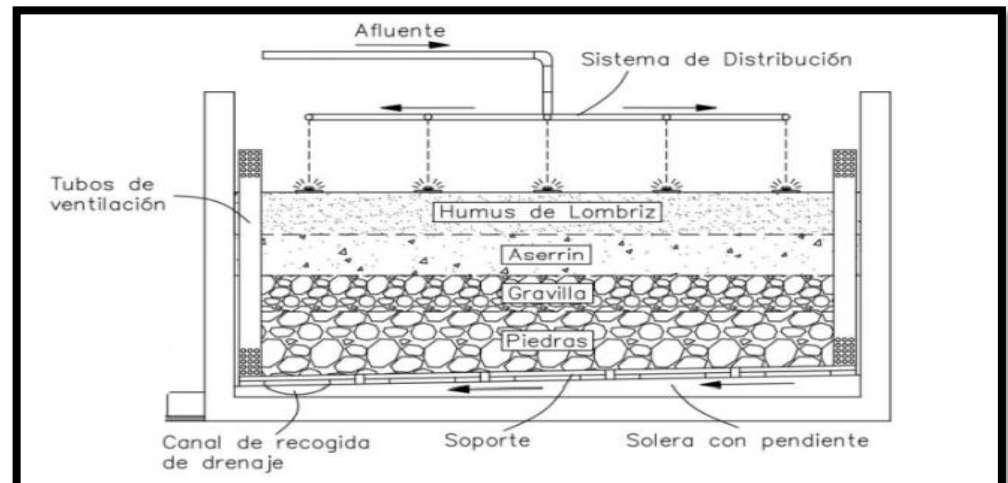
- **Proceso de remoción biológica**

La capa donde se deposita el contenido alimentario para las lombrices está conformada principalmente por aserrín, sirviendo como reserva de alimento, no obstante, la existencia de bacterias filamentosas (*Sphaerotilus Natans* y *Beggiatao*, entre otros) realizan la acción de degradar la materia orgánica contribuyendo como soporte para las bacterias desnitrificantes y nitrificantes, cuyos microorganismos tienen la función primordial de influir en el control de las bacterias, de la misma manera, se observa la presencia de ciertas bacterias con la finalidad de estabilizar el agua residual con pH entre 6 y 7.5 (Coronel, 2015). Cabe señalar de acuerdo a los autores Oiveira et al. (2013) que la degradación de los microorganismos habituales en las aguas residuales, es realizado por sustancias, producto de las lombrices asociadas a los microorganismos consumidores del material orgánico. Por otra parte, los mecanismos innatos de las lombrices tales como

secreción de los fluidos del celoma, acción enzimática intestinal y pastoreo selectivo intervienen a reducir los contaminantes patógenos. Inclusive el medio filtrante es base de especies biopelículas siendo necesarias para el proceso de purificación de las aguas residuales, a causa de la comunidad biológica relacionado al reino protista como las diferentes bacterias aeróbicas y facultativas compuestas en el sistema del vermifiltro, así mismo, las bacterias facultativas son microorganismos numerosos que contribuyen degradar y remover la turbidez, del mismo modo que las lombrices.

Figura 4

Sistema de tratamiento lombrifiltro



Nota. En la figura anterior se observa a detalle la estructura del lombrifiltro (Fernández, 2020)

2.2.8.9 APLICACIÓN

Los autores Cardoso et al. (2011) explican que el sistema lombrifiltro, vermifiltro o Tohá tiene una aplicación biológica en comparación a los distintos tratamientos convencionales, sin embargo, la implementación es eficaz y factible en las diversas áreas de la población, especificándolo de la siguiente manera:

- Respecto al tratamiento de aguas servidas su aplicación varía y se puede utilizar en viviendas particulares, escuelas, colegios, sectores rurales, comunidades, condominios, minerías, entre otras.

- Para los residuos líquidos industriales su aplicación puede ser en industrias alimentarias, vinos, cervecera, salmoneras, fábricas de cecinas, mataderos industriales, entre otras empresas de rubro agroindustrial.

No obstante, respecto a lo anterior el autor Kobe (2019) considera las siguientes ventajas y desventajas:

- **Ventajas del sistema vermifiltro:**

- El material orgánico es degradado gracias a la función de lombrices y microorganismos, de esta forma no se genera lodos inestables. Sin embargo, se requiere implementar rejillas o canastillos para la retención de sólidos inorgánicos y sólidos de gran magnitud que son descargados logrando obstaculizar los sistemas de regadío instalados en los filtros.
- No es de utilidad los aditivos químicos, de modo que el sistema es ecológico, sustentable y biológico con el ambiente.
- El agua tratada presenta bajos índices de contaminantes, además de no incorporar ninguna sustancia química, es recomendable su uso para reutilizar el agua en riego, cultivos u otras áreas verdes.
- Su costo de instalación, operación y mantenimiento reduce al 1/3 en comparación a los tratamientos convencionales. El costo de construcción se complementa en la estructura apropiada, los costos de operación son necesarios para la actividad de bombas y el mantenimiento no requiere de químicos ni maquinaria.
- La degradación de materia orgánica es reducida en humus producto de materia fecal de las lombrices, del mismo modo que puede ser utilizado como abono natural agrícola.
- Preciso del movimiento de las lombrices permite airear el sustrato y evitar que el área filtrante se sature lo cual no genere malos olores.

- En ocasión se desee aumentar la degradación de carga orgánica se puede habilitar la ampliación modular en m² operando apropiadamente en consideración al caudal.

- **Desventajas del sistema vermifiltro:**

- El sistema puede requerir áreas de amplias dimensiones debido a la estructura del medio filtrante.
- Requiere verificar y determinar las variaciones de carga orgánica y caudal, mediante control de operación y mantenimiento, sino se realiza las condiciones necesarias se provocaría un alto índice de mortalidad respecto a las lombrices.
- Se necesita evaluar factores de adaptación de las lombrices para que no sufran alteraciones ni tampoco mueran en el proceso.
- La necesidad de alimento debe ser suministro de nutrientes lo cual las lombrices no resisten periodos sin ningún alimento.

2.2.8.10 FACTORES

El autor Fernández (2019) redacta que, la descomposición por medio de lombrices es un proceso biológico, sin embargo, interfiere en la formación alterando las condiciones ambientales (temperatura, pH, humedad, aireación, etc.)

- **Temperatura**

La temperatura es un parámetro principal en el sistema de lombrifiltro lo cual condiciona la formación de las lombrices, sin embargo, 20°C es adecuado, pero si la temperatura desciende a 0°C e incrementa a 42°C, altera estrictamente la ingesta y reproducción, siendo mortífero para la especie. La temperatura que oscila entre 14°C y 27°C es lo más óptimo en el desarrollo (Schuldt et al., 2007).

- **Humedad**

En el proceso del sistema de vermifiltro se tiene presente el factor de humedad, debido que ocurra una reducción considerable

de oxígeno por el exceso de sí misma, entonces si la humedad aumenta a un 85% las lombrices entran a un periodo de latencia reduciendo las actividades de producción (humus) y reproducción. No obstante, el 70% y 80% de humedad es más propicio para la reproducción y producción, ya que si desciende del 70% las condiciones serán desfavorables, además si se obtiene los grados de humedad inferiores al 55% serán mortíferos para las lombrices. Concluyendo que el rango de 75% a 80% es permitido para la ingesta de alimento y movilidad de la lombriz (Bollo, 2001).

- pH

Lo ácido y alcalino es medido por el parámetro de pH, sin embargo, por medio del control de un peachímetro se da a conocer que para la supervivencia de la lombriz se admite sustratos con pH en rango de 5 a 8,4 indicando que fuera de la escala admitida, la lombriz no podrá subsistir. Por lo tanto, se requiere de fermentación aerobia para la preparación de sustrato, lo cual de acuerdo a la acción de los microorganismos se produce la fermentación dependiendo del pH, humedad, tipo de sustrato y temperatura (Bollo, 2001).

- Aireación

Se considera este proceso dentro del sistema de tratamiento porque permite que el aire y agua se combinen con la finalidad de eliminar los gases disueltos, para contribuir con la remoción de elementos nocivos del agua residual, de este modo, la aireación no debe exceder por lo que puede provocar variaciones de temperatura y humedad, sugiriendo una debida aireación por medio de volteos periódicos o aireación forzada (BOSS TECH, 2020).

2.2.9 LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia Foteida*)

2.2.9.1 HISTORIA

El artículo de Pur plant (2021) relata que la cultura egipcia tuvo avances en sus cultivos y sus tierras debido al elevado grado

de fertilización gracias a las lombrices por sus diferentes beneficios y desplazamiento en el suelo de este modo el filósofo Aristóteles nominó a las lombrices como los intestinos de la tierra. En 1880 el científico Charles Darwin estudió minuciosamente por años el hábitat, morfología y hábitos de las lombrices siendo descrito en su libro La formación de moho vegetal por acción de las lombrices, con observación de sus hábitos, considerándole así el padre de la lombricultura.

2.2.9.2 ORIGEN

En el artículo La Villa (2023) explica que, el proceso de compostaje es realizado frecuentemente gracias al mecanismo de digestión de la lombriz roja californiana alimentándose de materia orgánica, para así obtener el abono más conocido como humus. No obstante, al ser una especie oriunda de Europa fue apellidada californiana cuyo nombre científico fue *Eisenia Foetida*, siendo estudio científico en el estado de California.

2.2.9.3 CLASIFICACIÓN ZOOLOGICA

- **Reino:** Animal
- **Tipo:** Anélido
- **Clase:** Oligoqueto
- **Orden:** Opisthoro
- **Familia:** *Lombricidae*
- **Género:** *Eisenia*
- **Especie:** *E. foetida*

2.2.9.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Coccon Humus (2015) artículo que resalta las principales características generales de las lombrices de especie *Eisenia Foetida*:

- Se identifica mediante su color rojo oscuro
- La respiración lo realiza por medio de su piel

- Su tamaño largo es 6 a 8 centímetros y 3 a 5 mm
- Su periodo de vida aproximado es de 7 o 10 años
- No resiste a la luz solar, por lo que muere en cuestión de minutos si es expuesta a los rayos solares, lo cual es considerada foto fóbica
- Su peso varía entre 0.8 a 1.4 gramos según su ingesta
- Es anélido alargado, segmentado y de simetría bilateral

2.2.9.5 CARACTERÍSTICAS INTERNAS

Según la información recopilada del artículo Anónimo (2011) describe las siguientes características internas pertenecientes a las lombrices californianas (*Eisenia foteida*):

- **Cutícula**, se identifica en un color marrón brillante, transparente, fino y quitinoso en forma de lámina delgada.
- **Epidermis**, es la parte que se encarga del desarrollo de la cutícula, conservación y flexibilidad de la humedad. Está localizado debajo de la cutícula en forma de epitelio simple contando con células glandulares que generan una secreción mucosa.
- **Capas musculares**, se presenta de dos maneras: circular externa y longitudinal interna.
- **Peritoneo**, consta de una capa interna limitando la parte exterior con el celoma de la lombriz.
- **Celoma**, cavidad que tiene el fin de retener el líquido celómico desplazándolo a lo largo del anélido, y es expulsado ante cualquier amenaza.
- **Sistema circulatorio**, está compuesto por vasos sanguíneos, lo cual la lombriz cuenta con dos: dorsal y ventral, además de poseer otros capilares y vasos para realizar el transporte de sangre a todo el cuerpo.
- **Sistema respiratorio**, parte primitiva donde no contiene pulmones reales, de ese modo la pared del cuerpo realiza el intercambio de oxígeno.

- **Sistema digestivo**, en forma de labio es ubicado el prostomio en la apertura bucal (parte superior). Sin embargo, tiene células en el paladar cuya función es seleccionar el alimento antes de pasar por el esófago donde se sitúan las glándulas calcíferas.
- **Sistema excretor**, compuesto por nefridios (órgano excretor), consta de 2 para cada anillo. En forma ciliadas se observa las células internas y el desplazamiento facilita deshacerse de la orina del celoma.
- **Sistema nervioso**, de tipo ganglionar escaleriforme que tiene un par de ganglios supraesofágicos estructurando una cadena ganglionar.

2.2.9.6 PROPIEDADES

Según el autor Ramón (2023) describe sobre las siguientes propiedades de las lombrices californianas:

- Las lombrices californianas son aptas para subsistir en ambientes hostiles, así mismo es usado como restaurador de suelos degradados con presencia de elementos tóxicos (como ejemplo las minas a cielo abierto).
- En su aparato digestivo las enzimas son proteínas complejas que estimulan un proceso nutricional de sus excretas, obteniendo el producto de humus.
- Le pueden servir de alimento los hongos como el fusarium
- El excremento de las lombrices aporta más minerales que el material orgánico antes de ser digerido: 7 veces más fósforo, 5 veces más potasio, 5 veces más nitrógeno y 2 veces más calcio.
- Contiene un grupo de moléculas en su intestino (drilodefensins) permitiendo desarrollar defensas para que no transmitan ni adquieran enfermedades.
- Al realizar su función de alimentación es frecuente y eficaz en periodos nocturnos, comiendo equivalente a su peso por día.
- Si se le corta alguna parte de sus extremidades se regenerará automáticamente en poco tiempo.

2.2.9.7 CICLO VIDA

Según la información del autor Anónimo (2020) describe que, las lombrices son especies hermafroditas, por lo que requieren la cópula con un periodo de 7 o 10 días. En el periodo de incubación las nuevas especies se desarrollan en huevos de 2 milímetros con forma de pera color amarillo, posteriormente depende del alimento y cuidado nacen 3 a 20 lombrices en un tiempo de 13 y 22 días incubados; cada lombriz presenta un color blanco inicial, tornándose rosado en 5 días, y finalmente rojo oscuro a los 15 días. Luego de su madurez, en 3 meses es apto para reproducirse.

2.2.9.8 CONDICIONES AMBIENTALES PARA SU DESARROLLO

De acuerdo a la información del artículo escrito por los autores Restrepo et al. (2007) se da a conocer las siguientes condiciones ambientales necesarias para el desarrollo de las lombrices:

- Humedad

Nos mencionan que la humedad adecuada es un 70%, cuyo porcentaje facilita la ingesta de alimentos y el movimiento de las lombrices a través de las capas. De todos modos, si la humedad no es óptima será causa mortífera para las lombrices, como las siguientes situaciones: si la humedad es elevada produce saturación y deficiencia en la oxigenación, pero si la humedad es baja será obstáculo en la absorción de alimentos.

- Temperatura

Las lombrices requieren una temperatura óptima para su crecimiento y desarrollo, por lo tanto, el rango admitido es de 12-25 °C, además es necesario unos 12 y 15°C para la formación de cocones. En cierto modo, es recomendable que en temporadas de verano mantengan mucha cautela en el crecimiento de malas hierbas sobre el lecho, además de procurar que las lombrices no

emigren buscando ambientes frescos debido altas temperaturas para así no ocasionar muchos riesgos.

- **Aireación**

Método esencial cuya finalidad es para la formación de las lombrices y su correcta oxigenación, pese a ello no se maneje una operación eficiente de aspersión, afectará la ingesta de alimentos, apareamiento y reproducción debido al proceso de compactación.

- **Riego**

Para un efectivo manejo en los sistemas de riego se requiere métodos de aspersión o manual. De esta manera, se especifica los siguientes métodos: el manual requiere de un trabajador lo cual hace uso de una manguera de goma para realizar su función en los lechos; mientras que, el riego por aspersión es un sistema que hace uso de la presión para distribuir el agua en forma de una lluvia uniforme.

Tabla 4

Parámetros técnicos en lombrices

Parámetro	Nivel Óptimo	Nivel adecuado	Peligro de muerte
Temperatura	20°C	15°C - 24°C	<5°C; >37°C
Humedad	75%	70% - 80%	<70%; >80%
Ph	6.5 – 7.5	6.0 – 8.0	<4.5; >8.5
Conductividad eléctrica	2.5 mS/cm	3.0 mS/cm	>8.0 mS/cm
Proteínas	13%	7.5% - 13%	<7.5%; >18%

Nota. La tabla especifica los parámetros aptos para la supervivencia de lombrices. Mejía (2016)

2.2.9.9 MECANISMOS DE REMOCIÓN

- Molienda

Las lombrices ingieren el material orgánico siendo reducida a partículas más pequeñas, a partir de la longitud de 2 a 4 micrones son transportados a su intestino para iniciar el proceso de acción enzimática, donde el biorreactor es producto de la molleja e intestino (Marinni, 2019).

- Acción enzimática

Las distintas enzimas como celulasa, amilasa, lipasa, entre otros, son producto de las lombrices, que realizan una acción acelerada en la transformación bioquímica del material celulósico y proteico de los desechos orgánicos. Sin embargo, cuando las lombrices consumen el material orgánico, absorben microorganismos patógenos que son depositados junto a los minerales y microbios del suelo (Dash, 1978).

- Refuerza los microorganismos descomponedores

Los microorganismos descomponedores tales como hongos, actinomicetos y protozoos son fortalecidos en su desarrollo y formación por acción de las lombrices. Por lo tanto, los minerales del suelo como nitrógeno (N) y fósforo (P) son necesarios para la reproducción de los microbios, sin embargo, las lombrices generan ese aporte de minerales a través de sus excretas. Concluyendo, que el proceso de descomposición del material orgánico es acelerado porque las lombrices y microbios se comportan de forma sinérgica y simbiótica (Marinni, 2019).

- Humificación

El proceso de humificación del material orgánico se basa en la conversión de partículas orgánicas a través de los microorganismos, el tamaño de estas partículas es creciente en el complejo coloidal del material amorfo además del contenido fenólico, así mismo, $\frac{1}{4}$ de material orgánico es transformado en

producto de humus, lo restante requiere la lombriz para su desarrollo (Agtech AMÉRICA, 2023)

2.2.9.10 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y ECOLÓGICA

Las especies de lombrices varían, pero su capacidad de regenerar la tierra y aportar muchos beneficios en los cultivos es lo primordial. Son considerados como los ingenieros de ecosistema del suelo, lo cual controlan la biomasa de los invertebrados terrestres en distintas clases de tierra. Sin embargo, sus funciones son de gran impacto en el ecosistema terrestre, como en los diferentes tipos de microflora y microfauna (Lara, 2022). Así mismo, en la redacción de la autora Mosalve (2015) afirmo que gracias a distintos estudios realizados a las lombrices se constató la función de purificar el agua residual a causa de diversos e innovadores proyectos para mejorar la calidad de agua, además de obtener abono orgánico (humus) siendo primordial en actividades como la agricultura por el aporte de minerales, nutrientes que enriquecen el suelo o cultivos.

2.2.9.11 HUMUS

Según la información revisada de la página Lombrimadrid (2022) explica que el sistema de lombrifiltro permite generar abono orgánico (humus) debido al proceso de descomposición a través de métodos químicos y biológicos alterados por el material orgánico, sin embargo, la acción de las lombrices por medio de su sistema digestivo aporta este resultado, biodegradando el material orgánico en cuestión de horas, aportando un producto compuesto por oxígeno, fósforo, potasio, carbono, nitrógeno y los macro-micro nutrientes presentando las siguientes características: textura (glanular), forma (cilíndrica), color (café o negro oscuro) y aroma (agradable).

- **Características**

La tasa de utilidad en fertilizantes químicos es un factor de riesgo debido al incremento y uso intensivo provocando consecuencias graves como la infertilidad del suelo, pérdida de minerales y nutrientes, desbalance en las reservas de suelos, además de alterar el equilibrio del ecosistema natural dificultando la filtración de agua y la adquisición de elementos nutritivos en el suelo. De este problema general, surgen aporte de soluciones, considerando la importancia de la descomposición de materia orgánica a través de sistemas biotecnológicos que aceleren la composición de nutrientes, dado que al utilizar el humus presente las siguientes características:

- La contextura del suelo es mejorada
- La etapa de humificación se presenta en un corto tiempo
- La retención de agua incrementa
- Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo
- Los microorganismos aceleran su formación y actividad
- La fertilidad de los suelos es restaurada debido al aporte eficaz de minerales y nutrientes Lombec (2023)

- **Propiedades**

Para determinar las principales propiedades del humus de lombriz nos basamos en la información del autor Portillo (2020):

- El olor que esparce es como mantillo del bosque y el color es negro oscuro o marrón
- Consistencia suave, limpia y bio estabilidad evitando la fermentación o descomposición
- Su pH es admisible por lo neutro de modo que es utilizado para plantas frágiles
- Facilita el proceso de absorción radicular

- La nitrificación del suelo enriquece, debido al aumento y función de los microorganismos presentes en el humus
- Contribuye con el desarrollo de micorrizas
- Libre de la presencia de nematodos que son dañinos en la parte radicular de las plantas
- A base de nutrientes y minerales, incrementa el porte de árboles, plantas y arbustos
- Eficaz en el proceso de germinación de las semillas y formación de plantines
- Incrementa el mecanismo de acción de antimicrobianos estimulando la resistencia de las plantas ante los agentes patógenos o plagas
- La solubilización incrementa debido a la numerosa carga enzimática y bacteriana que posee el humus

- **Principales beneficios**

La autora Camacho (2021) recopila y aporta los siguientes beneficios de acuerdo a la utilidad del humus:

- La toxicidad no está asociada con el producto
- No presenta ni es vulnerable a enfermedades patógenas
- Aumenta el desarrollo de resistencia y vigor en las plantas
- Favorece el proceso de enraizamiento debido a evitar la deshidratación
- La planta presenta mayor absorción de potasio, calcio, magnesio entre otros nutrientes y minerales
- pH aceptable
- La vida microbiana es producto de un suelo abundante de humus donde los residuos restantes o provenientes de plaguicidas son degradados
- Evita la lixiviación de nutrientes porque optimiza e incrementa la disposición de nutrientes o minerales para la planta
- Fertiliza la tierra o cultivo distribuyendo en mayor cantidad nutrientes y minerales

- Reduce la erosión e incrementa agregados para mejorar la contextura física del suelo
- Disuelve, fija y retiene nutrientes y elementos fertilizantes
- Debido a su textura oscura facilita la absorción de rayos solares

2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

a) VERMIFILTRO

Caracterizado por su implementación económica y eficiente para la reducción de sustancias físicas, químicas y microbiológicas presenciados en el agua residual, su interior consta por niveles de capas compuesto por lombrices, microorganismos, aserrín, humus, bolones de río y gravas de distintas dimensiones. Además, su aplicación es para el tratamiento de descargas residuales en comunidades o sitios domésticos (Vigueros et al., 2020).

b) FILTRACIÓN

Proceso físico de separación sólido-líquido mediante un material poroso en escala mayor o menor según clasificados por tamaño, cuya función es retener los sólidos y dar paso al fluido, de esta manera, es aplicado en los sistemas de tratamiento de agua con el fin de reducir la concentración de sólidos suspendidos (Cruz, 2020).

c) ESTRATO

Capa conformada de rocas o sedimentos producto del proceso de sedimentación de fragmentos provenientes de distintos grupos de rocas. Además, se encuentran clasificados por niveles caracterizados por textura, color y forma, cuya escala granulométrica es revisada por Atterberg (Zafra, 2017).

d) GRAVA

Es un material de origen natural o producto elaborado por el hombre, mediante otras rocas, variando las medidas de más de 2 milímetros en diámetro o longitud, sirven de soporte considerándoles indispensables en la preparación de concreto, para nivelar y rellenar las áreas (Chávez, 2022).

e) ASERRÍN

Es el residuo obtenido del aserrío de maderas, cuyo material está conformado por partículas o polvillo, además a partir del proceso y manejo de madera el material contiene partículas diminutas de madera, sin embargo, se realiza otro proceso para obtener la viruta, que consiste en fragmentos laminados en forma curva o espiralado (Ríos y Ortega, 2016).

f) EISENIA FOTEIDA

Cuyo nombre común es Lombriz Roja, considerado como una de las especies de lombrices más factible en la aplicación de lombricultura, logrando fertilizar los suelos, vegetación o cultivos, también de ser sustancial para la depuración de aguas residuales y producción de abono orgánico conocido como humus, principalmente abarca funciones benéficas sobre el ambiente, reduciendo el impacto ambiental generado por las diferentes actividades antropogénicas (Gutiérrez et al., 2020).

g) HUMUS

Producto orgánico y natural, presenta rico contenido de nutrientes como minerales, obtenido como excremento de las lombrices a través de su ingesta de desechos o materia orgánica, sus características son; color café oscuro o negro, granulado, homogéneo e inodoro. Recomendado para la germinación y formación de las distintas especies de cultivo (Acosta, 2020).

h) LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Fue establecido en el D.S 003-2010-MINAM, referenciado en la ley general del ambiente citado en el Art. 32 describiendo a los límites máximos permisibles como la evaluación de sustancias físicas, químicas y biológicas emitidos en los efluentes donde se responsabiliza no exceder el límite para no causar daños en la calidad de vida, sustentabilidad y ambiente (Sotomayor, 2021).

i) CONTAMINANTES

Clasificado por tres tipos de agentes contaminantes: físicos, químicos y biológicos estando conformados por sustancias y sus compuestos donde son sometidas al ambiente alterando el ecosistema terrestre y acuático causando efectos nocivos en la salud, hábitat y medio natural de los seres vivos (Ropero, 2020).

j) MATERIAL ORGÁNICO

Se refiere a la composición de materia presente en las aguas residuales, sin embargo, en materia sólida proviene de las actividades antropogénicas, compuesto por tres principales grupos de sustancias orgánicas (proteínas con 40 a 60%, hidratos de carbono con 25 a 50% y grasas aceites con 10%) además se determina la presencia de nitrógeno, fósforo, hierro y azufre (Rivas et al., 2015).

k) DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)

Especificado como proceso biológico y descrito como de cuanto oxígeno necesitan los microorganismos para su consumo mientras ocurre la degradación de sustancias orgánicas proporcionadas en la muestra, sin embargo, estos microorganismos pueden ser especialmente bacterias (aerobias, anaerobias), hongos y plancton. Asimismo, se requiere de 20°C en un periodo de 5 días, de modo que el proceso de descomposición dependa de la temperatura, obteniendo así DBO5 (Gutiérrez y Moreno, 2018).

I) COLIFORMES FECALES

Se origina principalmente en las excretas humanas, animales y aguas residuales, observando una numerosa cantidad de bacterias fecales o termotolerantes, como la especie dominante *Escherichia coli*, considerándolo como un indicador de contaminación fecal, además su periodo de incubación es de 24 a 48 horas, admitiendo una temperatura entre 30 a 37°C (Santisteban, 2017).

m) OXÍGENO DISUELTO

Para la respiración celular de vida terrestre como acuática se carece de oxígeno, sin embargo, el oxígeno gaseoso disuelto en las fuentes hídricas es un elemento indispensable para los diversos microorganismos y organismos de vida acuática. Numerosos artículos científicos describen la sugerencia de admitir 4 a 5 mg/l o ppm de oxígeno disuelto para la supervivencia de los seres vivos acuáticos (Anónimo, 2020).

n) CAUDAL

Se refiere al área atravesada mediante los datos de volumen de agua y un tiempo estimado, de esta manera para la obtención del caudal se utiliza la siguiente fórmula: $Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$, donde Q es caudal. Es un indicador crucial en áreas como ingeniería lo cual se basa en el dimensionamiento de embalses, plantas de tratamiento, entre otras construcciones factibles (Valdivielso, 2023).

o) TEMPERATURA

Magnitud física relacionado a la energía interna de algún objeto, cuerpo o ambiente siendo obtenida a través de un termómetro y especificado mediante cuatro escalas habituales como: escalas Celsius, Kelvin, Fahrenheit y Rankin, sin embargo, comúnmente es determinado en escala Celsius cuya unidad resulta en grados centígrados (Planas, 2020)

p) HUMEDAD

Propiedad física causado por la acumulación de vapor de agua presente en la atmósfera, sin embargo, la humedad no es constante sino varía de acuerdo a la función de condiciones ambientales o climatológicas y será medido utilizando un higrómetro, lo cual la unidad resultante será en porcentajes (Martines, 2007).

q) CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Propiedad física de todo elemento que tiene la facultad de conducir corriente eléctrica a través de sus partículas, sin embargo, la conductividad altera de acuerdo al estado de materia dispersa, de este modo es un parámetro relevante debido a que es utilizado para la estimación de niveles de sales disueltas en el agua y suelo (Sela, 2022).

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

H1: La reducción DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe, es eficiente utilizando un sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana (*Eisenia foteida*) comparado con un sistema de filtración convencional

H0: La reducción DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe, no es eficiente utilizando un sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana (*Eisenia foteida*) comparado con un sistema de filtración convencional

2.5 VARIABLES

2.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Sistema vermifiltro utilizando la especie lombriz californiana (*Eisenia foteida*)

2.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Reducción de los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas

2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: “EFICIENCIA DEL SISTEMA VERMIFILTRO UTILIZANDO LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia Foteida*) PARA LA REDUCCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES FECALES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, AMARILIS, 2024”

Variable Independiente	Dimensión (es)	Indicador (es)	Valor Final (Unidad de medición)	Tipo de Variable
Sistema vermifiltro	Parámetros del vermifiltro	• Caudal total • HRT • HRL • Flujo volumétrico • Área • Estrato	• ml/min • hr • m³/m².día • m/s • m² • cm	Numérica continua
	Parámetros de la lombriz <i>Eisenia Foteida</i>	• pH • Temperatura • Humedad	• Unidad pH • C° • %	Numérica continua
Variable Dependiente	Dimensión (es)	Indicador (es)	Valor Final (Unidad de medición)	Tipo de Variable
Agentes contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas	Parámetros físicos	• Temperatura • Conductividad eléctrica • Sólidos disueltos totales • Turbidez	• °C • μS/cm • mg/L • NTU	Numérica continua
	Parámetros químicos	• DBO5 • Oxígeno disuelto • pH	• mg/L • mg/L • Unidad de Ph	
	Parámetro microbiológico	• Coliformes Fecales	• NMP/100	

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según la finalidad la investigación es **aplicada**, debido a que está relacionado a un mejoramiento tecnológico, de este modo con el desarrollo de esta investigación orienta aportar soluciones y resolver problemas sobre reducir la contaminación de agua y aprovechar el agua tratada en la vida cotidiana, aplicando el sistema de tratamiento para aguas residuales vermifiltro.

Según el control/planificación de las mediciones de la variable de estudio, se considera **prospectivo** porque se analizarán las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos.

Sampierei R, et al. (2000) afirma sobre el número de medición de variables, el investigador deberá recolectar sus datos en distintos tiempos y momentos para ver los cambios del test que está realizando (p. 159), para mi estudio se considera el estudio **longitudinal** porque se hará estudios de recolección de datos antes y después, determinando la variación de las variables a través de la recolección de datos conseguidos en los diferentes tiempos planteados.

Según el número de variables analíticas el estudio se considera **analítico**, sin embargo, tendremos 2 variables analíticas que están a disposición del investigador para evaluar su distribución y estadística.

Según la intervención del investigador, se considera **con intervención**, porque Sampieri, R. et al. (2000) considera que los estudios son de diferentes formas con su nivel de experimentación e intervención, por lo tanto, los estudios explicativos son experimentos puros (p. 165) entonces el control de las variables será más estricto, analizando las relaciones puras entre las variables.

3.1.1 ENFOQUE

El presente estudio de investigación es de **enfoque cuantitativo**, porque según la recopilación de información de los autores Sampieri et al. (2000) explican que este enfoque corresponde a una idea a proyectar y, una vez delimitada, derivan objetivos y preguntas de investigación, explorando la parte conceptual y estructurando un marco o perspectiva teórica. Por lo tanto, a partir de la proposición de preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables; se traza objetivos y para las evidencias se plantea el diseño; se analiza la medición de variables en un determinado contexto; se comprueba las mediciones obtenidas a través de métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto a las hipótesis; sin embargo, se requiere de instrumentos para el recojo de datos cuantitativos empleando programas como Excel o SPSS para justificar la hipótesis con el uso de análisis estadístico durante el empleo de la experimentación.

3.1.2 ALCANCE O NIVEL

El presente trabajo de investigación es de **nivel aplicativo**, según el respaldo de información del autor Sampieri et al. (2000) redacta lo siguiente: el alcance aplicativo aporta estudios con intervención, tratamiento o solución a un problema, sin embargo, interviene y analiza los procesos, resultados e impactos que fueron desarrollados en la población de estudio con la finalidad de establecer mejoras o lograr resultados positivos para ser aplicados en la realidad. Como principal aporte investigativo este nivel evalúa el logro del tratamiento, de modo que, se necesita seguimiento siendo posible con la estadística a través de gráficas, análisis y estudios repetitivos, concebido lo anterior, la investigación busca evaluar la eficiencia del tratamiento vermifiltro en las variable evaluativa (parámetros físicos-químicos y microbiológicos), sin embargo, precisa de verificación estadística y metodológica, en funcionamiento de estudios estadísticos y experimentales.

3.1.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo **experimental con un solo factor**, porque de acuerdo a la redacción de los autores Sampieri et al. (2000) explican que, se deberá manipular el diseño experimental preprueba y posprueba (p. 130), sin embargo, el presente estudio se realizará mediante la manipulación de las variables designadas, variable independiente (Sistema vermifiltro) que será implementado con la finalidad de determinar el tratamiento del sistema con la intervención de especie de lombriz *Eisenia foteida* para determinar la variable dependiente (parámetros físico-químicos y microbiológicos en las aguas residuales domésticas) antes y después, además de implementar dos grupos control de tratamiento sin ninguna especie de lombriz, donde se evaluará los parámetros seleccionados.

El siguiente esquema muestra el diseño de estudio:

Donde:

- GE₁ GE₂ GE₃ GE₄: Grupo Experimental 1 (Sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana *Eisenia Foteida*) a partir del primer (1) día; Grupo Experimental 2 (Sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana *Eisenia Foteida*)) a partir del séptimo (7) día; Grupo Experimental 3 (Sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana *Eisenia Foteida*) a partir del quinceavo (15) día; Grupo Experimental 4 (Sistema vermifiltro con la especie Lombriz Californiana *Eisenia Foteida*) a partir del vigésimo tercer (23) día.
- GC₁ GC₂: Grupo de Control 1 (Filtro sin la especie Lombriz Californiana *Eisenia Foteida*) a partir del primer (1) día; Grupo de Control 2 (Filtro sin la especie Lombriz Californiana *Eisenia Foteida*) a partir del vigésimo tercer (23) día.
- $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \theta_5 \theta_6$: Evaluación inicial (pre test)
- $\theta_7 \theta_8 \theta_9 \theta_{10} \theta_{11} \theta_{12}$: Evaluación final (pos test)
- X₁: Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del primer (1) día

- X₂: Intervención sin la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del primer (1) día
- X₃: Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del séptimo (7) día
- X₄: Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del quinceavo (15) día
- X₅: Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del vigésimo tercer (23) día
- X₆: Intervención sin la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del vigésimo tercer (23) día

El tipo de investigación experimental, es **puro o verdadero** con preprueba-posprueba y grupo de control, porque según los autores Sampieri et al. (2000) afirman que, se considera el azar de grupos, aplicando seguidamente una pre prueba y pos prueba mediante el tratamiento experimental, además de incluir un grupo de control donde no se admite el tratamiento (p. 193), de acuerdo al texto anterior se justifica que, el trabajo de investigación se hará uso de un pre test y post test para determinar la variación de las variables en relación de un antes y después del tratamiento realizado con el vermifiltro con la intervención de la especie lombriz *Eisenia Foteida* y además de implementar un grupo de control donde no haya ninguna especie de lombriz. Del anterior contexto se representa de la siguiente manera:

$$GE1 \rightarrow \theta_1 \text{---} X_1 \text{---} \theta_7$$

$$GC1 \rightarrow \theta_2 \text{---} X_2 \text{---} \theta_8$$

Donde,

- θ_1, θ_2 : Evaluación inicial de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual doméstico del Malecón Huallaga
- X₁: Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del primer (1) día
- X₂: Intervención sin la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del primer (1) día

- θ_7, θ_8 : Evaluación final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del sistema filtrante

$$GE2 \rightarrow \theta_3 \text{-----} X_3 \text{-----} \theta_9$$

Donde,

- θ_3 : Evaluación inicial de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos
- X_3 : Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del séptimo (7) día
- θ_9 : Evaluación final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

$$GE3 \rightarrow \theta_4 \text{-----} X_4 \text{-----} \theta_{10}$$

Donde,

- θ_4 : Evaluación inicial de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos
- X_4 : Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del quinceavo (15) día
- θ_{10} : Evaluación final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

$$GE4 \rightarrow \theta_5 \text{-----} X_5 \text{-----} \theta_{11}$$

$$GC2 \rightarrow \theta_6 \text{-----} X_6 \text{-----} \theta_{12}$$

Donde,

- θ_5, θ_6 : Evaluación inicial de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos
- X_5 : Intervención con la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del vigésimo tercer (23) día
- X_6 : Intervención sin la especie de lombriz *Eisenia Foteida* a partir del vigésimo tercer (23) día
- θ_{11}, θ_{12} : Evaluación final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

3.1.4 CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS FILTRANTES

Para la construcción de los sistemas filtrantes (vermifiltro y filtro convencional) se utilizó materiales económicos que esté a nuestro alcance.

- **Recolección de los materiales y componentes del vermifiltro**

Tabla 5

Componentes de los sistemas filtrantes

Componentes	Unidad	Cantidad
Balde de 20L	und.	1
Lombriz <i>Eisenia foteida</i>	kg.	5
Humus de lombriz	kg.	12
Aserrín	kg.	25
Arena gruesa	kg.	12
Grava mediana 1/4"	kg.	10
Piedras de río	kg.	10
Malla Rashel 80%	und.	2
Tubo de 1/2"	m	4
Niple Tubo PVC 1/2"	und.	7
Llave de paso 1/2"	und.	3
Codo PVC cachimba 1/2"	und.	1
Codo 90° SP PVC 1/2"	und.	5
Cruz plástica 2 pulgadas roscada	und.	1
Tapón hembra SP 1/2"	und.	2
Tee SP PVC 1/2"	und.	1
Adaptador PVC unión presión – rosca 1/2"	und.	1

Vitrina de acrílico (40x40x70)	und.	2
Codo PVC cachimba 1/2"	und.	1

Nota. La tabla resume los materiales utilizados para el diseño y construcción de los sistemas filtrantes

3.1.5 DISEÑO DEL SISTEMA VERMIFILTRO

Se realizó un registro de los componentes y una gráfica estructural del sistema vermifiltro

Tabla 6

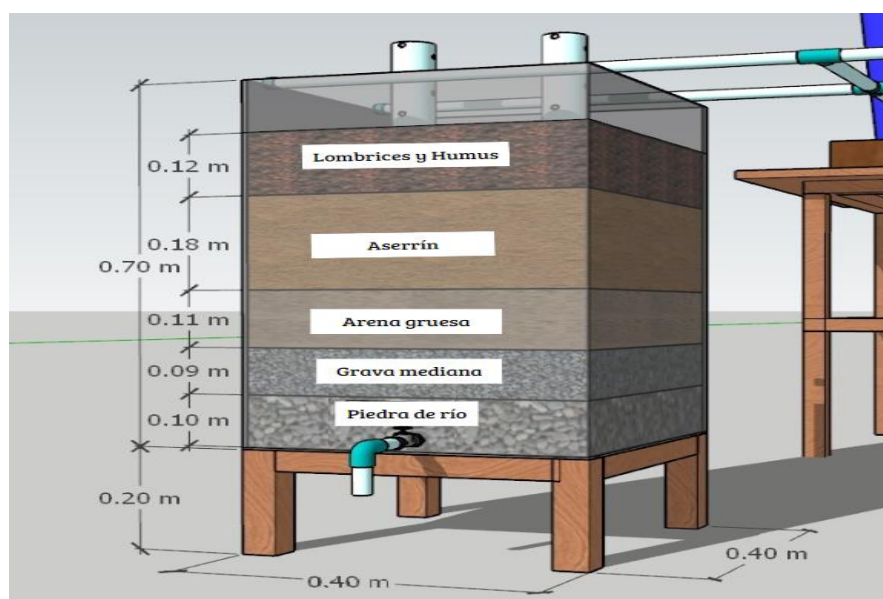
Dimensiones de cada capa en la estructura del vermifiltro

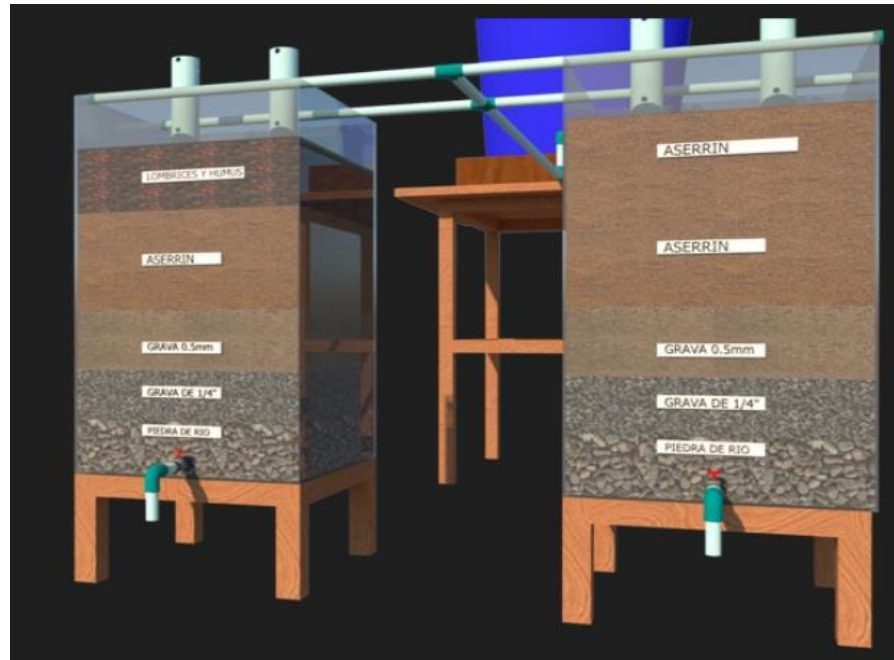
Descripción	Altura (cm)	Altura (m)
Eisenia foteida+humus	12	0.12
Aserrín	18	0.18
Arena gruesa	11	0.11
Grava mediana	9	0.9
Piedra de río	10	0.10

Nota. La tabla resume la altura total de los componentes utilizados para implementar en los sistemas filtrantes (vermifiltro y filtro convencional)

Figura 5

Diseño del vermifiltro





Volumen del Vermifiltro = Ancho (A) × Largo (L) × Altura (h)

Volumen del Vermifiltro = 0.40 m × 0.40 m × 0.70 m = 0.112 m³

3.1.5.1 ALTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS LECHOS FILTRANTES

De acuerdo a diferentes estudios, la composición y altura estuvo basada por criterios ya realizados, por lo tanto, su construcción está conformada por lo siguiente: De los lechos filtrantes se procede a instalar cuatro capas distintas de forma separada en cada nivel, la primera contiene humus y lombrices en una altura de 12 centímetros aproximadamente, para la segunda capa es necesario utilizar aserrín, pero antes de su utilidad se tuvo que hacer un lavado durante 7 días para que sea un suministro efectivo de alimento para las lombrices, su instalación ocupó 18 centímetros de altura, sin embargo, antes de colocar la tercera capa, fue necesario colocar una malla Raschel 80%, seguido de ello la tercera capa contuvo 11 centímetros de arena gruesa, por último la cuarta y quinta capa fue necesario recolectar piedras del río de tamaño mediano y grande, para luego ser separadas, colocadas en distintas capas con una altura de 9 y 10 centímetros respectivamente.

Figura 6

Composición de los sistemas filtrantes



Nota. La anterior imagen representa el llenado de los sistemas filtrantes

3.1.5.2 CONSTRUCCIÓN DEL VERMIFILTRO

Para la composición del sistema vermifiltro y filtro se optó a elaborar una pecera de material acrílico con una capacidad de 112 litros, resultante de sus medidas de largo (40 cm), ancho (40 cm) y alto (70 cm), así mismo se ensambló las llaves de paso de $\frac{1}{2}$ pulgada.

Además, se colocó una base de soporte cuyo material fue de madera con una medida de 10 centímetros de alto y una apertura central de 32 centímetros para la filtración de agua por método de goteo a través de 9 hoyos de 2 centímetros, para luego el agua ser recolectado en un lavatorio de plástico.

En la parte superior de la vitrina, se procedió a colocar el sistema de riego por goteo que fue separada por 4 tubos de $\frac{1}{2}$ " con una medida de 15 centímetros cada uno, con perforaciones de 8 mm en una separación de 3 centímetros, para luego ser

enroscados en conectores de Tee SP PVC 1/2" y Cruz plástica 2 pulgadas roscada, previamente enlazados con el tubo general hacia el bidón de ingreso del agua residual doméstica.

Adicionalmente, se instaló dos tubos de aireación en cada sistema con una medida de 80 cm de alto y perforaciones separadas a 15 cm de forma cruzada, con la finalidad de evitar estancamientos y mejor filtración del agua residual.

Figura 7

Diseño y construcción de los sistemas filtrantes



Nota. La figura muestra el modelo de los sistemas filtrantes

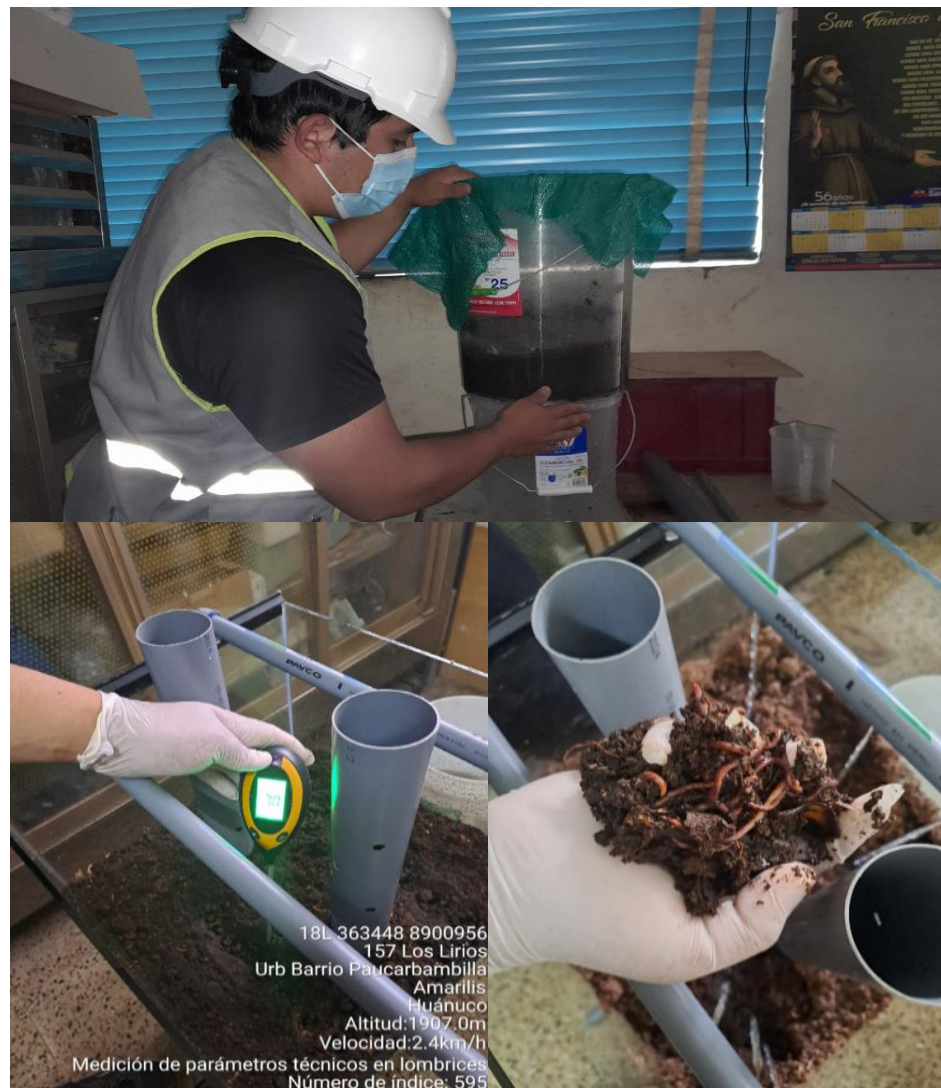
3.1.5.3 ADAPTACIÓN Y DESARROLLO DE LAS LOMBRICES EISENIA FOETIDA

Antes de iniciar con el funcionamiento del vermifiltro, se tuvo que construir un sistema de compostaje para la adaptación y desarrollo de las lombrices, sin embargo, se utilizó dos baldes de diferentes dimensiones, que fueron requeridos para su

alimentación y producción de lixiviados o humus líquido, además se hizo un proceso de aclimatación con aserrín y contacto de agua residual. El método de aclimatación se realizó en regar toda una semana diariamente con un total de 2 litros de agua residual recolectada del afluente de la matriz de desagüe que desemboca al río Huallaga. Por lo tanto, de realizar el anterior procedimiento se tuvo que utilizar el muestreo de los parámetros técnicos en lombrices, para su supervivencia dentro del sistema vermifiltro, analizando su temperatura, humedad y pH con el multiparámetro HEMDRE en las 4 semanas.

Figura 8

Adaptación y desarrollo de las lombrices Eisenia foteida



Nota. La imagen interpreta el desarrollo y adaptación de las lombrices

3.1.6 OPERACIÓN DEL SISTEMA VERMIFILTRO

3.1.6.1 RECOLECCIÓN DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Se recolectó el agua residual doméstica de la matriz del desagüe que desemboca en el río Huallaga ubicado en la zona 0 del Malecón Huallaga, donde se visitó 4 tiempos en 4 semanas. De igual manera, se transportó 20 litros de agua residual al punto donde se encuentran los dos sistemas de filtración (vermifiltro y filtro), siendo depositados en el bidón para su debido tratamiento. En la primera y cuarta semana se activó la operación de ambos sistemas con el propósito de tener dos grupos de control y verificar la eficiencia del tratamiento con lombrices, mientras que en la segunda y tercera semana se inició con la operación solo del vermifiltro. El monitoreo del proyecto se realizó en el 2024 en 4 fechas periodo de 1 mes: Primer muestreo 1 de febrero, segundo muestreo 7 de febrero, tercer muestreo 15 de febrero y cuarto muestreo 24 de febrero, con el objetivo de evaluar cambios o tendencias de la eficiencia de remoción de contaminantes.

Figura 9

Recolección del agua residual doméstica y el vertido en los sistemas



Nota. La figura anterior representa la recolección del agua residual doméstica y su vertido para la operación en los sistemas filtrantes

3.1.6.2 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SISTEMA VERMIFILTRO

Para optimizar el funcionamiento de filtración, evitar empozamientos, preservar el desarrollo y adaptación de las lombrices dentro del sistema vermifiltro, se aplicó determinar los parámetros hidráulicos.

En consideración, se utilizó tres niveles de abertura del afluente (ingreso del agua residual doméstica), para ambos sistemas se utilizó 2 tubos PVC, siendo perforados con la finalidad de utilizar el método sistema de riego por goteo, donde el agua residual doméstica caía sobre la superficie del estrato. Sin embargo, los parámetros de diseño como: caudal Total, tiempo de retención hidráulica y tasa de carga hidráulica, fueron desarrollados y recopilados en una ficha técnica de campo.

➤ Cálculo del caudal total (Q_{TOTAL})

Se optó por la operación del caudal total dentro del sistema vermifiltro con la finalidad de mantener de forma sostenible la funcionalidad del sistema y supervivencia de las lombrices.

Por lo tanto, para obtener el valor del caudal total, se aplicó el método volumétrico consistiendo en recolectar un volumen de agua residual durante un tiempo de 1 minuto.

Se empleó tres niveles de abertura respecto a la llave de alimentación (afluente), lo cual el agua residual doméstica que ingresó a través de la instalación de los 2 tubos perforados (PVC A y PVC B) fue distribuida sobre el estrato, aplicando el método sistema de riego por goteo. De esta manera el agua residual doméstica que caía sobre la superficie, fue acumulado en un recipiente graduado con capacidad de 1 litro, y un tiempo estimado de 1 minuto en la recolección. Este procedimiento se realizó en tres repeticiones distintas por cada tubo PVC perforado (A Y B), sin embargo, la medición se hizo en 4 semanas, siendo necesario

repetir la recolección del agua residual a partir de la semana 3 y 4 (PVC A1 Y PVC B1) para obtener una óptima precisión en los valores del caudal total.

➤ **Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Para mejorar la filtración continua y evitar empozamientos dentro sistema biológico, fue indispensable conocer el tiempo que tarda el agua residual doméstica filtrar en cada capa compuesta en el interior del sistema vermifiltro hasta salir del mismo. Sin embargo, se precisó desarrollar y obtener el resultado del caudal total de los tres niveles de abertura, además de disponer el registro de las medidas de volumen de cada componente conformado en el vermifiltro.

Para hallar el volumen de cada capa conformado dentro del sistema vermifiltro fue necesario averiguar los datos de su altura, largo y ancho, para luego ser reemplazado en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen del material} = \text{Altura (m)} \times \text{Largo (m)} \times \text{Ancho (m)}$$

Finalmente, el resultado de los datos de volumen material y conversión del caudal total a metros cúbicos por hora, accedió a ser reemplazado en la siguiente fórmula (α) del autor Calvache et al. (2003):

$$TRH = \frac{\text{Volumen del material}}{\text{Caudal total}} \dots\dots\dots (\alpha)$$

➤ **Cálculo de la tasa de carga hidráulica (HRL)**

Para determinar la tasa de carga hidráulica, fue necesario disponer el registro de la cantidad de agua residual doméstica que ingresó por día en los sistemas filtrantes (vermifiltro y filtro convencional), por lo tanto, según los autores Robin et al. (2009) la tasa de carga hidráulica debe ser menor o igual que; $Tr \leq 1 \frac{m^3}{m^2 \times día}$. Asegurado la anterior regla se calculó con la siguiente ecuación:

$$HRL = \frac{V_{Ar}}{A \cdot t} \dots \dots \dots (\beta)$$

Donde,

- HRL: Tasa de carga hidráulica (m³/m².día)
- V_{Ar}: Volumen de agua residual (m³)
- A: Área de la superficie (m²)
- t: Tiempo que demora en escurrir (día)

Figura 10

Cálculo de los parámetros hidráulicos



Nota. La figura anterior interpreta la ejecución para el cálculo de parámetros hidráulicos en los sistemas filtrantes y registro de datos

3.1.6.3 MONITOREO DE LA POBLACIÓN DE LOMBRICES

Para demostrar la eficiencia del sistema vermifiltro, se consideró el monitoreo de la población de lombrices *Eisenia foteida*, lo cual es un indicador que permite evaluar el comportamiento de las lombrices al momento de ingresar el agua residual, por lo tanto, se recolectó información en el periodo de 1 mes, a la semana cada tres días se realizó el conteo, cálculo y registro. Sin embargo, para evaluar la población de lombrices se necesitó de un extractor cuyas dimensiones eran las siguientes: 10 cm de ancho y 10 cm de largo, obteniendo un área de 0.01 m². Además, se verificó el área superficial del vermifiltro contando con un total de 0.16 m² dividido en 3 zonas, tomando la muestra al azar en la superficie del sustrato donde habitaban las lombrices con las mismas condiciones de vida, distribuidos homogéneamente, de este modo, se extrajo, contabilizó y registró el número de lombrices (tamaño adulto, juveniles, huevos o cocones) en la ficha técnica de recolección de datos, para luego obtener el promedio.

Figura 11

Monitoreo de la población de lombrices



Nota. La imagen representa el procedimiento de recolección de datos sobre la población de lombrices

Para determinar la densidad poblacional de lombrices se utilizó la metodología propuesta por Schuldt con la siguiente fórmula de cálculo:

$$\text{Número de lombrices (Nº)} = \frac{(\text{Lombrices extraídas (p)}) \times (\text{Área del lecho m}^2)}{\text{Área del extractor m}^2}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de lombrices (Nº)}}{\text{m}^2}$$

3.1.7 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DEL AFLUENTE Y EFLUENTE

3.1.7.1 MUESTREO DE LOS PARÁMETROS DBO5 Y COLIFORMES FECALES

Para la recolección de muestras se estableció 2 puntos de muestreo: El primer punto fue para la recolección del agua residual doméstica, ubicado en la matriz de desagüe de la zona 0 en el malecón Huallaga (Figura 14) y el segundo punto fue para la recolección del agua tratada, ubicado en el domicilio los Jazmines, donde se encontraba ambos sistemas de tratamiento el vermifiltro y filtro convencional (Figura 15). Para evaluar el tratamiento se analizaron los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales.

Figura 12

Toma de muestras de DBO5 y Coliformes Fecales antes del tratamiento



Nota. La imagen representa la toma de muestra del agua residual doméstica de la matriz de desagüe de la zona 0

Figura 13

Toma de muestras de DBO5 y Coliformes Fecales después del tratamiento



Nota. La imagen representa la toma de muestra del agua tratada de los sistemas de filtración

3.1.7.2 ENVÍO DE MUESTRAS DE LOS PARÁMETROS DBO5 Y COLIFORMES FECALES

Se recolectó las muestras de los parámetros de DBO5 y Coliformes Fecales del agua residual doméstica de la matriz de desagüe y el agua tratada en los sistemas de filtración, sin embargo, estos parámetros fueron empaquetados y enviados hacia Lima para ser analizados en el laboratorio HidroLab laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), así mismo, Luego del muestreo de los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales, se rellenó la cadena de custodia para identificar el número de muestra, tipo de matriz, fecha - hora, número de envase, coordenadas del punto de muestreo, tipo de parámetro y lugar del muestreo, sin embargo, identificado los datos, se procedió a empaquetar las muestras en un cooler hermético para ser enviados al laboratorio (Figura 14).

Para la recepción de los resultados analizados, se tuvo que esperar 1 semana previa al muestreo.

Figura 14

Muestras de DBO5 y Coliformes Fecales



Nota. La imagen representa el empaquetado de las muestras y relleno de la cadena de custodia para el envío de muestras

3.1.7.3 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS SECUNDARIOS

Se evaluó los parámetros secundarios como pH, sólidos disueltos totales, turbidez, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura siendo analizados en campo con el uso de un multiparámetro portátil HQ2200. Esto fue realizado en las 4 fechas de operación (1, 7, 15 y 24 de febrero del 2024), sin embargo, en el primer punto se analizó el agua residual doméstica que fue recolectado de la matriz de desagüe ubicado en el malecón Huallaga de la zona 0, y en el segundo punto se recolectó el agua que fue tratada dentro de los sistemas de filtración como el vermifiltro y filtro convencional. Los datos analizados de los parámetros secundarios fueron recopilados en una ficha técnica, para luego ser procesados en el programa de Microsoft Excel.

Figura 15

Análisis de los parámetros secundarios



Nota. La imagen representa análisis de los parámetros de campo antes y después del tratamiento con el vermifiltro

✓ Dimensionamiento

Se verificará los criterios de diseño como tasa de riego o carga hidráulica del vermifiltro, mencionados por los autores Sinha, et al. (2008) y Cardoso, et al. (2013).

Tabla 7

Parámetros para el diseño experimental del vermifiltro

Parám	Nomenclat	Ecuación	Recomendación	Autor
Tiempo retención hidráulico	HRT	$HRT = \frac{V}{Q}$	$\geq 2 \text{ horas}$	Calvache et al. (2003)
Tasa de carga hidráulica	HRL	$HRL = \frac{V_{Ar}}{A \cdot t}$	$Tr \leq 1 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$	Robin et al. (2009)
Tasa de flujo volumétrico	Q	$Q = A \times \vec{V}$	Acorde al diámetro de la tubería	Irvin (2018)
Superficie del medio filtrante	hs	$hs = \frac{ExH}{100\%}$	Acorde a la altura total del filtro	Caicedo (2017)

Caudal total	Q	$Q = \frac{V}{t}$	Acorde al total de ingreso de agua residual	Quispe (2021)
Porcentaje de eficiencia	$\%Ef$	$\%Ef = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100\%$	De acuerdo a la concentración de los parámetros	Ramón y Duchi (2022)
Población de lombrices	ρ	$\rho = \frac{N^{\circ} \text{ de lombrices}}{m^2}$	Acorde a las lombrices extraídas	Gallegos (2019)

Nota. La tabla resume las ecuaciones utilizadas en el diseño del vermifiltro

✓ EFICIENCIA

La determinación de la tasa de eficiencia del sistema de vermifiltro, será evaluada a base de la siguiente ecuación:

$$\Delta C = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100\%$$

Dónde:

ΔC : Variación de la concentración

Ci : Concentración inicial

Cf : Concentración final

Para verificar la eficiencia del vermifiltro se tomará en cuenta los resultados mediante el análisis e interpretación, además los parámetros muestreados como DBO5, Coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y turbidez, donde serán clasificados de acuerdo al porcentaje de eficiencia en reducción como: Muy baja (0 a 25%), baja (26 a 50%), media (51 a 75%) y alta (76 a 100%).

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.2 POBLACIÓN

El estudio de investigación presenta una población en relación a las aguas residuales domésticas del lugar MALECÓN HUALLAGA, desembocadas en el río Huallaga del distrito de Amarilis en la ciudad de Huánuco, provincia y departamento de Huánuco; considerando las siguientes coordenadas de ubicación resultado del GPS.

Tabla 8

Puntos de coordenadas

Semana 1	X 0362918 Y8900575 A 1890 msnm
Semana 2	X 0362815 Y8900517 A 1890 msnm
Semana 3	X 0362918 Y8900575 A 1890 msnm
Semana 4	X 0368219 Y8900523 A 1890 msnm

Nota. La tabla representa los puntos de coordenadas de la toma de muestra de las aguas residuales domésticas de la tubería de desagüe de zona 0

3.2.3 MUESTRA

La muestra es el efluente de aguas residuales domésticas de la zona 0 ubicado en el distrito de Amarilis, sin embargo, fue aplicado en un área respecto a las coordenadas ubicadas anteriormente, prosiguiendo a recolectar 20 litros de agua residual para ser almacenados en un galón, con la finalidad de controlar y filtrar el agua residual doméstica a través del método riego por goteo, para luego ser tratadas en el sistema vermifiltro con la especie de lombriz californiana *Eisenia Foteida* y filtro sin ninguna especie de lombriz.

3.3 TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.2 PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 9

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variable de Independiente	Dimensión (es)	Indicador (es)	Técnica	Instrumentos
Sistema vermifiltro	Parámetros del Vermifiltro	• Caudal total • HRT • HRL • Área • Estrato	Observacional	Análisis de campo
	Parámetros de la lombriz <i>Eisenia Foteida</i>	• pH • Temperatura • Humedad	Observacional	Multiparámetro HEMDRE
Variable Dependiente	Dimensión (es)	Indicador (es)	Técnica	Tipo de Variable
Agentes contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas	Parámetros físicos	• Temperatura • Conductividad eléctrica • Sólidos disueltos totales • Turbidez	Observacional	Análisis de laboratorio o y
	Parámetros químicos	• DBO5 • pH • Oxígeno disuelto	Observacional	Multiparámetro portátil HQ2200
	Parámetro microbiológico	• Coliformes Fecales	Observacional	

Nota. La tabla representa la recopilación de datos utilizados en técnicas e instrumentos donde fue distribuido por las dos variables

3.4 TÉCNICA PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos fueron recolectados mediante la técnica observacional y los instrumentos mencionados, por lo tanto, el proyecto se realizó en un periodo de 4 tiempos relativo a un mes para tomar cada muestra una vez a la semana

correspondiente para posteriormente ser analizados y cerciorados por el laboratorio acreditado además de corroborar con el procesamiento y análisis de los resultados.

3.4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Para el análisis e interpretación de los resultados relacionado a la toma de muestras se especificó en barras estadísticas, tablas y diversos gráficos elaborados con el Software Excel office 2016, así mismo se manipula el método ANOVA con grado de significancia 0,05 (95%) con ayuda del programa ANalysis Of VAriance Excel. Para la comprobación de las hipótesis propuestas, se aplicó el análisis estadístico utilizando el método de ANOVA mediante el programa ANalysis Of VAriance Excel.

Respecto a la toma de muestras se realizó en un área de la zona 0 en la matriz doméstica del agua residual, desembocadas en el río Huallaga perteneciente al distrito de Amarilis, así mismo, se recolectó 20 litros de agua residual doméstica, analizando la toma de muestra del afluente (agua residual doméstica de la matriz del desagüe) y la otra toma de muestra del efluente (salida de agua del sistema vermifiltro) considerando los parámetros físicos (temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica), químicos (DBO5, oxígeno disuelto y pH) y microbiológicos (coliformes fecales). Sin embargo, se contabilizó un total de 20 muestras en 4 semanas respecto a los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales, que fueron enviados y analizados por el laboratorio acreditado HIDROLAB S.A.C, y los parámetros restantes fueron analizado en campo con un multiparámetro portátil HQ2200.

3.4.3 PRESENTACIÓN DE DATOS

Se utilizó la técnica de tabulación sobre la recopilación de los resultados, siendo organizados en tablas y gráficos disponibles en los programas de Software Excel office 2016 y *ANalysis Of VAriance* realizado en Excel.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 RESULTADO DEL CAUDAL TOTAL (Q_{TOTAL})

Se trabajó con 3 niveles de abertura de la llave de alimentación, utilizando un recipiente de 1 litro debajo de cada aspersor perforado para captar el agua residual doméstica en el tiempo de 1 minuto, obteniendo los siguientes datos de la tabla 10.

Tabla 10

Cálculo del caudal de operación del vermifiltro

Caudal (Q)	Mediciones (mL/min)				Promedio (mL/min)				Caudal total (L/min)
	PVC A	PVC B	PVC A1	PVC B1	PVC A	PVC B	PVC A1	PVC B1	
Q1	200	185	205	190					
	190	170	190	175	188.3	173.3	190	175	0.7266
	175	165	175	160					
	275	250	285	260					
Q2	250	245	265	245	253.3	240	265	246.6	1.0049
	235	225	245	235					
	545	525	550	515					
Q3	530	515	525	500	533.3	511.6	528.3	501.6	2.0748
	525	495	510	490					

Nota. En la tabla anterior se muestra la Ficha técnica de la recolección de datos del caudal con los diferentes niveles de abertura (Q1, Q2 y Q3)

Se realizó el cálculo del caudal total con 3 diferentes niveles de abertura, fue determinado en 4 tiempos mediante las tuberías perforadas, obteniendo un promedio total de los valores resultantes de las tres repeticiones realizadas, además a partir de la tercera y cuarta semana se optó a ejecutar nuevamente la recolección del agua residual doméstica (PVC A1 Y PVC B1), para conseguir una mejor precisión,

resultando Q1 con 0.7266 litros/minuto; Q2 con 1.0049 litros/minuto y Q3 con 2.0748 litros/minuto.

4.1.2 RESULTADO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)

Se evaluó el tiempo de retención hidráulica (TRH) para cada nivel de capa compuesta en el vermifiltro. En la tabla 11 se obtuvo los datos del volumen de material y datos del caudal total, necesarios para calcular y registrar los datos del tiempo de retención hidráulica en la tabla 12.

Tabla 11

Datos para calcular el tiempo de retención hidráulica

Datos del volumen de material del sistema vermifiltro		Datos del caudal total con los diferentes niveles de abertura	
Capas del vermifiltro	Volumen del material	Caudal (Q)	Caudal total (m ³ /hora)
CAPA 1 (Eisenia foteida + humus)	0.0192 m ³	Q1	0.0436 m ³ /h
CAPA 2 (Aserrín)	0.0288 m ³		
CAPA 3 (Arena gruesa)	0.0176 m ³	Q2	0.060 m ³ /h
CAPA 4 (Grava mediana)	0.0144 m ³		
CAPA 5 (Piedra de río)	0.0160 m ³	Q3	0.124 m ³ /h
TOTAL	0.096 m ³	TOTAL	0.02276 m ³ /h

Nota. En la tabla anterior se muestra el registro de los datos resultantes del volumen material y conversión del caudal total a metro cúbico por hora

La capa compuesta por material biológico (lombrices y humus) contiene un volumen total de 0.048 m³, separados por una malla Raschel, la capa de áridos (Arena gruesa, grava y piedras de río) conforman un volumen total de 0.048 m³. Así mismo, para el caudal total con nivel de abertura 1 se obtuvo 0.0436 metros cúbicos por hora, para el caudal total con nivel de abertura 2 resultó 0.060 metros cúbicos por hora y el caudal total con nivel de abertura 3 registró un valor de 0.124

metros cúbicos por hora, obteniendo un total de 0.02276 metros cúbicos por hora.

Finalmente, el resultado de los datos de volumen material y conversión del caudal total a metros cúbicos por hora, accedió a ser reemplazado en la siguiente fórmula (α) del autor Calvache et al. (2003):

$$TRH = \frac{\text{Volumen del material}}{\text{Caudal total}} \dots \dots \dots (\alpha)$$

Tabla 12

Cálculo del tiempo de retención hidráulica

Capas del Vermifiltro	Tiempo de Retención Hidráulica		
	TRH 1	TRH 2	TRH 3
CAPA 1			
<i>Esenia foteida</i> + humus	26 minutos	19 minutos	9 minutos
CAPA 2			
Aserrín	39 minutos	28 minutos	13 minutos
CAPA 3			
Arena gruesa	24 minutos	17 minutos	8 minutos
CAPA 4			
Grava mediana	19 minutos	14 minutos	6 minutos
CAPA 5			
Piedra de río	21 minutos	15 minutos	7 minutos
TOTAL	2 horas con 15 minutos	1 hora con 55 minutos	43 minutos

Nota. En la tabla anterior se muestra el resultado de los tiempos de retención hidráulica en cada capa compuesta en el sistema vermifiltro

Los datos del caudal total resultan diferentes por los niveles de abertura de la llave de alimentación (Q1, Q2 y Q3). Además, se considera que cada componente (humus, lombrices, aserrín, arena, grava y piedras de río) difiere en los tiempos de retención de agua residual doméstica. Según el autor Calvache et al. (2003) resalta que para evitar empozamientos dentro del sistema biológico el Tiempo de Retención Hidráulica deberá ser mayor o igual que 2 horas, necesario para una filtración eficaz y continua. Por lo tanto, se realizó el cálculo del tiempo de retención hidráulica con el resultado de los 3 diferentes caudales, en consideración, para un óptimo drenaje y que no haya

empozamiento se consideró el primer tiempo de retención hidráulica (TRH1) que es mayor o igual a 2 horas siendo aceptable según teoría descrita.

4.1.3 RESULTADO DE LA TASA DE CARGA HIDRÁULICA (HRL)

Se determinó la tasa de carga hidráulica, considerando el volumen del agua residual, área de superficie y el tiempo que demora en escurrir dentro del sistema filtrante, obteniendo los datos de la tabla 13.

Tabla 13

Cálculo de la tasa de carga hidráulica

Datos de ecuación para obtener la Tasa de Carga Hidráulica (HRL)			Tasa de Carga Hidráulica (m ³ /m ² .día)
Volumen de agua residual (m ³)	Área de la superficie del sistema vermifiltro (m ²)	Tiempo que demora escurrir el agua residual (día)	
0.02 m ³	0.16 m ²	0.094 días	1.3333 m ³ /m ² .día
		0.080 días	1.5625 m ³ /m ² .día
		0.030 días	4.1666 m ³ /m ² .día

Nota. En la tabla anterior se detalla los datos de ecuación para obtener el resultado de la Tasa de Carga Hidráulica

El caudal de ingreso por día fue 20 litros de agua residual doméstica para luego realizar la conversión a 0.02 m³, así mismo, se halló el área de superficie del sistema filtrante tomando en consideración el largo y ancho de la base del sistema vermifiltro resultando 1600 cm², para luego obtener un valor de 0.16 m². Finalmente fue necesario el cálculo del tiempo que demora en escurrir el agua residual doméstica dentro del sistema filtrante, por lo que se precisa conocer los tiempos de retención hidráulica de los 3 niveles de caudales utilizados (Q1, Q2 Y Q3), obteniendo que 2 h 15 min equivale 0.094 días, 1h 55min equivale 0.080 días y 43 min equivale a 0.030 días, sin embargo, los datos resultantes fueron reemplazados en la ecuación (β) para conseguir los valores de la Tasa de Carga Hidráulica. De tal forma, este

parámetro hidráulico fue necesario controlar con la finalidad de determinar si el sistema tendrá tendencia a obstruirse. Considerando el resultado que cumplen con la teoría descriptiva de los autores Robin et al. (2009) fue la Tasa de carga hidráulica 1 con el resultado de 1.3333 m³/m².día, mientras que, los demás valores resultantes sobrepasan lo admitido.

4.1.4 RESULTADO DE LA POBLACIÓN DE LOMBRICES (ρ)

Se calculó la población de lombrices *Eisenia foteida*, donde se necesitó conocer los valores del área superficial vermifiltro y el extractor.

$$\text{Área superficial del vermifiltro (As)} = l^2 = (40 \text{ cm})^2 = 1600 \text{ cm}^2 \text{ } \leftrightarrow 0.16 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Área superficial del extractor (As)} &= \text{Base} \times \text{Altura} = (0.1 \text{ m}) \times (0.1 \text{ m}) \\ &= 0.01 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Obteniendo los resultados de las diferentes áreas, se consiguió desarrollar el número de lombrices y su densidad poblacional aplicando siguiente fórmula:

$$\text{Número de lombrices (Nº)} = \frac{(\text{Lombrices extraídas (p)}) \times (\text{Área de la superficie } ^2)}{\text{Área del extractor m}^2}$$

$$\text{Densidad Poblacional } (\rho) = \frac{\text{Número de lombrices (Nº)}}{\text{m}^2}$$

Tabla 14

Registro de la población de lombrices Eisenia foteida

Semana	Monitoreo	Fecha	Número de lombrices extraídas por zona				Densidad Poblacional
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Promedio (p)	
Nº 1	A	02/02/2024	19	48	21	29	464
	B	03/02/2024	25	42	29	32	512
	C	04/02/2024	28	58	24	37	592
	D	05/02/2024	32	53	38	41	656
Nº 2	E	09/02/2024	42	65	31	46	736
	F	11/02/2024	48	71	41	53	848

	G	13/02/2024	68	84	52	67	1072
N° 3	H	17/02/2024	87	98	77	87	1392
	I	18/02/2024	98	110	86	98	1568
	J	20/02/2024	112	121	98	110	1765
N° 4	K	22/02/2024	124	122	101	116	1851
	L	25/02/2024	138	131	127	132	2112

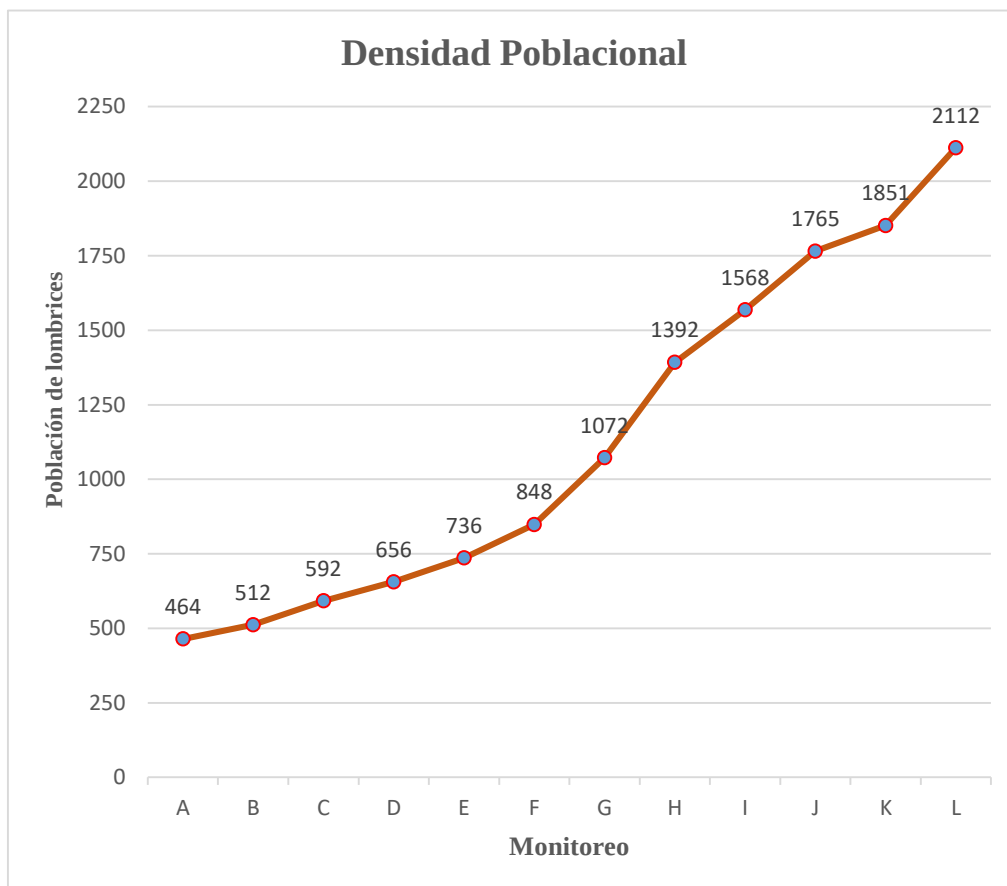
Nota. La tabla representa el registro de la población de lombrices Eisenia foteida, en las tres zonas de la superficie del vermifiltro, resultando un incremento masivo de 2112 lombrices en la última fecha del proyecto

Con la finalidad del desarrollo y adaptación de las lombrices, fue necesario el monitoreó de su población habitable en el sistema vermifiltro, para ello se utilizó un extractor para recolectar de manera aleatoria las muestras de las 3 zonas dividas en el vermifiltro, contabilizando lombrices adultas, juveniles y huevos o cocones, donde fueron registrados en la ficha técnica de recolección de datos en campo (tabla 14).

La evaluación inició el 02 de febrero y finalizó 25 de febrero del año 2024, el monitoreo fue aplicado cada 3 días a la semana, donde el avance de la densidad poblacional de las lombrices aumentaba frecuentemente, esto debido a la supervisión de los parámetros técnicos en lombrices (pH, temperatura y humedad) además de determinar el cálculo de los parámetros hidráulicos (Caudal total, tiempo de retención hidráulica y tasa de carga hidráulica) para evitar empozamientos y disponer de una filtración continua efectiva. A continuación, se representa gráficamente el monitoreo respecto a la población de lombrices, realizado dentro del sistema vermifiltro:

Figura 16

Monitoreo de la población de lombrices dentro del sistema vermifiltro



Nota. En la figura anterior se demuestra el incremento poblacional de lombrices en cada monitoreo

Sin embargo, al inicio se colocó un total de 464 lombrices dentro del sistema vermifiltro, luego a la semana se alimentaba a las lombrices con agua residual doméstica junto al aserrín como suministro, sin embargo, los monitoreos se realizaba cada tres días a la semana, para verificar si la población se encontraba en buenas condiciones de desarrollo y adaptación. Por lo que al transcurrir las semanas y realizando el monitoreo se verificó que se obtuvo resultados beneficiosos, incrementando la población de lombrices la depuración del agua residual fue óptima, y finalizando el proyecto aumentó a 2112 lombrices, indicando que las lombrices están aptas al sistema vermifiltro.

Así mismo, se tuvo que calcular el porcentaje de tasa de crecimiento aplicando la siguiente fórmula:

$$Tasa\ de\ crecimiento = \frac{Valor\ final - Valor\ inicial}{Valor\ inicial} \times 100\%$$

$$Tasa\ de\ crecimiento = \frac{2112 - 464}{464} \times 100\%$$

$$Tasa\ de\ crecimiento = 355.1\%$$

Reemplazando los valores en la ecuación, se obtuvo un crecimiento poblacional de 355.1% en el periodo de 1 mes, además el incremento de lombrices proporcionó una elevada tasa de desarrollo y adaptabilidad, en razón de lo cual la nutrición de las lombrices fue el consumo de los contaminantes como la materia orgánica disuelta sobre lecho del vermifiltro.

4.1.5 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS EN LOMBRICES

Dentro del sistema vermifiltro se hizo el monitoreo de los parámetros técnicos en lombrices (tabla 15) utilizando un multiparámetro portátil HEMDRE, con la finalidad de mantener con vida la población, y evitar deceso de lombrices. De este modo, los parámetros que fueron monitoreados son: pH, temperatura y humedad, siendo registrados en 16 fechas durante las 4 semanas del proyecto.

Tabla 15

Registro de los parámetros técnicos de la lombriz Eisenia foteida

Semana	Fecha	Hora	Parámetros técnicos en lombrices		
			pH (Unidad pH)	Temperatura (%)	Humedad (°C)
N° 1	01/02/2024	21:38	7.1	74%	22°C
	02/02/2024	11:15	7.3	75%	26°C
	03/02/2024	17:25	7.2	73%	25°C
	04/02/2024	09:10	7.4	76%	28°C
N° 2	05/02/2024	12:15	7.4	72%	29°C
	07/02/2024	20:38	7.6	71%	30°C

N° 3	09/02/2024	09:45	7.8	77%	27°C
	11/02/2024	18:13	8.1	69%	22°C
	13/02/2024	10:15	7.2	72%	25°C
	15/02/2024	18:41	6.3	70%	21°C
	17/02/2024	17:25	6.8	73%	26°C
	18/02/2024	08:25	7.1	82%	31°C
	20/02/2024	09:21	7.6	80%	29°C
N° 4	22/02/2024	17:51	7.8	76%	25°C
	23/02/2024	19:27	8.3	75%	26°C
	25/02/2024	09:25	7.5	72%	21°C

Nota. En la tabla anterior se detalla el registro de los parámetros técnicos de lombrices para su adaptación y desarrollo, monitoreo realizado 4 veces por semana

Se registró el monitoreo de cada parámetro técnico en lombrices, indicando la fecha y hora. Se presentó un elevado porcentaje de humedad (82%) y temperatura (21 °C) el 18 de febrero del 2024, de modo que, se tuvo que optar a un mejor mantenimiento dentro del sistema vermifiltro, luego se continuó sin complicación alguna, debido a que el multiparámetro HEMDRE contribuyó con la supervivencia de las lombrices.

4.1.6 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS DBO5 Y COLIFORMES FECALES

Los parámetros DBO5 y Coliformes fecales fueron muestreados en el afluente de la matriz de desagüe ubicado en el malecón Huallaga, sin embargo, recolectado el agua residual doméstica en frascos herméticos, se realizó el envío hacia Lima, con la finalidad de que el laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) HidroLab envíe los resultados analizados. Los muestreos se realizaron en las siguientes fechas: días 01, 07, 15 y 23 respecto al mes de febrero del 2024 y se obtuvo el resultado de análisis una semana después del muestreo (7, 15, 23 y 29 del mes febrero 2024), sin embargo, se especifica los resultados acreditados de la siguiente manera:

Tabla 16

Resultados antes del tratamiento analizados por el laboratorio acreditado (Agua residual doméstica)

Resultados analizados por el laboratorio	Parámetros analizados	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Fecales (CF)
Resultados (07/02/2024)	398 mg/L	9.2E+7 NMP/100 ml
Resultados (15/02/2024)	394 mg/L	2.2E+7 NMP/100 ml
Resultados (23/02/2024)	483 mg/L	5.4E+7 NMP/100 ml
Resultados (29/02/2024)	642 mg/L	3.5E+7 NMP/100 ml

Nota. La tabla anterior registra los resultados analizados por el laboratorio HidroLab, lo cual los muestreos de agua residual doméstica, fueron realizados en la matriz del desagüe que pertenece al malecón Huallaga

Así mismo, el agua residual doméstica recolectada, fue ingresada a los sistemas de tratamiento, conformado por un vermifiltro (tratamiento con lombrices) y filtro convencional (tratamiento sin lombrices).

No obstante, los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales del agua tratada fueron enfrascados y enviados los días 01, 07, 15 y 23 respecto al mes de febrero del 2024, no obstante, el laboratorio HidroLab se encargó de analizarlos, obteniendo los resultados acreditados los días 7, 15, 23 y 29 del mes febrero 2024, donde se especifica en la tabla (17).

Tabla 17

Resultados del agua tratada obtenido después del tratamiento con el sistema filtro analizados por el laboratorio acreditado

Resultados analizados por el laboratorio	Parámetros muestreados	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Fecales (CF)
Resultados (02/02/2024)	98.9 mg/L	5.4E+5 NMP/100 ml
Resultados (24/02/2024)	110.4 mg/L	9.2E+4 NMP/100 ml

Nota. La tabla anterior registra los resultados analizados por el laboratorio HidroLab, lo cual los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales fueron recolectados del agua tratada por el sistema filtro

Tabla 18

Resultados del agua tratada obtenido después del tratamiento con el sistema vermifiltro analizados por el laboratorio acreditado

Resultados analizados por el laboratorio	Parámetros muestreados	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Fecales (CF)
Resultados (02/02/2024)	91.8 mg/L	3.5E+5 NMP/100 ml
Resultados (08/02/2024)	56.6 mg/L	3.5E+4 NMP/100 ml
Resultados (16/02/2024)	42.4 mg/L	1.4E+3 NMP/100 ml
Resultados (24/02/2024)	39.6 mg/L	5.4E+3 NMP/100 ml

Nota. La tabla anterior registra los resultados analizados por el laboratorio HidroLab, lo cual los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales fueron recolectados del agua tratada por el sistema vermifiltro

4.1.7 RESULTADO DE LOS PARÁMETROS DE CAMPO

Los parámetros pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, turbidez, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, fueron analizados del agua residual doméstica de la matriz de desagüe y el agua tratada resultado de ambos sistemas filtrantes (vermifiltro y filtro convencional), se utilizó un multiparámetro portátil HQ2200, no obstante, ambos muestreos se dieron en las mismas fechas de los días 01,07,15 y 23 del mes de febrero de 2024, y especificados en la tabla (19).

Tabla 19

Resultados de los parámetros muestreados antes del tratamiento

Resultados analizados por el laboratorio	Parámetros muestreados					
	pH	Temperatura	SST	Turbidez	Conductividad eléctrica	Oxígeno Disuelto
Resultados (01/02/2024)	6.8	19.1°C	23.37 mg/L	142 NTU	0.31 ms/cm	2.97 ml/L
Resultados (07/02/2024)	6.7	18.5°C	31.29 mg/L	125 NTU	1.27 ms/cm	2.71 ml/L
Resultados (15/02/2024)	6.3	20.3°C	27.95 mg/L	131 NTU	0.83 ms/cm	3.96 ml/L
Resultados (23/02/2024)	6.4	21.4°C	21.12 mg/L	105 NTU	1.11 ms/cm	4.14 ml/L

Nota. La tabla anterior registra el resultado de análisis de los parámetros muestreados del agua residual doméstica, mediante el uso de un multiparámetro portátil HQ2200

Tabla 20

Resultados de los parámetros muestreados después del tratamiento con el sistema filtro

Resultados analizados por el laboratorio	Parámetros muestreados					
	pH	Temperatura	SST	Turbidez	Conductividad eléctrica	Oxígeno Disuelto
Resultados (01/02/2024)	7.1	21.2°C	14.27 mg/L	4.20 NTU	0.74 ms/cm	3.98 ml/L
Resultados (07/02/2024)	6.8	18.9°C	11.18 mg/L	4.57 NTU	1.47 ms/cm	4.21 ml/L
Resultados (15/02/2024)	7.3	23.4°C	9.71 mg/L	3.71 NTU	1.53 ms/cm	5.16 ml/L
Resultados (23/02/2024)	6.8	22.5°C	7.93 mg/L	2.45 NTU	1.14 ms/cm	4.95 ml/L

Nota. La tabla anterior registra el resultado de análisis de los parámetros muestreados del agua tratada por el filtro convencional, mediante el uso de un multiparámetro portátil HQ2200

Tabla 21

Resultados de los parámetros muestreados después del tratamiento con el sistema vermifiltro

Resultados analizados por el laboratorio	Parámetros muestreados					
	pH	Temperatura	SST	Turbidez	Conductividad eléctrica	Oxígeno Disuelto
Resultados (01/02/2024)	7.1	25.5°C	41.84 mg/L	24.17NTU	0.85 ms/cm	4.02 ml/L
Resultados (07/02/2024)	6.9	20.9°C	37.27 mg/L	14.55NTU	1.71 ms/cm	4.65 ml/L
Resultados (15/02/2024)	7.3	23.1°C	27.31 mg/L	13.71NTU	1.23 ms/cm	5.29 ml/L
Resultados (23/02/2024)	6.8	21.7°C	17.14 mg/L	17.42NTU	1.74 ms/cm	5.01 ml/L

Nota. La tabla anterior registra el resultado de análisis de los parámetros muestreados del agua tratada por el sistema vermifiltro, mediante el uso de un multiparámetro portátil HQ2200

4.1.8 RESULTADOS DE LA TASA DE EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO VERMIFILTRO

Para determinar los porcentajes de eficiencia se desarrolló los cálculos para cada parámetro de laboratorio y campo, antes y después del tratamiento con y sin lombrices.

Por lo tanto, la ecuación de la tasa de eficiencia de los sistemas filtrantes, será evaluada a base de la siguiente ecuación:

$$\Delta C = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Dónde:

ΔC : Variación de la concentración

C_i : Concentración inicial

C_f : Concentración final

➤ Eficiencia en la demanda bioquímica de OXÍGENO (DBO5)

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción de la DBO5 en el sistema vermifiltro (con lombrices) y filtro convencional (sin lombrices).

Tabla 22

Resultados de eficiencia de DBO5 en los sistemas de tratamiento

Eficiencia (%)	Sistema Vermifiltro	Sistema filtro convencional
Resultados (02/02/2024)	76.93%	75.15%
Resultados (08/02/2024)	85.63%	No analizado
Resultados (16/02/2024)	91.22%	No analizado
Resultados (24/02/2024)	93.83%	82.80%

Nota. La tabla detalla los resultados de eficiencia del parámetro DBO5

El cálculo se realizó de acuerdo a la fórmula planteada, el día 08 y 16 de febrero del 2024 no se hizo el análisis del agua tratada en el sistema filtro convencional. Por lo tanto, el porcentaje de eficiencia en la reducción de DBO5 muestra una significativa ventaja en el sistema vermifiltro de manera que obtuvo un 93.83% de remoción en la última

semana, en comparación con el sistema filtro convencional obtuvo un 82.80%.

➤ **Eficiencia en los coliformes fecales (CF)**

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción de la Coliformes F. en el sistema vermifiltro (con lombrices) y filtro convencional (sin lombrices).

Tabla 23

Resultados de eficiencia de Coliformes Fecales en los sistemas de tratamiento

Eficiencia (%)	Sistema Vermifiltro	Sistema filtro convencional
Resultados (02/02/2024)	99.62%	99.41%
Resultados (08/02/2024)	99.84%	No analizado
Resultados (16/02/2024)	99.99%	No analizado
Resultados (24/02/2024)	99.98%	99.73%

Nota. La tabla detalla los resultados de eficiencia del parámetro Coliformes Fecales

El cálculo se realizó de acuerdo a la fórmula planteada, el día 08 y 16 de febrero del 2024 no se hizo el análisis del agua tratada en el sistema filtro convencional. El porcentaje de eficiencia en la reducción de Coliformes Fecales en ambos sistemas es elevada, de manera que se obtuvo un 99.98% de remoción en el sistema vermifiltro, que a comparación con el sistema filtro convencional se obtuvo un 99.73%, en la 4ta semana.

➤ **Eficiencia en sólidos suspendidos totales**

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción de la SST en el sistema vermifiltro (con lombrices) y filtro convencional (sin lombrices)

Tabla 24

Resultados de eficiencia de SST en los sistemas de tratamiento

Eficiencia (%)	Sistema Vermifiltro	Sistema filtro convencional
Resultados (02/02/2024)	-79.63%	38.93%
Resultados (08/02/2024)	-19.11%	64.26%
Resultados (16/02/2024)	2.28%	65.25%
Resultados (24/02/2024)	18.84%	62.45%

Nota. La tabla detalla los resultados de eficiencia del parámetro SST

Respecto al funcionamiento del sistema vermifiltro, en las fechas 02 y 08 de febrero los cálculos tienen como resultado un porcentaje de eficiencia negativo, la razón se debe que la remoción de sólidos suspendidos totales no fue lo suficiente debido al elevado contenido de sustrato orgánico (humus). Además, en las fechas 16 y 24 el parámetro de Sólidos Suspendidos Totales redujo en lo mínimo con 2.28% y 18.84%. En comparación al sistema filtro convencional el porcentaje de eficiencia fue el más óptimo en la reducción de SST.

➤ **Eficiencia en la turbidez**

Cálculo de la tasa de eficiencia Turbidez en el agua tratada por el sistema vermifiltro (con lombrices) y filtro convencional (sin lombrices), su análisis representa la cantidad de materia presente (materia orgánica, microorganismos y limo).

Tabla 25

Resultados de eficiencia de Turbidez en los sistemas de tratamiento

Eficiencia (%)	Sistema Vermifiltro	Sistema filtro convencional
Resultados (02/02/2024)	82.97%	97.04%
Resultados (08/02/2024)	88.36%	96.44%
Resultados (16/02/2024)	65.25%	97.17%
Resultados (24/02/2024)	83.40%	97.67%

Nota. La tabla detalla los resultados de eficiencia del parámetro Turbidez

El sistema vermifiltro redujo un 65.25% en la semana 3, siendo el menor valor que se obtuvo, mientras que en la semana 4 la remoción de turbidez fue óptima en el sistema filtro convencional con 97.67%.

a). Parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

El parámetro DBO5 fue necesario su análisis, resaltado como el indicador de carga orgánica presente en las aguas residuales domésticas y agua tratada. En las figuras 15 y 16 se puede visualizar los resultados obtenidos de la variación del parámetro DBO5 durante el tiempo de análisis.

En la semana 1 con fecha 02/02/2024 el laboratorio acreditado envió el resultado analizado del parámetro DBO5. El afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga registró una concentración de 398 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 91.8 mg/L, con un porcentaje de eficiencia de 76.93%. Así mismo, el efluente del sistema filtro sin el uso de lombrices registró una concentración de DBO5 de 98.9 mg/L, obteniendo un porcentaje de 75.15% de eficiencia.

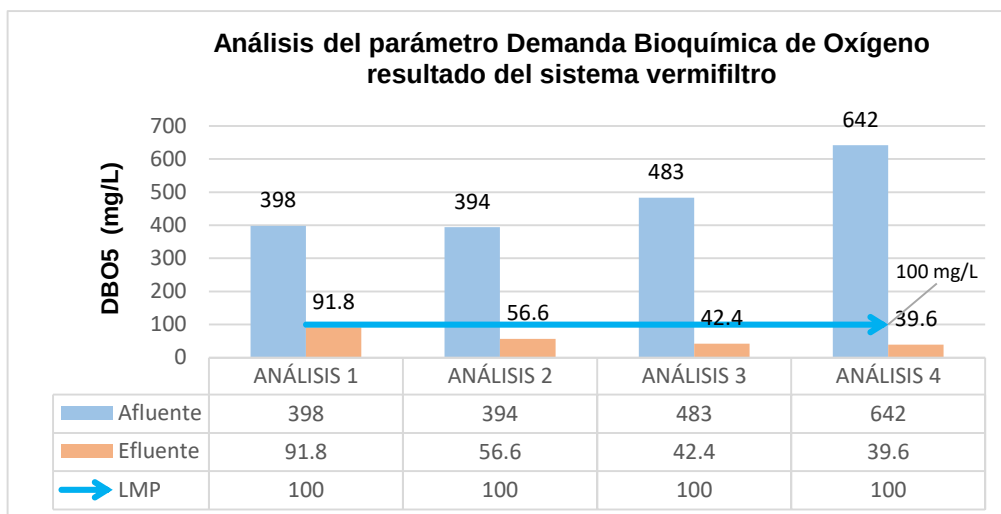
En la semana 2 con fecha 08/02/2024 el laboratorio acreditado envió el resultado analizado del parámetro DBO5. El afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga registró una concentración de 394 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 56.6 mg/L, con un porcentaje de eficiencia de 85.63%.

En la semana 3 con fecha 16/02/2024 el laboratorio acreditado envió el resultado analizado del parámetro DBO5. El afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga registró una concentración de 483 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 42.4 mg/L, con un porcentaje de eficiencia de 91.22%.

En la semana 4 con fecha 23/02/2024 el laboratorio acreditado envió el resultado analizado del parámetro DBO5. El afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga registró una concentración de 642 mg/L, sin embargo, en el afluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 39.6 mg/L, con un porcentaje de eficiencia de 93.83%. Así mismo, el efluente del sistema filtro sin el uso de lombrices registró una concentración de DBO5 de 110.4 mg/L, obteniendo un porcentaje de 82.80% de eficiencia.

Figura 17

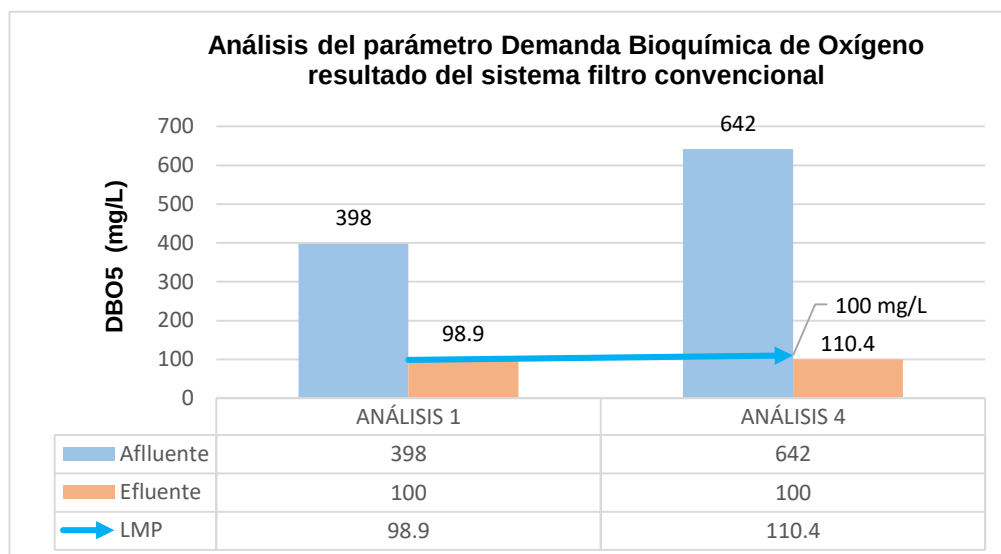
Influencia del parámetro DBO5 en el sistema vermifiltro



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro DBO5 en el efluente y afluente del sistema vermifiltro, verificando su porcentaje de eficiencia y el límite de valores resaltado en el D.S 003-2010-MINAM

Figura 18

Influencia del parámetro DBO5 en el sistema filtro convencional



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro DBO5 en el efluente y afluente del sistema filtro convencional, verificando su porcentaje de eficiencia y el límite de valores resaltado en el D.S 003-2010-MINAM

Dado que ya se mencionó descriptivamente los resultados en cada periodo del proyecto, se determinó que el sistema vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* comparado con el sistema filtro sin ninguna especie de lombriz, fue el más eficiente en la remoción de DBO5 concentrado en las aguas residuales domésticas.

Además, se realizó una evaluación y comparación de cada resultado del parámetro DBO5 con el D.S 003-2010-MINAM, debido que los resultados del afluente de la matriz de desagüe, representa una elevada concentración de contaminantes con mayor carga orgánica como carbohidratos, proteínas, aceites, grasas u otros componentes provenientes de las actividades domésticas, de tal forma que representa un riesgo de contaminación porque superan los Límites Máximos Permisibles. Por lo tanto, respecto a los sistemas de tratamiento (sin y con lombrices) no sobrepasaron el límite de 100 mg/L, pero el sistema de tratamiento sin lombrices sobrepasó con 110.4 mg/L en la cuarta semana de operación.

b). Parámetro coliformes fecales (CF)

El parámetro Coliformes Fecales fue necesario su análisis, ya que como indicador permite verificar la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el agua residual doméstica y agua tratada. En las figuras y se puede visualizar los resultados analizados por el laboratorio acreditado.

Con fecha 02/02/2024 de operación en la semana 1, el análisis 1 y resultado del laboratorio acreditado registró el parámetro coliformes fecales con un valor del afluente en 92000000 NMP/100 ml. Seguidamente, el resultado del agua tratada en el vermifiltro utilizando las lombrices, registró un valor de 350000 NMP/100 ml, obteniendo un total de 99.62% respecto a la eficiencia. Mientras que, en el sistema filtro sin el uso de ninguna especie de lombriz registró un valor de 540000 NMP/100 ml, resultando 99.41% de eficiencia.

Con fecha 08/02/2024 de operación en la semana 2, el análisis 2 y resultado del laboratorio registró el parámetro coliformes fecales con un valor del afluente en 22000000 NMP/100 ml. Seguidamente, el resultado del agua tratada en el vermifiltro utilizando las lombrices, registró un valor de 35000 NMP/100 ml, contando con un 99.84% de eficiencia.

Con fecha 16/02/2024 de operación en la semana 3, el análisis 3 y resultado del laboratorio registró el parámetro coliformes fecales con un valor del afluente en 54000000 NMP/100 ml. Seguidamente, el resultado del agua tratada en el vermifiltro utilizando las lombrices, registró un valor de 1400 NMP/100ml, contando con un 99.99% de eficiencia.

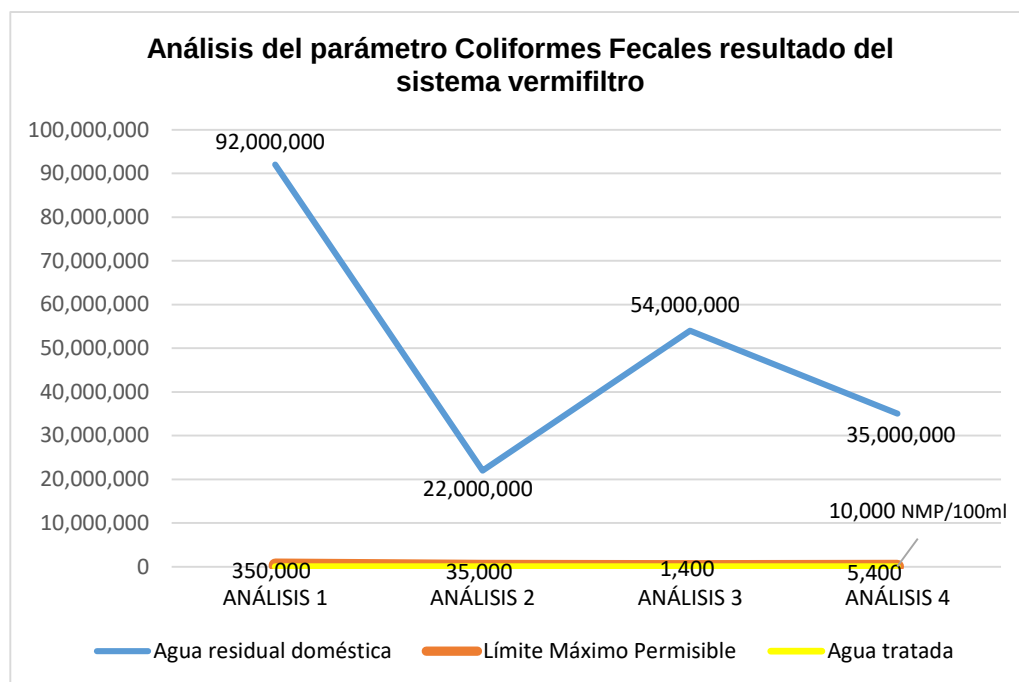
Con fecha 24/02/2024 de operación en la semana 4, el análisis y resultado del laboratorio acreditado registró el parámetro coliformes fecales con un valor del afluente en 35000000 NMP/100 ml. Seguidamente, el resultado del agua tratada en el vermifiltro utilizando las lombrices, registró un valor de 5400 NMP/100 ml, obteniendo un total de 99.98% respecto a la eficiencia. Mientras que, en el sistema filtro sin el uso de ninguna especie de lombriz registró un valor de 92000 NMP/100 ml, resultando 99.73% de eficiencia.

Posteriormente, se determinó que el sistema vermifiltro obtuvo una mejor eficiencia de operación, porque las lombrices de especie *Eisenia foteida* como también la comunidad bacteriana, degradaban y oxidaban la materia orgánica al ingresar al sistema. Aparte de ello, el sistema sin lombrices también fue degradando y oxidando la materia orgánica mediante la flora bacteriana encontrando en las gravas o piedras.

Así mismo, se realizó una evaluación y comparación de cada resultado del parámetro Coliformes Fecales con el D.S 003-2010-MINAM, debido que los resultados del afluente de la matriz de desagüe, representa una elevada concentración de contaminantes con mayor carga orgánica, sin embargo, la remoción fue un éxito en el sistema vermifiltro, debido a que no sobrepasó el límite admitido en la norma, pero el filtro convencional fue todo lo contrario, removió lo suficiente, pero sobrepasó el límite.

Figura 19

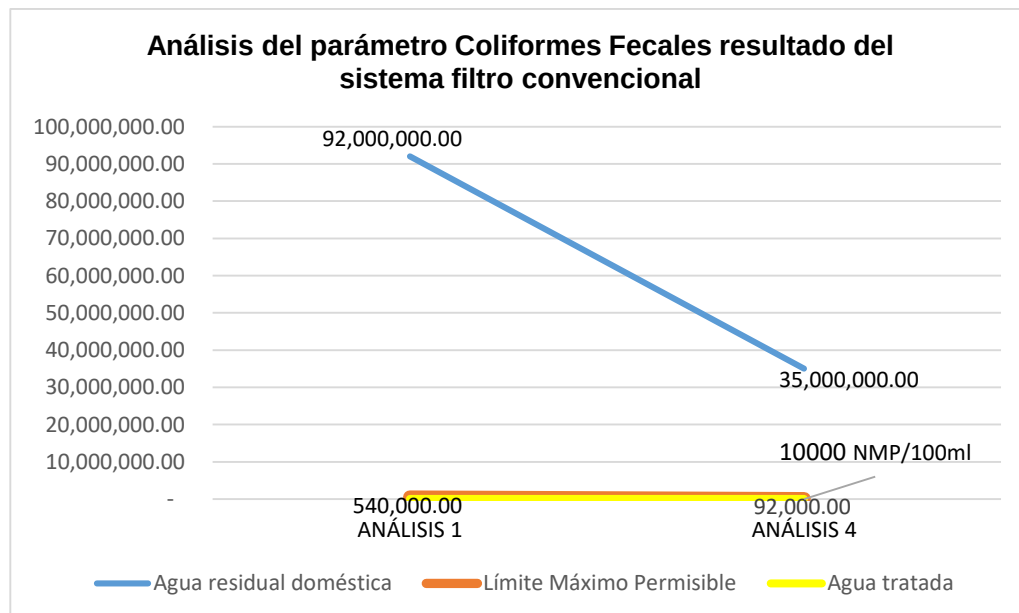
Influencia del parámetro Coliformes Fecales en el sistema vermifiltro



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro Coliformes fecales en el efluente y afluente del sistema vermifiltro, además de verificar el límite de valores resaltado en el D.S 003-2010-MINAM

Figura 20

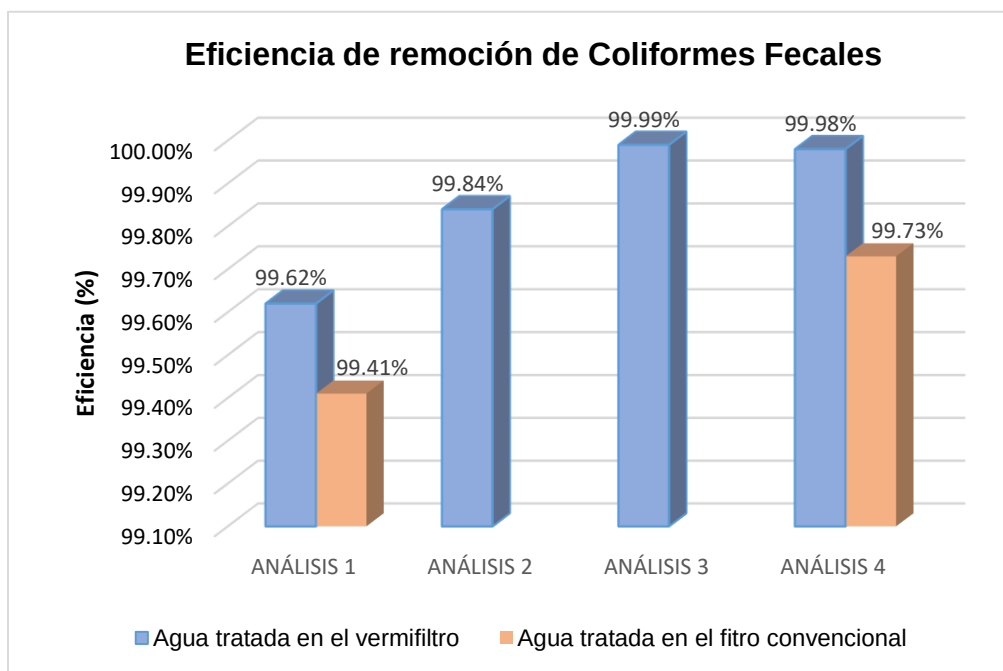
Influencia del parámetro Coliformes Fecales en el sistema filtro



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro DBO5 en el efluente y afluente del sistema filtro convencional, además de verificar el límite de valores resaltado en el D.S 003-2010-MINAM

Figura 21

Eficiencia de remoción de Coliformes Fecales dentro de los sistemas



Nota. En la figura se visualiza el porcentaje de eficiencia en la remoción de Coliformes Fecales dentro de los dos sistemas de tratamiento (sistema vermifiltro y sistema filtro

c). Parámetro de pH

En la figura (28) se estima las concentraciones de pH resultante del agua tratada en el sistema vermifiltro con el uso de la lombriz *Eisenia foteida*, monitoreado con el uso del multiparametro portátil HQ2200, y realizado en las diferentes fechas de muestreo:

En la semana 1 de fecha 01/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.8. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema vermifiltro, sin embargo, resultó un valor de 7.1.

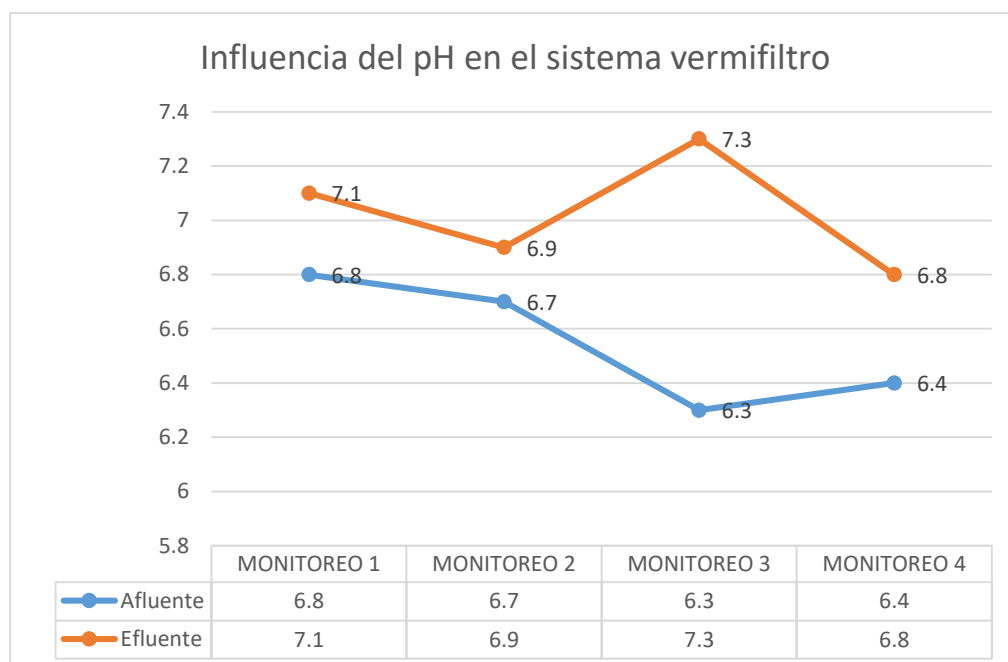
En la semana 2 de fecha 07/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.7. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema vermifiltro, sin embargo, resultó un valor de 6.9.

En la semana 3 de fecha 15/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.3. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema vermifiltro, sin embargo, resultó un valor de 7.3.

En la semana 4 de fecha 23/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.4. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema vermifiltro, sin embargo, resultó un valor de 6.8.

Figura 22

Variación del parámetro pH en el sistema vermifiltro



Nota. En la gráfica representa la variación del parámetro pH en el afluente del agua residual doméstica y efluente del sistema vermifiltro

En la figura (29) se estima las concentraciones de pH resultante del agua tratada en el sistema filtro convencional sin el uso de ninguna especie de lombriz, monitoreado con el uso del multiparametro portátil HQ2200, y realizado en las diferentes fechas de muestreo:

En la semana 1 de fecha 01/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un

valor de 6.8. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema filtro convencional, sin embargo, resultó un valor de 7.1.

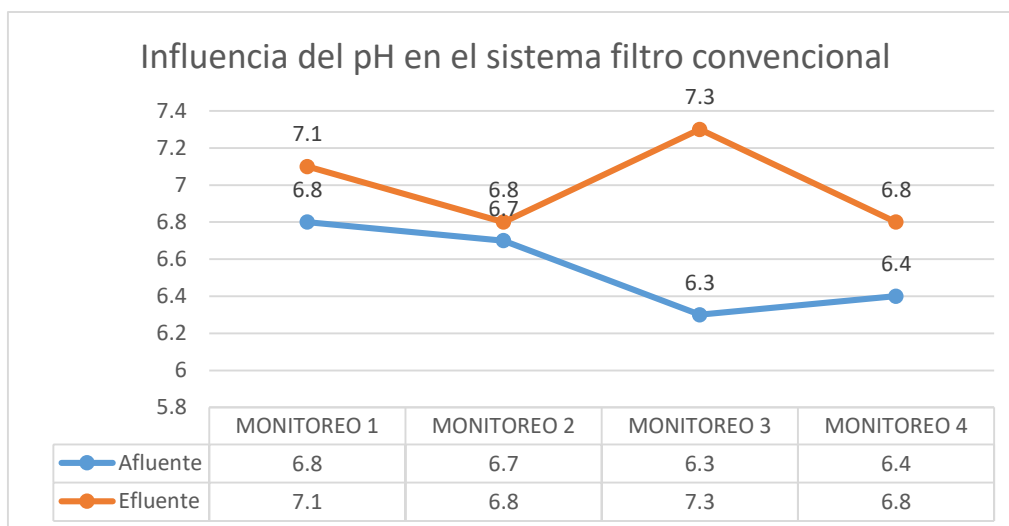
En la semana 2 de fecha 07/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.7. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema filtro convencional, sin embargo, resultó un valor de 6.8.

En la semana 3 de fecha 15/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.3. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema filtro convencional, sin embargo, resultó un valor de 7.3.

En la semana 4 de fecha 23/02/2023, se midió el pH del agua residual doméstica recolectada de la matriz de desagüe, resultado un valor de 6.4. Luego se monitoreó el pH del agua tratada por el sistema filtro convencional, sin embargo, resultó un valor de 6.8.

Figura 23

Variación del parámetro pH en el sistema convencional



Nota. En la gráfica representa la variación del parámetro pH en el afluente y efluente del sistema filtro convencional

d). Parámetro de temperatura

La temperatura fue analizada del afluente (agua residual doméstica) y efluente de ambos sistemas (agua tratada), se hizo uso del

multiparámetro portátil HQ2200 y registrado en las fechas de muestreo como se presenta en la tabla (26).

Tabla 26

Registro de los rangos de temperatura del afluente y efluente

TEMPERATURA			
Rango	Afluente	Efluente del sistema vermifiltro	Efluente del sistema filtro convencional
Mínimo	18.5°C	18.9°C	20.9°C
Medio	20.3°C	23.4°C	23.1°C
Máximo	21.4°C	22.5°C	25.5°C

Nota. La tabla anterior registra los rangos de temperatura que fueron monitoreados en el muestreo de agua residual doméstica recolectado en la matriz de desagüe y del agua tratada de ambos sistemas filtrantes (filtro convencional y vermifiltro)

e). Parámetro de conductividad eléctrica

Para conocer los niveles de salinidad se analizó la conductividad eléctrica del afluente (agua residual doméstica) y efluente de ambos sistemas (agua tratada), se utilizó el multiparámetro portátil HQ2200 y fue registrado en las cuatro fechas diferentes de muestreo como se presenta en la tabla (27).

Tabla 27

Registro de los rangos de conductividad eléctrica del afluente y efluente

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA			
Rango	Afluente	Efluente del sistema vermifiltro	Efluente del sistema filtro convencional
Mínimo	0.31 ms/cm	0.74 ms/cm	0.85 ms/cm
Medio	1.11 ms/cm	1.14 ms/cm	1.23 ms/cm
Máximo	1.27 ms/cm	1.53 ms/cm	1.74 ms/cm

Nota. La tabla anterior registra los rangos de conductividad eléctrica que fueron monitoreados en el muestreo de agua residual doméstica recolectado en la matriz de desagüe y del agua tratada de ambos sistemas filtrantes (filtro convencional y vermifiltro)

f). Parámetro de oxígeno disuelto

Con fecha 01/02/2024 operando en la semana 1 se hizo el análisis del parámetro Oxígeno disuelto en el afluente de la matriz de desagüe ubicado en el Malecón Huallaga, obteniendo el resultado de 2.97 ml/L. Luego se hizo el análisis de los efluentes relativo a los sistemas de tratamiento, en el sistema vermifiltro utilizando la lombriz *Eisenia foteida* se obtuvo un valor de 4.02 ml/L, sin embargo, en el sistema filtro convencional resultó 3.98 ml/L.

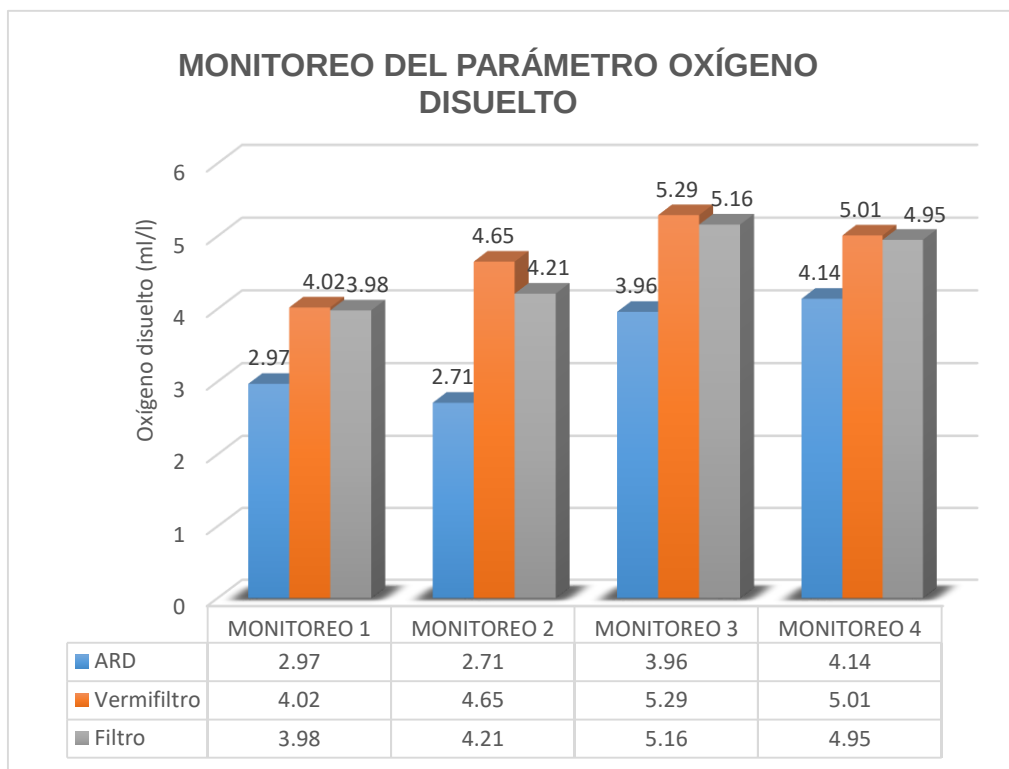
Con fecha 07/02/2024 operando en la semana 2 se hizo el análisis del parámetro Oxígeno disuelto en el afluente de la matriz de desagüe ubicado en el Malecón Huallaga, obteniendo el resultado de 2.71 ml/L. Luego se hizo el análisis de los efluentes relativo a los sistemas de tratamiento, en el sistema vermifiltro utilizando la lombriz *Eisenia foteida* se obtuvo un valor de 4.65 ml/L, sin embargo, en el sistema filtro convencional resultó 4.21 ml/L.

Con fecha 15/02/2024 operando en la semana 3 se hizo el análisis del parámetro Oxígeno disuelto en el afluente de la matriz de desagüe ubicado en el Malecón Huallaga, obteniendo el resultado de 3.96 ml/L. Luego se hizo el análisis de los efluentes relativo a los sistemas de tratamiento, en el sistema vermifiltro utilizando la lombriz *Eisenia foteida* se obtuvo un valor de 5.29 ml/L, sin embargo, en el sistema filtro convencional resultó 5.16 ml/L.

Con fecha 23/02/2024 operando en la semana 4 se hizo el análisis del parámetro Oxígeno disuelto en el afluente de la matriz de desagüe ubicado en el Malecón Huallaga, obteniendo el resultado de 4.14 ml/L. Luego se hizo el análisis de los efluentes relativo a los sistemas de tratamiento, en el sistema vermifiltro utilizando la lombriz *Eisenia foteida* se obtuvo un valor de 5.01 ml/L, sin embargo, en el sistema filtro convencional resultó 4.95 ml/L.

Figura 24

Variación del parámetro oxígeno disuelto



Nota. En la gráfica representa la variación del parámetro oxígeno disuelto presente en el agua residual doméstica y agua tratada saliente de los sistemas de tratamiento (vermifiltro y filtro convencional)

g). Parámetro de sólidos suspendidos totales

Como se observa en las figuras 30 y 31, el parámetro de sólidos suspendidos totales representa una concentración irregular en el afluente y efluente de los sistemas de tratamiento.

La semana 1 con fecha 01/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Sólidos Suspendidos Totales. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 23.37 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema filtro convencional sin el uso de lombrices registró una concentración de Sólidos Suspendidos Totales de 14.27 mg/L, obteniendo un porcentaje de 38.93% de eficiencia. Mientras que, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 41.84 mg/L por el cual no presentó una considerable remoción, obteniendo un porcentaje de eficiencia de -

79.37%, un porcentaje negativo debido a que la remoción de sólidos suspendidos totales no fue lo suficiente por el crecido contenido de sustrato orgánico (humus) presente en el agua tratada.

La semana 2 con fecha 07/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Sólidos Suspendidos Totales. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga, el agua residual doméstica registró una concentración de 31.29 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema filtro convencional sin el uso de lombrices registró una concentración de 11.18 mg/L en Sólidos Suspendidos Totales, obteniendo un porcentaje de 64.26% de eficiencia. Mientras que, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 37.27 mg/L por el cual no presentó una considerable remoción, obteniendo un porcentaje de eficiencia de -19.11%, un porcentaje negativo debido a que la remoción de sólidos suspendidos totales no fue lo suficiente por el crecido contenido de sustrato orgánico (humus) presente en el agua tratada.

La semana 3 con fecha 15/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Sólidos Suspendidos Totales. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 27.95 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 27.31 mg/L, con un porcentaje de eficiencia de 2.28%. Así mismo, el efluente del sistema filtro convencional sin el uso de lombrices registró una concentración de Sólidos Suspendidos Totales de 9.71 mg/L, obteniendo un porcentaje de 65.25% de eficiencia.

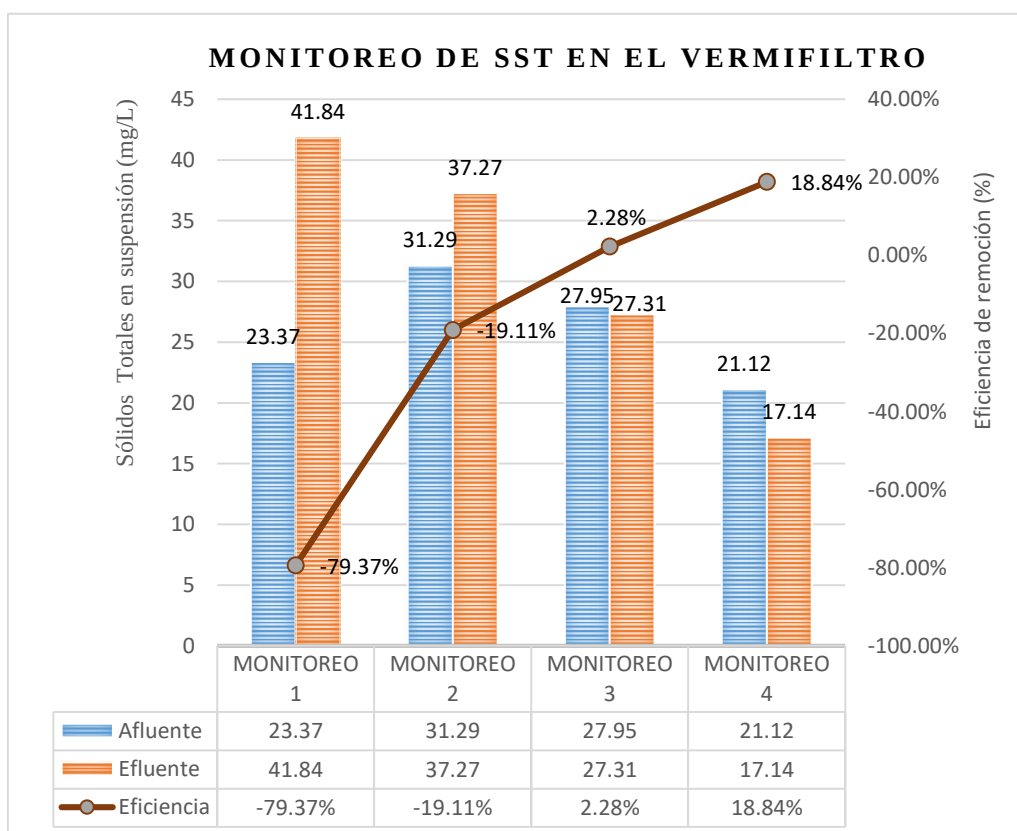
La semana 4 con fecha 23/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Sólidos Suspendidos Totales. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 23.37 mg/L, sin embargo, en el efluente del sistema de tratamiento vermifiltro utilizando la especie de lombriz *Eisenia foteida* registró una concentración de 17.14 mg/L, con un porcentaje de

eficiencia de 18.84%. Así mismo, el efluente del sistema filtro convencional sin el uso de lombrices registró una concentración de Sólidos Suspendidos Totales de 7.93 mg/L, obteniendo un porcentaje de 62.45% de eficiencia.

Detallado anteriormente los resultados, se observa que en las dos primeras semanas de análisis registra un creciente sustancial de la concentración de sólidos suspendidos totales, de manera que el agua tratada por el sistema vermifiltro, contenía fracciones de sustrato orgánico (humus), razón por el cual se hizo mantenimiento regular para retirar deyecciones de las lombrices, y obteniendo mejores resultados en las semanas posteriores.

Figura 25

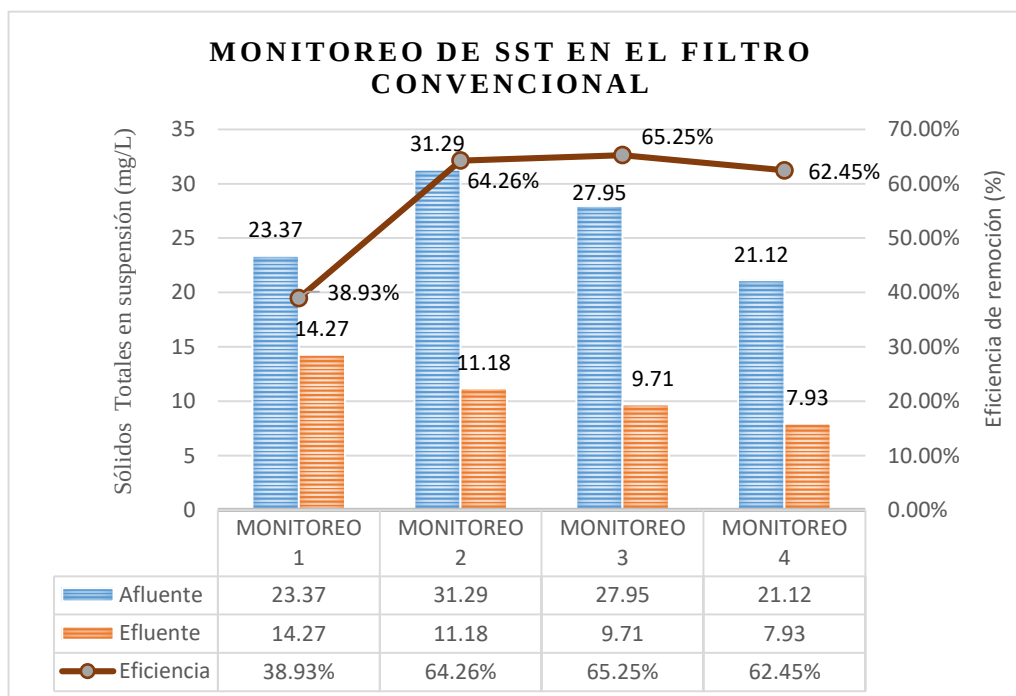
Influencia del parámetro SST en el sistema vermifiltro



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro Sólidos suspendidos totales en el efluente del agua residual doméstica recolectada en la matriz de desagüe del malecón Huallaga y afluente de la salida del tratamiento que pertenece sistema vermifiltro, además de verificar el porcentaje de eficiencia en la remoción de contaminantes.

Figura 26

Influencia del parámetro SST en el sistema filtro convencional



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro Sólidos suspendidos totales en el efluente del agua residual doméstica recolectada en la matriz de desagüe del malecón Huallaga y afluente de la salida del tratamiento que pertenece sistema filtro convencional, además de verificar el porcentaje de eficiencia en la remoción de

h). Parámetro turbidez

Respecto a la semana 1 de la fecha 01/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Turbidez. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 142 NTU, por lo tanto, al ingresar al sistema filtro convencional sin el uso de lombrices, el efluente de agua tratada registró una concentración de 4.20 NTU de turbidez, obteniendo un porcentaje de 97.04% de eficiencia. Así mismo el efluente de agua tratada en el sistema vermifiltro con el uso de la lombriz *Eisenia foteida* resultó con un total de 24.17 NTU, obteniendo una eficiencia de 82.97%.

Respecto a la semana 2 de la fecha 07/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Turbidez. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 125 NTU, por lo tanto, al ingresar al sistema filtro convencional sin el uso de lombrices, el efluente de agua tratada registró

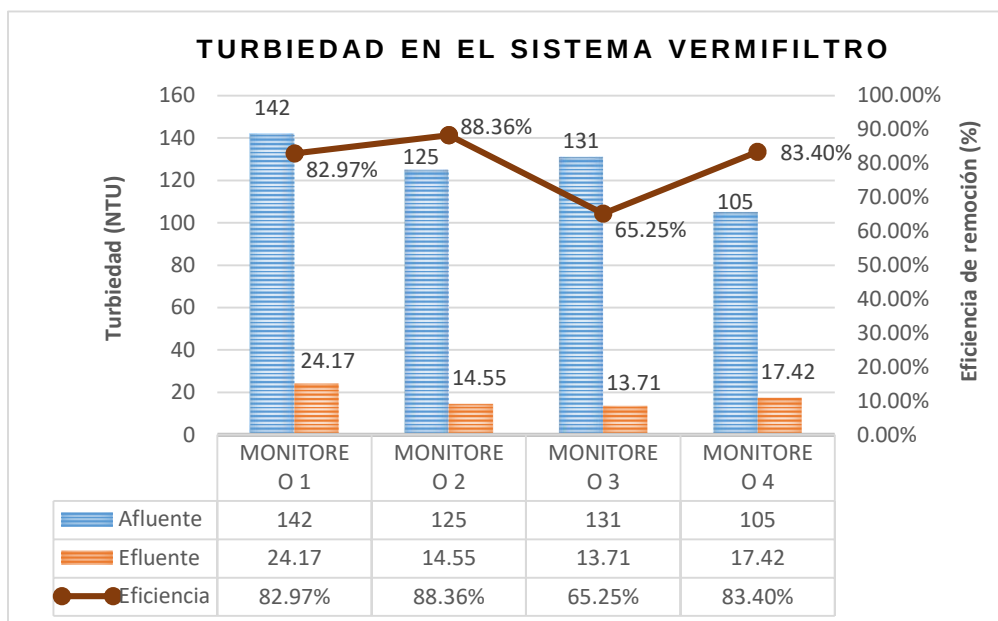
una concentración de 4.57 NTU de turbidez, obteniendo un porcentaje de 96.44% de eficiencia. Así mismo el efluente de agua tratada en el sistema vermifiltro con el uso de la lombriz *Eisenia foteida* resultó con un total de 14.55 NTU, obteniendo una eficiencia de 88.36%.

Respecto a la semana 3 de la fecha 15/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Turbidez. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 131 NTU, por lo tanto, al ingresar al sistema filtro convencional sin el uso de lombrices, el efluente de agua tratada registró una concentración de 3.71 NTU de turbidez, obteniendo un porcentaje de 97.17% de eficiencia. Así mismo el efluente de agua tratada en el sistema vermifiltro con el uso de la lombriz *Eisenia foteida* resultó con un total de 13.71 NTU, obteniendo una eficiencia de 65.25%.

Respecto a la semana 4 de la fecha 23/02/2024 se hizo el monitoreo del parámetro Turbidez. En el afluente de la matriz de desagüe del Malecón Huallaga el agua residual doméstica registró una concentración de 105 NTU, por lo tanto, al ingresar al sistema filtro convencional sin el uso de lombrices, el efluente de agua tratada registró una concentración de 2.45 NTU de turbidez, obteniendo un porcentaje de 97.67% de eficiencia. Así mismo el efluente de agua tratada en el sistema vermifiltro con el uso de la lombriz *Eisenia foteida* resultó con un total de 17.42 NTU, obteniendo una eficiencia de 83.40%. Descrito los resultados, se resume que el medio de filtración en el sistema convencional cumple la función de remover mucho mejor la turbiedad por adsorción de partículas en suspensión. Además, de que el sistema vermifiltro cuenta con una capa de sustrato humus y aserrín, resultando que incremente la cantidad de partículas suspendidas en el efluente de agua tratada.

Figura 27

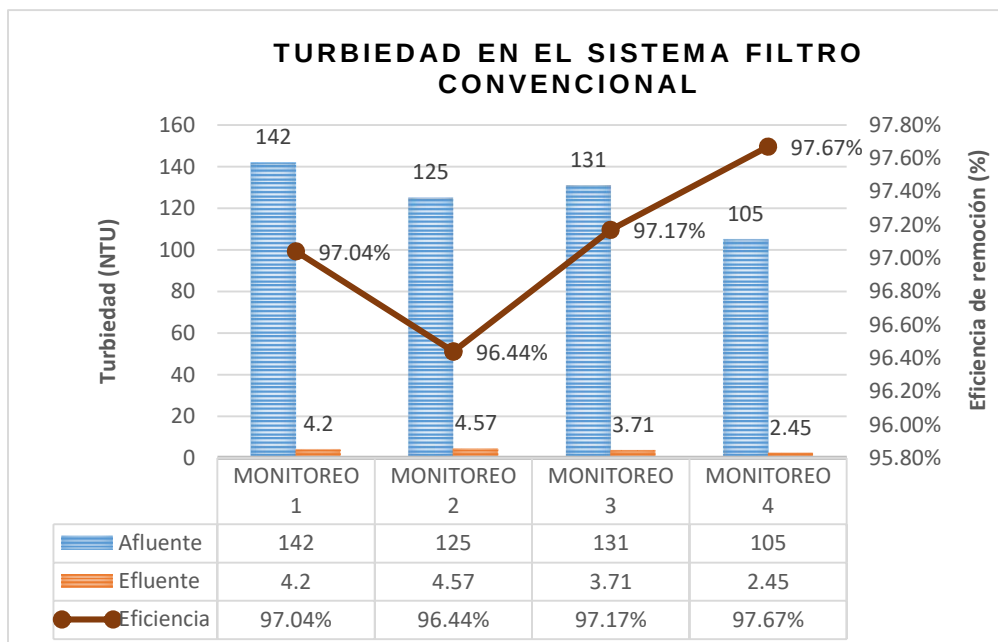
Influencia del parámetro turbidez en el sistema vermifiltro



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro Turbidez en el efluente del agua residual doméstica recolectada en la matriz de desagüe del malecón Huallaga y afluente de la salida del tratamiento que pertenece sistema vermifiltro, además de verificar el porcentaje de eficiencia en la remoción de contaminantes.

Figura 28

Influencia del parámetro turbidez en el sistema filtro convencional



Nota. En la figura se observa la influencia del parámetro Turbidez en el efluente del agua residual doméstica recolectada en la matriz de desagüe del malecón Huallaga y afluente de la salida del tratamiento que pertenece sistema filtro convencional, además de verificar el porcentaje de eficiencia en la remoción de contaminantes.

4.2 CONSTRATACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

Para determinar si el sistema de tratamiento vermifiltro fue eficiente en la reducción de los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas, se necesita plantear las siguientes hipótesis:

H1: La implementación del sistema vermifiltro es eficiente para la reducción de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas en la matriz de desagüe de la zona 0

H0: La implementación del sistema vermifiltro no es eficiente para la reducción de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas en la matriz de desagüe de la zona 0

En consideración utilizaremos el nivel de significancia del 5% = 0.05, por lo tanto, el método estadístico aplicado fue ANOVA, donde se determinó p-valor con un factor inter sujeto.

Tabla 28

Análisis de varianza del factor inter sujetos

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Sin tratamiento	8	2147.4	268.425	56810.55
Con tratamiento vermifiltro	8	203391800	25423975	357 1.13116E +15

Nota. Para verificar si el tratamiento vermifiltro fue eficiente se utilizó un análisis de varianza, ingresando los valores numéricos resultantes de los parámetros de DBO5 y Coliformes Fecales.

Tabla 29*Análisis ANOVA*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Significancia</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2.516E+15	1	2.58546E+14	4.571355693	0.05062846	4.60010994
Dentro de los grupos	7.9181E+15	14	5.65578E+14			
Total	1.05036E+16	15				

Nota. El análisis se desarrolló con un nivel de significancia del 0.05, sin embargo, la probabilidad obtenida es de 0.050662846, además como se puede visualizar en la tabla, resaltando que es la más alta y validando que: el sistema vermifiltro utilizando la lombriz californiana muestra una diferencia significativa, lo cual se argumenta estadísticamente que el tratamiento biológico es apto para la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales.

Posteriormente, se determinó si el sistema de tratamiento vermifiltro comparado con el sistema de filtración convencional fue eficiente al reducir los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas, se necesita plantear las siguientes hipótesis:

H1: La implementación del sistema vermifiltro en comparación con un sistema de filtración convencional es eficiente para la reducción de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas en la matriz de desagüe de la zona 0

H0: La implementación del sistema vermifiltro en comparación con un sistema de filtración convencional no es eficiente para la reducción de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas en la matriz de desagüe de la zona 0

En consideración utilizaremos el nivel de significancia del 5% = 0.05, por lo tanto, el método estadístico aplicado fue ANOVA, donde se determinó p-valor con un factor inter sujeto.

Tabla 30*Análisis de varianza del factor inter sujetos*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Sin tratamiento	2	50750479.3	25375239.63	1.2878E+15
Tratamiento con vermifiltro	2	98007.6	49003.8	4791460989
Tratamiento con filtro convencional	2	316104.65	158052.325	4.9895E+10

Nota. Para verificar si los tratamientos utilizados en el proyecto (tratamiento vermifiltro y tratamiento con filtro convencional) fueron eficientes se utilizó un análisis de varianza, ingresando los valores numéricos resultantes de los parámetros de DBO5 y Coliformes Fecales.

Tabla 31*Análisis ANOVA*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Significancia	Valor crítico para F
Entre grupos	8.516E+14	2	4.25779E+14	0.99186607	0.46703545	9.5520945
Dentro de los grupos	1.288E+15	3	4.29271E+14			
Total	2.139E+15	5				

Nota. El análisis se desarrolló con un nivel de significancia del 0.05, sin embargo, la probabilidad obtenida es de 0.46703545 como se puede visualizar en la tabla, resaltando que es la más alta y validando que: ninguno de los sistemas de tratamiento implementados muestra una diferencia significativa, lo cual se argumenta estadísticamente que los tratamientos (vermifiltro y filtro convencional) utilizados son similares y eficientes para la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo al objetivo general: Evaluar la eficiencia del sistema de vermifiltro utilizando la especie Lombriz Californiana (*Eisenia foteida*) para la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas. Se obtuvo los resultados de lo analizado por el laboratorio acreditado, realizado en el periodo de 1 mes. Indicando que el sistema vermifiltro utilizando lombrices de especie *Eisenia foteida*, redujo un promedio del 57.6 mg/L de DBO5 (86.9% de remoción) y respecto a los Coliformes Fecales 97950 NMP/100b ml (99.8% de remoción), a comparación del sistema convencional sin el funcionamiento de ninguna especie de lombriz, redujo un promedio del 104.65 mg/L de DBO5 (78.9% de remoción) y Coliformes Fecales 316000 NMP/100 ml (99.5% de remoción). Los datos resaltados, en comparación con la norma vigente D.S 003-2010-MINAM, donde aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales, admite un valor límite de 100 mg/L de DBO5 y 10000 NMP/100 ml de Coliformes Fecales, de modo que en el sistema vermifiltro no sobrepasa el límite respecto a la DBO5, pero el sistema filtro convencional sobrepasa el límite admitido, así mismo, en ambos sistemas de tratamiento redujeron una alta concentración de Coliformes Fecales, pero el límite fue sobrepasado. Sin embargo, respecto al autor Gallegos (2019) en su tesis titulada: “Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde” Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Villa Salvador, demuestra que los resultados de remoción fue muy eficiente al realizarlo en dos fechas, por lo tanto, respecto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno el resultado inicial que obtuvo fue 85.5 mg/L (44.98% de remoción) y la final obtuvo 6.8 mg/L (95.46% de remoción). Así mismo, la remoción del parámetro Coliformes Fecales obtuvo 78.51×10^4 con una eficiencia de remoción de 99.37%. La convergencia con el

autor Gallegos (2019), fue el uso de la misma especie de lombriz *Esenia foteida* y tratamiento del agua residual doméstica. Lo que se difiere con el autor fue los resultados, debido a su alto porcentaje de remoción de DBO5 y Coliformes Fecales, además el sistema de tratamiento que implementó fue de mayor dimensión, concluyendo que la eficiencia del lombrifiltro incrementó en la evaluación final. Así mismo, la autora Ocampos (2018) en su tesis titulada: "Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con *Eisenia foteida* y un biofiltro convencional" Universidad Científica del Sur, Lima, resalta en cuanto a los resultados que, la remoción de DBO5 fue 65 a 88.57% y el nivel de remoción de Coliformes termotolerantes fue de 99.97 a 99.99%, pero al utilizar también un sistema de biofiltro convencional obtuvo mejores resultados como 94.17% a 95.83% en remoción de DBO5 y 99.9% de remoción en Coliformes termotolerantes, observando que el tratamiento sin lombrices tuvo una mejor remoción en la carga contaminante, sin embargo, los resultados del efluente cumple con los Estándares de Calidad Ambiental, dado que fue implementado a escala laboratorio. Además, el autor señala en cuanto a la producción de humus dentro del biofiltro con las lombrices *Esenia foteida* le fue de aprovechamiento para los cultivos y el agua tratada para el riego. Concluyendo que los resultados fueron favorables en ambos sistemas, pero los resultados experimentales mostraron que el biofiltro convencional fue más eficiente que el biofiltro utilizando la especie de *Esenia foteida*. La diferencia con el autor Ocampos (2018) fue que obtuvo un porcentaje menor en la remoción de DBO5 y Coliformes termotolerantes utilizando la especie de lombriz *Esenia foteida* y mayor remoción con el biofiltro convencional, mientras que en el estudio presente fue lo contrario con los resultados.

De acuerdo al objetivo específico 1: El control de los parámetros de diseño dentro del sistema vermifiltro, contribuye a mejorar la filtración del agua residual doméstica, por lo tanto, referente al caudal total se optó con el primer nivel de abertura, obteniéndose un resultado de 0.7266 L/min, con la finalidad de mejorar el tiempo de retención hidráulica (2h

con 15min) como también obtener un resultado idóneo en la tasa de carga hidráulica con $1.3333 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$.

Correspondiente al objetivo específico 2: Se observa una mejor adaptación y desarrollo de las lombrices de especie *Esenia foteida*, en el monitoreo relacionado a los parámetros técnicos correspondientes (pH, conductividad eléctrica y temperatura) siendo evaluados con un multiparámetro de suelo, así mismo la reproducción y densidad poblacional de lombrices estuvo en buenas condiciones debido al incremento en cada fecha inspeccionada.

De acuerdo al objetivo específico 3: Corresponde a evaluar el porcentaje de eficiencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento, sin embargo, verificando el tratamiento del agua residual doméstica en el sistema vermifiltro se obtuvo un promedio de 86.82% en Demanda Bioquímica de Oxígeno, 99.86% en Coliformes Fecales, 10.56% en Sólidos Suspendidos Totales y 79.9% en turbidez, por lo cual la reducción de sólidos suspendidos totales no fue óptima debido al contenido de sustrato (humus) que contenía las muestras.

De acuerdo al objetivo específico 4: Era determinar si los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos según el D.S. N° 003-2010-MINAM, por lo tanto, se asegura que el sistema vermifiltro cumplió con el límite admitido de la Demanda Bioquímica de Oxígeno con un promedio de 57.6 mg/L, de lo contrario el en sistema de filtro convencional sobrepasó el límite resultando 104.65 mg/L. Por otro lado, el análisis del parámetro de Coliformes Fecales antes del tratamiento sobrepasa los Límites Máximos Permisibles superando hasta en 7 veces más de lo permitido, por lo que, el tratamiento con lombrices redujo 99.8% (97950 NMP/100 ml) y el tratamiento sin lombrices un 99.5% (316000 NMP/100 ml) resultando superior en la reducción de carga contaminante, pero sobrepasó el límite establecido en el decreto supremo.

CONCLUSIONES

- El sistema vermifiltro con la especie de Lombriz Californiana (*Eisenia foteida*) ha demostrado una eficiente remoción de DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas, resultando ser un sistema natural para el tratamiento de aguas residuales además de aportar la producción de abono orgánico para la mejora de calidad de suelo.
- Es relevante un caudal óptimo, en razón de que es un parámetro de operación definitivo para tratar el agua residual en ambos sistemas, sin embargo, el método consistió en el cálculo y control de los diferentes niveles de abertura del afluente, considerando que el nivel de turbidez incrementaba cuando el caudal era mayor debido a la fuerza y presión de goteo, provocaba empozamiento, aumento de humedad, temperatura y arrastre de sustrato humus en el agua tratada. Por el contrario, al determinar un óptimo caudal se obtuvo un resultado accesible de 2.0748 L/min, porque se pudo apreciar un riego homogéneo favoreciendo la filtración constante y operación en tiempos mayores a 40 minutos.
- Los parámetros técnicos en lombrices fueron indispensables, en razón de que su función contribuyó con su supervivencia, de cierto modo, el control semanal de pH y temperatura destacó en rango de 6 a 8 y 15°C a 28°C, caso contrario de la humedad hubo complicaciones en la tercera semana ya que sobresalió el límite un 7% más de lo recomendado (70% a 80%). Posteriormente, la tasa poblacional incrementaba, en vista que al principio se contaba con 464 lombrices pequeñas y adultas, terminando el proyecto se obtuvo el resultado de población final de 2112 lombrices obteniendo una tasa de crecimiento en un 355.1% durante 1 mes, concluyendo que se obtuvo una elevada tasa de adaptabilidad, determinando que las lombrices metabolizan los contaminantes del agua residual doméstica.
- Se realizaron 4 muestreos en un periodo de 4 semanas iniciando la evaluación en diferentes fechas (días 1, 7, 14 y 28 del mes febrero) con

la finalidad de observar cambios en la eficiencia del tratamiento. Posterior a ello se envió las muestras de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales, para ser analizados por el laboratorio acreditado HidroLab, como resultado el porcentaje de eficiencia en mayor remoción alcanzada de ambos parámetros fue la siguiente: 93.83% en Demanda Bioquímica de Oxígeno, 99.99% en Coliformes Fecales, obteniendo un promedio total de eficiencia de 93.37% en el vermifiltro, sin embargo, los resultados del sistema sin lombrices dieron un total de 82.80% en DBO5 y 99.73% en Coliformes Fecales. Además, se realizó en campo el control y análisis con un multiparámetro HQ2200 de los parámetros secundarios, conociendo los resultados de mayor eficiencia; en el tratamiento con lombrices se obtuvo un pH de valor 7.1, turbidez 88.36% de remoción, conductividad eléctrica con valor de 1.74 mS/cm, sólidos suspendidos totales de 18.84% en remoción, temperatura de 25.5 °C para la supervivencia de lombrices y oxígeno disuelto un valor de 5.29 ml/L; a diferencia del tratamiento sin lombrices se obtuvo un pH de valor 7.1, turbidez 97.67% de remoción, conductividad eléctrica con valor de 1.53 mS/cm, sólidos suspendidos totales de 65.25% en remoción, temperatura de 23.4 °C y oxígeno disuelto un valor de 5.16 ml/L. Concluyendo que el resultado difirió en todos los parámetros evaluados respecto ambos tratamientos, por lo que se obtuvo mayor eficiencia de remoción en DBO5 y Coliformes Fecales en un tratamiento con lombrices, pero respecto al parámetro Sólidos Suspendidos Totales y Turbidez la remoción fue deficiente debido al ingreso del sustrato orgánico en el agua tratada.

- Los resultados analizados por el laboratorio fueron comparados de acuerdo al D.S. N° 003-2010-MINAM, manifestando análisis acreditados, sin embargo, el parámetro de DBO5 se mantuvo al límite de 100 mg/L respecto a las 4 semanas en ambos tratamientos sin y con lombrices, pero en la cuarta semana el tratamiento sin lombrices sobrepasó el límite con 110.4 mg/L. El siguiente parámetro analizado en las primeras 2 semanas del tratamiento con lombrices no resultó debajo del límite, debido a la elevada carga contaminante de 92 millones NMP/100 mL y

22 millones NMP/100 mL. de Coliformes Fecales concentrado en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe, pero se obtuvo un alto índice de remoción en caso del tratamiento con lombrices en un total de 350 mil NMP/100 mL. y 35 mil NMP/100 mL., sin embargo, en las siguientes semanas el límite no fue sobrepasado ya que el incremento de lombrices ayudó a reducir mucho más la carga contaminante resultando 1400 NMP/100 mL. y 5400 NMP/100 mL. En caso del tratamiento sin lombrices resultó un total de 540 mil NMP/100 mL., que fue de operación en la primera semana. Y en la última semana se pudo observar que la carga contaminante era de 35 millones NMP/100 mL. de Coliformes Fecales, que utilizando el filtro convencional reducción 92 mil NMP/100 mL. Sin embargo, se concluyó que la remoción fue elevada para el tratamiento con lombrices arrojando un resultado de 1400 NMP/100 mL y 5400 NMP/100 mL para el tratamiento sin lombrices siendo resultados que no sobrepasan el Límite Máximo Permisible.

RECOMENDACIONES

- Un óptimo sistema de aspersión es de provecho para facilitar un riego fino y homogéneo sobre el área del vermifiltro, así mismo permite regularizar el control del caudal en los distintos niveles, para una adecuada operación.
- Es indispensable la utilidad de un medidor digital de suelo para evaluar los parámetros técnicos como humedad, pH y temperatura en la calidad de vida de las lombrices, porque hay rangos de límite como un 70 a 80% de humedad y 15 C° a 24 C° de temperatura, si no dispone de control las lombrices mueren.
- Así mismo, periódicamente es necesario remover las excretas de las lombrices (humus orgánico) debido a que altera y aumenta el parámetro de turbidez del agua.
- Se requiere la instalación de tubos de aireación con perforaciones cruzadas, con la finalidad de evitar estancamientos y mejor filtración del agua residual.
- Para adaptación de las lombrices es necesario construir un contenedor de compostaje, para luego ser alimentadas con aserrín, restos orgánicos y regados con agua residual, con la finalidad de mejorar su desarrollo y realizar el tratamiento con lombrices en edad adulta.
- El cálculo de los niveles de caudal, tiempo de retención y flujo volumétrico tiene la función de mejorar el tiempo de filtración, además de evitar estancamientos como la pérdida de lombrices debido al ahogamiento, elevada humedad y temperatura.
- Antes de colocar el aserrín dentro del vermifiltro y sistema de compostaje, es recomendable lavar 5 días en una semana, de lo contrario las lombrices no estarán aptas por el alto contenido lignina y tanino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acción contra el hambre (16 de agosto 2023). *Aguas negras: ¿Qué son y cómo pueden tratarse?*
<https://www.accioncontraelhambre.org/es/aguas-negras-que-son>
- Aconsa (25 de mayo de 2021). *Parámetros químicos de calidad del agua: ¿Cuáles incluye la normativa?* <https://aconsa-lab.com/parámetros-quimicos-calidad-agua-cuales-incluye-la-normativa/>
- Acosta, B. (29 de marzo de 2023). *¿Cómo hacer humus de lombriz?*
<https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-humus-de-lombriz-2124.html>
- AEMA (21 de mayo de 2018). *Eliminación del nitrógeno en las aguas residuales* <https://www.iagua.es/noticias/aema/eliminacion-nitrogeno-aguas-residuales>
- Agtech AMÉRICA (8 de febrero de 2023). *El proceso de humificación*
<https://agtechamerica.com/el-proceso-de-humificacion/>
- Alarcón, B. y Yahuara, A. (2016). Proyecto de instalación de una planta de procesamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Motupe usando el sistema TOHA. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]
<https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8606>
- Alonso, J. (23 de marzo de 2022). *Agua, fuente de vida y muerte en América Latina.* <https://www.dw.com/es/agua-fuente-de-vida-y-muerte-en-am%C3%A9rica-latina/a-61227140>
- Anónimo (14 de marzo de 2012). *Características de las lombrices californianas ciclo de vida, desarrollo y reproducción*
<https://www.lombricescalifornianas.cl/lombrices-californianas.html>
- Anónimo (2020). *Oxígeno disuelto.* [PDF]
https://guemisa.com/articulos/que%20es%20oxigeno_disuelto.pdf

- Anónimo (3 de octubre de 2011). *Anatomía de la lombriz californiana*
<https://guiadelombricultura.wordpress.com/2011/10/03/anatomia-de-la-lombriz-californiana/>
- Areaciencia (16 de abril de 2021). *Aguas residuales servidas y grises*.
<https://www.areaciencias.com/ecologia/aguas-residuales-servidas>
- Armijo, R., Basegio, N., Dolores, B., Carreño, T. (2019). *Contaminantes químicos del agua: Contaminación antropogénica*. [PDF]
<https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Destacado-3.pdf>
- Arriols, E. (6 de agosto 2018). *¿Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican?*
<https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Autoridad Nacional del Agua (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. [PDF]
https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf
- Banco Mundial (31 de diciembre de 2013). *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas*.
<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Barreto Caldas, E. (2020). *Vertimiento de aguas residuales y su influencia en la contaminación del río Huallaga-Huánuco 2019*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]
<https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/6451>
- Blando, D. (28 de enero de 2019). *Lombrifiltros para el tratamiento y recuperación del agua de efluentes*
<https://es.linkedin.com/pulse/lombrifiltros-para-el-tratamiento-y-recuperación-del-agua-blando>
- Bollo, E. T. (2001). *Lombricultura, una alternativa de reciclaje*. *Revista Scielo Costa Rica*, 5 (7), 135-158
<https://www.scielo.sa.cr/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S03779424201300010001000002&pid=S0377-942420130001000100&lng=es>

- BOSS TECH (5 de setiembre de 2020). *Tratamiento de aguas residuales y su impacto ambiental*. <https://bosstech.pe/tratamiento-de-aguas-residuales-y-su-impacto-ambiental/>
- Bustos Gil, J. (9 de noviembre de 2017). *Hidrosfera: La contaminación del agua* <https://slideplayer.es/slide/11829473/>
- Caicedo Campoverde, J. A. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del Ministerio de Agricultura, Acuacultura, Ganadería y Pesca, Riobamba 2015. [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6321>
- Calvache, W., Chavez, M., Duran, C., Guaña, E., Imba, A., & Nazate, W. (2002). Tratamiento de aguas: tratamiento primario y parámetros hidráulicos. *Escuela de Ingeniería Química*, 2 (1), 117-145 <https://books.google.es/books?id=Y44LHalpkqWC&pg=PR1&hl=es#v=onepage&q=tra&f=false>
- Calvachi, G. & Ortiz, I. (2013). *Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. *Universidad y Salud*, 15 (1), 14-27 http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007
- Camacho-Sanchez, M. S. (14 de abril de 2021). *Humus de lombriz, beneficios para el suelo* <https://tecnicrop.com/blog/humus-de-lombriz-beneficios-para-el-suelo>
- Carbotecnia (3 de marzo del 2023). ¿Cómo se compone una cama de lecho profundo? <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/cama-lecho-profundo/>
- Cardoso, L., Ramírez, E., Garzón, M. (11 de diciembre de 2011). *Vermifiltración para tratamiento de aguas residuales industriales y municipales* <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1448>
- Carhuallanqui Torres, M. N. (2022). *Aguas residuales de Mercado Mayorista Terminal Pesquero y su tratamiento con lombrifiltros de Eisenia foetida, Callao – 2022*. [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/111529/Carhuallanqui_TMN-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carita Laruta, S. M. (2012). *Estudio de calidad microbiológica de aguas residuales, procedentes de planta de tratamiento de aguas residuales Puchukollo-Epsas, ciudad de el Alto, La Paz-Bolivia* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/22869?show=full>

Chávez, L. (15 de julio de 2022). *¿Qué es la grava y arena?*
<https://cementostorices.com/blog/construccion/grava-y-arena-descubre-sus-diferencias-y-para-que-se-utilizan/>

Coccon humus (20 de febrero de 2015). *Lombriz roja californiana*
<http://cocconhumus.com/lombriz-roja-californiana/>

Corcoran, E., Nellemann, E., Baker, R., Bos, D., Oborn, H. (2010). *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development.* [PDF]
<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9156;jsessionid=69823313E290200D99E8E311DE45F55E>

Coronel Pazmiño, N. P. (2015). *Diseño e implementación a escala de un biofiltro Tóha en la ESPOCH para la depuración de aguas residuales domésticas procedente de la comunidad Langos La Nube.* [Tesis pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4802>

Cruz Pérez, F. J. (2020). *Abastecimiento de aguas.* [Archivo PDF]
https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod_resource/content/1/Tema_08_FILTRACION.pdf

Cuenca, E., Granados, A., Camacho, K. (2012). *El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutriente y energía (SUTRANE) en San Miguel Alamaya, México.* Quivera, 14(1), 78-97 <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

- Culqui Garcia, C. L. (2018). *Diseño de un sistema de biomasa en suspensión para las aguas residuales recolectadas por el hidrosuccionador de la E.P-EMAPA-G*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo] <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/22869?show=full>
- Dash, M. C. (1978). *Role of earthworms in the descomposer system*. *Glimpses of Ecology*, India International Scientific, 9 (4), 399-406 [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/referen cespapers.aspx?referenceid=51109](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/referen cespapers.aspx?referenceid=51109)
- Díaz Bailón, P (2015). *Estudio y dimensionamiento de la instalación de recogida y tratamiento de aguas negras en un buque*. [Tesis pregrado, Facultad Náutica de Barcelona] <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/85541>
- Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (2013). *Identificación y diagnóstico de los puntos de vertimientos de las aguas residuales de la ciudad de Huánuco*. [PDF] <http://www.minsa.gob.pe/diresahuanuco/SAMBIENTAL/2013/PLANAG UA.pdf>
- Duchi, L. y Ramón, D. (2022). Evaluación de un lombrifiltro para el tratamiento del agua residual del grupo Rossi. [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional Quito] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22130>
- El estado peruano (11 de marzo de 2019). *Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>
- El estado peruano (25 de agosto de 2021). *PTAR Huánuco permitirá la descontaminación gradual del río Huallaga* <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/513231-ptar-huanuco-permitira-la-descontaminacion-gradual-del-rio-huallaga>
- El peruano (11 de marzo de 2019). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario* <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>

Escuela Nacional de Administración Pública (2021). *Gestión sostenible del agua*. [PDF]

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2679238/Gesti%C3%B3n%20sostenible%20del%20agua.pdf>

Fernández Atora, M. R. (2020). *Dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas servidas, con aplicación del sistema Tohá, para el uso de regadío del sector Pampa Concordia*. [Tesis pregrado, Universidad de Tarapacá]

<https://repositorio.uta.cl/jspui/bitstream/123456789/786/1/79203-Atora%20Martin.pdf>

Fernández Santiesteban, M. T. (2017). *Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrífugas*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, 51(2), 70-73 <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251011.pdf>

Fernandez, A. (17 de setiembre de 2011). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura* <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4516>

Fernandez, E. & Sanchez, Z. (2016). *Evaluación de un lecho filtrante, utilizando mesocarpo de coco (Cocos nucifera), para el tratamiento de aguas residuales de la empacadora de banano algarrobo 1, Sullana*. [Tesis pregrado, Universidad Señor de Sipán] <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/839>

Ferrer, J. & Seco, A. (2008). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. Universidad Politécnica de Valencia Alfaomega Grupo Editor <https://biblioteca.ecosur.mx/bib/58086>

Ferrovial (12 de octubre de 2020). *Aguas residuales* <https://www.ferrovial.com/es/recursos/aguas-residuales/>

Fibras & Normas de Colombia S.A.S (3 de febrero de 2022). *Aguas residuales: clasificación y características*.

<https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/aguas-residuales-clasificacion-y-caracteristicas/>

Flowen (16 de diciembre de 2022). *¿Qué son las aguas residuales?*
<https://flowen.com.pe/que-son-las-aguas-residuales/>

Gallego-Alarcón, I. & García-Pulido, D. (2017). *Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena*. Tecnología y Ciencias del Agua, 8(1), 81-93
<http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1296>

Gallegos Valqui, D. G. (2019). Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8006377>

García Espigares, M. & López Pérez, J. A. (2020). *Aguas residuales. Composición*. [PDF]
https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Garkal, D., Mapara, J., Mandar, P. (2015). *Domestic waste wáter treatment by bio-filtration: a case study*. International Journal of Science, Environment and Technology, 4(1), 140-145
https://www.academia.edu/71078529/Domestic_Waste_Water_Treatment_by_Bio_Filtration_A_Case

Gil, M., Soto, A., Usma, I., Guitiérrez, O. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Producción + Limpia 7(2), 52-73 <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

Gobierno del Perú (27 de julio de 2018). *Perú establece los Límites Máximos Permisibles en materia de gestión de aguas*
<https://www.iagua.es/noticias/gobierno-peru/gobierno-peru-establece-limites-maximos-permisibles-materia-gestion-aguas>

Gobierno Regional de Valparaíso (2019). *Aguas residuales como nueva fuente de agua*. [PDF] <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/aguas-residuales-como-fuente-de-agua.pdf>

- Guasch-Serret, N., Ortega-Giralt, G., Ríos-Quinteros, M. (2016). *Caracterización de aserrín de diferentes maderas*. Tecnología Química Universidad de Oriente, 36 (3), 115-138
<https://www.redalyc.org/journal/4455/445546669012/html/>
- Guerrero, P., Díaz, J., Moreno, O. (2019). *Evacuación de dos lechos filtrantes en un vermifiltro diseñado a escala laboratorio*. Boletín Informativo CEI, 6 (3), 14-19
<https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/2129>
- Gutiérrez, A., Ramos, B., Castañeda, R., Cáceres, B. (2020). *Crianza de Eisenia foetida (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico*. Ecología Aplicada, 15 (8), 93-106
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162020000200087
- Gutiérrez, C. & Moreno, J. (2018). *Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional*. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39 (3), 97-107
<http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>
- HANNA (28 de febrero de 2018). *pH en tratamiento de aguas residuales*
<https://ww2.hannachile.com/blog/post/ph-en-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Heredia León, V. K. (14 de octubre de 2019). *Características químicas de las aguas residuales* <https://es.slideshare.net/keilavivis/caractersticas-qumicas-de-las-aguas-residuales>
- Hernández, A. (2017). *Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °C*. [PDF]
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>

- INCYTU (2019). *Tratamiento de aguas residuales*. [PDF] https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf
- INNOTECH LABORATORIOS (17 de junio de 2021). *La importancia y características de las aguas residuales* <https://www.innotech-laboratorios.es/la-importancia-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales/>
- Irvin (18 de marzo del 2018). Flujo Volumétrico <https://es.scribd.com/document/506703182/FLUJO-VOLUMETRICO>
- Kelly, A. & Coila, C. (2020). *Lombrifiltro diseño, implementación y mantenimiento*. [PDF] <https://pdfcoffee.com/lombrifiltro-diseo-implementacion-y-mantenimiento-pdf-free.html>
- Kobe, N. (13 de febrero de 2019). *Sistema Tohá* <https://es.scribd.com/document/427656545/Sistema-Toha>
- La Villa (26 de marzo de 2023). *Cría y alimentación de la lombriz roja californiana* <https://blog.gardencenterejea.com/cria-y-alimentacion-de-la-lombriz-roja-californiana/>
- Landeta Flores, F. E. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra*. [Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra] <http://190.15.137.77/handle/11010/533>
- Lara, M. (2 de marzo de 2022). *Lombriz roja californiana* <https://www.landuum.com/plantae-y-fauna/importancia-ecologica-y-economica/>
- LGSONIC (20 de febrero 2023). *El oxígeno disuelto y la calidad del agua* <https://www.lgsonic.com/es/el-oxigeno-disuelto/>
- Li, Y-S., Xiao, Y-Q., Qiu, J-P., Dai, Y-Q. and Robin, P. (2009). Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process. *Water Science and Technology*, 2 (60), 3001–3010 <https://iwaponline.com/wst/article->

abstract/60/11/3001/16104/Continuous-village-sewage-treatment-by?redirectedFrom=fulltext

Liendo Eyzaguirre, P. (2 de abril de 2015). *Coliformes totales y termotolerantes como indicadores de contaminación en agua de río*. <https://es.slideshare.net/paolaeyzaguirreliendo/coliformes-totales-y-termotolerantes-como-contaminantes-de-agua-de-ro>

Llano, B., Cardona, J., Ocampo, D., Ríos, L. (2014). *Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso*. Información tecnológica, 25 (3), 21-52 https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300010

LOMBEC (26 de enero de 2023). *Sustrato con humus de lombriz californiana* <https://www.lombec.com/producto-humus-lombriz>

LOMBRIMADRID (12 de mayo de 2022). *Humus de lombriz, características, beneficios y todo lo que debes saber* <https://lombrimadrid.es/lombricultura/humus-de-lombriz-caracteristicas-beneficios/>

Lombritec (2 de agosto de 2021). *Cultivo ecológico- Todo sobre la lombricultura y el vermicompostaje a pequeña, mediana y gran escala* <https://lombritec.com/cultivo-ecologico-lombricultura-vermicompostaje/>

Marinni Bravo, M. A. (2019). *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de Carragenina*. [Tesis pregrado, Universidad del Bío-Bío] http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3456/3/Bravo_Marinni_Marcelo_Andr%C3%A9s.pdf

Martines, E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia*. [PDF] <https://www.cenam.mx/dme/pdf/tm02.pdf>

- Mejía, A. P. (2016). AGROFLOR Manual Lombricultura (Agroflor lombricultura). [Archivo PDF]
<http://agro.unc.edu.ar/~biblio/Manual%20de%20Lombricultura.pdf>
- Meoño, F., Taranco, C., Olivares, M. (2015). *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. Saber y Hacer, 2(2), 09-25.
<https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Ministerio del Ambiente (7 de enero 2020). *Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM* <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- Monsalve, M. (8 de abril de 2015). *Lombrices para limpiar el agua*
<https://www.elespectador.com/ambiente/lombrices-para-limpiar-el-agua-article-553947/>
- Oliveira, R., Alves, A., Campos, S., Ferreira, M., Costa, M. (2013). *Application rates and filtering materials for biofilter in house sewage*. IDESIA, 31(1), 5-13 <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v31n1/art02.pdf>
- Ocampos Loro, C. A. (2018). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con Eisenia foetida y un biofiltro convencional* [Tesis pregrado, Universidad Científica del Sur, Lima – Perú]
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/567>
- ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. [PDF]
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., Llor, X., Riera, E. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas*. Dialnet, 6 (3), 228-245
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>
- Paucar, F. & Iturregui, P. (2020). *Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú*. South Sustainability, 1(1), 1-11

<https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/download/599/659/>

Peña Rojas, A. (2021). *Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga*. [Tesis pregrado, Universidad Continental]

<http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10204>

Pinedo Meza, F. A. (2022). *Evaluación de la eficiencia de un vermifiltro con la especie eisenia foetida para el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico*. UCV SCIENTIA, 14(1) 19-31

<https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/r-Muro-investigacion/article/view/1439/1821>

Planas, O. (29 de octubre de 2020). *Termodinámica. Transformación de la energía* <https://solar-energia.net/termodinamica/propiedades-termodinamicas/temperatura>

Poma Javier, J. R. & Quispe Sanca, P. A. (2016). *Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú] <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3757>

Portillo, G. (16 de diciembre de 2020). *¿Qué es el humus?* <https://www.renovablesverdes.com/que-es-el-humus/>

Prado Fernandez, R. (2010). *Sistema sustentable y eficiente de tratamiento de aguas residuales*. [PDF] <https://www.eisenia.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Apresentacao-GEMAT.pdf>

PUCP (12 de julio de 2019). *¿Las aguas residuales generan sustancias que dañan el medio ambiente?* <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/las-aguas-residuales-generan-sustancias-que-danan-el-medio-ambiente/>

Pur plant (23 de enero de 2021). *Todo sobre la lombriz roja californiana* <https://www.purplant.es/todo-sobre-lombriz-roja-californiana/>

- Pure Water (5 de enero de 2020). *Aguas residuales domésticas*.
<https://purewater.com.co/aguas-residuales-domesticas/>
- Quispe Tairo, Y. L. (2021). Lombrifiltro para la mejora de los parametros físico - químicos de aguas residuales del camal municipal Juliaca 2021. [Tesis pregrado, Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez]
http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/7154/T036_73747896_T_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramon, J. (13 de febrero de 2023). *Conceptos básicos sobre la lombriz roja californiana*
<https://lombrigreen.com.mx/wp/lombriz-roja-californiana/?v=267d696eab9e>
- Reséndez, A., Carillo, J., Hernández, C. (2015). *Actividades antropogénicas, cambio climático, degradación del suelo, desertificación y enfoque de la agricultura sustentable*
https://www.researchgate.net/publication/293653173_Actividades_antr opogenicas_cambio_climatico_degradacion_del_suelo_desertificacion_y_enfoque_de_la_agricultura_sustentable
- Restrepo, A., Alzate, E., Cardona, A. (2007). *Lombricultura*. [PDF]
<https://digital.fontagro.org/wp-content/uploads/2018/10/Lombricultura.pdf>
- Rivas, R., Leal, J., Moleón, J., Soto, M. (2015). *Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D*. Revista internacional de contaminación ambiental, 31 (3), 27-39
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300005
- Rodríguez Pimentel, H. (13 de marzo de 2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes* <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Ronzano, E. & Dapena, J. L. (2019). *Eliminación de fósforo en las aguas residuales*. [PDF]
<https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/fosforo.pdf>

- Ropero Portillo, S. (5 de noviembre de 2020). *¿Qué son los agentes contaminantes?* https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-agentes-contaminantes-2711.html#anchor_1
- Rosero Clavijo, D. P. (2022). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con un vermifiltro para la empresa de rastro*. [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional] <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22518>
- Saboya Ríos, X. V. (2020). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas*. Muro de la investigación, 31 (5), 60-83 <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-scientia/article/view/2308>
- Salazar Miranda, P. I. (2005). *Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. [Tesis pregrado, Universidad Austral de Chile] <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>
- Sánchez Montes, M. (21 de marzo de 2017). *Las aguas residuales en Perú, realidad al 2017* <https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes/aguas-residuales-peru-coste-improvisacion>
- Schneider, J., Marques da Silva, M., Madrid Lillo, F., Parizotto, M., Figueiredo, I., Tonetti, A. (2019). *Vermifiltration: The use of earthworms as a new alternative for sewage treatment*. [Universidad Estatal de Campinas] <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=524789>
- Schuldt, M., Christianse, R., Scatturice, L., Mayo, J. (2007). *Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie*. Revista Electrónica de Veterinaria, 3 (8), 1-10 <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612734015.pdf>
- Sela, G. (3 de abril de 2022). *Conductividad eléctrica de agua y suelo*. <https://croipaia.com/es/blog/conductividad-electrica-del-agua-y-suelo/>

SERVICIO NACIONAL PARA LA SOSTENIBILIDAD DE SERVICIOS EN SANIAMIENTO BÁSICO (2015), Guía para la toma de muestras de agua residual. [Archivo PDF] https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf

Sieber, M. (20 de abril de 2021). *Sistema Tohá-Tratamiento de aguas servidas con lombrices* <https://www.trekkingchile.com/es/sistema-toha-tratamiento-de-aguas-servidas-con-lombrices/>

Somarriba, J. & Guillén, F. (2010). *Guía de lombricultura*. [PDF] <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>

Sotomayor, A. (4 de diciembre de 2021). *¿Qué son los ECA y los LMP?* <https://conexionambiental.pe/que-son-los-eca-y-los-lmp/>

SUNASS (8 de junio de 2022). *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11%, entre el 2016 y el 2020*. <https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>

Tilley, E., Ulrich, L., Luthi, P., Schertenleib, R., Zurbrugg, C. (5 de agosto de 2020). *Sistema de tratamiento de aguas negras con conducción del efluente* <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/sistemas-de/sistemas-de-saneamiento/sistemas-de-saneamiento-recomendados-5/sistema-de-tratamiento-de-aguas-negras-con-conducci%C3%B3n-del-efluente>

Umasi Thea, E. I. (2020). *Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco*. [Tesis pregrado, Universidad Peruana Unión] <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4739>

UNESCO (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. [PDF] <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/aguas-residuales-el-recurso-desaprovechado>

UNIVERSIDAD DE CHILE (30 de junio de 2023). *Sistema Tohá: Un éxito de innovación eficiente y ecológica atrae al mundo*

<https://ingeniería.uchile.cl/noticias/206652/sistema-toha-exito-de-innovacion-eficiente-y-ecologica-atrae-al-mundo>

Valdivielso, A. (13 de febrero de 2023). *¿Qué es un caudal?*
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

Valencia Arboleda, Jorge (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua Tercera edición Tomo 2.* [Archivo PDF]
<https://es.scribd.com/document/455985666/Teoria-y-Practica-de-la-Purificacion-del-Agua-Tomo-II-3ed-Copy-pdf>

Vargas Rojas, L. A. (2021). *Lombrifiltro para el tratamiento de coliformes en aguas residuales domésticas del colector 31 de octubre Huancan-Huancayo 2021.* [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84863>

Vigueros, L., Camperos, E., Zúñiga, M. (2020). *Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales*
<https://revistas.chapingo.mx/inagbi/phpscript/download.php?file=completo&id=MjY5Mg==>

Wang, L., Zhang, Y., Luo, X., Zhang, J., Zheng, Z. (2016). *Effects of earthworms and substrate on diversity and abundance of denitrifying genes (nirS and nirK) and denitrifying rate during rural domestic wastewater.* Bioresource Technology, 212 (12), 174-181
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416305314?via%3Dihub>

Xiomi Vasni, S. R. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chachapoyas-Amazonas* [Tesis pregrado, Universidad Peruana Unión] <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1123>

Zafra, Ñ (22 de febrero de 2017). *Definición de estrato.*
<http://glosario.ldr.webs.upv.es/postout/15/estrato>

Zarza, L. F. (23 de marzo de 2021). *¿Qué son las aguas grises?*
<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-grises>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Revolledo Ramos, B. (2024). *Eficiencia del sistema vermifiltro utilizando lombriz californiana (Eisenia Foteida) para la reducción de DBO5 y Coliformes Termotolerantes presentes en las aguas residuales domésticas*, Amarilis, 2024 [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 2701-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 15 de noviembre de 2023

Visto, el Oficio N° 950-2023-C-PAIA-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"EFICIENCIA DEL SISTEMA VERMIFILTRO UTILIZANDO LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia foteida*) PARA LA REDUCCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, AMARILIS, 2023"**, presentado por el (la) Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2080-2023-D-FI-UDH, de fecha 15 de setiembre de 2023, perteneciente al Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Abrahams Moises Cabrera Montalvo, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 950-2023-C-PAIA-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"EFICIENCIA DEL SISTEMA VERMIFILTRO UTILIZANDO LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia foteida*) PARA LA REDUCCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, AMARILIS, 2023"**, presentado por el (la) Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente), Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario) y Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"EFICIENCIA DEL SISTEMA VERMIFILTRO UTILIZANDO LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia foteida*) PARA LA REDUCCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES TERMOTOLERANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, AMARILIS, 2023"**, presentado por el (la) Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Jhovani Monzono Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIA - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DEL DOCENTE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 2080-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 15 de setiembre de 2023

Visto, el Oficio N° 731-2023-C-PAIA-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el Expediente N° 438879-0000006301, del Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 438879-0000006301, presentado por el (la) Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Mg. Abrahams Moises Cabrera Montalvo, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27º y 28º del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Brandon REVOLLEDO RAMOS**, al Mg. Abrahams Moises Cabrera Montalvo, docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo. - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería – PAIA- Asesor – Mat. y Reg.Acad.- Interesado – Archivo.
BCR/EJML/nto.

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“EFICIENCIA DEL SISTEMA VERMIFILTRO UTILIZANDO LA ESPECIE LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia Foteida*) PARA LA REDUCCIÓN DE DBO5 Y COLIFORMES FECALES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables/Indicadores	Metodología
------------------	------------------	-------------------	-----------------------	-------------

¿Cuál es la eficiencia del sistema de vermifiltro utilizando la especie Lombriz Californiana (*Eisenia Foteida*) comparado con un sistema de filtración convencional en la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe en la zona 0?

Evaluar la eficiencia del sistema de vermifiltro utilizando la especie Lombriz Californiana (*Eisenia Foteida*) comparado con un sistema de filtración convencional en la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas de la matriz de desagüe en la zona 0

H1: La implementación del sistema de tratamiento vermifiltro comparado con el sistema de filtración convencional es eficiente en la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas en la matriz de desagüe de la zona 0

H0: La implementación del sistema de tratamiento vermifiltro comparado con el sistema de filtración convencional no es eficiente en la reducción de DBO5 y Coliformes Fecales presentes en las aguas residuales domésticas en la matriz de desagüe de la zona 0

Variable Dependiente

Se evalúa los parámetros físicos, químicos y microbiológicos presentes en las aguas residuales domésticas del río Huallaga, considerando los siguientes parámetros:

- DBO5
- Coliformes Fecales
- pH
- Temperatura
- Sólidos disueltos totales
- Turbidez
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto

Variable Independiente

Sistema vermifiltro utilizando la especie de lombriz californiana:

- *Eisenia Foteida*

Tipo de investigación

- Aplicada, prospectivo, longitudinal, analítico y con intervención

Enfoque

- Enfoque cuantitativo

Alcance o nivel

- Nivel aplicativo

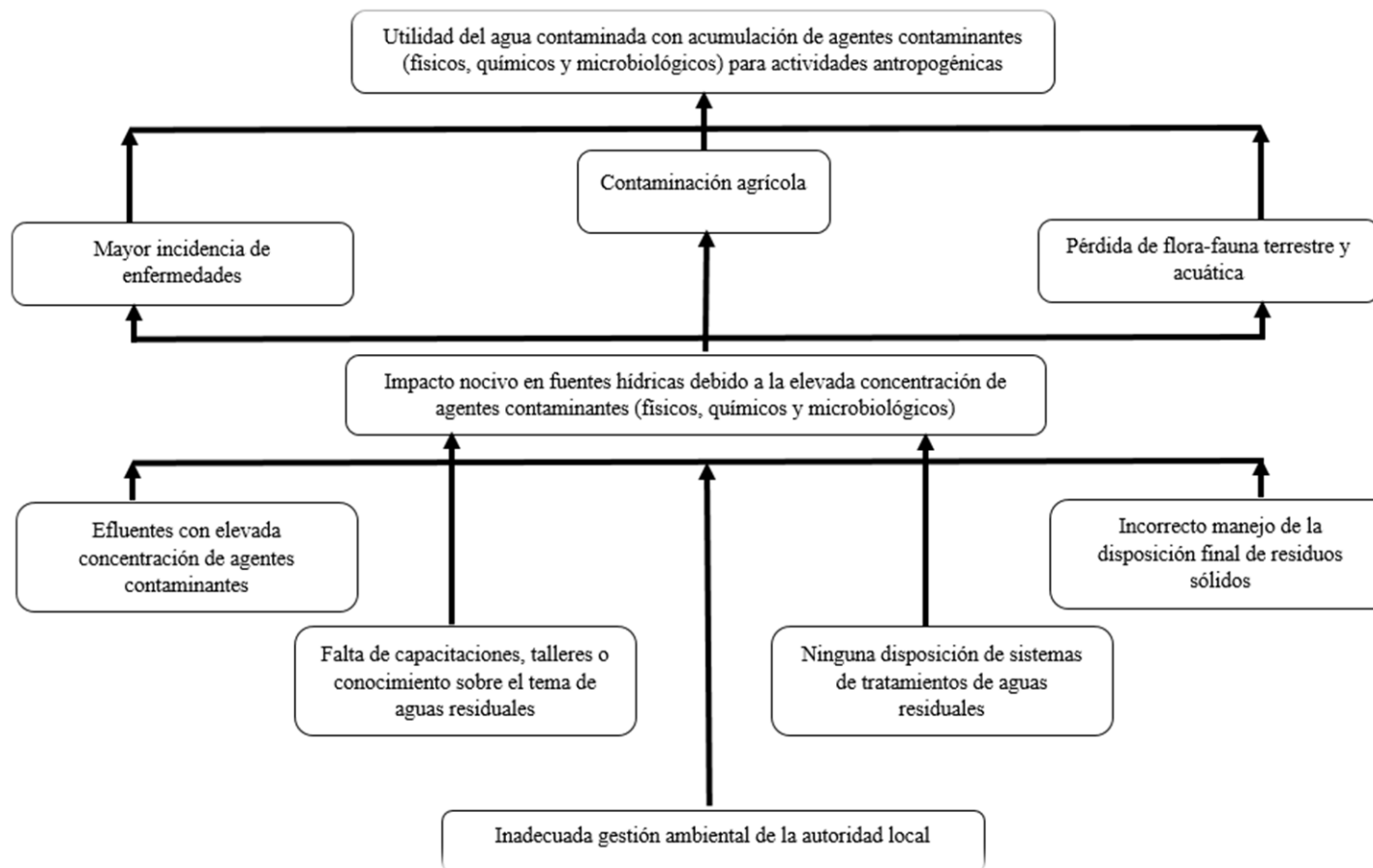
Población

- Aguas residuales domésticas descargadas en la red de alcantarillado de la zona 0 perteneciente al distrito de Amarilis en la ciudad de Huánuco, provincia y departamento de Huánuco

Problemas Específicos	Objetivo Específicos	Muestra
¿Cómo calcular los parámetros hidráulicos en el sistema de vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas?	Calcular los parámetros hidráulicos del sistema vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas	• 20 litros de agua residual doméstica
¿Cómo efectuar los parámetros técnicos y densidad poblacional de las lombrices para su adaptación y desarrollo?	Controlar los parámetros técnicos y densidad poblacional de las lombrices para su adaptación y desarrollo	Diseño $GE1 \rightarrow \theta_1 \text{---} X_1 \text{---} \theta_7$ $GC1 \rightarrow \theta_2 \text{---} X_2 \text{---} \theta_8$ $GE2 \rightarrow \theta_3 \text{---} X_3 \text{---} \theta_9$ $GE3 \rightarrow \theta_4 \text{---} X_4 \text{---} \theta_{10}$ $GE4 \rightarrow \theta_5 \text{---} X_5 \text{---} \theta_{11}$ $GC2 \rightarrow \theta_6 \text{---} X_6 \text{---} \theta_{12}$
¿Cuál es el porcentaje de reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento con el vermifiltro?	Evaluar el porcentaje de reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos después del tratamiento con el sistema de vermifiltro utilizando la especie Lombriz Californiana (<i>Eisenia Foteida</i>)	
¿Cuál de los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales cumplen con lo establecido de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles según el D.S. N°003-2010-MINAM?	Determinar si los parámetros DBO5 y Coliformes Fecales, con los Límites Máximos Permisibles establecidos según el D.S. N° 003-2010-MINAM	

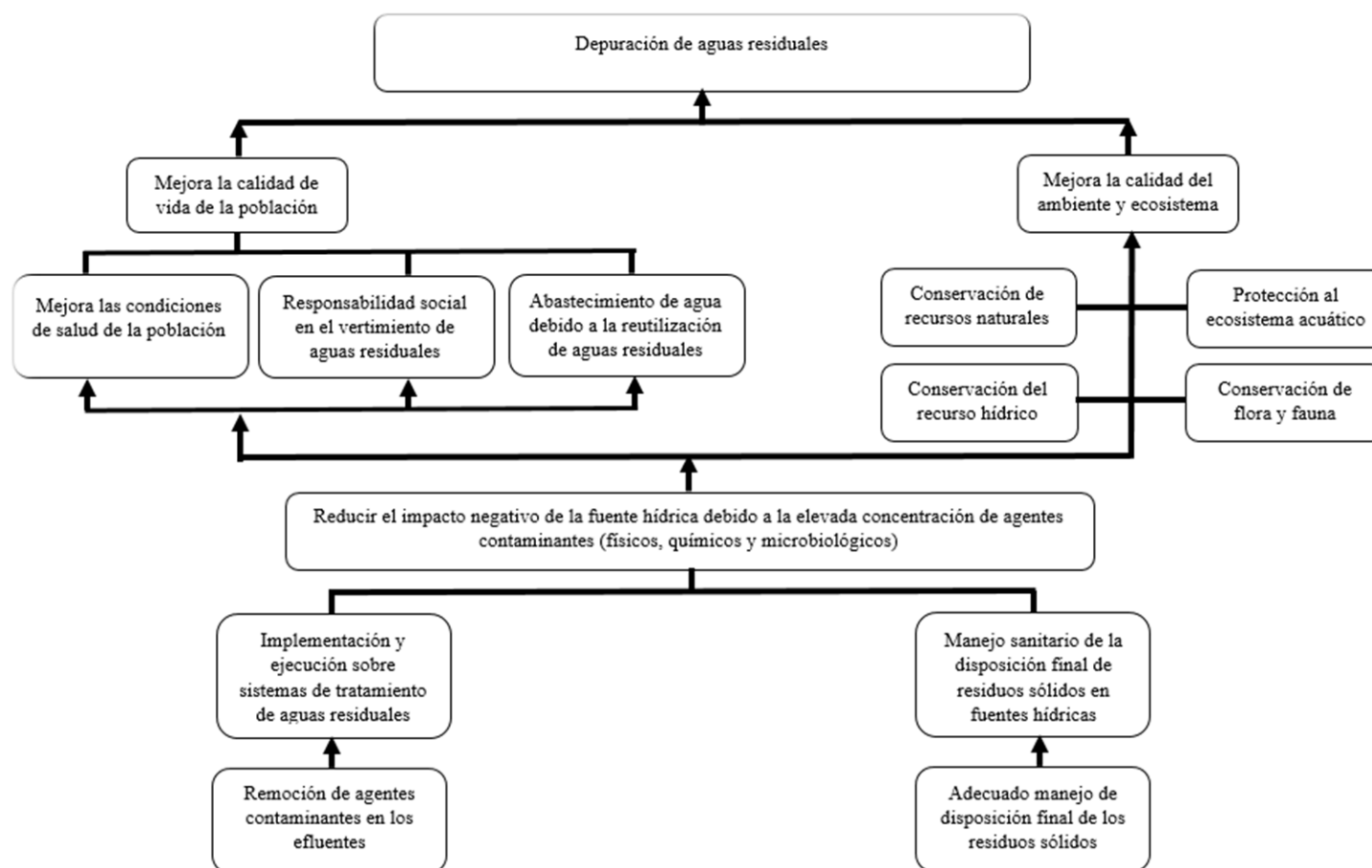
ANEXO 4

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 5

DIAGRAMA DE MEDIO Y FINES



ANEXO 6

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FICHA 1 Registro de parámetros técnicos en lombrices

Semana	Fecha	Hora	Parámetros técnicos en lombrices		
			pH (unidad pH)	Temperatura (%)	Humedad (°C)
N° 1	01/02/2024	21:38	7.1	74%	22°C
	02/02/2024	11:15	7.3	75%	26°C
	03/02/2024	17:25	7.2	73%	25°C
	04/02/2024	09:10	7.4	76%	28°C
N° 2	05/02/2024	12:15	7.4	72%	29°C
	07/02/2024	20:38	7.6	71%	30°C
	09/02/2024	09:45	7.8	77%	27°C
	11/02/2024	18:13	8.1	69%	22°C
N° 3	13/02/2024	10:15	7.2	72%	25°C
	15/02/2024	18:41	6.3	70%	21°C
	17/02/2024	17:25	6.8	73%	26°C
	18/02/2024	08:25	7.1	82%	31°C
N° 4	20/02/2024	09:21	7.6	80%	29°C
	22/02/2024	17:51	7.8	76%	25°C
	23/02/2024	19:27	8.3	75%	26°C
	25/02/2024	09:25	7.5	72%	21°C

FICHA 2 Registro de datos (caudal total, flujo volumétrico y tiempo de retención hidráulica)

Caudal (Q)	Mediciones (ml/min)				Promedio (ml/min)				Caudal total (L/min)	Tiempo de retención hidráulica (h)	Tasa de carga hidráulica (m ³ /m ² .dia)
	PVC 1	PVC 2	PVC 3	PVC 4	PVC 1	PVC 2	PVC 3	PVC 4			
Q ₁	200	185	205	190	188.3	173.3	190	175	0.7266	2.25	1.3333
	190	170	190	175							
	175	165	175	160							
Q ₂	275	250	285	260	253.3	240	265	246.6	1.0049	1.92	1.5625
	250	245	265	245							
	235	225	245	235							
Q ₃	545	525	550	515	533.3	511.6	528.3	501.6	2.0748	0.72	4.1666
	530	515	525	500							
	525	495	510	490							

FICHA 3 Registro de datos sobre la densidad poblacional de lombrices

Semana	Muestreo	Fecha	Número de lombrices extraídas por zona				Densidad Poblacional
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Promedio (p)	
N° 1	A	02/02/24	19	48	21	29	464
	B	03/02/24	25	42	29	32	512
	C	04/02/24	28	58	24	37	592
N° 2	D	05/02/24	32	53	38	41	656
	E	09/02/24	42	65	31	46	736
	F	11/02/24	48	71	41	53	848
N° 3	G	13/02/24	68	84	52	67	1072
	H	17/02/24	87	98	77	87	1392
	I	18/02/24	98	110	86	98	1568
N° 4	J	20/02/24	112	121	98	110	1765
	K	22/02/24	124	122	101	116	1851
	L	25/02/24	138	131	127	132	2112

FICHA 4 Registro de datos sobre los parámetros analizados en campo

PARÁMETROS DE CAMPO					
N° SEMANA	FECHA	PARÁMETRO	AFLUENTE (AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA)	EFLUENTE (AGUA TRATADA)	
			MATRIZ DEL DESAGUE	SISTEMA VERMIFILTRO	SISTEMA FILTRO CONVENCIONAL
SEMANA 1	01/02/24	pH	6.8	7.1	7.1
		Temperatura	19.1°C	25.5°C	21.2°C
		SST	23.37 mg/L	41.84 mg/L	14.22 mg/L
		Turbidez	142 NTU	24.17 NTU	4.20 NTU
		Conductividad eléctrica	0.31 ms/cm	0.85 ms/cm	0.74 ms/cm
		Oxígeno disuelto	2.97 ml/L	4.02 ml/L	3.98 ml/L
SEMANA 2	07/02/24	pH	6.7	6.9	6.8
		Temperatura	18.5°C	20.9°C	18.9°C
		SST	31.29 mg/L	37.27 mg/L	11.18 mg/L
		Turbidez	125 NTU	14.55 NTU	4.57 NTU
		Conductividad eléctrica	1.27 ms/cm	1.71 ms/cm	1.47 ms/cm
		Oxígeno disuelto	2.71 ml/L	4.65 ml/L	4.21 ml/L
SEMANA 3	15/02/24	pH	6.3	7.3	7.3
		Temperatura	20.3°C	23.1°C	23.4°C
		SST	27.95 mg/L	27.31 mg/L	9.71 mg/L
		Turbidez	131 NTU	13.71 NTU	3.71 NTU
		Conductividad eléctrica	0.83 ms/cm	1.23 ms/cm	1.53 ms/cm
		Oxígeno disuelto	3.96 ml/L	5.29 ml/L	5.16 ml/L
SEMANA 4	23/02/24	pH	6.4	6.8	6.8
		Temperatura	21.4°C	21.7°C	22.5°C
		SST	21.12 mg/L	17.14 mg/L	7.93 mg/L
		Turbidez	105 NTU	17.42 NTU	2.45 NTU
		Conductividad eléctrica	1.11 ms/cm	1.74 ms/cm	1.14 ms/cm
		Oxígeno disuelto	4.14 ml/L	5.01 ml/L	4.95 ml/L

ANEXO 7

PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO A: Galería fotográfica del trabajo de investigación

Fotografía 1

Lavado del aserrín



Nota. Fue necesario el lavado de aserrín por un periodo consecutivo de 6 días, para luego ser utilizado como alimento orgánico de las lombrices

Fotografía 2

Lavado de áridos



Nota. Fue necesario el lavado de los áridos (arena, grava, piedras de río) para ser incorporados en los sistemas filtrantes

Fotografía 3

Construcción y llenado de los sistemas filtrantes



Nota. De acuerdo a la metodología del diseño se colocó todos los componentes necesarios dentro de los sistemas filtrantes

Fotografía 4

Construcción de un sistema de compostaje



Nota. Para la adaptación de las lombrices dentro de los sistemas filtrantes se necesitó construir un sistema de compostaje

Fotografía 5

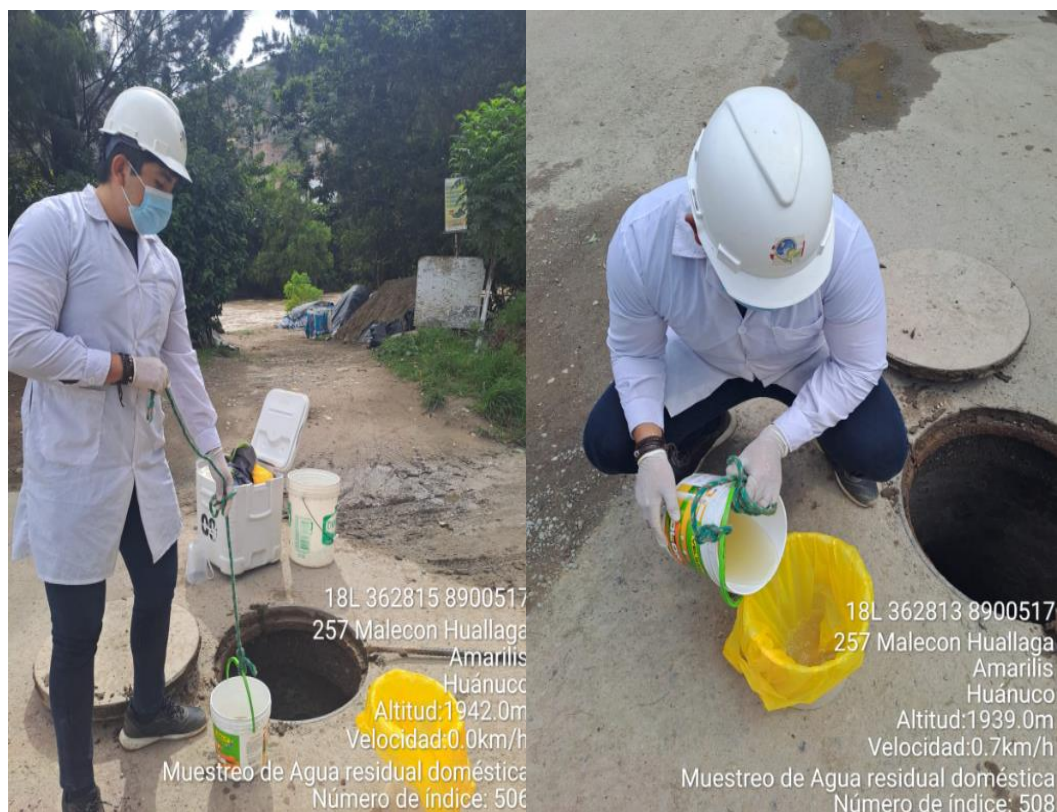
Incorporación del agua residual y aserrín al sistema compostaje



Nota. Luego para mejorar su adaptación, se prosiguió con añadir agua residual y aserrín dentro del sistema de compostaje

Fotografía 6

Recolección de agua residual doméstica



Nota. Para la recolección de agua residual doméstica ubicamos la matriz del desagüe que desemboca en el río Huallaga, en la zona 0 del distrito de Amarilis

Fotografía 7

Análisis de los parámetros de campo



Nota. Para el análisis de los parámetros secundarios (TDS, pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez) se utilizó un multiparámetro HQ2200

Fotografía 8

Toma de muestras



Nota. Se hizo la toma de muestras de los parámetros (DBO5 y Coliformes Fecales) siendo embotellados para su respectivo análisis en el laboratorio acreditado

Fotografía 9

Vertido del agua residual doméstica al tanque



Nota. Se hizo el vertimiento del agua residual doméstica al tanque con la finalidad de suministrar los sistemas filtrantes (vermifiltro y filtro)

Fotografía 10

Medición del caudal



Nota. Para obtener un caudal óptimo se necesitó calcular y desarrollar los caudales por medio de los niveles de abertura de la llave de alimentación

Fotografía 11

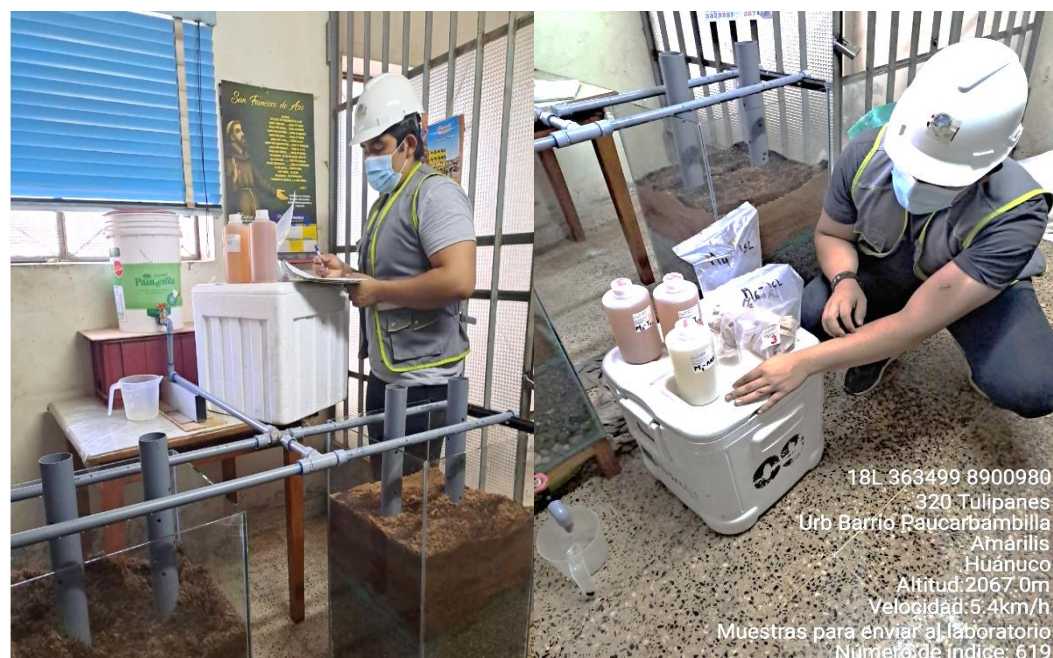
Análisis de los parámetros de campo



Nota. Se utilizó el multiparámetro HC2200 para analizar los parámetros secundarios (TDS, pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez) del efluente

Fotografía 12

Rellenado de la cadena de custodia y envío de muestras de DBO5 y CF



Nota. Se tomó las muestras de los parámetros (DBO5 y Coliformes Fecales) del efluente para luego ser embotellados y enviados para su análisis en el laboratorio acreditado

Fotografía 13

Monitoreo de los parámetros técnicos en lombrices



Nota. Se monitoreó los parámetros técnicos en lombrices (pH, temperatura y humedad) con el uso de un multiparámetro HEMDRE

Fotografía 14

Inspección del jurado Mg. Frank Cámara Llanos



Nota. En horas de la mañana el jurado hizo la inspección del proyecto ejecutado, verificando su funcionamiento y desarrollo

ANEXO B: Cadena de custodia del monitoreo del afluente (agua residual doméstica) y efluente (agua depurada de los sistemas de tratamiento)

LLENADO DE LA CADENA DE CUSTODIA EN LA SEMANA 1

Hidrolab		CADENA DE CUSTODIA										F02 P-LAB-08 Revisión: 05 Fecha: 2023-07-13 Página 1 de 1	
DATOS DEL CLIENTE										ID N°: 1007067		VERSIÓN: Hoja: 1	
CLIENTE: Revollo Panto Brandon										CONTACTO: Revollo 321@gmail.com		TELÉFONO:	
DIRECCIÓN: Jr. Los Jagüinos #323 pdo Pisco (Paucaembamba)										DISTRITO: PAMPILIS		PROVINCIA: HUÁNUCO	
DATOS DEL MUESTREO										MUESTREO HIDROLAB POR PERUS.A.C. CLIENTE ☒		N° COTIZACIÓN (1): C115/2024.1	
LUGAR DE MUESTREO: MALECÓN HUALLAGA #257										DISTRITO: PAMPILIS		PROVINCIA: HUÁNUCO	
REFERENCIA / PROYECTO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON EL SISTEMA VERIFILTRO										EQUIPOS UTILIZADOS:		DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO	
										Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcontrato (S)			
										Filtrada (Marcar con X)			
										Ácido Nítrico		HNO ₃	
										Ácido Sulfúrico		H ₂ SO ₄	
										Hidróxido de Sodio		NaOH 5N	
										Hidróxido de Sodio		NaOH 1N	
										Acetato de Zinc		(CH ₃ COO) ₂ Zn	
										Sulfato de Amonio		(NH ₄) ₂ SO ₄	
										Lugol			
ESTACIÓN DE MUESTREO: MALECÓN HUALLAGA										NÚMERO DE MUESTRA (1): M1 - AED		TIPO DE MATRIZ (2): AED	
										FECHA (aa-mm-aa): 24/02/21		HORA (24-00): 15:36	
										N° DE ENVASES: 1		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: Divanito	
										Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84): E 362918 N 8900335		Altitud (m s.n.m.): 17	
										Zona (17, 18, 19): 17			
										pH (Unidad de pH)			
										Temperatura (°C)			
										Oxígeno Disuelto (mg/L)			
										Conductividad (µS/cm)			
										Cloro Total (mg/L)			
										Cloro Residual Libre (mg/L)			
										Olor			
										Sabor			
										Caudal (L/s)			
(1) Usar exclusivamente para el Laboratorio:										N° Total de Envases:		OBSERVACIONES DE CAMPO:	
(2) AM: Agua Natural; AR: Agua Residual Industrial; ARD: Agua Residual Doméstica; ASL: Agua Salina; H: Agua; F: Fiebre; S: Sedimento; ASB: Agua Superficial; ASB: Agua de Bordo; AC: Agua para uso y Consumo Humano; AR: Agua Residual; ASB: Agua Salina; H: Agua; F: Fiebre; S: Sedimento; ASUB: Agua Subterránea; APH: Agua Potable; AM: Agua de Mar; ASB: Agua Salina; H: Agua; F: Fiebre; S: Sedimento										Responsable del Muestreo: Revollo Panto Brandon		Cliente (Supervisor): Kathy Coma Arco	
Fecha y Hora: 21/02/2024 - 16:45										Firma: [Firma]		Firma: [Firma]	
OBSERVACIONES:										Recepción de Muestras (1): Kathy Coma Arco		Firma: [Firma]	
										Fecha y Hora: 2024-02-22 13:05		Firma: [Firma]	
										Refrigerado: 5.6		Dentro del tiempo de almacenamiento: [Firma]	

Dirección: Calle Las Fabricas 216 - Lima - Lima - Celular: 991 525 169 / 991 525 417 / 905 434 788 - Web: www.hidrolab.com - mail: elizabeth.inoco@hidrolab.pe / raquel.rosales@hidrolab.pe

Hidrolab		CADENA DE CUSTODIA										FICHA LAB-08 Revisión: 05 Fecha: 2023-07-13 Página: 1 de 1																							
DATOS DEL CLIENTE												ID N°: 1003067		VERSIÓN:		Hoja: /																			
CLIENTE: Revuelto Raimon Brandon												CONTACTO:		CORREG: revuelto324@gmail.com		TELÉFONO:																			
DIRECCIÓN: Jr. Los Jaguamón #323 2do PISO (Paucahumbilla)												DISTRITO: AMARILIS		PROVINCIA: HUÁNUCO		DEPARTAMENTO: HUÁNUCO																			
DATOS DEL MUESTREO												MUESTREO HIDROLAB POR PERÚ A.C.		CLIENTE: ☒		N° COTIZACIÓN: CIB12024.1		N° FICHA DE MUESTREO (1):																	
LUGAR DE MUESTREO: MUECÓN HUALLAGA #857												DISTRITO: AMARILIS		PROVINCIA: HUÁNUCO		DEPARTAMENTO: HUÁNUCO																			
REFERENCIA / PROYECTO		EQUIPOS UTILIZADOS:		DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO				ENSAYO (S) SOLICITADO (S)				PARÁMETROS EN CAMPO																							
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA CON EL SISTEMA VERMIFILTRO				Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcontrato (S)				A																											
				Filtrado (Marcar con X)																															
				PRESERVANTE QUÍMICO (Marcar con X)																															
				Ácido Nítrico HNO ₃																															
				Ácido Sulfúrico H ₂ SO ₄																															
				Hidróxido de Sodio NaOH 5N																															
				Hidróxido de Sodio NaOH 6N																															
				Acetato de Zinc (CH ₃ COO) ₂ Zn																															
				Sulfato de Amonio (NH ₄) ₂ SO ₄																															
				Lugol																															
ESTACIÓN DE MUESTREO: MUECÓN HUALLAGA		NÚMERO DE MUESTRA: M2-ARD		TIPO DE MATRIZ: ARD		MUESTREO: FECHA: 24-02-01 HORA: 13:40		N° DE ENVASES: 1		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO: Puente		Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84): E 362818 N 8400514		Altitud (m.s.n.m.): 18		Zona (17, 18, 19): 18		pH (Unidad de pH)		Temperatura (°C)		Oxígeno Disuelto (mg/L)		Conductividad (µS/cm)		Cloro Total (mg/L)		Cloro Residual Libre (mg/L)		Olor		Sabor		Caudal (L/s)	

[illegible]

[illegible]

[illegible]

LLENADO DE LA CADENA DE CUSTODIA EN LA SEMANA 2

Hidrolab		CADENA DE CUSTODIA										F02 P-LAB-08 Revisión: 05 Fecha: 2023-07-13 Página 1 de 1																							
CLIENTE: DATOS DEL CLIENTE												ID N°: 1007064-11	VERSIÓN: 1	Hoja: 1																					
DIRECCIÓN: Revuelto Cumen Brandon Jr. Los Azules #323 2do Pisos (Paucahumbilla)												CONTACTO: revuelto323@gmail.com	CORREO: revuelto323@gmail.com	TELÉFONO: _____																					
LUGAR DE MUESTREO: DATOS DEL MUESTREO												DISTRITO: SHARILIS	PROVINCIA: HUANUCO	DEPARTAMENTO: HUANUCO																					
LUGAR DE MUESTREO: MALECON HUALLAGA #257												MUESTREO HIDROLAB POR PERU A.C. ☐ CLIENTE ☒	N° COTIZACIÓN (1): CU15/2024-1	N° FICHA DE MUESTREO (1): _____																					
LUGAR DE MUESTREO: MALECON HUALLAGA #257												DISTRITO: SHARILIS	PROVINCIA: HUANUCO	DEPARTAMENTO: HUANUCO																					
REFERENCIA / PROYECTO		EQUIPOS UTILIZADOS:		DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO		ENSAYO (8) SOLICITADO (9)				PARÁMETROS EN CAMPO																									
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON EL SISTEMA VERMIFILTRO				Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (B) / Subcontrato (S)		A																													
				Filtrada (Marcar con X)																															
				Ácido Nítrico		HNO ₃																													
				Ácido Sulfúrico		H ₂ SO ₄																													
				Hidróxido de Sodio		NaOH 5N																													
				Hidróxido de Sodio		NaOH 6N																													
				Acetato de Zinc		(CH ₃ COO) ₂ Zn																													
				Sulfato de Amonio		(NH ₄) ₂ SO ₄																													
				Lugol																															
ESTACIÓN DE MUESTREO		NÚMERO DE MUESTRA (1)		TIPO DE MATRIZ (2)		MUESTREO		N° DE ENVASES		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO		Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84)		Altitud (m.s.n.m.)		Zona (17,18,19)		pH (Unidad de pH)		Temperatura (°C)		Oxígeno Disuelto (mg/L)		Conductividad (µS/cm)		Cloro Total (mg/L)		Cloro Residual Libre (mg/L)		Olor		Sabor		Caudal (L/s)	
MALECON HUALLAGA		M3-RED 7772-1/24		ARD		24/02/24 15:25		1		Afluente		E: 0362813 N: 7900317		-		18		X																	

Dirección: Calle Las Fábricas 216 - Lima - Lima - Celular 991 525 169 / 991 525 417 / 905 434 788 - Web: www.hidrolab.com - mail: elizabeth.tinoco@hidrolab.pe / raquel.rosales@hidrolab.pe

Hidrolab		CADENA DE CUSTODIA										F02 P-LAB-05 Revisión: 05 Fecha: 2023-07-13 Página 1 de 1		
DATOS DEL CLIENTE												ID N°: 1007072	VERSIÓN: 1	
CLIENTE: Revuelto Ramon Brandon												CONTACTO: _____	CORREO: revuelto321@gmail.com	TELÉFONO: _____
DIRECCIÓN: Jr. Los Jazmines #323 edo parque (PUCCABAYILLA)												DISTRITO: PUCALLPA	PROVINCIA: HUÁNUCO	DEPARTAMENTO: HUÁNUCO
DATOS DEL MUESTREO												MUESTREO HIDROLAB POR PERUS.A.C. ☐ CLIENTE ☒	N° COTIZACIÓN (1): C115/2024-1	N° FICHA DE MUESTREO (1): _____
LUGAR DE MUESTREO: Jr. Los Jazmines #323 (PUCCABAYILLA)												DISTRITO: PUCALLPA	PROVINCIA: HUÁNUCO	DEPARTAMENTO: HUÁNUCO
REFERENCIA / PROYECTO		EQUIPOS UTILIZADOS:		DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO				ENSAYO (S) SOLICITADO (S)				PARÁMETROS EN CAMPO		
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON EL SISTEMA VERMIFILTRO				Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcontrato (S) Filtros (Marcar con X) Ácido Nítrico HNO ₃ Ácido Sulfúrico H ₂ SO ₄ Hidróxido de Sodio NaOH 5N Hidróxido de Sodio NaOH 6N Acetato de Zinc (CH ₃ COO) ₂ Zn Sulfato de Amonio (NH ₄) ₂ SO ₄ Lugol				pH (Unidad de pH) Temperatura (°C) Oxígeno Disuelto (mg/L) Conductividad (µS/cm) Cloro Total (mg/L) Cloro Residual Libre (mg/L) Olor Sabor Caudal (L/s)						
ESTACIÓN DE MUESTREO	NÚMERO DE MUESTRA (1)	TIPO DE MATRIZ (2)	MUESTREO		N° DE ENVASES	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO		Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84)		Altitud (m s.n.m.)		Zona (17, 18, 19)		
SOLIDA DEL VERMIFILTRO	M10-TCL	ARD	FECHA (aa-mm-dd)	HORA (24:00)	1	Epilente		E 083440 N 7900362		4		18		
77805-1/2024														
(1) Uso exclusivo para el Laboratorio N° Total de Envases: _____														
OBSERVACIONES DE CAMPO:														
(2) AM- Agua Natural ARD- Agua Residual Industrial ARD- Agua Residual Doméstica APRO- Agua de Proceso ASL- Agua Salina H-Aro P-Filtros S- Sedimento AS- Agua Superficial AB- Agua de Baites AC- Agua para uso y Consumo Humano AR- Agua Residual ASA- Agua Salobre B- Ruido E- Emisiones S- Suelo ASUB- Agua Subterránea AP- Agua Potable APH- Agua de Piscina AM- Agua de Mar L- Lodos O- Otros														
Responsable del Muestreo						Cliente (Supervisor)								
Nombre y Apellido: Brandon Revuelto Ramon						Nombre y Apellido: Kathy Cano Arco								
Fecha y Hora: 03/02/2024 18:31						Fecha y Hora: 03/02/2024 18:00								
Firma: [Firma]						Firma: [Firma]								
OBSERVACIONES:						Recepción de Muestras (1) Fecha y Hora: 03/02/2024 18:00 Observación: [Firma] Refrigerado: 5.4 Dentro del tiempo de almacenamiento: Si								

LLENADO DE LA CADENA DE CUSTODIA EN LA SEMANA 3

[illegible]

HidroLab		CADENA DE CUSTODIA										FIZ P-LAB-08 Revisión: 05 Fecha: 2023-07-13 Página 1 de 1			
DATOS DEL CLIENTE												ID N°: 1003043	VERSIÓN:	Hoja: 1	
CLIENTE: Revuelto Caman Brandon												CONTACTO:	CORREO:	TELÉFONO:	
DIRECCIÓN: Jr. Los Jaguines #323 2do parque (Paucaerbambilla)												DISTRITO: AMARILIS	PROVINCIA: HUÁNUCO	DEPARTAMENTO: HUÁNUCO	
DATOS DEL MUESTREO												MUESTREO HIDROLAB POR PERUS A.C. ☐ CLIENTE ☒	N° COTIZACIÓN (1): C11512024-1	N° FICHA DE MUESTREO (1):	
LUGAR DE MUESTREO: JR. LOS JAGUINES #323 (PAUCAERBAMBILLA)												DISTRITO: AMARILIS	PROVINCIA: HUÁNUCO	DEPARTAMENTO: HUÁNUCO	
REFERENCIA / PROYECTO		EQUIPOS UTILIZADOS:		DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO				ENSAYO (S) SOLICITADO (S)				PARÁMETROS EN CAMPO			
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON EL SISTEMA VERMIFILTRO				Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcontrato (S) Filtrada (Marcar con X) Ácido Nítrico HNO ₃ Ácido Sulfúrico H ₂ SO ₄ Hidróxido de Sodio NaOH 5N Hidróxido de Sodio NaOH 6N Acetato de Zinc (CH ₃ COO) ₂ Zn Sulfato de Amonio (NH ₄) ₂ SO ₄ Lugol				A							
ESTACIÓN DE MUESTREO		NÚMERO DE MUESTRA (1)		TIPO DE MATRIZ (2)		MUESTREO		N° DE ENVASES		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO		Altitud (m s.n.m.)			
FECHA (aa-mm-dd)		HORA (24:00)								Coordenadas Geográficas (UTM - WGS84)		Zona (17,18,19)			
SALIDA DEL VERMIFILTRO		45666-1/24		ACD		24/02/15 15:46		1		Fuente		E: 0363442 N: 8400364			
												pH (Unidad de pH)			
												Temperatura (°C)			
												Oxígeno Disuelto (mg/L)			
												Conductividad (mg/L)			
												Cloro Total (mg/L)			
												Cloro Residual Libre (mg/L)			
												Olor			
												Sabor			
												Caudal ()			
(1) Uso exclusivo para el Laboratorio												OBSERVACIONES DE CAMPO:			
AN= Agua Natural AR= Agua Residual Industrial ARD= Agua Residual Doméstica APRO= Agua de Proceso ASL= Agua Salina H= Aire F= Filtro S= Sedimento AS= Agua Superficial ASB= Agua de Servicio AC= Agua para uso y Consumo Humano AR= Agua Residual ASA= Agua Subterránea R= Ruido E= Emisiones S= Suelo ASUB= Agua Subterránea AP= Agua Potable APH= Agua de Placenta AM= Agua de Mar L= Lodos Q= Otros															
Responsable del Muestreo												Cliente (Supervisor)		Recepción de Muestras (1)	
Nombre y Apellido: Brandon Revuelto Caman												Nombre y Apellido:		Ratificación por: Ratty Cano Arco	
Firma: [Firma]												Firma:		Firma: [Firma]	
Fecha y Hora: 15/02/2024 15:46												Fecha y Hora:		Fecha y Hora: 2024-02-16 8:00	
OBSERVACIONES:												Correctamente Preservado: [X]		Volumen y Regla de almacenamiento: [X]	
												Refrigerado: 5.6		Dentro del tiempo de almacenamiento: 5.1	
Dirección: Calle Las Fabricas 216 - Lima - Lima - Celular: 991 525 169 / 991 525 417 / 905 434 788 - Web: www.hidrolab.com - mail: elizabet.tinoco@hidrolab.pe / raquel.rosales@hidrolab.pe															

[illegible]

LLENADO DE LA CADENA DE CUSTODIA EN LA SEMANA 4

[illegible]

Hidrolab		CADENA DE CUSTODIA				F33 P LAB-08 Revisión: 05 Fecha: 2023-07-13 Página 1 de 1	
DATOS DEL CLIENTE CLIENTE: <u>Revolledo Pumar Brandon</u> DIRECCIÓN: <u>Jr. Los Jugmimos #323 2do Pasaje (PAUCERDAMBILLA)</u>				ID N°: <u>1007076</u> CONTACTO: _____ CORREO: <u>revolledo321@gmail.com</u> TELÉFONO: _____		VERSIÓN: _____ Hoja: 1	
DATOS DEL MUESTREO LUGAR DE MUESTREO: <u>MALECÓN HUALLAGA #257</u>				MUESTREO HIDROLAB POR PERÚ A.C. ☐ CLIENTE ☒		N° COTIZACIÓN (1): <u>C115/2024-1</u> N° FORMA DE MUESTREO (1): _____	
DISTRITO: <u>AMARILIS</u> PROVINCIA: <u>HUANUCO</u> DEPARTAMENTO: <u>HUANUCO</u>				DISTRITO: <u>AMARILIS</u> PROVINCIA: <u>HUANUCO</u> DEPARTAMENTO: <u>HUANUCO</u>			
REFERENCIA / PROYECTO <u>TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA CON EL SISTEMA VERMIFILTRO</u>		EQUIPOS UTILIZADOS:		DESCRIPCIÓN DEL MUESTREO Dentro de alcance de la Acreditación (A) / Fuera del Alcance de la Acreditación (N) / Subcontrato (S) <u>N</u>		ENSAYO (S) SOLICITADO (S)	
ESTACIÓN DE MUESTREO <u>MALECÓN HUALLAGA</u>		NUMERO DE MUESTRA <u>MK-ARD</u>		TIPO DE MATRIZ <u>ARD</u>		PARAMETROS EN CAMPO	
FECHA (aa-mm-aa) <u>24-02-23</u>		HORA (HH:MM) <u>15:49</u>		N° DE ENVASES <u>1</u>		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO <u>Aplante</u>	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM - WGS84) <u>E: 0362812</u> <u>N: 3900324</u>		ALTUD (m a n.m.) <u>18</u>		ZONA <u>18</u>		PH (Unidad de pH) Temperatura (°C) Oxígeno Disuelto (mg/L) Conductividad (µS/cm) Cloro Total (mg/L) Cloro Residual Libre (mg/L) Olor Sabor Caudal (L/s)	
ESTACIÓN DE MUESTREO <u>MALECÓN HUALLAGA</u>		NUMERO DE MUESTRA <u>MK-ARD</u>		TIPO DE MATRIZ <u>ARD</u>		PARAMETROS EN CAMPO	
FECHA (aa-mm-aa) <u>24-02-23</u>		HORA (HH:MM) <u>15:49</u>		N° DE ENVASES <u>1</u>		DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO <u>Aplante</u>	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM - WGS84) <u>E: 0362812</u> <u>N: 3900324</u>		ALTUD (m a n.m.) <u>18</u>		ZONA <u>18</u>		PH (Unidad de pH) Temperatura (°C) Oxígeno Disuelto (mg/L) Conductividad (µS/cm) Cloro Total (mg/L) Cloro Residual Libre (mg/L) Olor Sabor Caudal (L/s)	
Observaciones de Campo:				Observaciones de Laboratorio:			
Responsable del Muestreo Nombre y Apellido: <u>Brandon Revolledo Pumar</u> Firma: _____ Fecha y Hora: <u>2024-02-23 15:49</u>				Cliente (Supervisor) Nombre y Apellido: _____ Firma: _____ Fecha y Hora: _____			
Observaciones:				Observaciones:			

Dirección: Calle Las Fábricas 216 - Lima - Lima. - Celular: 991 525 169 / 991 525 417 / 905 434 788 - Web: www.hidrolab.com - mail: elizabeth.inocencio@hidrolab.pe / raquel.mosales@hidrolab.pe

ANEXO C: Resultados de la toma de muestras (DBO5 y Coliformes Fecales)

RESULTADOS DE ANÁLISIS RESPECTO A LA SEMANA 1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 71070/2024.1

Este informe de análisis cancela y sustituye el informe 71070/2024.0



Registro N°LE - 077

Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 01-03-2024 08:44

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revollo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 71070-1/2024.1 - Id: 1065628 - ANALISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 01-02-2024 15:36	Fecha de Recepción: 02-02-2024 14:11
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: MALECÓN HUALLAGA - M1-ARD -M2-ARD / Afluente
Dirección de muestreo: Malecón Huallaga Nro. 257	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 362918 ; N: 8900575	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua residual doméstica con el sistema vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	398 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	02-02-2024 15:02
Determinación de Coliformes fecales	9,2E+7 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	02-02-2024 14:50

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Limites Maximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Limite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 71120/2024.1
Este informe de análisis cancela y sustituye el informe 71120/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 01-03-2024 08:48

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 71120-1/2024.1 - Id: 1065700 - ANALISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 01-02-2024 18:20	Fecha de Recepción: 02-02-2024 14:27
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: SALIDA DEL VERMIFILTRO - M5-TCL - M6-TCL / Efluente
Dirección de muestreo: Jr. Los Jazmines Nro. 232 segundo Parque (Paucarbambilla)	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 363452 ; N: 8900950	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua doméstica con el sistema vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	91,8 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	02-02-2024 15:02
Determinación de Coliformes fecales	3,5E+5 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	02-02-2024 15:17

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 71106/2024.1

Este informe de análisis cancela y sustituye el informe 71106/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 01-03-2024 08:49

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 71106-1/2024.1 - Id: 1065699 - ANALISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 01-02-2024 18:10	Fecha de Recepción: 02-02-2024 14:20
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: SALIDA DEL FILTRO - M3-TSL - M4-TSL / Efluente
Dirección de muestreo: Jr. los Jazmines Nro. 323 - Paucarbambilla	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 363425 ; N: 8900912	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua residual no doméstico con el sistema vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	98,9 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	02-02-2024 15:02
Determinación de Coliformes fecales	5,4E+5 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	02-02-2024 15:05

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C. declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

RESULTADOS DE ANÁLISIS RESPECTO A LA SEMANA 2



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 77172/2024.1

Este informe de análisis cancela y sustituye el informe 77172/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 01-03-2024 08:50

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 77172-1/2024.1 - Id: 1065701 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 07-02-2024 15:25	Fecha de Recepción: 08-02-2024 09:31
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: MALECÓN HUALLAGA - Afluente
Dirección de muestreo: Malecón Huallaga Nro. 257	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 0362813 ; N: 8900517	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua residual doméstica con el sistema vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	394 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	08-02-2024 10:31
Determinación de Coliformes fecales	2,2E+7 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	08-02-2024 10:14

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.

LD: Límite de Detección.

SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.

*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 77205/2024.2
Este informe de análisis cancela y sustituye el informe 77205/2024.1



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 01-03-2024 08:50

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 77205-1/2024.2 - Id: 1065702 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 07-02-2024 18:17	Fecha de Recepción: 08-02-2024 09:38
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: SALIDA DEL VERMIFILTRO M9-TC - Efluente
Dirección de muestreo: Jr. Los Jazmines Nro. 323 (Paucarbambilla)	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 0363440 ; N: 8900862	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua residual doméstica con el sistema vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	56,6 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	08-02-2024 10:31
Determinación de Coliformes fecales	3,5E+4 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	08-02-2024 10:30

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

RESULTADOS DE ANÁLISIS RESPECTO A LA SEMANA 3



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 95673/2024.1

Este informe de análisis cancela y sustituye el informe 95673/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 01-03-2024 08:51

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 95673-1/2024.1 - Id: 1065710 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 15-02-2024 15:21	Fecha de Recepción: 16-02-2024 08:11
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: Malecón Huallaga - M11-ARD/M12-ARD
Dirección de muestreo: Malecón Huallaga Nro. 257	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 0362819 ; N: 8900522	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua Residual Doméstica con el Sistema Vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	483 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	16-02-2024 09:10
Determinación de Coliformes fecales	5,4E+7 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	16-02-2024 08:25

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077
Informe de Análisis 95666/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 28-02-2024 14:18

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 95666-1/2024.0 - Id: 1007073 - Agua residual - LIM	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 15-02-2024 15:46	Fecha de Recepción: 16-02-2024 08:01
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: SALIDA DEL VERMIFILTRO-M13-TCL/M14-TCL
Dirección de muestreo: Jr. Los Jazmines Nro. 323 (Paucaarbambilla)	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 0363442 ; N: 8900864	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: Tratamiento de agua residual doméstica con Sistema Vermifiltro

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	42,4 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	16-02-2024 11:10
Determinación de Coliformes fecales	1,4E+3 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	16-02-2024 10:10

Especificaciones
DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. SM: <i>Standard Methods</i> for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023. *: Parametro Subcontratado Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612

RESULTADOS DE ANÁLISIS RESPECTO A LA SEMANA 4



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077

Informe de Análisis 110253/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-03-2024 11:47

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 110253-1/2024.0 - Id: 1007076 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 23-02-2024 15:37	Fecha de Recepción: 24-02-2024 09:51
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: MALECON HUALLAGA
Dirección de muestreo: Malecón Huallaga Nro. 257	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 036819 ; N: 8900523	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	642 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	24-02-2024 11:02
Determinación de Coliformes fecales	3,5E+7 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	24-02-2024 10:05

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077
Informe de Análisis 110259/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-03-2024 11:47

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 110259-1/2024.0 - Id: 1007077 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 23-02-2024 16:21	Fecha de Recepción: 24-02-2024 10:03
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: SALIDA DEL VERMIFILTRO
Dirección de muestreo: Jr. Los Jazmines Nro. 323 (Pauca bambilla)	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 0363442 ; N: 8900870	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	39,6 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	24-02-2024 11:02
Determinación de Coliformes fecales	5,4E+3 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	24-02-2024 10:15

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-
DA CON REGISTRO N° LE-077
Informe de Análisis 110263/2024.0



Cotización: C115/2024.1

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-03-2024 11:47

Identificación del Cliente	
Cliente: BRANDON REVOLLEDO RAMOS	
Dirección: Universidad de Huanuco - Huánuco - Huánuco - Peru	
Contacto: Brandon Revolledo Ramos	Teléfono: 999373115

N° Muestra: 110263-1/2024.0 - Id: 1007078 - ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL	
Matriz: Agua residual	
Término de muestreo: 23-02-2024 16:55	Fecha de Recepción: 24-02-2024 10:06
Departamento: Huánuco	Provincia: Huánuco
Distrito: Amarilis	Punto de muestreo: SALIDA DEL FILTRO
Dirección de muestreo: Jr. Los Jazmines Nro. 323 (Paucarbambilla)	Tipo de muestreo: Puntual
Coordenadas: E: 0363473 ; N: 8900881	Muestreado por: El Cliente
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	DS N°003-2010-MINAM	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	110,4 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	SM 5210 B	24-02-2024 11:02
Determinación de Coliformes fecales	9,2E+4 NMP/100 mL	10000 NMP/100 mL	1,8 NMP/100 mL	SM 9221 E.1	24-02-2024 10:24

Especificaciones

DS N°003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.
*: Parametro Subcontratado

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
Laboratorio Hidrolab S.A.C declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Hidrolab es un laboratorio de ensayo acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N°LE-077 ; de acuerdo a NTP-ISO 17025:2017

Raquel Rosales Torres
Jefe de Laboratorio
CIP N° 209612