

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



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

TESIS

**“Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental
con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual
preparada con alta carga orgánica”**

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

AUTOR: Sama Valerio, Luis Aron

ASESOR: Cajahuanca Torres, Raul

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



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

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): 74453244

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22511841

Grado/Título: Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-5671-1907

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0002-5319-4708
2	Bonifacio Munguia, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002-3013-8532
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 18:00 horas del día 19 del mes de noviembre del año 2025, 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. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Secretario)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2351-2025-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica"**, presentado por el (la) Bach. **SAMA VALERIO, LUIS ARON**, 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 19:10 horas del día 19 del mes de noviembre del año 2025, 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. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Secretario

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



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: LUIS ARON SAMA VALERIO, de la investigación titulada "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN FILTRO PERCOLADOR EXPERIMENTAL CON CAUCHO FRAGMENTADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PREPARADA CON ALTA CARGA ORGÁNICA", con asesor(a) RAUL CAJAHUANCA TORRES, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0955-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 20 % 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, 15 de octubre de 2025



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



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

69. Sama Valerio, Luis Aron.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	21%	9%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	3%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.upeu.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.continental.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.udh.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	dspace.udla.edu.ec	1%
	Fuente de Internet	



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



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios, por poner en mi camino a las personas correctas en el momento preciso, por bendecirme con salud, por cuidar de mi familia y por guiarme en cada paso de esta investigación.

A mis padres, Félix Sama Jara y Nancy Valerio Jara, por enseñarme el valor del esfuerzo y la honestidad, por confiar siempre en mí y apoyarme en cada paso que he dado en la vida.

A mis hermanos y hermanas: Anggie, Cristhian, Lolo, Meryhen y Yaely, por brindarme su respaldo incondicional y su confianza, motivándome a seguir adelante.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos, su paciencia y su guía, contribuyendo a que pueda culminar una etapa más en mi carrera profesional.

A mi gran amiga y confidente, Steysi Dionicio Guerra, con quien inicié esta investigación y con quien voy a finalizarlo. Gracias por llegar a mi vida y convertirme en alguien tan importante. No sé qué nos prepare el futuro, pero sé que, donde quiera que estemos, podrás contar conmigo.

Porque la lealtad es un camino de doble sentido: si yo te la pido a ti, la obtendrás de mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por otorgarme las cualidades, habilidades y fortaleza necesarias para alcanzar cada una de las metas que me propongo, iluminando mi camino y dándome la determinación para seguir adelante.

A la Universidad Privada de Huánuco, por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente desde el inicio de mi formación en la carrera de Ingeniería Ambiental y por enseñarme a enfrentar los retos que la vida presenta con compromiso y responsabilidad.

A mi asesor de tesis Raul Cajahuanca Torres, por confiar en mi investigación desde el primer momento en que se lo presenté, y por acompañarme con orientación y apoyo constante hasta la culminación de cada uno de los procesos que se hizo para esta investigación.

A la ONG Islas de Paz Perú, por la valiosa experiencia adquirida durante el tiempo que realicé mis prácticas. Especialmente, a los señores Enor Vásquez y Pool del Águila, quienes me guiaron con paciencia y dedicación, transmitiéndome conocimientos sobre los diferentes tipos de filtros y el gran potencial que estos tienen para mejorar la calidad del agua y la vida de las personas.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	16
1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	16
1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	16
1.4.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	17
1.5. LIMITACIONES	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	22

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	26
2.2. BASES TEÓRICAS	27
2.2.1. BIOFILTROS.....	27
2.2.2. TIPOS DE FILTRO.....	28
2.2.3. FILTRO PERCOLADOR	30
2.2.4. PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICOS Y QUÍMICOS.....	33
2.2.5. PARÁMETROS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICOS	36
2.2.6. ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AGUA	37
2.2.7. ORGANOLÉPTICAS.....	38
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	39
2.3.1. BIOFILTRO	39
2.3.2. AGUAS RESIDUALES.....	39
2.3.3. FITORREMEDIACIÓN	39
2.3.4. FILTRO PERCOLADOR	40
2.3.5. REMOCIÓN	40
2.3.6. SEDIMENTACIÓN	40
2.3.7. FILTRACIÓN DE GRAVA	41
2.3.8. SITIO CONTAMINADO.....	41
2.3.9. CARGA MICROBIOLÓGICA.....	41
2.4. HIPÓTESIS	42
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	42
2.5. VARIABLES	42
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	42
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE	42
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	43
CAPÍTULO III.....	44
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
3.1.1. ENFOQUE	44
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	44
3.1.3. DISEÑO	45
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46
3.2.1. POBLACIÓN	46
3.2.2. MUESTRA	46

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	47
3.3.1. PROTOCOLO PARA EL MUESTREO DE AGUA.....	47
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	51
CAPÍTULO IV	52
RESULTADOS	52
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	52
4.2. CONSTRATACIÓN DE HIPÓTESIS	59
CAPITULO V	60
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	60
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos.....	37
Tabla 2 Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organolépticas.....	38
Tabla 3 Operacionalización de variables	43
Tabla 4 Matriz experimental.....	45
Tabla 5 Ubicación Geográfica de la Población	46
Tabla 6 Indicadores e Instrumentos de Calidad de Agua.....	47
Tabla 7 Sólidos suspendidos totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador.....	52
Tabla 8 Concentración y porcentaje de Incremento de Oxígeno disuelto en muestras de agua cruda y filtrada.....	53
Tabla 9 Concentración y porcentaje de remoción de DBO en muestras de agua cruda y filtrada	55
Tabla 10 Concentración y porcentaje de remoción de Aceites y grasas en muestras de agua cruda y filtrada.....	56
Tabla 11 Variación porcentual de pH en muestras de agua cruda y filtrada	57
Tabla 12 Coliformes totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de un filtro percolador	31
Figura 2 Diagrama de flujo de funcionamiento de filtro percolador + decantación secundaria	32
Figura 3 Sólidos Suspendidos totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador.....	53
Figura 4 Concentración y porcentaje de Incremento de Oxígeno disuelto en muestras de agua cruda y filtrada.....	54
Figura 5 Concentración y porcentaje de remoción de DBO en muestras de agua cruda y filtrada	55
Figura 6 Concentración y porcentaje de remoción de Aceites y grasas en muestras de agua cruda y filtrada.....	57
Figura 7 Variación porcentual de pH en muestras de agua cruda y filtrada .	58
Figura 8 Coliformes totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador.....	59

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Grava clasificado y granulado por medidas.	78
Fotografía 2 Componentes hidráulicos, accesorios y Caucho Fragmentado	78
Fotografía 3 Instalación de los materiales en filtro percolador experimental	79
Fotografía 4 Tubería de conducción vertical y filtro percolador experimental	79
Fotografía 5 Sistema de almacenamiento y preparación del agua residual...	80
Fotografía 6 Operación y monitoreo del filtro percolador experimental.....	80
Fotografía 7 Recolección y llenado del agua residual preparada en el tanque principal.	81
Fotografía 8 Recolección de muestras de agua residual para análisis de laboratorio agua filtrada y agua cruda.....	81
Fotografía 9 Rotulación y embalaje de muestras de análisis de laboratorio proceso de rotulación. de envases y empaque de las muestras.....	82
Fotografía 10 Supervisión técnica por miembro del jurado	82

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica en el distrito de Amarilis, Huánuco. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y diseño experimental de un factor, considerando como variable independiente el tratamiento con filtro percolador y como variable dependiente la calidad del agua residual. La población correspondió a las aguas residuales generadas en la comunidad de Amarilis y la muestra estuvo conformada por 22 litros de agua recolectados en diferentes etapas del tratamiento, bajo protocolos establecidos en el R.M. N.º 085-2021-MINAM. Se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos mediante técnicas estandarizadas y el procesamiento estadístico,

Los resultados demostraron que el filtro percolador con caucho fragmentado logró mejoras significativas en la calidad del agua. Se evidenció un incremento del oxígeno disuelto y reducciones en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aceites y grasas, así como variaciones favorables en pH. Asimismo, se observó una disminución considerable en la carga microbiológica, reduciendo los coliformes totales a niveles inferiores a los límites máximos permisibles establecidos por la normativa. En conclusión, el filtro percolador experimental con caucho fragmentado constituye una alternativa eficiente, sostenible y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica. Su implementación puede contribuir a mitigar los impactos ambientales en la región de Huánuco y servir como base para futuras aplicaciones a mayor escala en comunidades con limitaciones de infraestructura de saneamiento.

Palabras clave: Filtro percolador, caucho fragmentado, aguas residuales, biorremediación y calidad de agua

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the efficiency of an experimental trickling filter with fragmented rubber for the treatment of wastewater prepared with high organic load in the district of Amarilis, Huánuco. The research was applied, with a quantitative approach, at an applicative level and an experimental one-factor design, considering as the independent variable the treatment with the trickling filter and as the dependent variable the quality of the wastewater. The population corresponded to the wastewater generated in the community of Amarilis, and the sample consisted of 22 liters of water collected at different stages of the treatment, under protocols established in R.M. N.º 085-2021-MINAM. Physical, chemical, and microbiological parameters were analyzed using standardized techniques, and statistical processing was carried out.

The results showed that the trickling filter with fragmented rubber achieved significant improvements in water quality. An increase in dissolved oxygen and reductions in biochemical oxygen demand (BOD), oils and fats, as well as favorable variations in pH, were evidenced. Likewise, a considerable decrease in the microbiological load was observed, reducing total coliforms to levels below the maximum permissible limits established by regulations.

In conclusion, the experimental trickling filter with fragmented rubber represents an efficient, sustainable, and low-cost alternative for the treatment of wastewater with high organic load. Its implementation can contribute to mitigating environmental impacts in the Huánuco region and serve as a basis for future large-scale applications in communities with limited sanitation infrastructure.

Keywords: Trickling filter, fragmented rubber, wastewater, bioremediation, and water quality.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida y el desarrollo de las sociedades, sin embargo, su disponibilidad en condiciones óptimas de calidad se encuentra cada vez más amenazada por la contaminación generada por las actividades humanas. Las aguas residuales, al no recibir un tratamiento adecuado, constituyen una de las principales fuentes de deterioro ambiental, afectando tanto a la salud pública como a los ecosistemas acuáticos. En el Perú, esta problemática se intensifica debido a la falta de infraestructura eficiente para el tratamiento de efluentes, donde los vertimientos desembocan en los ríos y quebradas.

En la región de Huánuco, y específicamente en el distrito de Amarilis, la carencia de sistemas de saneamiento eficientes ha provocado que grandes volúmenes de aguas residuales sean descargados sin tratamiento previo, incrementando la carga orgánica en los cuerpos receptores y elevando el riesgo sanitario de la población. Frente a esta realidad, surge la necesidad de implementar tecnologías alternativas, sostenibles y de bajo costo, que permitan mejorar la calidad del agua y a su vez, sean replicables en comunidades con limitaciones económicas y técnicas. En este estudio, se propone la utilización de caucho fragmentado como material de soporte, considerando sus propiedades físicas y disponibilidad como residuo reutilizable, donde este enfoque no solo contribuye al tratamiento de aguas residuales, sino que también promueve la valorización de residuos sólidos.

Por ello, la presente investigación tuvo como finalidad evaluar la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado en la remoción de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos presentes en aguas residuales con alta carga orgánica, con el propósito de aportar una alternativa práctica y sostenible al problema del saneamiento en la región de Huánuco.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso vital para la vida y el desarrollo humano, siendo esencial en funciones biológicas y actividades cotidianas. Aunque la disponibilidad de agua potable es limitada, ya que del total del agua que cubre el 70 % de la Tierra, solo el 2,5 % corresponde a agua dulce accesible y de esta fracción, únicamente una tercera parte es accesible, proveniente de fuentes como ríos, lagos y pozos. Está limitada disponibilidad subraya la importancia de gestionar adecuadamente los recursos hídricos

A nivel global, el acceso al agua potable y a sistemas de saneamiento adecuados sigue siendo un desafío. La falta de tratamiento eficiente de las aguas residuales conduce a la contaminación de cuerpos de agua, afectando la salud pública y los ecosistemas. En respuesta, la biorremediación ha emergido como una solución sostenible, utilizando filtros para eliminar contaminantes y restaurar la calidad del agua.

En el Perú, el tratamiento de aguas residuales urbanas representa un reto constante, especialmente en zonas de rápido crecimiento urbano. La contaminación de ríos y quebradas por vertimientos de aguas residuales es una problemática recurrente que impacta negativamente en las comunidades dependientes de estos recursos para la agricultura y otras actividades. Además, los elevados costos de implementación de infraestructuras de tratamiento en pequeñas ciudades o áreas rurales constituyen una barrera significativa, lo que señala la necesidad imperante de buscar alternativas como la biorremediación.

En la región de Huánuco, esta problemática se agrava debido al crecimiento urbano descontrolado y la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales. Esta situación expone a la comunidad a efectos adversos sobre la salud y la sostenibilidad de los ecosistemas locales.

Específicamente, en el distrito de Amarilis, los sistemas diseñados para la remoción de contaminantes de efluentes son limitados. Como resultado, se producen vertimientos directos de aguas residuales en quebradas y riachuelos cercanos. Según informes de la Dirección Regional de Salud (DIRESA) de Huánuco, el agua distribuida en el sector San Luis de Amarilis no cumple con los parámetros microbiológicos establecidos, detectándose la presencia de nematodos y organismos de vida libre, lo que la hace que no satisface los criterios de calidad del agua para consumo humano.

Además, se ha reportado que más de 490 litros por segundo de aguas residuales de los distritos de Huánuco, Amarilis y Pillco Marca son vertidos al río Huallaga sin ningún tratamiento. Este hecho evidencia la urgente necesidad de implementar soluciones efectivas orientado a la remoción de contaminantes en aguas residuales en la región.

Mientras se concreta la implementación de la PTAR, es crucial explorar y aplicar tecnologías de bajo costo y amigables con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Una alternativa innovadora es el uso de filtros percoladores, reconocidos por su alta capacidad de absorción de microorganismos y sólidos pequeños, lo que los hace efectivos durante la disminución de compuestos orgánicos detectables en los cuerpos de agua que reciben descargas residuales

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cómo varían los parámetros físicos del agua residual preparada con alta carga orgánica antes y después del tratamiento de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado?

¿Cómo varían los parámetros químicos del agua residual preparada con alta carga orgánica antes y después del tratamiento de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado?

¿Cómo varían los parámetros microbiológicos del agua residual preparada con alta carga orgánica antes y después del tratamiento de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar los parámetros físicos antes y después de la intervención de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.

Evaluar los parámetros químicos antes y después de la intervención de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.

Evaluar los parámetros microbiológicos antes y después de la intervención de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La condición crítica que afecta el contexto estudiado de la contaminación del agua por vertimientos no tratados es un desafío crítico que afecta tanto la salud pública como la sostenibilidad ambiental. Ante la falta de tecnologías accesibles y efectivas en muchas regiones, este estudio propone una solución innovadora y de bajo costo que utiliza los principios de la biorremediación para

tratar el agua de manera sostenible. La investigación no solo busca aportar al conocimiento teórico en el ámbito de la biorremediación, sino también ofrecer una herramienta práctica y replicable que beneficie a las comunidades locales, mejorando su calidad de vida y fomentando el cuidado del ambiente.

Este enfoque no solo mitiga problemas sanitarios, sino que también aborda la falta de infraestructura adecuada, contribuyendo al bienestar y desarrollo sostenible de las familias que viven en las zonas rurales.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El filtro percolador es una solución práctica que puede implementarse fácilmente en comunidades como urbanas y centros poblados, donde el acceso a tecnologías para tratar aguas residuales es limitado. Este sistema requiere bajo mantenimiento, aprovecha recursos locales y su diseño modular permite adaptarse a diferentes escalas. Su implementación junto con la mejora de calidad del agua, promoverá igualmente que es posible mitigar problemas ambientales mediante tecnologías accesibles y ecológicas.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Esta investigación contribuye al campo de la biorremediación y al desarrollo de nuevas aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales. Se enriquece el conocimiento científico sobre el uso de filtro percoladores en la fitoacumulación de contaminantes, especialmente en sistemas de flujo vertical, un área poco explorada. Los resultados obtenidos permitirán validar modelos teóricos y generar datos útiles para futuras investigaciones, promoviendo el desarrollo de tecnologías sostenibles basadas en principios ecológicos y biológicos.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Esta investigación busca contribuir al desarrollo integral y bienestar social de las comunidades urbanas y centros poblados, donde no hay infraestructura destinada al tratamiento de aguas residuales

garantizando un acceso más seguro al agua tratada y reducir los riesgos asociados a la contaminación hídrica. La implementación de este sistema fomenta la participación activa de la población en la gestión del agua y crea conciencia sobre la importancia del saneamiento y el cuidado ambiental.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Esta investigación aborda directamente la presión ambiental causada por vertidos en cuerpos de agua deriva de la introducción de aguas residuales urbanas en cuerpos de agua sin someterlas a un tratamiento adecuado. Los filtros percoladores utilizados en el sistema no solo remueven contaminantes sólidos si no también nutrientes en exceso, sino que también ayudan a prevenir la eutrofización y restaurar los ecosistemas acuáticos. Además, este sistema promueve la incorporación de aguas residuales tratadas en procesos que no requieren agua potable y pueden ser usadas para riego, reduciendo la presión con el objetivo de preservar los recursos hídricos y promover enfoques sostenibles de manejo.

1.5. LIMITACIONES

Entre las condiciones que limitan los resultados de este estudio, cabe mencionar que se evaluarán seis parámetros, lo que podría restringir la amplitud de los resultados obtenidos. Esta decisión responde a la falta de recursos económicos necesarios para incluir un análisis más amplio.

Otra limitación importante es que la ejecución del filtro se limita al desarrollo de un prototipo a escala de laboratorio. Esto restringe la posibilidad de evaluar su rendimiento en condiciones reales a gran escala, lo que podría diferir de los resultados obtenidos en un entorno controlado.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación llevado a cabo dispone con un área para la elaboración del filtro percolador para biorremediar las aguas residuales, ya

que el proceso de instalación, monitoreo y mantenimiento puede ser realizado con facilidad.

La aplicación a nivel piloto o en campo podría proporcionar información valiosa sobre la viabilidad del sistema en diversas condiciones ambientales y operativas, pero debido a las restricciones de espacio, recursos y tiempo, solo se podrá realizar una evaluación en condiciones experimentales controladas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Quintanilla Bohórquez, 2020) en su tesis titulado: “*Estudio experimental de un Filtro Percolador en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)*”. de la Universidad de Zaragoza. Tiene como *objetivo* estudiar los parámetros de operación de los filtros percoladores a escala real para optimizar futuros diseños y la operación de los existentes. Usando como *metodología* emplear en la investigación la toma de muestras en distintos puntos del proceso de tratamiento para evaluar la eficiencia del filtro percolador en la eliminación de materia orgánica y otros contaminantes. Se realizaron mediciones de parámetros clave, como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Carga Orgánica Volumétrica (COV), con el fin de determinar el rendimiento del filtro bajo diferentes condiciones operativas. Además, se llevó a cabo un estudio hidráulico para analizar el comportamiento del filtro percolador, lo que permitió identificar posibles mejoras en su diseño y funcionamiento. Teniendo como los *resultados* indicaron que la eficiencia en la eliminación de DQO variaba a lo largo del año, alcanzando un máximo del 62,1%. Asimismo, se observó que el tiempo de vaciado completo del filtro era considerablemente mayor que el tiempo de llenado, lo que evidenció la necesidad de optimizar su operación. *Concluyendo* que el filtro percolador actúa como un lecho biológico aerobio de carga alta, pero su eficiencia podría incrementarse mediante la instalación de un decantador posterior, que permitiría una mejor separación de sólidos y una mayor eliminación de materia orgánica. Estos hallazgos destacan la importancia de un monitoreo continuo y de mejoras estructurales en la operación de filtros percoladores.

(Simón, 2022) en su investigación menciona: “*Valorización de residuos agroindustriales como adsorbentes de metales pesados, y su reutilización en la fabricación de ladrillos de construcción*”, de la Universidad de Nacional de Mar de Plata – Argentina. Tiene como *objetivo* los residuos agroindustriales como adsorbentes de metales pesados mediante su incorporación en matrices cerámicas porosas, con el valorar y responder a las necesidades del entorno productivo regional afectado por efluentes contaminados. Usando como *metodología* de carácter experimental, donde usaron diversos residuos agroindustriales como posibles adsorbentes de metales pesados, incluyendo aserrín de pino, biochar de aserrín, cascara de semilla de girasol y residuos de maíz, estos materiales fueron caracterizados para comprender su estructura y composición, lo que permitió evaluar su capacidad de adsorción de metales pesados como níquel (Ni), zinc (Zn) y cadmio (Cd). Para luego los residuos agroindustriales que demostraron una capacidad significativa para adsorber metales pesados fueron incorporados en la fabricación de ladrillos de arcilla cocida. En cuanto al girasol, sus cáscaras fueron evaluadas como uno de los residuos agroindustriales para la adsorción de metales pesados su inclusión sugiere que fueron consideradas por su potencial para adsorber metales pesados y su posterior reutilización en la fabricación de ladrillos de construcción. Dando en sus *resultados* demostrar que la incorporación de residuos agroindustriales en la fabricación de ladrillos cerámicos aumentó la capacidad de adsorción de metales pesados, logrando que los ladrillos fabricados con estos materiales tuvieran una mayor eficiencia en la retención de metales en comparación con los ladrillos tradicionales. Además, se observó que los ladrillos mantenían propiedades mecánicas adecuadas, cumpliendo con los requisitos para su uso en la construcción, lo que permitió concluir que la valorización de residuos agroindustriales tiene un potencial significativo para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los materiales de construcción. Y dando como *conclusión* que la valorización de residuos agroindustriales, como adsorbentes de metales pesados y su integración en la fabricación de ladrillos cerámicos, es una solución efectiva para reducir la

contaminación por metales pesados, promoviendo una mejora en la calidad ambiental.

(Llumiquinga Nacimba, 2020) en su tesis menciona: *“Caracterización inicial de la biopelícula formada en el filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la universidad de las américas”*. Tiene como *objetivo* es realizar la caracterización inicial de la biopelícula formada en el reactor biológico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Américas. Usando como *metodología* utiliza la metodología experimental, implementando ventanas en un tanque a diferentes alturas para recolectar muestras de biopelícula, las cuales fueron analizadas en laboratorio mediante parámetros como peso seco, peso húmedo y densidad óptica. Se emplearon láminas de polipropileno para evaluar la colonización de microorganismos en intervalos de 10 días durante 30 días, y se caracterizaron los microorganismos bioindicadores mediante microscopía óptica, siguiendo un enfoque cuantitativo basado en experimentos y análisis de laboratorio. Dando que los *resultados* indican que el filtro percolador contiene un total de 19,305 kg de biopelícula en peso húmedo y 1,051.88 kg en peso seco, con una densidad óptica de 3.045. Además, se evidenció que el filtro percolador retiene 18.25 toneladas de agua, lo que equivale al 18.25 % del volumen total del reactor. Este fenómeno se atribuye a un exceso de fangos en los biopaks, mientras que los microorganismos colonizadores identificados presentan características de fangos antiguos y mala oxigenación dentro del reactor biológico. *Concluyendo* que el filtro percolador retiene 18.25 toneladas de agua, equivalentes al 18.25% del volumen total del tanque. Sin embargo, la acumulación de lodos en hasta un 45% de ciertas áreas impide una adecuada colonización y desarrollo de la biopelícula, afectando los procesos de depuración.

(García Fernández, 2023) en su tesis menciona: *“Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador en la remoción de nutrientes en aguas residuales domésticas”*, de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Tiene como objetivo investigar la eficiencia de los filtros percoladores

para eliminar el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales domésticas. Usando como metodología la toma de muestras de agua en diferentes puntos del sistema de filtración: al inicio, durante las etapas intermedias y al final del proceso. Se midieron varios factores importantes, como temperatura, pH, cantidad de oxígeno y concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en sus diferentes formas. Para analizar estos datos se utilizaron métodos específicos de laboratorio que permitieron medir con precisión los cambios en la calidad del agua. Se determinó un número mínimo de muestras para asegurar la confiabilidad de los resultados. Con esta información, se identificaron las etapas en las que se produce la transformación del nitrógeno y se evaluó la efectividad del filtro percolador en la eliminación de estos contaminantes. Los resultados mostraron que el filtro logró reducir significativamente las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua residual, alcanzando eficiencias relevantes en la remoción de amonio, nitritos y nitratos, así como de fosfatos. Se identificó que la nitrificación ocurre principalmente en las primeras etapas del filtrado, mientras que la desnitrificación se presenta en las etapas finales, transformando los nitratos en nitrógeno gaseoso. Además, se observó que el agua residual tenía un buen índice de biodegradabilidad, lo que indica que es adecuada para tratamientos biológicos. Concluyendo que los filtros percoladores contribuyen efectivamente a la reducción de contaminantes en el agua residual, eliminando nutrientes de manera significativa, aunque su eficiencia podría optimizarse para mejorar la eliminación de nitrógeno y fósforo.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

(Obregon Castillo, 2022) en su investigación mencionada: *“Evaluación de la calidad y la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de Mazohuara”*, de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Tiene como *objetivo* determinar la eficiencia de remoción de la carga contaminante de todo el sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado en el centro poblado Mazo – Huaura. Teniendo como *metodología* consistió en realizar tres monitoreos en

cinco puntos previamente establecidos, durante los meses de noviembre y diciembre de 2021. Los parámetros evaluados incluyeron DBO_5 , DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales (SST), temperatura, pH y coliformes fecales. Teniendo como *resultados* obtenidos se emplearon para calcular la eficiencia del sistema completo y compararlos con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. 003–2010–MINAM. Se observó que los promedios de remoción fueron los siguientes: coliformes fecales 72 %, DBO_5 37 %, DQO 35 % y SST 24 %, mientras que la eliminación de aceites y grasas fue mínima, y no se registraron cambios significativos en el pH ni en la temperatura. Por otro lado, se evidenció que no se cumplen todos los límites máximos permisibles. Como *conclusión*, el porcentaje de remoción varía a lo largo del sistema, siendo en su mayoría bajo y, por ende, no cumple con los criterios de diseño óptimo para tanques sépticos y filtros percoladores, situación atribuida principalmente a fallas en la operación y falta de mantenimiento.

(Callo Luque & Incaluque Sortija, 2022) en su investigación mencionada: *“Prototipo percolador en lecho filtrante de PET con calentamiento solar para depuración de aguas residuales domesticas en condiciones altoandinas”*, de la Universidad Peruana Unión. Tiene por *objetivo* la implementación de un prototipo de filtro percolador con lecho filtrante a base de PET reciclado con calentamiento solar para depuración de aguas residuales domésticas en zonas altiplánicas. Usando como *metodología* de un filtro percolador tipo Bach, compuesto por dos cilindros concéntricos: el cilindro interior ($0,36 \times 1,2 \text{ m } \varnothing$) con una capacidad de $0,15 \text{ m}^3$, y el cilindro hueco ($0,48 \times 1,4 \text{ m } \varnothing$) con un volumen de $0,10 \text{ m}^3$. El cilindro interior fue subdividido en tres niveles de lecho filtrante utilizando PET reciclado (esponjas, trozos de tubo corrugado y tapas de botellas), donde se desarrolló el proceso microbiano. En el cilindro hueco, recubierto con fibra de poliuretano, se llevó a cabo el intercambio de calor. Para el calentamiento del filtro se utilizó un colector solar de polietileno de alta densidad (100 m de longitud y 0,5 pulgadas de diámetro), empleando agua como fluido

caloportador. Se depuraron 100 L de aguas residuales domésticas, monitoreando turbidez, pH, DBO₅, DQO y temperaturas (ambiental, filtro percolador y fluido caloportador) durante tres semanas, con mediciones cada 7 días. Dando los *resultados* finales indicaron un pH de 8,7, turbidez de 25,03 UNT, DBO₅ de 25,83 mg/L y DQO de 85,25 mg/L, logrando remociones del 94,3 % de la DBO₅, 90,8 % de la DQO y 83,1 % de la turbidez. La energía acumulada por el colector solar fue de 315,83 kWh. Dando la *concluyó* que es factible depurar aguas residuales domésticas en zonas altoandinas mediante un filtro percolador con lecho de PET y calentamiento solar, cumpliendo con el marco normativo vigente.

(Miranda Romani, 2022) en su tesis “*Evaluación de la eficiencia del filtro percolador utilizando fibra de coco para tratamiento de aguas residuales domésticas*”, de la Universidad Peruana Unión. Tiene como *objetivo* es evaluar la eficacia de un filtro percolador con fibra de coco como tratamiento secundario para el tratamiento de aguas residuales domésticas, complementando un biodigestor. Usando la *metodología* de diseñar y evaluar el filtro percolador con fibra de coco para tratar aguas residuales domésticas en una vivienda de Carapongo, Lima. El filtro, con un caudal de 171 L/día, una altura de 1.75 m y un diámetro de 0.58 m, fue empaquetado con fibra de coco, aserrín, arena fina, grava y piedra mediana. Tras un mes de arranque, el sistema operó durante 90 días con monitoreos semanales en el primer mes y cada tres días en los siguientes meses. Se logró una eficiencia del 79 % en la remoción de DBO₅, 86 % en DQO, 98 % en turbidez y 100 % en coliformes termotolerantes, cumpliendo con la normativa peruana en parámetros como aceites y grasas, OD, conductividad, pH y temperatura, aunque sin alcanzar los valores requeridos para DBO₅ y DQO. Dando como *resultados* de la investigación mostraron que el filtro percolador logró reducir varios contaminantes en el agua residual tratada, cumpliendo en su mayoría con la normativa peruana D.S. N° 004-2017 MINAM (Categoría III para riego de vegetales). Se obtuvo una remoción efectiva en aceites y grasas, oxígeno disuelto (OD), conductividad, coliformes

termotolerantes y temperatura, alcanzando los valores exigidos por la normativa. Sin embargo, los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO) no cumplieron con los límites establecidos, aunque mostraron una reducción progresiva con el tiempo. En el día 27, la DBO5 disminuyó a 30 mg/L, mientras que la DQO alcanzó 40 mg/L en el día 86. Se observó que la carga orgánica promedio fue de 0.02 kg DBO/m³ día, reduciéndose en el día 27 y la cuarta semana del estudio. En general, el sistema demostró ser eficiente en la remoción de contaminantes, pero con limitaciones en la reducción de materia orgánica, lo que sugiere la necesidad de ajustes para mejorar su desempeño en DBO5 y DQO. *Concluyendo* que el filtro percolador con fibra de coco demostró ser una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas, logrando una significativa remoción de contaminantes, especialmente en DBO5, DQO, turbidez y coliformes termotolerantes.

(Velasquez Apaza, 2023) en su tesis “*Evaluación de la calidad de agua residual para el diseño de la planta de tratamiento de la localidad de Capazo, Puno - 2022*”, de la Universidad Continental de Huancayo. Tiene como *objetivo* determinar la cantidad y calidad de las aguas residuales para el proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales en la región nevada de la localidad de Capazo. La *metodología* empleada en este estudio fue deductiva, de tipo aplicada, con nivel de investigación correlacional y diseño no experimental. El universo de estudio estuvo constituido por el conjunto de plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo combinado de la región Puno, mientras que el espacio de estudio correspondió a la región nevada del distrito de Capazo. Los *resultados* obtenidos indicaron que el caudal de agua residual ingresante es de 1,83 L/s, mientras que el caudal promedio de diseño proyectado a 20 años asciende a 2,46 L/s. En cuanto a la calidad del agua, se observó que los valores de aceites y grasas, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH y sólidos suspendidos totales (SST) superan los límites máximos admisibles y los estándares de calidad ambiental. Por ello, se propone

un diseño mixto (anaerobio/aerobio), que incluya: un pretratamiento con cámaras de rejillas y desarenador, un tratamiento primario mediante tanque donde se reduce la concentración de SST a 25 mg/L, un tratamiento secundario con filtro percolador y sedimentador, logrando retener hasta el 90 % de los elementos orgánicos, y un tratamiento terciario mediante cámara de cloración. Finalmente, se concluyó que, además de la calidad y cantidad de agua, es imprescindible considerar las condiciones climáticas para el diseño de la planta de tratamiento en la localidad de Capazo. Y dando como *conclusión* la caracterización del agua residual evidenció que el sistema actual no cumple con los valores máximos permisibles ni con los estándares de calidad ambiental, lo que hace necesaria la implementación de una planta de tratamiento eficiente. El diseño propuesto, que combina procesos anaerobios y aerobios mediante un tanque Imhoff, un filtro percolador y un sedimentador, permitirá mejorar la calidad del agua tratada y garantizar su cumplimiento con la normativa ambiental.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

(Chavez Aquino, Justo Roque, & Ramirez Perez, 2023) en su tesis *“Diseño y evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales para el distrito de Ripán, provincia Dos de Mayo – Huánuco - 2022”*, de la Universidad Continental de Huancayo. Tiene como *objetivo* diseñar y evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en el distrito de Ripán, Huánuco. Se realizó con la *metodología* usando el estudio de la revisión de normativas vigentes (R.M. N.º 085-2021-MINAM) y la recopilación de información sobre el diseño de unidades de tratamiento y procesos de remediación. Donde se realizaron la medición de caudales en horarios específicos durante cuatro días y la caracterización del agua residual en el punto de descarga, así como la evaluación de la calidad del agua en el río Vizcarra mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Con estos datos obtenidos, se diseñó una planta de tratamiento compuesta por etapas preliminares (cámara de rejillas, desarenador y canaleta Parshall), primarias (tanque Imhoff y lecho de

secado), secundarias (filtro percolador) y terciarias (cámara de cloración), representadas en planos 2D mediante el software AutoCAD. Dando como *resultado* que la eficiencia de remoción de contaminantes, el tanque Imhoff permitió remover aproximadamente 30 % de DBO, 34.2 % de DQO, 45 % de SST y 82.84 % de coliformes fecales. El filtro percolador logró una remoción de 91.2 % de DBO, 33.87 % de DQO, 93.97 % de SST y 92 % de coliformes fecales, mientras que la cámara de cloración eliminó 46.67 % de DBO, 60.71 % de DQO, -9.77 % de SST y 93.33 % de coliformes fecales. Estos valores evidencian que el sistema es eficiente para el tratamiento de aguas residuales municipales, asegurando que los efluentes cumplan con los estándares ambientales. En *conclusión*, el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales en el distrito de Ripán es efectivo para la remoción de contaminantes y cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa vigente. Se demostró que el sistema propuesto, compuesto por tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario, logra una alta eficiencia en la reducción de DBO, DQO, SST y coliformes fecales, asegurando que el efluente tratado no represente un riesgo para el cuerpo receptor, el río Vizcarra. Además, se recomienda continuar con el monitoreo del sistema en diferentes estaciones del año para evaluar la estabilidad del tratamiento y posibles ajustes en su operación.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. BIOFILTROS

El biofiltro es un sistema de fitodepuración de aguas, que se fundamenta en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La actividad de estas macrófitas permite una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas complejas, mediante las cuales el agua residual afluyente se depura de manera progresiva y controlada. El proceso de tratamiento de aguas se realiza a través de sistemas que comprenden tres etapas

fundamentales: captación, depuración y evacuación hacia el punto de restitución (Balvin Saavedra, 2019).

Un biofiltro es un sistema empleado para la eliminación de diversos contaminantes del agua, el cual puede tener distintas dimensiones según su diseño. Dependiendo de su funcionamiento, puede ser aeróbico, si opera expuesto al aire o anaeróbico, si se mantiene cerrado y sin suministro de oxígeno. Estos sistemas se alimentan del agua residual y están especialmente diseñados para remover los contaminantes presentes en aguas contaminadas (Gonzáles Pérez, 2016).

Los biofiltros son sistemas diseñados para eliminar contaminantes del agua, generalmente constituidos por materiales de origen orgánico e inorgánico. En su funcionamiento, los biofiltros simulan los procesos de depuración de los humedales, logrando la purificación del agua de manera natural. En este estudio, se emplearon dos reactores de biofiltros con características aeróbicas para el tratamiento del efluente y anaeróbica para el tratamiento de aguas de lavandería producida de manera artificial, el tratamiento consto de 3 variaciones de descarga, observándose una disminución de la demanda química de oxígeno (Esquivel Rafaele, 2021).

2.2.2. TIPOS DE FILTRO

2.2.2.1. FILTRO DE GRAVA

El agua que ingresa al filtro de grava desciende por una tubería hasta la zona inferior del lecho filtrante y posteriormente fluye hacia arriba a través de la grava. Este proceso permite eliminar la turbidez y parte de la materia disuelta, que se adhiere a las superficies de las partículas sedimentadas. En cuanto al mantenimiento de los filtros de grava, mientras la tubería permanezca intacta y los agregados no se encuentren obstruidos de manera irreversible por sedimentos o residuos, la grava **no** requiere ser reemplazada o removida durante la vida útil del

sistema de tratamiento (Aqueous Solutions).

2.2.2.2. FILTRO LENTO DE BIO ARENA

Los filtros de arena actúan eliminando microorganismos y partículas mediante procesos físicos, y algunos compuestos disueltos se retienen por adsorción en las superficies de los granos de arena. Sin embargo, en los filtros de arena biológicamente activos, lo más relevante es la remoción de microorganismos problemáticos y compuestos químicos a través de la biodegradación. Si no se añade un desinfectante, como el cloro, se desarrolla de manera natural una biopelícula en pocos días desde el inicio del funcionamiento del filtro, la cual continúa madurando durante varias semanas. El tiempo necesario para alcanzar esta maduración depende principalmente de la temperatura ambiental y de las características del agua de la fuente (Aqueous Solutions).

2.2.2.3. FILTRO DE CARBÓN

El filtro de carbón opera principalmente mediante el proceso de adsorción, el cual consiste en una interacción superficial entre los compuestos disueltos y el carbón, diferenciándose de la absorción, que implica la incorporación de sustancias en el volumen del material. En el contexto del tratamiento de aguas con contaminantes difusos, los compuestos pueden penetrar en los poros del carbón (absorción) y al mismo tiempo adherirse a sus superficies (adsorción). Debido a esto, en muchos casos se utiliza de manera general el término sorción. La porosidad y la elevada superficie específica del carbón proporcionan numerosos sitios reactivos, que permiten la unión tanto de compuestos orgánicos disueltos comunes como de contaminantes peligrosos dirigidos, favoreciendo así la depuración del agua (Aqueous Solutions).

2.2.2.4. BIOFILTRO

(Medina Escobar, 2020) menciona que es un sistema de tratamiento biológico que emplea un medio filtrante natural, como arena, grava o materiales orgánicos (por ejemplo, compost o fibras vegetales), diseñado para ser colonizado por una comunidad microbiana activa. Este sistema permite la degradación, absorción y adsorción de los contaminantes presentes en un efluente líquido o gaseoso, optimizando su calidad a través de procesos naturales de biodegradación. Los microorganismos que habitan el medio filtrante desempeñan un papel fundamental al descomponer la materia orgánica, reducir la carga de nutrientes como nitrógeno y fósforo, y minimizar otros contaminantes como sólidos suspendidos y metales pesados.

2.2.2.5. FILTRO DE FLUJO VERTICAL

(SSWM. (s. f.)), menciona que es un sistema de tratamiento de aguas residuales que se caracteriza por el paso del agua a través de un medio filtrante, como arena, grava o materiales orgánicos, en dirección vertical. Este sistema se basa en la filtración física y la acción biológica de microorganismos que se desarrollan en las raíces de las plantas acuáticas. El proceso está diseñado para remover contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua mediante la adsorción, la biodegradación y la sedimentación.

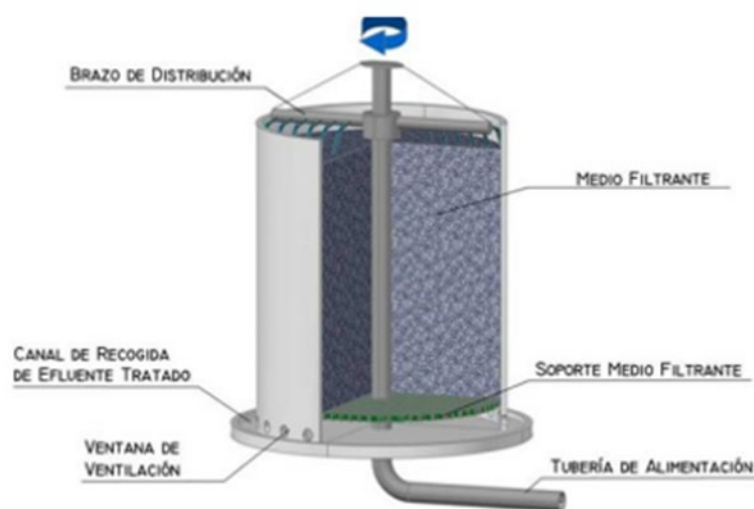
2.2.3. FILTRO PERCOLADOR

(Carvajal Fuentes, 2020) menciona que los filtros percoladores son sistemas pertenecientes a las unidades de depuración de aguas residuales que facilitan el contacto del recurso hídrico con microorganismos adheridos a un medio de soporte, como piedra, plástico, escoria o madera. Estos microorganismos forman una biopelícula que degrada la carga de materia orgánica presente en el agua usada.

(Quintanilla Bohórquez, 2020) menciona que una unidad de filtrado como el percolador corresponde a un reactor para la degradación biológica de materia orgánica aerobio con el fin de que las aguas residuales se gestionen adecuadamente bombeando desde la superficie superior y que pase a través de un material de relleno. Ahí, los microorganismos presentes en la biomasa degradan la materia orgánica. El proceso es aerobio porque el aire también circula dentro del filtro, ya sea de forma natural o forzada, permitiendo el crecimiento de los microorganismos. Con el tiempo, las biopelículas que se forman en el filtro pueden limitar la transferencia de masa. Para evitar problemas, se baja la velocidad de los brazos de distribución en ciertos momentos del día, lo que provoca que la biopelícula se desprenda y se eliminen los sólidos acumulados en el agua de salida. A este proceso se le llama lavado.

Figura 1

Esquema de un filtro percolador



Nota. La imagen muestra la estructura componentes que lleva un filtro percolador. Obtenido de (Quintanilla Bohórquez, 2020)

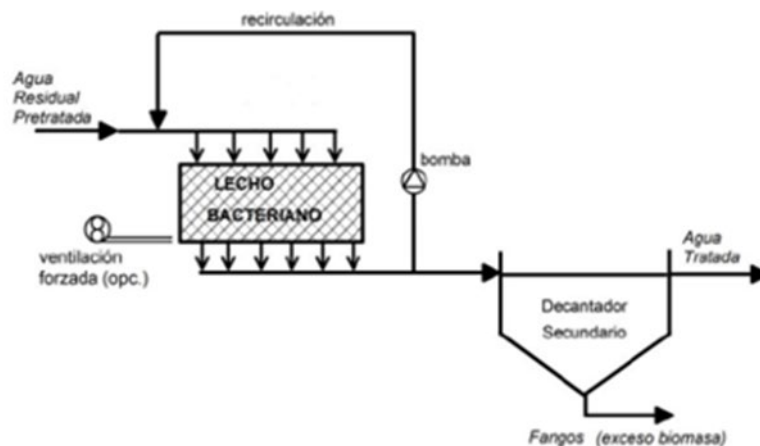
Un filtro percolador es un sistema de tratamiento biológico aerobio que utiliza un medio de soporte fijo, como materiales plásticos, donde se desarrolla una biopelícula de microorganismos. El agua residual pretratada se distribuye sobre este medio, percolando a través de él y

entrando en contacto con la biopelícula, que degrada la materia orgánica presente. Este proceso es eficiente en la depuración de aguas residuales municipales e industriales debido a su robustez y simplicidad operativa (Callo Luque & Incaluque Sortija, 2022).

El filtro percolador es un proceso biológico aerobio que necesita un suministro constante de aire para funcionar correctamente. En instalaciones pequeñas, esto puede lograrse mediante ventilación natural, pero si no es suficiente, se usa ventilación forzada. Además, la recirculación del efluente tratado es una práctica común para mantener el lecho húmedo y asegurar un rendimiento óptimo en el tratamiento del agua (Carvajal Fuentes, 2020).

Figura 2

Diagrama de flujo de funcionamiento de filtro percolador + decantación secundaria



Nota. La imagen muestra la estructura componentes que lleva un filtro percolador + decantación secundaria. Obtenido de (Carvajal, 2020)

2.2.3.1. LECHO FILTRANTE

(Mariñelarena, 2006) menciona que los lechos filtrantes son sistemas de tratamiento biológico que utilizan bacterias presentes en la arena para depurar el agua residual. Este proceso es especialmente adecuado para pequeñas comunidades rurales, ya que es sencillo de operar y mantener.

2.2.4. PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICOS Y QUÍMICOS

2.2.4.1. TEMPERATURA

La temperatura de las aguas residuales suele ser superior a la del agua destinada al consumo humano, debido principalmente al aporte de agua caliente proveniente de actividades de limpieza y tareas domésticas. Esta temperatura generalmente se encuentra entre 10 °C y 21 °C, con un promedio aproximado de 15 °C. El incremento de la temperatura puede tener efectos negativos sobre los cuerpos de agua receptores, al alterar la composición de su flora y fauna, así como favorecer el crecimiento no deseado de algas, hongos y otros organismos. Además, el aumento térmico contribuye a la reducción del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye al elevarse la temperatura (M. Espigares & Pérez López, 1985).

2.2.4.2. TURBIDEZ

(Universidad Complutense de Madrid, 2015) menciona que la turbidez se refiere a la falta de claridad del agua, causada por partículas en suspensión. Un mayor contenido de sólidos hace que el agua se vea más sucia, aunque la turbidez no siempre indica contaminación. Puede ser resultado de procesos naturales, como la erosión de suelos o la descomposición de vegetación. También puede incluir fitoplancton y material orgánico en descomposición. Además, el vertido de aguas residuales o escorrentías urbanas puede aumentar los niveles de turbidez, afectando la salud de los ecosistemas acuáticos.

2.2.4.3. COLOR

(Orellana, 2005) menciona que el color del agua se debe a la presencia de minerales como el hierro y el manganeso, así como a la materia orgánica y a los contaminantes industriales los cuales pueden conferir diferentes tonalidades. En el ámbito doméstico, la coloración del agua puede ocasionar manchas en los accesorios

sanitarios y opacar la ropa, afectando su calidad visual y funcional. Las pruebas de colorimetría se realizan mediante comparación con estándares de concentraciones de sustancias químicas que producen colores similares al del agua analizada, lo que permite una evaluación precisa de su calidad.

2.2.4.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO

La actividad biológica en el tratamiento del agua se desarrolla dentro de un intervalo de pH relativamente estricto. Valores de pH comprendidos entre 5 y 9 generalmente no afectan de manera significativa a la mayoría de los organismos, aunque algunas especies son muy sensibles a estas variaciones. Un aspecto relevante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que puede provocar la solubilización de materiales por ataque químico, afectando la integridad de los equipos y conducciones. Por ello, un efluente con un pH inapropiado puede alterar la composición química del agua y modificar la vida biológica presente en los cuerpos de agua naturales. Además, el tratamiento biológico es más efectivo dentro del rango de 6,5 a 8,5, dificultándose fuera de estos valores. En general, las aguas residuales urbanas presentan un pH cercano al neutro. Más allá de su efecto directo, el pH también influye de manera indirecta, ya que puede modificar la toxicidad de ciertos compuestos, especialmente aquellos cuya toxicidad depende del grado de disociación (M. Espigares & Pérez López, 1985).

2.2.4.5. ALCALINIDAD

Este parámetro permite determinar la concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Dichos iones se neutralizan mediante elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, entre otros. Por lo general, las aguas residuales presentan cierto grado de alcalinidad, que se origina tanto por el agua de suministro como por el aporte de sustancias utilizadas en actividades domésticas (M. Espigares &

Pérez López, 1985).

2.2.4.6. CONDUCTIBILIDAD

La conductividad eléctrica constituye un indicador fundamental para la valoración de la calidad del agua destinada al consumo humano, ya que indica la cantidad de iones disueltos, lo que puede reflejar la salinidad y el potencial de contaminación del agua. Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en Perú, se establecen valores límites de conductividad para asegurar que el agua destinada al consumo humano cumpla con los requisitos de calidad necesarios para la salud. Niveles elevados de conductividad pueden señalar la presencia de sales o contaminantes que podrían ser perjudiciales para la salud (MINAM, 2017).

2.2.4.7. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Se trata de un parámetro clave en la evaluación de la calidad del agua, ya que indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para degradar la materia orgánica presente, evaluada durante un período de cinco días a una temperatura de 20 °C. Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en Perú, el valor límite de DBO para el agua potable debe ser inferior a 5 mg/L, ya que niveles más altos pueden indicar una carga significativa de materia orgánica, lo que representa un riesgo para la salud humana y puede afectar la eficacia de los tratamientos de potabilización (MINAM, 2017).

2.2.4.8. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Menciona que la Demanda Química de Oxígeno determina la cantidad total de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica presente en el agua, tanto la biodegradable como la no biodegradable. Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en Perú, el límite máximo permisible de DQO para el agua potable es de 25 mg/L; niveles superiores pueden indicar una

carga significativa de contaminación orgánica, lo que representa un riesgo para la salud humana y puede comprometer la eficacia de los tratamientos de potabilización (MINAM, 2017).

2.2.5. PARÁMETROS DE CALIDAD MICROBIOLÓGICOS

2.2.5.1. COLIFORMES TOTALES

Las bacterias coliformes totales comprenden un grupo diverso de bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan lactosa y producen ácido o aldehído en 24 horas a 35-37 °C. Dentro de este grupo, *Escherichia coli* y los coliformes termotolerantes pueden fermentar lactosa a temperaturas más altas. Este grupo incluye géneros como *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, y *Enterobacter*, así como *Serratia* y *Hafnia*. El límite máximo para agua potable es 0 UFC/100 ml, según la OMS, para asegurar el agua apta para consumo (Organización Mundial de la Salud, 2017).

2.2.5.2. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Los coliformes termotolerantes se emplean como indicadores biológicos de contaminación fecal reciente, ya que su presencia evidencia la incorporación de materia orgánica proveniente de desechos humanos o animales. Estos organismos pueden fermentar lactosa a temperaturas más elevadas (alrededor de 44-45 °C), lo que los hace especialmente útiles para detectar la presencia de patógenos que podrían representar un riesgo para la salud humana. Esto significa que no debe haber presencia de estos microorganismos en una muestra de 100 ml de agua para que sea considerada segura para el consumo humano, ya que su presencia indicaría riesgos de contaminación fecal y posibles enfermedades (Organización Mundial de la Salud, 2017).

2.2.6. ESTÁNDARES DE CALIDAD DE AGUA

Se refiere a los niveles máximos permisibles de diversos contaminantes presentes en el agua, con el fin de proteger la salud pública y garantizar que el agua sea apta para el consumo humano. Estos estándares establecen criterios para medir y controlar de las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua, asegurando así que el agua cumpla con las condiciones mínimas para ser segura y saludable (Ministerio De Salud, 2010)

Tabla 1

Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
1. Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 350c	0(*)
2. E. Coli	C	0(*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales	UFC/100 mL a 44.50 C	0(*) 500
4. Bacterias Heterotróficas	UfC/mL a 350c	0
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos	N0 Org/L	0
6. Virus	UFC/mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos en todos sus	N0 org/L	

estadios
evolutivos

Nota. Valores establecidos en el reglamento de calidad del agua para consumo humano – 2010.

UFC = Unidad formadora de colonias

2.2.7. ORGANOLÉPTICAS

Los parámetros organolépticos del agua, como color, olor, sabor y turbidez, son evaluados para asegurar que el agua no presenta características indeseables que afecten su aceptabilidad.

Tabla 2

Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organolépticas

PARÁMETROS	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable 15
3. Color	UCV escala	5
4. Turbiedad	Pt/Co	6,5 a 8,5
5. pH	UNT	1 500
6. Conductividad (25°C)	Valor de pH µmho/cm	1 000
7. Sólidos	mgL-1	250
totales		250
disueltos	mg Cl - L -1	500
8. Cloruros	mg SO4 = L-	1,5
9. Sulfatos	1	0,3
10. Dureza total	mg CaCO3 L-	0,4
11. Amoniac	1	0,2
12. Hierro	mg N L-1	2,0
13. Manganese	mg Fe L-1	3,0
14. Aluminio	mg Mn L-1	200
15. Cobre	mg Al L-1	
16. Zinc	mg Cu L-1	
17. Sodio	mg Zn L-1 mg Na L-1	

Nota. Valores establecidos en el reglamento de calidad del agua para consumo humano – 2010.

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. BIOFILTRO

Los biofiltros son dispositivos utilizados para la remoción de contaminantes en el agua, mediante procesos biológicos que implican la acción de microorganismos y otros elementos naturales. Estos filtros funcionan utilizando materiales como arena, carbón, grava, o incluso materiales orgánicos, que proporcionan un medio adecuado para que los microorganismos descompongan los contaminantes presentes en el agua. Su aplicación no solo ayuda a prevenir la contaminación de los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos, que podría generarse por el vertimiento directo de aguas residuales, sino que también promueve un enfoque más sostenible para el tratamiento de aguas, al reducir la necesidad de químicos y otros tratamientos artificiales (ECOTEC).

2.3.2. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales se definen como aquellas que resultan del uso en actividades domésticas, industriales o agrícolas, y que presentan en su composición diversos contaminantes, entre ellos materia orgánica, compuestos químicos, microorganismos y partículas sólidas en suspensión. Dependiendo de su origen, pueden ser domésticas, industriales o agrícolas, y su tratamiento es fundamental para reducir su impacto ambiental y en la salud pública, mediante procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan los contaminantes antes de su reintroducción en el ambiente o su reutilización (MINAM, 2008).

2.3.3. FITORREMEDIACIÓN

El término remediación de la contaminación se refiere a un conjunto de técnicas basadas en el uso de plantas para limpiar o rehabilitar ambientes contaminados como el agua, el suelo e incluso el aire. Es un concepto relativamente reciente, introducido en el año 1991, formado por la combinación de dos términos: uno de origen griego, que

hace referencia a planta o vegetal, y otro proveniente del latín reparare, cuyo significado es restaurar, corregir o reemplazar algo dañado. La fitorremediación es la reparación del daño causado por las plantas y verduras (Núñez López, Meas Vong, Ortega Borges, & Olguín, 2004).

2.3.4. FILTRO PERCOLADOR

Los filtros percoladores constituyen unidades de tratamiento secundario de tipo biológico, caracterizadas por el uso de un medio adherido o asistido. En este proceso, el agua residual atraviesa un medio filtrante en el cual se desarrollan bacterias y otros microorganismos, que se adhieren progresivamente al soporte, formando una película biológica responsable de la degradación de la materia orgánica. El material filtrante puede estar compuesto por roca volcánica, piedra chancada o materiales plásticos con diseños específicos. En todos los casos, dichos materiales buscan incrementar la superficie de contacto disponible, favoreciendo el crecimiento de la biomasa activa encargada del proceso de depuración biológica (MINAM, 2008).

2.3.5. REMOCIÓN

Es un proceso de naturaleza química que se fundamenta en la adición electrolítica de iones metálicos. Su efectividad en la eliminación de contaminantes radica en que estos son arrastrados por las burbujas de hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2) generadas dentro del sistema, lo que provoca que asciendan y se concentren en la superficie (Ascurra Valle, 2019).

2.3.6. SEDIMENTACIÓN

Se trata de un proceso físico mediante el cual las partículas sólidas presentes en suspensión dentro del agua, después de las etapas de coagulación y floculación, se depositan en el fondo del tanque o recipiente como resultado de la acción de la gravedad. Este proceso es fundamental en la purificación del agua, ya que permite la remoción de

partículas grandes y flóculos formados en etapas anteriores del tratamiento (Crittenden, Rhodes Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012).

2.3.7. FILTRACIÓN DE GRAVA

Es un proceso en el que el agua contaminada pasa a través de un medio filtrante (arena, grava, carbón activado, o materiales biológicos) bajo la influencia de la gravedad. A medida que el agua se filtra, los contaminantes quedan atrapados en las capas del filtro, mientras que el agua limpia pasa a través de ellas (USAID, 2024).

2.3.8. SITIO CONTAMINADO

Los sitios contaminados son aquellos suelos que han perdido sus características naturales debido a la acción de sustancias peligrosas generadas por actividades humanas. Esto significa que su estructura física, su composición química y su vida microbiana se ven afectadas, lo que puede generar riesgos tanto para las personas como para el medio ambiente. La contaminación puede provenir de vertidos directos, fugas subterráneas o acciones indirectas, y provoca problemas como la disminución de la fertilidad del suelo, la alteración de los microorganismos que lo habitan y la posible contaminación de las aguas cercanas (García Carrera, 2007).

2.3.9. CARGA MICROBIOLÓGICA

La evaluación microbiológica del agua se basa principalmente en el concepto de bacterias indicadores fecales. Estas bacterias, presentes en las heces humanas y animales, se utilizan como marcadores de contaminación fecal en el agua. El uso de estas bacterias como indicadores tiene ventajas, como su fácil detección y correlación con la presencia de patógenos, pero también presenta limitaciones, ya que no todos los patógenos fecales pueden ser detectados mediante estos indicadores (Cabral, 2010).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H0: El uso del filtro percolador experimental con caucho fragmentado no tiene resultados para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica

H1: El uso del filtro percolador experimental con caucho fragmentado tiene resultados para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tratamiento con filtro percolador

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad del agua residual gris

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 3

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD	ESCALA
Variable Independiente Tratamiento con filtro percolador	Tiempo de Residencia	Horas	Minutos	Numérica Continua
Variable Dependiente Calidad del agua residual gris	Parámetros Físicos y Químicos	Aceites y Grasas	mg/L	Numérica Continua
		Sólidos Totales	mg/L	
		Oxígeno disuelto	mg/L	
		DBO	mg/L	
		pH	Valor de pH	
	Parámetros Microbiológicos	Coliformes Totales	UFC/100ml	Numérica Discreta

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el control de las mediciones de la variable, el estudio fue prospectivo y se basó en datos primarios, lo que implica que el investigador recopiló personalmente la información necesaria para llevar a cabo la investigación. Además, dado que el investigador participo activamente en todas las etapas del estudio, incluida la fabricación del reactor de sedimentos como la construcción de un filtro percolador, su aplicación al agua y la toma de muestras, el estudio se consideró con intervención del investigador. En cuanto al número de variables analíticas, el estudio es analítico porque examina más de una variable: la variable dependiente que es la calidad del agua residual gris, y la variable independiente es el tratamiento con filtro percolador. Finalmente, el estudio fue longitudinal debido a que se realizaron múltiples mediciones de la variable en cuestión, enviando las muestras al laboratorio ocho veces: cuatro pre test y cuatro posts test de la aplicación del filtro percolador, con el fin de evaluar su eficacia en la mejora de la calidad del agua. (Zacarias & Supo, 2020)

3.1.1. ENFOQUE

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, ya que sigue un conjunto de procesos secuenciales y metódicos. Ya que se recolecto información de datos numéricos que nos muestran los resultados si hay recuperación de las aguas contaminadas, y así poder establecer el comportamiento y poner a prueba la eficiencia de la investigación. (Zacarias & Supo, 2020)

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El nivel del estudio se clasifico como aplicativo, ya que se fundamenta en la implementación de un sistema de biorremediación para aguas residuales urbanas, inspirado en técnicas de fitotecnología empleadas con éxito en otras regiones. Esta investigación fue diseñada

específicamente para las condiciones ambientales y sociales de la comunidad de Amarilis, Huánuco. La inclusión del filtro percolador como componente principal de esta investigación busca aprovechar su capacidad natural de remoción de contaminantes, optimizando el tratamiento de las aguas residuales y contribuyendo a la mejora de su calidad antes de su vertimiento o reutilización. (Zacarias & Supo, 2020)

3.1.3. DISEÑO

El diseño de la presente investigación fue experimental de un factor (tiempo de residencia sobre la concentración de materia orgánica del agua residual), con la finalidad de determinar el tiempo de residencia óptimo. Donde se utilizó un tratamiento estadístico descriptivo y se realizaron cálculos para determinar la eficiencia del proceso.

$$O1 \rightarrow X1 \rightarrow O2$$

Donde

O1: Agua residual doméstica (ARD) cruda

X: Intervención por el filtro percolador

O2: Agua filtrada del filtro percolador

Tabla 4

Matriz experimental

Pre test (O1)	Aplicación del filtro (X)	Post tratamiento (O2)
ARD – Muestra 1	Filtro percolador	Efluente – Muestra 1
ARD – Muestra 2		Efluente – Muestra 2
ARD – Muestra 3		Efluente – Muestra 3
ARD – Muestra 4		Efluente – Muestra 4

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población del estudio estuvo constituida por agua residual gris simulada, elaborada de forma controlada en mi domicilio. Para su preparación se emplearon aceite, leche, carne de pollo, harina, verduras y azúcar, con el propósito de reproducir las características físicas, químicas y biológicas propias de un agua residual doméstica. Posteriormente, el agua fue dejada en reposo durante 10 días para favorecer su fermentación y lograr una composición similar a la de un efluente gris real, garantizando así su representatividad para las pruebas experimentales.

3.2.2. MUESTRA

En el experimento se trabajó con aproximadamente 2000 litros de agua residuales creadas durante el periodo de operación del filtro percolador, garantizando la formación de la membrana biológica (biopelícula). De este total, 22 litros fueron recolectados y enviados al laboratorio para análisis en diferentes etapas del tratamiento. De estos los dos primeros litros correspondieron a la muestra pre test, mientras que los veinte litros restantes fueron tomados como muestra post test para evaluar los resultados tras la intervención. La investigación se llevará a cabo a mediados del 2025, en el mes de marzo.

Tabla 5

Ubicación Geográfica de la Población

UBICACIÓN POLITICA	
Departamento	Huánuco
Provincia	Huánuco
Distrito	Amarilis
Localización UTM	Zona 18 L
Longitud	9° 56' 16"
Latitud	76° 14' 25"
Altitud	1915

Nota. La tabla muestra las coordenadas de la ubicación de la población para el presente estudio.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Tabla 6

Indicadores e Instrumentos de Calidad de Agua

Variables	Indicadores	Técnica	Instrumentos de monitoreo	Método de análisis
<i>Calidad del agua</i>	Parámetros físicos y químicos	<i>Técnica de Monitoreo</i>	Parámetros físicos y químicos	Parámetros físicos y químicos
	• Aceites y Grasas		• Envases y preservantes	• Método gravimétrico.
	• Solidos Totales		• Envases y preservantes	• Método gravimétrico.
	• Oxígeno Disuelto		• Envases y preservantes	• Método Winkler
	• DBO		• Envases y preservantes	• Método de Incubación
	• pH		• pH-metro	• Método electrodoméstico
	Parámetros microbiológicos		Parámetros microbiológicos	Parámetros microbiológicos
	• Coliformes Totales		• Filtro de membrana	• Método de filtro de Incubación

Nota. La tabla muestra los indicadores con su respectivo instrumento a usar para realizar las mediciones

3.3.1. PROTOCOLO PARA EL MUESTREO DE AGUA

Para la toma de muestras de aguas residuales, se tomó como referencia el R.M. N.º 085-2021-MINAM, el cual establece los LMP para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Que tiene como objetivo establecer los Estándares de calidad Ambiental para el Agua referencia al DS N° 002-2008-MINAM y la disposición en la Ley Recursos Hídricos N° 29338.

3.3.1.1. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DEL MONITOREO

Los puntos de monitoreo fueron claramente identificados y delimitados, lo que permitió su localización precisa durante las actividades de muestreo. Para determinar su ubicación se empleó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), registrando las

coordenadas correspondientes en el sistema UTM y bajo la referencia geodésica WGS84.

3.3.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE MONITOREO

Los puntos de monitoreo deben cumplir con ciertas condiciones que garanticen la representatividad y seguridad durante el muestreo. Entre las principales características se consideran las siguientes:

- Permitir que la muestra sea representativa del flujo.
- Deben ubicarse en zonas donde la muestra refleje de manera representativa el flujo de agua.
- Es recomendable que se sitúen en lugares con adecuada mezcla del caudal, preferentemente cercanos al punto de aforo.
- En el caso del afluente, el punto de muestreo deberá establecerse antes del ingreso del agua recirculada, si esta existiera.
- La accesibilidad al punto debe ser segura y sencilla, evitando terrenos empinados, zonas rocosas, con vegetación densa o presencia de lodo.
- Cada punto deberá contar con una placa identificatoria, en la cual se consigne la denominación o código del punto de monitoreo.

Los parámetros tomados serán:

- Aceites y grasas
- Sólidos totales
- Oxígeno disuelto
- DBO
- pH
- Coliformes totales

3.3.1.3. PREPARACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

Los implementos necesarios para la realización del monitoreo fueron preparados con antelación, asegurando la disponibilidad de todos los materiales, equipos y reactivos requeridos. Asimismo, se verificó que los instrumentos de muestreo se encontraran en óptimas condiciones operativas y debidamente calibrados antes de iniciar las actividades.

a) Materiales

- Fichas de registro de campo
- Formatos de cadena de custodia
- Cinta adhesiva
- Plumón indeleble
- Frascos correctamente etiquetados
- Cajas térmicas de diferentes tamaños (pequeña y grande)
- Hielo u otro refrigerante
- Bolsas de poli burbujas u otro material de embalaje adecuado
- Piseta
- Agua destilada y/o des ionizada
- Cronómetro
- Cinta métrica
- Preservantes

b) Equipos

- GPS para la localización exacta del punto de muestreo
- Medidor de pH
- Cámara fotográfica para la documentación del proceso

c) Indumentaria de protección

- Botines de seguridad
- Gafas de seguridad
- Guantes de jebe antideslizantes con recubrimiento

hasta el antebrazo

- Guantes de látex descartables
- Casco de seguridad
- Mascarilla descartable

3.3.1.4. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras fueron recolectadas y conservadas considerando cuidadosamente cada uno de los parámetros establecidos. La cantidad mínima de muestra obtenida fue de 1000 mL, conforme a lo indicado en la normativa vigente. Asimismo, se siguieron las recomendaciones generales para el embalaje, transporte y etiquetado de las muestras, cumpliendo con los requisitos técnicos para la toma y preservación de muestras de agua residual utilizadas en el monitoreo.

La recolección de las muestras se efectuó utilizando un recipiente de plástico limpio y adecuado. Una vez concluido este procedimiento, se procedió al etiquetado correspondiente. Los parámetros de campo considerados fueron el pH, el cual no fue analizado en laboratorio. Para estas mediciones, no se realizaron lecturas directamente sobre el flujo de agua, sino que se tomó una muestra simple en un recipiente apropiado y en condiciones de limpieza. La determinación del pH se efectuó de manera inmediata después de la toma de muestra, con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados.

3.3.1.5. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Para la presentación de datos, se considerará usar distintos gráficos desde el empleo de gráficos de barras, que ayudará a comparar los resultados que se obtengan de forma más didáctica y entendible, el tomará en cuenta también el gráfico circular para conocer el porcentaje de cada parámetro a analizar en el presente estudio se trabajará con porcentajes al 100%. Ambos gráficos me ayudarán a interpretar los resultados y analizarlos con más

claridad, a la vez será muy útil para realizar la discusión y conclusiones del presente estudio.

Los datos se registrarán tanto físicamente en la ficha de datos como en un archivo de Excel donde se recopilará toda la información de forma ordenada.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

En la presente investigación se empleará el software estadístico SPSS versión 25.0, herramienta que facilitará un análisis detallado de las variables consideradas en el estudio. A través de este programa se procesarán los datos obtenidos en campo, permitiendo examinar la información recopilada y generar resultados relevantes. Asimismo, los datos serán representados mediante gráficos sencillos y didácticos, que facilitarán la comprensión y síntesis de los aspectos más importantes. Finalmente, el contraste de la hipótesis formulada se llevará a cabo utilizando la prueba t de Student, considerando la relación entre las dos variables establecidas en la investigación.

Los datos serán plasmados en Excel y serán procesados de forma directa y rápida por el software estadístico SPSS versión 25.0, también se usó Argis y Google Earth para la ubicación y graficar el lugar de la ubicación y poder tener puntos de referencia clara y precisa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Tabla 7

Sólidos suspendidos totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador

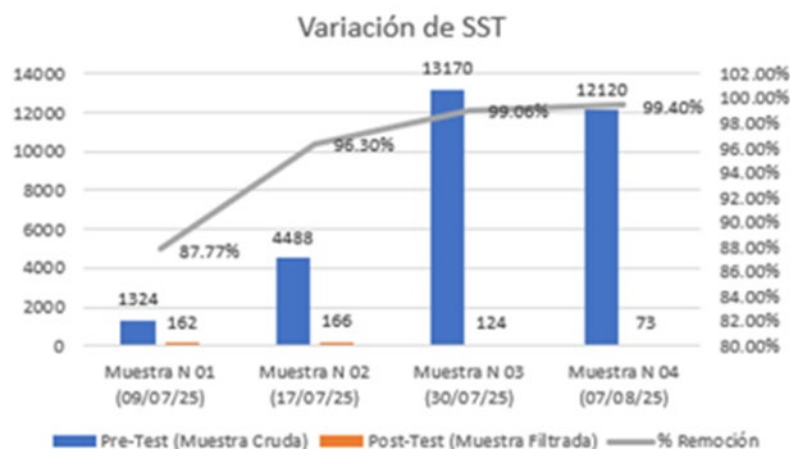
Muestra	Parámetro	Unidad de medida	Pre-Test (Muestra Cruda)	Post-Test (Muestra Filtrada)	% Remoción
Muestra N 01 (09/07/25)	SST	mg/L	1324	162	87.77%
Muestra N 02 (17/07/25)	SST	mg/L	4488	166	96.30%
Muestra N 03 (30/07/25)	SST	mg/L	13170	124	99.06%
Muestra N 04 (07/08/25)	SST	mg/L	12120	73	99.40 %

Fuente. Datos obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Huánuco.

El análisis estadístico muestra remociones de sólidos suspendidos totales (SST) muy elevadas, especialmente en el rango de 87,8% a 99,4%, con concentraciones de post tratamiento entre 73 y 166 mg/L. En las tres muestras realizadas (N 01, N 02 y N 03) los valores se sitúan próximos al Límite Máximo Permisible establecido para efluentes de PTAR (≤ 150 mg/L), mientras que en la muestra N 04 se registra un valor claramente inferior. La variabilidad detectada sugiere que la influencia de cambios en la carga hidráulica, el contenido de sólidos totales en la eficiencia de la etapa de filtración. Este comportamiento pone en evidencia de la capacidad del sistema para reducir significativamente la carga de sólidos respecto a las condiciones iniciales, si bien los picos de 162 mg/L y 166 mg/L podrían asociarse a episodios de arrastre biomasa, factores que convendría monitorear para optimizar la estabilidad del proceso y minimizar las variaciones en la calidad del efluente.

Figura 3

Sólidos Suspendedos totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador



En la figura 3 se observa una reducción marcada en las concentraciones entre el Pre-Test y el Post-Test para todas las muestras analizadas. Las concentraciones iniciales varían entre 1 324 y 13 170 mg/L, mientras que las finales se reducen a un rango de 166 a 73 mg/L. La diferencia en la altura de las barras indica una disminución consistente y sustancial en todos los casos, sin que ninguna muestra presente valores post tratamiento superiores a los iniciales.

Tabla 8

Concentración y porcentaje de Incremento de Oxígeno disuelto en muestras de agua cruda y filtrada

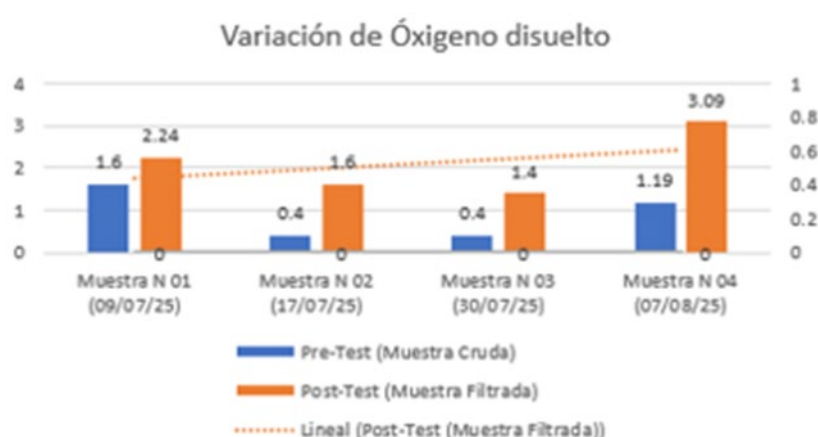
Muestra	Parámetro	Unidad de medida	Pre-Test (Muestra Cruda)	Post-Test (Muestra Filtrada)	% Incremento
Muestra N 01 (09/07/25)	Oxígeno disuelto	mg/L	1.60	2.24	40%
Muestra N 02 (17/07/25)	Oxígeno disuelto	mg/L	0.40	1.60	300%
Muestra N 03 (30/07/25)	Oxígeno disuelto	mg/L	0.40	1.40	250%
Muestra N 04 (07/08/25)	Oxígeno disuelto	mg/L	1.19	3.09	159.66%

Fuente. Datos obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Huánuco.

La tabla revela como el oxígeno disuelto (OD) se incrementa en todas las muestras donde se monitorean, pasando de valores iniciales de aproximadamente 0,4–1,6 mg/L a rangos de post tratamiento de 1,4–3,1 mg/L, lo que sugiere un efecto de aireación con la biomasa activa durante el proceso. Aunque este aumento indica una mejora en la oxigenación del efluente, los niveles alcanzados siguen siendo bajos para considerarlo completamente estabilizado. Desde el punto de vista ambiental, el patrón observado es coherente con procesos de oxidación biológica; no obstante, el DBO residual registrada podría provocar un consumo adicional de oxígeno en el cuerpo receptor, generando condiciones de afectación a la capa biológica.

Figura 4

Concentración y porcentaje de Incremento de Oxígeno disuelto en muestras de agua cruda y filtrada



El análisis estadístico del gráfico evidenció un incremento consistente del oxígeno disuelto (OD) en las cuatro campañas evaluadas, pasando en todos los casos de valores pre tratamiento más bajos (0,4 – 1,6 mg/L) a niveles post tratamiento más altos (1,4 – 3,1 mg/L). El mayor aumento se registra en la campaña del 07/08/25 (Muestra N°04), con un incremento cercano a 2 mg/L, mientras que las demás campañas muestran mejoras entre 0,8 y 1,1 mg/L. Este patrón sugiere un efecto sostenido del proceso de tratamiento en la oxigenación del efluente, posiblemente asociado a aireación con la biomasa activa.

Tabla 9

Concentración y porcentaje de remoción de DBO en muestras de agua cruda y filtrada

Muestra	Parámetro	Unidad de medida	Pre-Test (Muestra Cruda)	Post-Test (Muestra Filtrada)	% Remoción
Muestra N 01 (09/07/25)	DBO	mg/L	3223	526	83.68 %
Muestra N 02 (17/07/25)	DBO	mg/L	5063	563	88.88 %
Muestra N 03 (30/07/25)	DBO	mg/L	7687	587	92.36 %
Muestra N 04 (07/08/25)	DBO	mg/L	6913	593	91.42 %

Fuente. Datos obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Huánuco.

El análisis estadístico muestra que la DBO presenta una disminución consistente y significativa en todas las fechas evaluadas, con eficiencias de remoción entre 83,7% y 92,4%, lo que evidencia un buen desempeño relativo del sistema de tipo biológico como un filtro percolador, mostrando la alta variabilidad en la carga afluente. Los valores de post tratamiento (526–593 mg/L) siguen por encima del Límite Máximo Permisible establecido por la normativa peruana para efluentes de PTAR (≤ 100 mg/L), aunque reflejan claramente una mejora sustancial respecto a las concentraciones iniciales, mostrando la magnitud del cambio alcanzado tras el filtrado.

Figura 5

Concentración y porcentaje de remoción de DBO en muestras de agua cruda y filtrada

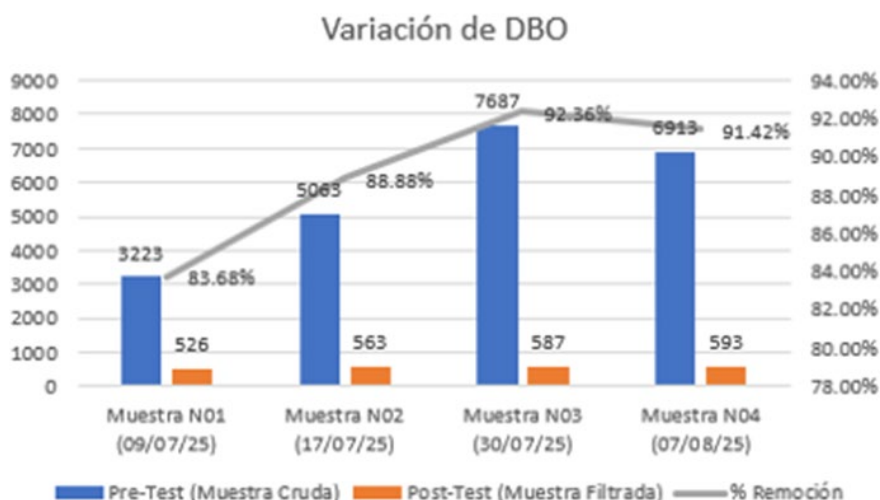


Tabla 10

Concentración y porcentaje de remoción de Aceites y grasas en muestras de agua cruda y filtrada

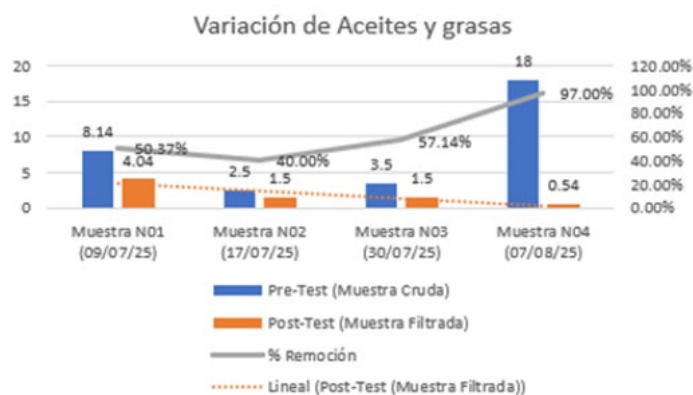
Muestra	Parámetro	Unidad de medida	Pre-Test (Muestra Cruda)	Post-Test (Muestra Filtrada)	% Remoción
Muestra N 01 (09/07/25)	Aceites y grasas	mg/L	8.14	4.04	50.37%
Muestra N 02 (17/07/25)	Aceites y grasas	mg/L	2.5	1.5	40.00%
Muestra N 03 (30/07/25)	Aceites y grasas	mg/L	3.5	1.5	57.14%
Muestra N 04 (07/08/25)	Aceites y grasas	mg/L	18.00	0.54	97.00 %

Fuente. Datos obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Huánuco.

Se observa una reducción constante y efectiva de aceites y grasas, con porcentajes de remoción entre 40% y 97%, logrando en todas las fechas concentraciones de post tratamiento menores a 4,04 mg/L. La muestra N 04 presentó la mayor disminución (97%), lo que muestra un muy buen desempeño del sistema en esa ocasión. Desde el punto de vista ambiental, estos resultados ayudan a evitar la formación de capas de grasas en la superficie del agua y reducen problemas de toxicidad u obstrucción en filtros según el tratamiento. Según la normativa peruana para efluentes de PTAR, el límite permitido para aceites y grasas es de ≤ 20 mg/L, valor que se cumple en todas las mediciones, demostrando un control eficiente de este parámetro en el efluente final.

Figura 6

Concentración y porcentaje de remoción de Aceites y grasas en muestras de agua cruda y filtrada

**Tabla 11**

Variación porcentual de pH en muestras de agua cruda y filtrada

Muestra	Parámetro	Unidad de medida	Pre-Test (Muestra Cruda)	Post-Test (Muestra Filtrada)	% Incremento
Muestra N 01 (09/07/25)	pH	Valor de pH	3.0	3.9	30.00%
Muestra N 02 (17/07/25)	pH	Valor de pH	3.9	3.5	-10.26%
Muestra N 03 (30/07/25)	pH	Valor de pH	4.06	3.3	-18.72%
Muestra N 04 (07/08/25)	pH	Valor de pH	2.884	4.151	43.95%

Fuente. Datos obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Huánuco.

El análisis estadístico confirma que el pH se mantiene en un rango fuertemente ácido, entre aproximadamente 3,3 y 4,2, tanto en las mediciones de pre tratamiento como de post tratamiento, observándose incluso en dos muestras una ligera disminución posterior al proceso. Este comportamiento, aunque no muestra una mejora en el indicador, es coherente con la naturaleza del afluente tratado y permite evidenciar de forma objetiva que la variación no obedece a fallas operativas, sino a la composición química de entrada. Conforme a la normativa peruana para efluentes de PTAR, el rango permitido es de 6,5 a 8,5, parámetro que no se cumple en ninguna de las muestras.

Figura 7

Variación porcentual de pH en muestras de agua cruda y filtrada

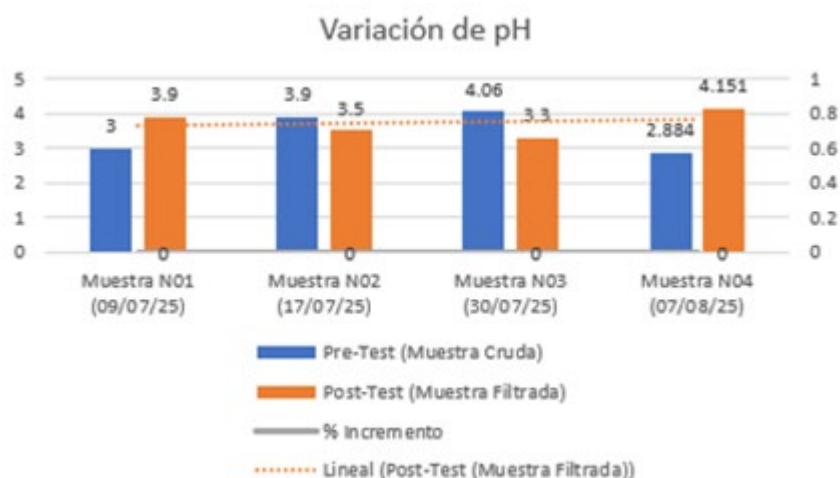


Tabla 12

Coliformes totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador

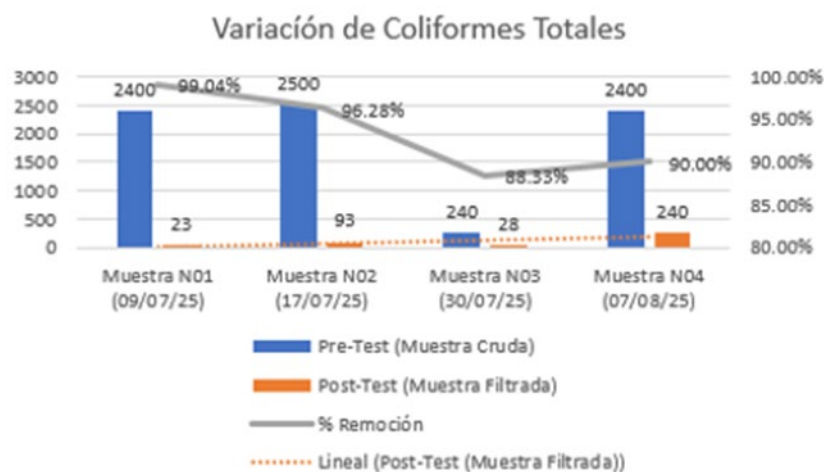
Muestra	Parámetro	Unidad de medida	Pre-Test (Muestra Cruda)	Post-Test (Muestra Filtrada)	% Remoción
Muestra N 01 (09/07/25)	Coliformes totales	NMP/ mL	2400	23	99.04%
Muestra N 02 (17/07/25)	Coliformes totales	NMP/ mL	2500	93	96.28%
Muestra N 03 (30/07/25)	Coliformes totales	NMP/ mL	240	28	88.33%
Muestra N 04 (07/08/25)	Coliformes totales	NMP/ mL	2400	240	90.00 %

Fuente. Datos obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Huánuco.

El análisis estadístico muestra reducciones muy altas de coliformes totales, en el rango de 88% a 99%, con concentraciones de post tratamiento entre 23 y 240 NMP/100 mL. La muestra N 04 presenta el valor residual más elevado (240 NMP/100 mL), lo que indica variabilidad en la eficiencia de remoción entre fechas. Este comportamiento refleja una desinfección y retención biológica significativa dentro del sistema, aunque, para garantizar una inactivación completa de patógenos. Dado que los valores reportados corresponden a coliformes totales y están muy por debajo de ese umbral, los resultados no evidencian incumplimiento frente al LMP específico para termotolerantes, respaldando la eficiencia observada en términos relativos.

Figura 8

Coliformes totales del agua residual antes y después del tratamiento con el filtro percolador



4.2. CONSTRATACIÓN DE HIPÓTESIS

Basándose en los resultados obtenidos en el presente estudio, se realizó la contrastación de hipótesis con respecto al efecto del filtro percolador experimental con caucho fragmentado en el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica. Los análisis comparativos entre la muestra inicial y la tratada evidenciaron incrementos en el oxígeno disuelto y reducciones significativas en parámetros como la turbidez, la DBO, aceites y grasas, así como en la carga microbiológica, demostrando una mejora sustancial en la calidad del agua. Considerando estos cambios positivos y su consistencia con los criterios establecidos en la normativa vigente, se determinó que el tratamiento sí generó efectos medibles y favorables. En consecuencia, los resultados permiten rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1), la cual sostiene que el uso del filtro percolador experimental con caucho fragmentado tiene resultados para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con el objetivo general de evaluar la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.

Para evaluar este objetivo, los resultados demostraron que el sistema logró una reducción significativa de la carga contaminante. La prueba de normalidad confirmó que los datos eran aptos para aplicar estadística paramétrica y la prueba t de Student mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) entre las muestras antes y después del tratamiento, lo que valida la eficacia del filtro. En términos prácticos, la DBO se redujo en más del 80 %, pasando de valores superiores a 5000 mg/L a concentraciones finales cercanas a 560 mg/L, mientras que los coliformes totales registraron disminuciones mayores al 85 %, evidenciando la capacidad del material filtrante para mejorar tanto la calidad química como microbiológica del agua.

Al evaluar los parámetros físicos antes y después del tratamiento con el filtro percolador experimental con caucho fragmentado, se observa que los resultados guardan ciertas semejanzas con los obtenidos por

En la investigación de (Obregon Castillo, 2022), en la “Evaluación de la calidad y la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de Mazohuara”. Se observa que los resultados guardan ciertas semejanzas con la investigación ya que en ambos estudios los parámetros físicos, como los sólidos suspendidos totales, muestran un comportamiento variable, evidenciando que la remoción depende en gran medida de la eficiencia del medio filtrante y de las condiciones de operación. Castillo reportó un porcentaje de remoción promedio de SST de 24%, reflejando un desempeño limitado del sistema convencional, además de que los parámetros de pH y temperatura no presentaron cambios significativos. De forma similar, en la presente investigación el pH y la temperatura no sufrieron variaciones relevantes tras la intervención del filtro, manteniéndose dentro de un rango estable.

Sin embargo, existen diferencias relevantes: mientras que Castillo trabajó con un sistema integral de tratamiento que incluía tanques sépticos y filtros percoladores en condiciones reales, donde la eficiencia fue afectada por fallas de operación y mantenimiento, el presente estudio se centra en un filtro percolador a escala experimental con un medio filtrante innovador como el caucho fragmentado. Este material permitió una mayor retención de sólidos en comparación con los resultados reportados por Castillo, evidenciando que el caucho puede constituir una alternativa más eficiente para la reducción de la carga física en aguas residuales de alta carga orgánica. Asimismo, al tratarse de agua residual preparada en condiciones controladas, los resultados obtenidos muestran mayor consistencia que los reportados en campo por Castillo.

En la investigación de (Miranda Romani, 2022), quien evaluó la eficiencia de un filtro percolador con fibra de coco para el tratamiento de aguas residuales domésticas presentan similitudes y diferencias con esta investigación porque ambos estudios se evidencian que los parámetros DBO y DQO constituyen los indicadores más relevantes para medir la depuración de la carga orgánica, observándose reducciones significativas después del tratamiento. Romani alcanzó porcentajes de remoción de 79 % en DBO y 86 % en DQO, sin lograr cumplir completamente los límites normativos, mientras que en el presente trabajo el caucho fragmentado mostró un comportamiento eficiente en la reducción de dichos parámetros, reflejando que este material es capaz de mejorar la capacidad filtrante frente a una alta carga orgánica.

A diferencia del estudio de Romani, que empleó un sistema en campo con mezcla de materiales (fibra de coco, aserrín, arena, grava y piedra), el presente trabajo se centró en un medio uniforme y reciclado como el caucho fragmentado, lo que aporta ventajas en cuanto a resistencia, durabilidad y mayor estabilidad de la biopelícula. Asimismo, mientras Romani trabajó con aguas residuales reales en condiciones operativas variables, el presente estudio se desarrolló en condiciones controladas, lo que permitió obtener resultados más consistentes y replicables. En conjunto, los hallazgos confirman que el filtro percolador, tanto con materiales vegetales como con

caucho, constituye una alternativa eficaz para la reducción de la carga orgánica, aunque persisten limitaciones respecto a la eliminación completa de DBO y DQO.

En su tesis (Velasquez Apaza, 2023), sobre la evaluación de la calidad de aguas residuales en la localidad de Capazo presentan similitudes con esta investigación porque en ambos estudios se evidencia que la concentración inicial de coliformes supera los valores máximos permisibles establecidos por la normativa, lo que hace imprescindible implementar tecnologías de tratamiento secundario que garanticen la reducción de la contaminación microbiológica. Asimismo, coinciden en reconocer al filtro percolador como un proceso clave dentro de la depuración, capaz de alcanzar remociones cercanas al 90 % en la carga orgánica y microbiológica.

Sin embargo, existen diferencias relevantes, mientras que Apaza planteó un diseño a escala de planta que integra procesos anaerobios, aerobios y terciarios en condiciones reales de campo, el presente estudio se desarrolló en un entorno experimental controlado, evaluando de manera específica la eficiencia microbiológica de un filtro percolador con un medio innovador: caucho fragmentado y grava. Esta diferencia metodológica permitió cuantificar directamente la reducción de coliformes, alcanzando resultados efectivos que respaldan la viabilidad del uso de materiales alternativos. En contraste, Apaza solo proyectó una eficiencia teórica basada en diseño, sin mediciones experimentales directas. De esta forma, los resultados del presente trabajo no solo confirman la importancia del filtro percolador en la reducción microbiológica, sino que además aportan evidencia experimental sobre la eficacia del caucho fragmentado como soporte de biopelícula, constituyendo una alternativa innovadora y sostenible frente a los materiales convencionales empleados en sistemas de tratamiento de aguas residuales

CONCLUSIONES

De la investigación presente se concluye lo siguiente

El análisis de los parámetros físicos mostró que el filtro alcanzó altas eficiencias de remoción de sólidos suspendidos totales (87,7%–99,4%), logrando valores finales próximos o inferiores al LMP (≤ 150 mg/L). Asimismo, se observó un incremento en el oxígeno disuelto (de 0,4–1,6 mg/L a 1,4–3,1 mg/L), lo cual evidencia procesos de aireación y oxidación biológica. Estos resultados confirman que el sistema es efectivo en la reducción de la turbidez y en la mejora parcial de la calidad física del agua residual, aunque los niveles de oxígeno alcanzados aún resultan bajos para una completa estabilización del efluente.

En los parámetros químicos, la DBO registró disminuciones significativas (83,7%–92,4%), lo que demuestra la capacidad biológica del sistema; sin embargo, los valores de salida (526–593 mg/L) permanecen muy por encima de lo exigido por la normativa peruana (≤ 100 mg/L), indicando la necesidad de un tratamiento complementario. Para el caso de aceites y grasas, la remoción osciló entre 40% y 97%, cumpliendo en todas las muestras con el LMP (≤ 20 mg/L). Por otro lado, el pH se mantuvo en rangos ácidos (3,3–4,2), sin mejorar hacia los valores normativos (6,5–8,5), lo que confirma que el filtro no influye en la neutralización de la acidez. En conjunto, los resultados evidencian mejoras relevantes en la carga orgánica y en la reducción de grasas, pero también limitaciones en parámetros clave como la DBO y el pH.

En los parámetros microbiológicos, se alcanzaron eficiencias de remoción de coliformes totales entre 88% y 99%, con valores post tratamiento entre 23 y 240 NMP/100 mL, lo que representa un control significativo de la contaminación bacteriana en el agua residual. Si bien se logró una reducción importante respecto a las muestras crudas, el sistema por sí solo no asegura la eliminación total de microorganismos patógenos, por lo que resulta necesario incorporar procesos de desinfección complementaria para garantizar un efluente seguro y conforme a normativa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un control más riguroso de la biomasa en el lecho filtrante, con el fin de evitar episodios de arrastre que comprometan la estabilidad del sistema. Asimismo, se sugiere regular de manera adecuada la carga hidráulica y la frecuencia de operación para optimizar el desempeño del filtro.

Considerando que los valores de DBO y pH no alcanzaron los límites normativos establecidos, se recomienda emplear el filtro como una etapa primaria o intermedia dentro de un tren de tratamiento, incorporando procesos complementarios de neutralización y desinfección (cloración, radiación UV u ozonización) que aseguren la calidad final del efluente tratado.

Dado que aún no se han evaluado escenarios de mayor caudal ni tiempos prolongados de operación, se sugiere investigar el desempeño del sistema en estas condiciones. Esto permitirá validar su eficiencia en contextos reales y determinar su viabilidad para su aplicación en comunidades rurales o plantas descentralizadas.

Es recomendable ampliar el monitoreo a parámetros de interés ambiental, tales como DQO, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y coliformes termotolerantes, con el objetivo de contar con una visión más integral del comportamiento del filtro biológico.

Con el fin de establecer de manera más precisa el rango de aplicabilidad del sistema, se propone evaluar su funcionamiento en diferentes tipos de aguas residuales, incluyendo efluentes domésticos, industriales y agrícolas, identificando posibles limitaciones en su uso.

Finalmente, se recomienda realizar un monitoreo de largo plazo que permita determinar la vida útil del caucho fragmentado como medio filtrante, evaluando su resistencia al taponamiento y la pérdida progresiva de eficiencia. Asimismo, se sugiere establecer protocolos de mantenimiento que garanticen la sostenibilidad y permanencia del sistema en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aqueous Solutions. (s.f.). *La construcción de un sistema de tratamiento de agua portátil usando materiales locales*. [Manual técnico, versión en español]. Aqueous Solutions. Obtenido de <https://www.aqsolutions.org/images/2013/03/portable-water-system-handbook-spanish.pdf>
- Ascurra Valle, V. (2019). *Aplicación de un modelo dinámico para determinar la contaminación y remoción de metales pesados del río Moche – Valle Santa Catalina*. Revista Ciencia y Tecnología, 15(1), 1–10. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2361/2377>
- Balvin Saavedra, I. K. (2019). *Biofiltro con enneas (Typha Spp.) para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Institución Educativa Colegio Nacional Mixto Huaycán, Ate-2018*. [Tesis de pregrado, Ingeniería Ambiental, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio institucional de la Universidad Alas Peruanas. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/7672>
- Cabral, J. (Setiembre de 2010). *Water microbiology. Bacterial pathogens and water*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 7(10), 3657–3703. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Callo Luque, L. M., & Incaluque Sortija, Y. C. (2022). *Prototipo de filtro percolador en lecho filtrante de PET con calentamiento solar para depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Peruana Unión]. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2692c245-b63b-4f00-8b88-cbda80b51565/content>
- Callo Luque, L., & Incaluque Sortija, Y. (2022). *Prototipo de filtro percolador en lecho filtrante de PET con calentamiento solar para depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas*. [Tesis profesional, Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión].

Repositorio institucional Universidad Peruana Unión. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2692c245-b63b-4f00-8b88-cbda80b51565/content>

Carvajal Fuentes, C. A. (2020). *Modelo para comparar diseños de filtro percolador*. [Trabajo de grado – Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1445>

Carvajal, F. C. (2020). *Modelo para Comparar Diseños de Filtro Percolador*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1445/Carvajal%20Fuentes%2C%20Carvajal%20Fuentes-2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Chavez Aquino, D., Justo Roque, R. G., & Ramirez Perez, E. D. (2023). *Diseño y evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales para el distrito de Ripán, provincia Dos de Mayo – Huánuco – 2022*. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental, Escuela Académico-Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú]. Repositorio Institucional Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13304>

Crittenden, J., Rhodes Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design (3.ª ed.)*. John Wiley & Sons. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=SIHAAAAQBAJ>

ECOTEC. (s.f.). *Biofiltros*. Obtenido de <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/biofiltro>

Esquivel Rafaele, F. A. (2021). *Eficiencia de un biofiltro a base de cabello y aserrín de cachimbo para el tratamiento de las aguas de lavandería*. [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, sede Lima Norte].

Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/80666>

García Carrera, M. (2007). *Modelización del transporte de contaminantes en suelos*. Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/20082/fichero/3.%2BSuelos%2Bcontaminados.pdf>

García Fernández, L. (2023). *Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador en la remoción de nutrientes en aguas residuales domésticas*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f5503201-a2ce-488f-b6ba-af540f87b4dd/content?utm_source=chatgpt.com

González Pérez, C. E. (2016). *Eficacia de un biofiltro a base de la microalga Spirulina sp para el tratamiento de las aguas residuales, 2016*. [Tesis para optar al título profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental]. Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34566/gonzalez_pc.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Llumiquinga Nacimba, M. V. (2020). *Caracterización inicial de la biopelícula formada en el filtro percolador de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad de las Américas*. [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas]. Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12069/1/UDLA-EC-TIAM-2020-16.pdf>

M. Espigares, G., & Pérez López, J. (1985). *Aguas residuales: composición*. [Material educativo]. Universidad de Salamanca. Obtenido de <https://n9.cl/z6ezu>.

Mariñelarena, A. (2006). *Manual de autoconstrucción de un sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. [Manual técnico]. FREPLATA Editores; Instituto de Limnología "Dr. Raúl Ringuelet"

- (ILPLA), CONICET-UNLP. Obtenido de https://www.ilpla.edu.ar/manual_sistemas_tratamiento.pdf
- Medina Escobar, M. F. (Noviembre de 2020). *Análisis de la implementación de biofiltros para el tratamiento de lixiviados generados en unidades de compostaje: Revisión de literatura*. [Proyecto especial de graduación, Universidad Zamorano]. Repositorio institucional Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a0008898-c529-4948-b342-4a7844168a3c/content>
- MINAM. (2008). *Parte 2: Tratamiento y reuso de aguas residuales*. [Documento técnico]. Sistema Nacional de Información Ambiental. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/153.pdf>
- MINAM. (7 de JUNIO de 2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. [Decreto supremo]. Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio De Salud. (2010). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano*. [Decreto Supremo N°031-2010-SA]. Dirección General de Salud Ambiental. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
- Miranda Romani, V. G. (2022). *Evaluación de eficiencia del filtro percolador utilizando fibra de coco para tratamiento de aguas residuales domésticas*. [Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Peruana Unión]. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/bbca5e59-10a6-4926-9e32-402140e3d509/content>
- Núñez López, R., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olguín, E. (2004). *Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones*. Revista Ciencia, 55(3), 69–83. Obtenido de

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Obregon Castillo, B. N. (2022). *Evaluación de la calidad y la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales de Mazo – Huaura*. [Tesis de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Obtenido de

<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/6609/TESIS%20OBREGON%20CASTILLO%20BRYAN%20NICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Orellana, J. A. (2005). *Características del agua potable*. [Material docente]. Ingeniería Sanitaria - UTN - FRRO. Obtenido de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. [Informe técnico]. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de Cuarta edición que incorpora la primera adenda: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1>

Quintanilla Bohórquez, J. B. (2020). *Estudio experimental de un Filtro Percolador en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza, Escuela de Ingeniería y Arquitectura]. Repositorio institucional Zaguán. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/96404/files/TAZ-TFG-2020-3877.pdf>

Simón, D. L. (2022). *Valorización de residuos Agroindustriales como absorbentes de metales pesados, y su reutilización en la fabricación de ladrillos de construcción*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Mar del Plata]. Repositorio RINFI. Obtenido de <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/568/DSim%c3%b3n-TD-M-2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SSWM. (s. f.). (s.f.). *Humedal artificial de flujo vertical. En Tecnologías de saneamiento – Tratamiento semi-centralizado*. SSWM: Sustainable Sanitation and Water Management. Obtenido de <https://sswm.info/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/humedal-artificial-de-flujo-vertical>

Universidad Complutense de Madrid. (2015). *Turbidez (JTU)*. [Documento técnico]. Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-turbidez%20f.pdf>

USAID. (Diciembre de 2024). *REAL-Water Desk Study: Final Report* . Obtenido de <https://www.globalwaters.org/real-water>

Velasquez Apaza, R. (2023). *Evaluación de la calidad y cantidad de agua residual para el diseño de la planta de tratamiento de la localidad de Capazo, Puno – 2022*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Escuela Académico-Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13274>

Zacarias, H., & Supo, J. (2020). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Amazon Digital Services LLC - Kdp, 2020. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Metodolog%C3%8Da_de_la_Investigaci%C3%93n_Cient.html?id=WruXzQEACAAJ&redir_esc=y

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Sama Valerio, Luis A. (2026). *Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN FILTRO PERCOLADOR EXPERIMENTAL CON CAUCHO FRAGMENTADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PREPARADA CON ALTA CARGA ORGÁNICA”

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables/ Indicadores	Metodología
¿Cuál será la eficiencia del filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica? Problemas específicos ¿Cómo varían los parámetros físicos del agua residual preparada con alta carga orgánica antes y después del tratamiento con el filtro percolador experimental con caucho fragmentado? ¿Cómo varían los parámetros químicos del agua residual preparada con alta carga orgánica antes y después del tratamiento con el filtro percolador experimental con caucho fragmentado? ¿Cómo varían los parámetros microbiológicos del agua residual preparada con alta carga orgánica antes y después del tratamiento con el filtro percolador experimental con caucho fragmentado?	Evaluar la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica. Objetivos específicos - Evaluar los parámetros físicos antes y después de la intervención de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica. - Evaluar los parámetros químicos antes y después de la intervención de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica. - Evaluar los parámetros microbiológicos antes y después de la intervención de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.	- H0: El uso del filtro percolador experimental con caucho fragmentado no tiene resultados para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica. - H1: El uso del filtro percolador experimental con caucho fragmentado tiene resultados para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica.	Variable Dependiente Calidad del agua gris Parámetros físicos y químicos - Aceites y Grasas - Sólidos Totales - Oxígeno Disuelto - DBO - pH Parámetros Microbiológicos - Coliformes Totales Variable de Independiente Tratamiento con filtro percolador Tiempo de Residencia - Horas	Tipo: - Experimental - Prospectivo - Longitudinal - Analítico Enfoque: - Cuantitativo Nivel: - Aplicativo Diseño: - Experimental Verdadero Unidad de estudio: 0₁----x₁----0₂

ANEXO 2

RESULTADOS DE ANÁLISIS

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO UDH	LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA LABORATORIO DE ENSAYO	 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO UDH
---	---	---

INFORME DE ENSAYO N° 3- 2025

Solicitante: Luis Aron Sama Valerio (Alumno de UDH, Ingeniería Ambiental)

Proyecto de tesis: Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica

Dirección de entrega: Ciudad Universitaria

Tipo de muestra: agua residual cruda y filtrada

Cantidad de muestras: 4 botellas de 1 litro

Fecha y hora de muestreo: 9/07/2025

Procedencia de las muestras: Jr. Abancay 111-Amarillos-Huánuco

Ubicación del punto de muestreo: se indica en resultados

Procedimiento de muestreo: muestreado por el solicitante

Lugar y recepción de la muestra: Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101

Fecha de recepción de la muestra: 9/07/2025

Estado y condiciones de la muestra: Conservado

Fecha de ejecución del ensayo: Del 09/07/2025 hasta 14/07/2025

Resultados:

Fecha de recepción de muestra e inicio de ensayo: 9 de Julio 2025. Parámetros medidos	Agua residual No tratada	Agua residual tratada Filtrada con el filtro percolador
DBO ₅ (mg/L)	3 223	526
Oxígeno disuelto, mg/L	1.60	2.24
Sólidos suspendidos totales, mg/L	1 324	162
Accites y grasas, g/L	8.14	4.04
pH	3.0	3.9
Coliformes totales, NMP, bact/ml	2400	23

Informe autorizado por:


Ing. Hernán Tacazona Mirabal
 C.I.P. 14643
 Director Técnico del Laboratorio

Fecha de emisión: 15/07/2025

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab_bioteecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

LBT-EGH-63

Pág. 1 de 1

INFORME DE ENSAYO N° 4- 2025

Solicitante: Luis Aron Sama Valerio (Alumno de UDH, Ingeniería Ambiental)
Proyecto de tesis: Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica
Dirección de entrega: Ciudad Universitaria
Tipo de muestra: agua residual cruda y filtrada
Cantidad de muestras: 4 botellas de 1 litro
Fecha y hora de muestreo: 17/07/2025
Procedencia de las muestras: Jr. Abancay 111-Amarillo-Huánuco
Ubicación del punto de muestreo: se indica en resultados
Procedimiento de muestreo: muestreado por el solicitante
Lugar y recepción de la muestra: Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101
Fecha de recepción de la muestra: 17/07/2025
Estado y condiciones de la muestra: Conservado
Fecha de ejecución del ensayo: Del 17/07/2025 hasta 22/07/2025

Resultados:

Fecha de recepción de muestra e inicio de ensayo: 17 de Julio 2025. Parámetros medidos	Agua residual No tratada	Agua residual tratada Filtrada con el filtro percolador
DBO ₅ (mg/L)	5 063	563
Oxígeno disuelto, mg/L	0.40	1.60
Sólidos suspendidos totales; mg/L	4 488	166
Accites y grasas, g/L	2,5	1.5
pH	3.9	3.5
Coliformes totales, NMP, bact/ml	2500	93

Informe autorizado por:


 Ing. Herman Tazarona Mirabal
 C.I.P. 14643
 Director Técnico del Laboratorio

Fecha de emisión: 23/07/2025

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab_bioteecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio.
 LBT-UDH-03

Pág. 1 de 1

INFORME DE ENSAYO N° 5- 2025

Solicitante: Luis Aron Sama Valerio (Alumno de UDH, Ingeniería Ambiental)
Proyecto de tesis: Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica
Dirección de entrega: Ciudad Universitaria
Tipo de muestra: agua residual cruda y filtrada
Cantidad de muestras: 4 botellas de 1 litro
Fecha y hora de muestreo: 30/07/2025
Procedencia de las muestras: Jr. Abancay 111-Amarillo-Huánuco
Ubicación del punto de muestreo: se indica en resultados
Procedimiento de muestreo: muestreado por el solicitante
Lugar y recepción de la muestra: Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101
Fecha de recepción de la muestra: 30/07/2025
Estado y condiciones de la muestra: Conservado
Fecha de ejecución del ensayo: Del 30 /07/2025 hasta 04/08/2025

Resultados:

Fecha de recepción de muestra e inicio de ensayo: 30 de Julio 2025. Parámetros medidos	Agua residual No tratada	Agua residual tratada Filtrada con el filtro percolador
DBO ₅ (mg/L.)	7 687	587
Oxígeno disuelto, mg/L.	0.40	1.40
Sólidos suspendidos totales; mg/L.	13 170	124
Aceites y grasas, g/L.	3,5	1.5
pH	4.06	3.3
Coliformes totales, NMP, bact/ml	240	28

Informe autorizado por:


Ing. Herman Tarazona Mirabal
C.I.P. 14643
Director Técnico del Laboratorio

Fecha de emisión: 5/08/2025

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab_biotecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

LBT-FGR-63

Pag. 1 de 1



LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA
LABORATORIO DE ENSAYO



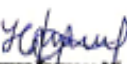
INFORME DE ENSAYO N° 6- 2025

Solicitante: Luis Aron Sama Valerio (Alumno de UDH, Ingeniería Ambiental)
Proyecto de tesis: Evaluación de la eficiencia de un filtro percolador experimental con caucho fragmentado para el tratamiento de agua residual preparada con alta carga orgánica
Dirección de entrega: Ciudad Universitaria
Tipo de muestra: agua residual cruda y filtrada
Cantidad de muestras: 4 botellas de 1 litro
Fecha y hora de muestreo: 07/08/2025
Procedencia de las muestras: Jr. Abancay 111-Amarillo-Huánuco
Ubicación del punto de muestreo: se indica en resultados
Procedimiento de muestreo: muestreado por el solicitante
Lugar y recepción de la muestra: Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101
Fecha de recepción de la muestra: 07/08/2025
Estado y condiciones de la muestra: Conservado
Fecha de ejecución del ensayo: Del 07 /08/2025 hasta 13/08/2025

Resultados:

Fecha de recepción de muestra e inicio de ensayo: 7 de Agosto 2025. Parámetros medidos:	Agua residual No tratada	Agua residual tratada Filtrada con el filtro percolador
DBO ₅ (mg/L)	6 913	593
Oxígeno disuelto, mg/L	1.19	3.09
Sólidos suspendidos totales; mg/L	12 120	73
Aceites y grasas, g/L	18.0	0.54
pH	2.884	4.151
Coliformes totales, NMP, bact/ml	2400	240

Informe autorizado por:


Ing. Herman Yañez Mirabal
C.I.P. 14643
Director Técnico del Laboratorio

Fecha de emisión: 14/08/2025

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab_biotecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

LBT-FGR-63

Pag. 1 de 1

ANEXO 3

PANEL FOTOGRAFICO

Fotografía 1

Grava clasificado y granulado por medidas



Fotografía 2

Componentes hidráulicos, accesorios y Caucho Fragmentado



Fotografía 3

Instalación de los materiales en filtro percolador experimental

Válvula de control y entrada de flujo y Tanque de almacenamiento



Fotografía 4

Tubería de conducción vertical y Filtro percolador experimental



Fotografía 5

Sistema de almacenamiento y preparación del agua residual



Fotografía 6

Operación y monitoreo del filtro percolador experimental

Filtro percolador antes de usarlo y Filtro percolador con descarga



Fotografía 7

Recolección y llenado del agua residual preparada en el tanque principal



Fotografía 8

Recolección de muestras de agua residual para análisis de laboratorio agua filtrada y agua cruda



Fotografía 9

Rotulación y embalaje de muestras de análisis de laboratorio proceso de rotulación. de envases y empaque de las muestras



Fotografía 10

Supervisión técnica por miembro del jurado

