

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ingeniería ambiental y geología

AUTOR:

Gutierrez Villanueva, Luis Leonardo

ASESOR:

Dr. Carhuallanqui Ibarra Solón Dante

COASESOR:

Ing. Huisa Taipe Michael

HUANTA - PERÚ

2026

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INFORME FINAL DE TESIS LEO.pdf

AUTOR

Luis Leonardo Gutierrez Villanueva

RECUENTO DE PALABRAS

21925 Words

RECUENTO DE CARACTERES

128571 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

107 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 16, 2026 11:58 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 16, 2026 12:01 PM GMT-5**● 13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE HUANTA

Dr. Solón D. José Cahuallanqui Ibarra
DOCENTE PRINCIPAL

“Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta”

AUTOR

Gutierrez Villanueva Luis Leonardo

ASESOR

Dr. Carhuallanqui Ibarra Solón Dante

COASESOR

Ing. Huisa Taipe Michael



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

"Año la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

En la ciudad de Huanta, en el auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvío a Ccollana, a los 02 días del mes de julio de 2026, siendo las 15:00 horas, se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz

Miembro Titular 1 (Presidente)

Dr. Jorge Luis Lozano Rodriguez

Miembro titular 2

Dr. Solon Dante Carhuallanqui

Miembro titular 3

Acto seguido se procedió a dar lectura a la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 102-2026-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del **Bach. Luis Leonardo Gutierrez Villanueva**, con la tesis titulada: **"Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido con *Eisenia Foetida* y *Zantedeschia Aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta"**, asesorado por el Dr. Solon Dante Carhuallanqui Ibarra, para optar el Título profesional de: Ingeniero Ambiental.

Observaciones:

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluadores, los mismos que fueron defendidos y absueltos por la tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

Aprobado Regular	()
Aprobado Bueno	(x)
Aprobado Muy Buenos	()
Aprobado Excelente	()

Con la calificación de catorce (14)

Siendo las 16:22 horas se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.



Dra. Karina M. Ordoñez Ruiz

DOCENTE PRINCIPAL

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz

Miembro Titular 1 (Presidente)



Dr. Jorge Luis Lozano Rodriguez

DOCENTE ORDINARIO ASOCIADO

Dr. Jorge Luis Lozano Rodriguez

Miembro Titular 2

Dr. Solon Dante Carhuallanqui

DOCENTE

Dr. Solon Dante Carhuallanqui Ibarra

Miembro Titular 3

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme la fortaleza y perseverancia para alcanzar esta meta. A mis padres, Luis Félix Gutierrez Mejía y Tania Villanueva Morán, por su amor, confianza y apoyo incondicional, quienes con su sacrificio y ejemplo hicieron posible la culminación de este importante logro académico y personal.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme la sabiduría y las fuerzas para superar los obstáculos presentados durante el desarrollo de la presente investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de Huanta y al Fondo de Desarrollo Socioeconómico de Camisea (FOCAM), por el financiamiento otorgado para la ejecución del proyecto de tesis, lo cual permitió su culminación satisfactoria.

A mis padres y a mi familia, por su apoyo constante y motivación a lo largo de mi formación académica, siendo un pilar fundamental para la culminación de esta meta.

A mi asesor de tesis, el Dr. Solón Dante Carhuallanqui Ibarra, por su asesoramiento, orientación y acompañamiento durante el desarrollo de la investigación. Del mismo modo, agradezco a mi coasesor, el Ing. Michael Huisa Taípe, por su amistad y apoyo en el aspecto técnico y estadístico del proyecto, así como por sus oportunas recomendaciones durante la ejecución del mismo.

A los responsables de los laboratorios de la universidad, por su apoyo y disposición durante la etapa de análisis de muestras, así como por las facilidades brindadas para el uso de los equipos y materiales necesarios.

A mis amigos, Yirme Yohu, Luz Estrelia y Javier Raúl, por su valiosa colaboración y acompañamiento en las actividades de toma de muestras y análisis en laboratorio.

RESUMEN

Las aguas residuales del camal municipal de Huanta son descargadas directamente al alcantarillado sin recibir un tratamiento adecuado que garantice el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa nacional, especialmente en lo referente a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). En ese contexto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la remoción de la carga orgánica, medida en función de la DBO₅ y la DQO, mediante la implementación de un biofiltro híbrido a nivel piloto utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* para el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Huanta. El presente estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, de nivel explicativo y con diseño cuasiexperimental. El prototipo estuvo conformado por cuatro capas de sustrato: la primera compuesta por las especies biológicas y tierra orgánica, y las tres restantes por aserrín, grava y piedras de río, que actuaron como materiales inertes complementarios. Asimismo, se implementó un biofiltro control compuesto únicamente por material inerte. Los resultados mostraron que el biofiltro experimental alcanzó una eficiencia de remoción del 71.04 % para la DBO₅ y 57.13 % para la DQO, mientras que el biofiltro control presentó eficiencias de 16.05 % y 18.79 %, respectivamente. Se concluye que los biofiltros híbridos basados en la combinación de especies biológicas constituyen una alternativa viable, funcional y sostenible para el tratamiento de aguas residuales de camales.

PALABRAS CLAVE: Biofiltro, Carga orgánica, Aguas residuales, *Eisenia foetida*, *Zantedeschia aethiopica*

ABSTRACT

Wastewater from the Huanta municipal slaughterhouse is discharged directly into the sewer system without undergoing adequate treatment to ensure compliance with the parameters established by national regulations, particularly with regard to Biochemical Oxygen Demand (BOD₅) and Chemical Oxygen Demand (COD). In this context, the objective of this study was to determine the removal of organic load, measured in terms of BOD₅ and COD, through the implementation of a pilot-scale hybrid biofilter using *Eisenia foetida* and *Zantedeschia aethiopica* for the treatment of wastewater from the Huanta municipal slaughterhouse. This study is an applied research project of an explanatory nature with a quasi-experimental design. The prototype consisted of four substrate layers: the first composed of the biological species and organic soil, and the remaining three of sawdust, gravel, and river stones, which acted as complementary inert materials. Additionally, a control biofilter composed solely of inert material was implemented. The results showed that the experimental biofilter achieved a removal efficiency of 71.04 % for BOD₅ and 57.13 % for COD, while the control biofilter achieved efficiencies of 16.05 % and 18.79 %, respectively. It is concluded that hybrid biofilters based on the combination of biological species constitute a viable, functional, and sustainable alternative for the treatment of slaughterhouse wastewater.

KEYWORDS: Biofilter, Organic load, Wastewater, *Eisenia foetida*, *Zantedeschia aethiopica*

Índice General

RESUMEN -----	ix
ABSTRACT -----	x
INTRODUCCIÓN -----	20
I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	22
1.1 Descripción y formulación del problema -----	22
1.2 Preguntas de investigación-----	23
1.2.1 Pregunta general-----	23
1.2.2 Preguntas específicas -----	23
1.3 Objetivos -----	23
1.3.1 Objetivo general -----	23
1.3.2 Objetivos específicos -----	23
1.4 Justificación e importancia -----	23
1.5 Hipótesis -----	24
1.5.1 Hipótesis general -----	24
1.5.2 Hipótesis específicas-----	25
1.6 Variables -----	25
1.6.1 Variable independiente -----	25
1.6.2 Variable dependiente -----	25
1.6.3 Definición y operacionalización de variables-----	26
II MARCO TEÓRICO -----	27
2.1 Antecedentes-----	27
2.1.1 Internacionales-----	27

2.1.2	Nacionales-----	32
2.2	Bases teóricas-----	37
2.2.1	Agua residual -----	37
2.2.2	Tipos de aguas residuales -----	37
2.2.3	Aguas residuales de camal -----	38
2.2.4	Características de las aguas residuales de camal -----	39
2.2.5	Tratamiento biológico de las aguas residuales -----	41
2.2.6	Biofiltro-----	41
2.2.7	Carga orgánica-----	42
2.3	Definición de términos -----	42
2.3.1	Eisenia foetida -----	42
2.3.2	Zantedeschia aethiopica -----	43
2.3.3	Percolación-----	43
2.3.4	Lecho filtrante -----	43
III	METODOLOGÍA -----	44
3.1	Tipo y nivel de investigación-----	44
3.2	Ámbito temporal y espacial-----	44
3.3	Población y muestra -----	45
3.4	Instrumentos -----	46
3.4.1	Instrumentos de campo -----	46
3.4.2	Instrumentos de laboratorio -----	46
3.5	Técnicas -----	46
3.5.1	Técnica de titulación para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) -----	46
3.5.2	Método de incubación para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) -----	47

3.6	Procedimientos -----	47
3.6.1	Recolección de los componentes para el biofiltro-----	47
3.6.2	Muestreo del agua residual del camal -----	47
3.6.3	Muestreo para los Análisis de la DBO ₅ y DQO -----	48
3.6.4	Construcción de la estructura de los sistemas de biofiltración -----	48
3.6.5	Adaptación de la Eisenia foetida -----	49
3.6.6	Distribución de los sustratos del biofiltro -----	50
3.6.7	Trasplante de la Zantedeschia aethiopica -----	52
3.6.8	Medición del caudal y Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)-----	53
3.6.9	Determinación del porcentaje de remoción de la DQO y DBO ₅ -----	54
3.6.10	Determinación de la Carga Orgánica (CO)-----	54
3.6.11	Análisis de datos -----	54
IV	RESULTADOS-----	55
4.1	Resultados de la Carga Orgánica (CO) basada en la Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO ₅)-----	56
4.2	Resultados de la Carga Orgánica (CO) basada en la Demanda Química Oxígeno (DQO) -----	57
4.3	Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) -----	59
4.4	Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)-----	61
4.5	Resultados del pH-----	63
4.6	Resultados de la temperatura -----	64
4.7	Resultados estadísticos de contrastación de hipótesis-----	65
4.7.1	Prueba de normalidad-----	65
4.7.2	Prueba t de Student para muestras pareadas antes y después del tratamiento -----	68

V	DISCUSIÓN	72
5.1	Carga orgánica (CO)	72
5.2	Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	73
5.3	Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	74
VI	CONCLUSIONES	75
VII	RECOMENDACIONES	76
VIII	REFERENCIAS	77
IX	ANEXOS	87

Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación geográfica.....	45
Figura 2 Promedios finales de la carga orgánica asociada a la DBO ₅ antes y después del tratamiento	56
Figura 3 Variación temporal de la carga orgánica asociada a la DBO ₅ antes y después del tratamiento	55
Figura 4 Promedios de la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento	58
Figura 5 Variación temporal de la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento	58
Figura 6 Promedio final de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	59
Figura 7 Variación temporal de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	59
Figura 8 Promedio de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después del tratamiento.....	60
Figura 9 Variación temporal de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después del tratamiento.....	61
Figura 10 Promedio final de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)...	61
Figura 11 Variación temporal de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)..	62
Figura 12 Promedios de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) antes y después del tratamiento.....	62
Figura 13 Variación temporal de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) antes y después del tratamiento	63
Figura 14 Promedios del pH antes y después del tratamiento	63
Figura 15 Variación temporal del pH antes y después del tratamiento	64
Figura 16 Promedios de la temperatura (°C) antes y después del tratamiento	64

Figura 17 Variación temporal de la temperatura (°C) antes y después del tratamiento	65
Figura 18 Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 1)	88
Figura 19 Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 2)	89
Figura 20 Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 3)	90
Figura 21 Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 4)	91
Figura 22 Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 1).....	92
Figura 23 Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 2).....	92
Figura 24 Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 3).....	94
Figura 25 Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 4).....	95
Figura 26 Plano de los sistemas de biofiltración con las especies y control.....	100
Figura 27 Acondicionamiento del área de operación del sistema de biofiltración	101
Figura 28 Construcción e instalación de los sistemas de biofiltración	102
Figura 29 Selección y acondicionamiento de los materiales filtrantes para los sistemas de biofiltración.....	103
Figura 30 Adaptación de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	104
Figura 31 Selección, recolección y trasplante de la <i>Zantedeschia aethiopica</i>	105
Figura 32 Toma de muestras del agua residual antes del tratamiento	106
Figura 33 Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	107
Figura 34 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	108

Índice de Tablas

Tabla 1 Definición y operacionalización de variables	26
Tabla 2 Muestreo para los análisis de la DBO ₅ y DQO	48
Tabla 3 Adaptación de la Eisenia foetida por 7 días.....	50
Tabla 4 Proporción y altura de los sustratos del biofiltro con las especies.....	52
Tabla 5 Proporción y altura de los sustratos del biofiltro control.....	52
Tabla 6 Medición del caudal para el biofiltro con las especies y control	53
Tabla 7 Parámetros físicos y químicos del agua residual antes del tratamiento con los sistemas de biofiltración	55
Tabla 8 Parámetros físicos y químicos del agua residual después del tratamiento con el biofiltro experimental.....	55
Tabla 9 Parámetros físicos y químicos del agua residual después del tratamiento con el biofiltro control	55
Tabla 10 Carga Orgánica promedio determinada mediante la DQO y DBO ₅	56
Tabla 11 Prueba de normalidad para la remoción de la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	66
Tabla 12 Prueba de normalidad para la remoción de la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	66
Tabla 13 Prueba de normalidad para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	67
Tabla 14 Prueba de normalidad para la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	68
Tabla 15 Prueba t de Student pareada para la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	69
Tabla 16 Prueba t de Student pareada para la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	69
Tabla 17 Prueba t de Student pareada para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	70

Tabla 18 Prueba t de Student pareada para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	71
---	----

Índice de Anexos

Anexo 1. Preservación de las muestras y tipo de muestreo de la DQO y DBO ₅	87
Anexo 2. Cadena de custodia de la toma de muestra del camal municipal de Huanta	88
Anexo 3. Cadena de custodia de la toma de muestra después del tratamiento con los sistemas de biofiltración	92
Anexo 4. Guía de laboratorio para el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) ..	96
Anexo 5. Guía de laboratorio para el análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	98
Anexo 6. Plano de los sistemas de tratamiento	100
Anexo 7. Panel fotográfico	101
Anexo 8. Matriz de consistencia	109

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales se forman como producto del consumo humano y se clasifican, según su origen, en domésticas e industriales, presentando en su composición sustancias orgánicas e inorgánicas en proporciones variables según su procedencia (Quispe, 2020), entre las actividades que generan mayor cantidad de compuestos orgánicos se destaca la industria cárnica, particularmente las aguas provenientes del lavado de los animales sacrificados en los mataderos, que poseen elevadas concentraciones de materia orgánica asociadas a las proteínas, grasas y compuestos orgánicos nitrogenados (Berrios, 2020). Por ello, las aguas residuales de esta naturaleza que no son de origen doméstico deben cumplir con ciertos límites para su descarga.

En el Perú las aguas residuales de los camales se rigen por los valores máximos admisibles, priorizando parámetros como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendedos Totales y Aceites y Grasas (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, 2019, Anexo N°1). El vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento previo contamina principalmente los cuerpos de agua, como ríos o lagos; y aunque estos sistemas poseen la capacidad de soportar el daño, las descargas frecuentes con elevadas concentraciones de compuestos orgánicos e inorgánicos alteran parámetros como el pH, temperatura, salinidad y oxigenación del agua, reduciendo de esta manera la diversidad de flora y fauna (Oliva, 2014). Asimismo, las aguas residuales representan focos infecciosos debido a la cantidad de microorganismos patógenos que transportan, los cuales pueden provocar enfermedades en las personas que entran en contacto con ellas, como la fiebre tifoidea, el cólera, la disentería, entre otras (Guyer, 2019). Por estas características las aguas residuales de los camales representan un problema ambiental, pues la contaminación orgánica tiene un impacto negativo en el entorno ecológico y social (Unesco, 2017)

Por ello, es fundamental realizar el tratamiento de las aguas residuales para garantizar que no afecten el equilibrio de los cuerpos de agua y salud de las personas. El nivel o grado de tratamiento dependerá de los límites exigidos al efluente, que por lo general comprende procesos de tratamiento primario, secundario y terciario para cumplir con lo establecido en la normativa para la descarga en el cuerpo receptor o alcantarillado (Ramalho, 2021). Entre los tratamientos para remover los compuestos orgánicos se encuentran los biológicos que, mediante procesos asociados a organismos vivos, pueden eliminar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, así como estabilizar los fangos de las aguas residuales. En esta categoría se

incluyen los lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, biodiscos, entre otros (Ferrer, 2022).

No obstante, también existen otros tratamientos biológicos menos convencionales, como los biofiltros, estos sistemas están contruidos por lechos filtrantes que eliminan una gran diversidad de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales mediante procesos biológicos (Masharqa, 2023). Esto se logra gracias a capas de material biológico conformadas por microorganismos como bacterias y hongos, así como macroorganismos como plantas, gusanos, larvas, entre otros (Serna, 2021). El tipo de material biológico utilizado en los biofiltros depende del tipo de contaminante que se desea remover y de la adaptación de la especie al lugar donde se realiza el tratamiento (Vasco, 2023). Frente a tecnologías convencionales, los biofiltros representan una alternativa eficiente en la remoción de los contaminantes orgánicos, mejorando parámetros como la DQO y DBO₅; además, al emplear materiales naturales y de bajo costo, la inversión es mínima y debido a la sencillez del proceso, no se requiere de un personal especializado para su operación y mantenimiento (Gurreonero, 2024).

En este contexto, considerando la situación del camal municipal de la provincia de Huanta del departamento de Ayacucho, se realizó la construcción de un prototipo de biofiltro híbrido para el tratamiento de sus aguas residuales, combinando a dos especies biológicas: la *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*, con la finalidad de remover la carga orgánica medida en función de la DQO y DBO₅, siendo el objetivo principal de este estudio determinar dicha remoción mediante las especies antes mencionadas.

I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema

La problemática del vertimiento de las aguas residuales sin ningún tratamiento es un fenómeno que existe en todo el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud, el 80 % de las aguas residuales no reciben un tratamiento adecuado o no reciben ningún tratamiento (Kumar, 2022). Además, debido a la poca disponibilidad de agua potable, estas aguas son reutilizadas en actividades como la agricultura, provocando que el problema se agrave aún más (Ungureanu, 2020).

Asimismo, el problema de las aguas residuales radica en sus efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos y la salud de las personas, pues los vertimientos de las aguas residuales generan malos olores, enfermedades infecciosas para las personas y contaminan las aguas subterráneas por infiltración (Lin, 2022). Por ello, una alternativa para reducir el impacto negativo de las aguas residuales es la aplicación de tratamientos biológicos como los lodos activados o biofiltros, los cuales son tecnologías que ayudan a reducir los contaminantes de las aguas residuales (Duque, 2018), mejorando las características físicas y químicas del agua, tales como la concentración de la materia orgánica, la turbidez y los sólidos disueltos, entre otros (Velmurugan, 2024).

Por otro lado, la provincia de Huanta no es ajena a la problemática, pues las aguas residuales provenientes del matadero municipal de la ciudad de Huanta están siendo descargadas al alcantarillado sin un tratamiento adecuado, dicho vertimiento puede generar un exceso de nutrientes si llega a filtrarse al cuerpo de agua cercano, impactando directamente en su concentración de oxígeno disuelto y afectando su calidad (Segovia, 2023).

Frente a esta problemática, se realizó la construcción de un biofiltro híbrido a nivel piloto, el cual estuvo conformado por cuatro capas verticales. La primera de ellas estuvo constituida por un material vivo o biológico, utilizando la lombriz *Eisenia foetida* en combinación con la macrófita *Zantedeschia aethiopica*, mientras que las capas restantes estuvieron constituidas por material inerte utilizando aserrín, grava y piedras de río respectivamente.

Este sistema tuvo como finalidad el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal mediante un proceso de percolación para mejorar sus características físicas y químicas, principalmente la reducción de la carga orgánica en función de la DQO y DBO₅.

1.2 Preguntas de investigación

1.2.1 Pregunta general

- ¿Cuál será la remoción de la carga orgánica mediante un biofiltro híbrido utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta?

1.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál será la remoción de la DBO₅ mediante un biofiltro híbrido utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta?
- ¿Cuál será la remoción de la DQO mediante un biofiltro híbrido utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar la remoción de la carga orgánica mediante un biofiltro híbrido utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la remoción de la DBO₅ mediante un biofiltro híbrido utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.
- Determinar la remoción de la DQO mediante un biofiltro híbrido utilizando *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.

1.4 Justificación e importancia

El interés por realizar este trabajo surgió por la problemática del vertimiento de las aguas residuales del camal municipal, las cuales no reciben un tratamiento adecuado, debido a que sus instalaciones no cuentan con tecnología ni proceso que garanticen que las aguas residuales cumplan con los valores máximos admisibles que exige la normativa para su descarga. Esta situación podría estar provocando un deterioro de la calidad ambiental del

cuerpo de agua cercano y afectar la salud de las personas que residen cerca del camal, pues las aguas residuales sin un tratamiento elevan la concentración de materia orgánica y favorecen una mayor proliferación de patógenos (Wear, 2021).

Es por ello que se realizó la construcción de un biofiltro híbrido a nivel piloto como alternativa de solución para la remoción de la carga orgánica en función de la DQO y DBO₅. Esta tecnología implementa materiales biológicos como lombrices y plantas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas o industriales, dichas especies son capaces de remover contaminantes y reducir la concentración elevada de nutrientes mediante procesos biológicos que no generan residuos que impacten negativamente al ambiente (Lara, 2022). Esta remoción puede optimizarse al combinar diferentes materiales biológicos, es decir, realizar una biofiltración híbrida, de modo que la interacción que existe entre las especies y los microorganismos mejore la eficiencia en cuanto a la remoción de la materia orgánica (Costa, 2023).

Asimismo, al tratarse de un sistema que funciona por percolación, el biofiltro utilizó la gravedad para distribuir el agua por cada uno de los lechos filtrantes e iniciar el proceso de tratamiento de las aguas residuales, además los materiales empleados, como los medios vivos y los utilizados en la construcción de esta tecnología, fueron de bajo costo y de fácil adquisición (Castro, 2019).

Finalmente, esta investigación constituye un aporte para los estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta y otros investigadores, puesto que los resultados contribuyen a la generación de conocimientos para futuros proyectos de investigación relacionados con el uso de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales de camal o de origen industrial. Además, la información obtenida puede servir para apoyar la toma de decisiones de las autoridades locales referentes a la gestión de las aguas residuales del camal municipal.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

- Existe una remoción significativa de la carga orgánica mediante un biofiltro híbrido con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* en las aguas residuales del camal municipal de Huanta.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Existe una remoción significativa de la DBO₅ mediante un biofiltro híbrido con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* en las aguas residuales del camal municipal de Huanta.
- Existe una remoción significativa de la DQO mediante un biofiltro híbrido con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* en las aguas residuales del camal municipal de Huanta.

1.6 Variables

La investigación consideró una variable independiente y una variable dependiente.

1.6.1 Variable independiente

- Biofiltro híbrido con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*

1.6.2 Variable dependiente

- Carga orgánica

1.6.3 Definición y operacionalización de variables

Tabla 1

Definición y operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
VI: Biofiltro híbrido con <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i>	La biofiltración es una metodología usada como tratamiento biológico alternativo de las aguas residuales de distintos sectores ya sean urbanas o industriales, con la finalidad de reducir el impacto ambiental de dichas aguas mediante el uso de materiales ecológicos (Morales, 2017)	Para determinar la remoción de la carga orgánica mediante el tratamiento del biofiltro, se realizó la toma de muestras antes y después del tratamiento, para cada uno de los parámetros a evaluar, además se realizó las mediciones del caudal de suministro y el tiempo de retención hidráulico.	Rendimiento del biofiltro	Caudal	L/min	Cronometro
				Tiempo de retención hidráulico	Horas (h)	
VD: Carga orgánica	Se refiere a la cantidad o concentración de materia orgánica que poseen las aguas residuales, esta puede ser medida mediante 2 parámetros, la primera es la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la segunda es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) (Lee, 2016)	La carga orgánica se evaluó mediante la medición de la DQO y DBO ₅ , para ello se realizó el análisis antes y después de los parámetros antes mencionados, para luego realizar un cálculo con la concentración inicial y final a fin de identificar el porcentaje de remoción.	Carga orgánica	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	Sistema de reflujo Agitador magnético Bureta
				Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	Medidor de DBO ₅ pH metro

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Blancas (2022), en su investigación titulada “*Efficiency of Zantedeschia Aethiopica and Nasturtium Officinale in the Removal of COD and BOD5 in Domestic Wastewater from The Santiago Antúñez De Mayolo El Tambo Urbanization - 2021*”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la *Zantedeschia aethiopica* y *Nasturtium officinale* en la eliminación de la DQO y DBO₅ en aguas residuales domésticas de la urbanización Santiago Antúñez de Mayolo. El estudio presentó un diseño experimental, para el cual se instalaron tres estanques de vidrio, cada uno con 12 litros de agua: el primero, sin la incorporación de las especies vegetales, correspondió al tratamiento control; el segundo incluyó a *Zantedeschia aethiopica* como tratamiento 1; y el tercero a *Nasturtium Officinale* como el tratamiento 2. Los resultados mostraron que ambas especies lograron remover la DQO y la DBO₅, donde la *Zantedeschia Aethiopica* obtuvo porcentajes de eliminación del 21,71 % para la DBO₅ y del 5,11 % para la DQO; mientras que la *Nasturtium officinale* alcanzó porcentajes de eliminación del 2,95 % para la DBO₅ y 21,96 % para la DQO. Se concluye que las especies aplicadas fueron eficientes en la eliminación de la DQO y DBO₅ en las aguas residuales domésticas.

Cabrera (2022), en su investigación titulada “*Análisis de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria de Embutidos*”, tuvo el objetivo de desarrollar un proceso de tratamiento para las aguas residuales mediante la implementación de un interceptor de grasas y aceites, un sistema de flotación por aire y un lombrifiltro. Este último estuvo compuesto por capas de piedras, grava, virutas de madera y lombrices rojas. Los resultados obtenidos mostraron que el interceptor de grasas y aceites logró remover el 97 % de estos compuestos, el lombrifiltro alcanzó una eficiencia de remoción de la DBO₅ del 86.9 % y el sistema de flotación removió el 89.2 % de los sólidos suspendidos. En conclusión, los parámetros de las aguas residuales tratadas mediante los sistemas implementados cumplieron con los límites máximos establecidos en la normativa de la ciudad de Quito.

Castillo (2021), en su investigación titulada “*Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (Eisenia foetida) en aguas residuales domésticas para zonas rurales*”, tuvo el objetivo de evaluar la eficiencia de la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros en las aguas residuales domésticas de una zona rural. Para ello, se construyó un prototipo compuesto por cuatro capas y se aplicaron tres tratamientos con tres repeticiones cada

uno, utilizando distintos caudales. Los resultados mostraron que el primer tratamiento presentó mayores porcentajes de remoción de DBO₅ y Sólidos Suspendidos Totales (SST), alcanzando eficiencias del 52 % y 66.74 %, respectivamente. Finalmente, se concluyó que los diferentes caudales aplicados en el lombrifiltro influyeron significativamente en la eficiencia de remoción de materia orgánica, evidenciándose en la variabilidad del porcentaje de remoción de los SST y Sólidos Totales (ST); sin embargo, la DBO₅ y la DQO no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Guanuchi (2025), en su investigación titulada “*Effectiveness of vermifiltration systems in wastewater bioremediation: a sustainable and cost-effective approach*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de vermifiltración utilizando a la *Eisenia foetida* y fibra de coco como sustrato para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en una vivienda del distrito de Baños, Cuenca, Ecuador. La investigación presentó un diseño experimental, para la cual construyeron tres sistemas de filtración: un filtro control sin lombrices, un vermifiltro con 15 cm de fibra de coco y otro con 30 cm del mismo sustrato. Los resultados mostraron que el vermifiltro con 30 cm de fibra de coco presentó una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes, logrando alcanzar eficiencias del 55,8 % para la DQO, 56,4 % para la DBO₅, 39,97 % para los nitratos, 59,65 % para el nitrógeno amoniacal y 48,06 % para el nitrógeno total. Se concluyó que la altura del sustrato de fibra de coco y la presencia de la lombriz *Eisenia foetida* influyeron directamente en la remoción de los contaminantes del agua residual, constituyendo una tecnología viable para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales.

Hasim (2022), en su investigación titulada “*Effect of Plant Roots on Clogging and Treatment Performance of Horizontal Subsurface Flow Vermifilter for Synthetic Dairy Wastewater*”, tuvo como objetivo comprobar el impacto de las raíces de las plantas en la eficiencia del tratamiento y en el comportamiento hidráulico de un vermifiltro para aguas residuales sintéticas de la industria láctea. El estudio presentó un diseño experimental, para el cual se construyeron dos vermifiltros con *Eisenia fetida*, uno incorporó plantas de *Canna indica* y el otro funcionó como tratamiento control sin plantas. Los resultados mostraron que el vermifiltro con *Canna indica* presentó una mejor eficiencia de remoción que el control, alcanzando porcentajes del 75 % para la DQO, 44 % para el nitrógeno y 57 % para el fósforo. Se concluye que las raíces de las plantas no influyeron significativamente en la reducción de la porosidad del sustrato durante el tratamiento de las aguas residuales.

Ispolnov (2021), en su investigación titulada “*A Combined Vermifiltration-Hydroponic*

System for Swine Wastewater Treatment”, tuvo como objetivo estudiar el uso de la vermifiltración combinada con un cultivo hidropónico aguas abajo para el tratamiento de efluentes provenientes de granjas porcinas. El estudio presentó un diseño de tipo experimental, para el cual se realizó la construcción de un sistema compuesto por un vermifiltro y una unidad hidropónica con la especie *Brassica oleracea L.* Los resultados mostraron que el vermifiltro obtuvo eficiencias de remoción del 83 % para la DBO₅ y del 99 % para amoníaco y nitrito; sin embargo, incrementó la concentración de nitratos en un 11 %. Por su parte, la unidad hidropónica obtuvo reducciones del 63 % para la DBO₅, 100 % para el amoníaco, 66 % para los nitritos, 27 % para los nitratos y 47 % y 44 % para el fósforo total y disuelto presente en el agua vermifiltrada, respectivamente. Se concluyó que la combinación de la vermifiltración y la hidroponía constituye una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales porcinas.

Lara (2022), en su investigación titulada “*Evaluación de un biofiltro para el tratamiento de agua residual del grupo Rossi*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofiltro en la disminución de contaminantes mediante la acción de las lombrices. Para ello, se construyó un lombrifiltro y un biofiltro control bajo las mismas condiciones experimentales. Asimismo, se determinaron el caudal y el tiempo de retención hidráulico con la finalidad de establecer las condiciones más adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales. Los resultados mostraron que el lombrifiltro alcanzó eficiencias de remoción del 81 % para la DQO, 98 % para los nitratos y 99 % para los nitritos. En conclusión, el sistema de lombrifiltración es eficiente en la remoción de la materia orgánica y nutrientes; además, su eficiencia está relacionada con el tiempo de retención hidráulico y el caudal suministrado.

León (2025), en su investigación titulada “*Implementation of Biofilters with Earthworms as a Sustainable Alternative for Wastewater Treatment in Slaughterhouses*”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de un biofiltro con lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales generadas en el Matadero Municipal de Pelileo, Ecuador. El estudio presentó un diseño experimental y consistió en la construcción de un biofiltro compuesto por capas de bolones de piedra, grava, arena, aserrín y *Eisenia foetida*. Los parámetros evaluados fueron el pH, la conductividad eléctrica, el color, la turbidez, los nitratos, los nitritos, los fosfatos, la DQO, la DBO₅, los sólidos totales (ST) y sólidos disueltos (SD). Los resultados evidenciaron reducciones significativas en todos los parámetros analizados, alcanzando una eficiencia promedio de remoción del 74,87 %. Se concluyó que el

biofiltro con lombrices constituye una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales de mataderos.

Liberio (2019), en su investigación titulada “*Incidencia de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) y lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de aguas residuales urbanas en el cantón Quevedo, año 2018*”, tuvo como objetivo evaluar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua del río Quevedo mediante la implementación de sistemas de biofiltración. Para ello, se construyeron tres prototipos de biofiltro: el primero incorporó *Eisenia foetida*, el segundo utilizó *Lemna minor* y el tercero combinó ambas especies. Los resultados mostraron que el biofiltro donde se combinó las dos especies presentó la mejor eficiencia de remoción, logrando reducir la DQO de 37,25 a 1,07 mg/L y la DBO de 44,3 a 2,92 mg/L. En conclusión, el sistema de biofiltración fue eficiente en la remoción de la materia orgánica.

Kharwade (2022), en su investigación titulada “*Tainted Wastewater Remediation through Inverted Multimedia Biofilter*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofiltro en el tratamiento de aguas residuales contaminadas por flúor. Para ello, se construyó un sistema utilizando semillas de moringa, carbón activado y *Eisenia fétida* como medios filtrantes y componentes biológicos. Asimismo, se aplicaron diferentes cargas hidráulicas con la finalidad de determinar las condiciones de operación más eficientes del sistema. Los resultados mostraron que la mayor eficiencia se obtuvo con una carga hidráulica de 0,933 m³/día/m², alcanzando porcentajes de remoción del 81,64 % para la DBO₅, 51,47 % para la DQO, 82,17 % para los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y 35,81 % para los Fluoruros. En conclusión, los materiales empleados en el biofiltro desempeñan un papel importante en la remoción de contaminantes, principalmente de la materia orgánica, y que el agua tratada pueda reutilizarse para el riego de jardines.

Matovelle (2024), en su investigación titulada “*Performance of Equisetum spp and Zantedeschia aethiopica on the evaluation of artificial wetlands as an alternative for wastewater treatment in rural areas of the Ecuadorian Andes*”, tuvo como objetivo evaluar el desempeño de dos humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales mediante el uso de diferentes especies de macrófitas, con la finalidad de reducir los niveles de contaminación en el arroyo Curiquingue, perteneciente a la parroquia Baños en Cuenca, Ecuador. El estudio presentó un diseño experimental, para el cual se construyeron dos plantas pilotos: una con *Equisetum spp* y otra con *Zantedeschia aethiopica*, ambos sistemas operaron

a flujo constante y con un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 5 días. Los resultados mostraron que ambas especies alcanzaron eficiencias del 100 % para la DQO y la DBO₅. Se concluyó que los humedales artificiales compuestos por *Zantedeschia aethiopica* y *Equisetum spp* constituyen una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de las aguas residuales.

Nsiah (2023), en su investigación titulada “*Performance evaluation of developed macrophyte-assisted vermifiltration system designed with varied macrophytes and earthworm species for domestic wastewater treatment*”. Tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de un sistema de vermifiltración asistido por macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El estudio tuvo un diseño experimental, para la cual se construyeron seis prototipos piloto mediante la combinación de tres especies de macrófitas (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Spirodela sp.*) y dos especies de lombrices (*Eisenia fetida* y *Eudrilus eugeniae*). Además, el tratamiento se desarrolló durante dos semanas, realizándose el muestreo del agua tratada cada 48 horas para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados mostraron que todos los prototipos fueron eficientes en el tratamiento de las aguas residuales, alcanzando porcentajes de remoción del 60 % para los sólidos, 60 % para los nutrientes y 90 % para los patógenos. Se concluyó que la combinación de macrófitas y lombrices constituye una alternativa adecuada para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Pérez (2019), en su investigación titulada “*Diseño y construcción de un filtro biológico para el tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Flor de Leche S.R.L mediante el uso de la Lombriz Eisenia Foetida, Lombrifiltro*”, tuvo como objetivo diseñar y construir un lombrifiltro para el tratamiento de las aguas residuales generadas por una empresa procesadora de lácteos. Para ello, se evaluó tres tratamientos, en los que se aplicaron diferentes cargas hidráulicas y distintos porcentajes de suero como fuente de alimentación del lombrifiltro. Los resultados indicaron que el tratamiento más eficiente fue el segundo, con una carga hidráulica de 0,6 m³/m²/día, un 20 % de suero y una eficiencia de remoción de la DQO del 92 %. Concluyendo que el lombrifiltro constituye una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales provenientes de industrias lácteas.

Singh (2021), en su investigación titulada “*Application of Vermifiltration Technique to Treat Wastewater: An Experimental Study*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un vermifiltro en el tratamiento de las aguas residuales recolectadas de un establo. El estudio presentó un diseño experimental, para la cual se construyó un vermifiltro con *Eisenia foetida*, utilizando residuos de jardín como sustrato inerte. Asimismo, se aplicó una carga hidráulica

fija de 1,5 m³/m²/día. Los resultados mostraron que la eficiencia del proceso de vermifiltración fue superior al 94 % para la DBO₅, 89 % para la DQO y 85 % para los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Se concluye que el vermifiltro permite tratar las aguas residuales de manera eficiente y que el agua tratada puede reutilizarse para fines de riego.

2.1.2 Nacionales

Cáceres (2021), en su investigación titulada “*Eficiencia de Eisenia foetida, Eichornia crassipes e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú*”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de tres sistemas de depuración de aguas residuales domésticas utilizando *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio. Para ello, se realizó la toma y caracterización de muestras de agua residual, las cuales fueron tratadas mediante cada uno de los tres sistemas evaluados. Al finalizar el tratamiento, se efectuaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes. Los resultados mostraron que el sistema más eficiente fue el segundo, conformado por *Eisenia foetida* y *Eichornia crassipe*, alcanzando remociones del 94 % para los STS, 98 % para la DBO₅ y 100.00 % para los coliformes termotolerantes, con un pH final de 7.51. En conclusión, de los sistemas de depuración evaluados, el segundo tratamiento fue el más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Carhuallanqui (2025), en su investigación titulada “*Worm-filter in the Recovery of Wastewater from the Commercial Activity of Hydrobiological Products*”, tuvo como objetivo evaluar el tratamiento de aguas residuales generadas por la actividad comercial de productos hidrobiológicos mediante la tecnología de filtración con lombrices. La investigación presentó un diseño de tipo experimental, para la cual se construyeron tres prototipos para el tratamiento de las aguas residuales, compuestos por diferentes densidades de *Eisenia foetida* y materiales naturales de soporte, como bagazo de caña, arena, grava y piedras de río. Asimismo, se evaluaron tiempos de retención hidráulica de 5, 10 y 15 días. Los resultados mostraron reducciones del 90 % para la DQO, 82 % para la turbidez, 96 % para los sólidos suspendidos totales (SST), 100 % para los coliformes totales, 56 % para los coliformes fecales y 91 % para la materia orgánica. Se concluyó que el filtro con lombrices fue eficiente en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la actividad pesquera comercial.

Goicochea (2026), en su investigación titulada “*Implementación de lombrifiltro para mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Jorge Chávez* -

Celendín 2024”, tuvo como objetivo implementar y evaluar un modelo de lombrifiltro como tecnología alternativa para mejorar la calidad de las aguas residuales domésticas. El estudio presentó un diseño de tipo experimental, para el cual se construyó un sistema de filtración conformado por una capa de *Eisenia foetida*, una capa de grava de diferentes diámetros y una capa de piedras de río. Asimismo, se aplicó un caudal de 15.6 L/h y un tiempo de retención hidráulica de 4.61 horas. Los resultados mostraron eficiencias de remoción del 23.94 % para la DBO₅, 32.13 % para la DQO, 77.61 % para los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y 99.56 % para los coliformes. Se concluyó que, a pesar de haber obtenido remociones moderadas en algunos parámetros, el agua tratada cumplió con los límites máximos permisibles, por lo que el sistema resultó viable para su aplicación a una escala real.

Gómez (2022), en su investigación titulada “*Sistemas de lombrifiltro y de carbón activado para el tratamiento de aguas residuales en un matadero municipal en Ayacucho, 2022*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de lombrifiltro y otro de carbón activado en el tratamiento de aguas residuales de un matadero municipal. Para ello, se implementaron tres sistemas de biofiltración: el primero utilizó únicamente lombrices, el segundo empleó solo el carbón activado y el tercero combinó ambos medios filtrantes. Los resultados mostraron que, de los tres prototipos evaluados, el tercero presentó la mayor eficiencia en la remoción de aceites y grasas, DBO₅, DQO y pesticidas organoclorados, reduciendo sus concentraciones de 238 mg/L a 26,4 mg/L, 774 mg/L a 312 mg/L, 1214 mg/L a 583 mg/L y 0,15 mg/L a 0,001 mg/L, respectivamente. Concluyendo que la combinación de lombrices y carbón activado constituye una alternativa eficiente para mejorar de la calidad de las aguas residuales de matadero.

Gurreonero (2024), en su investigación titulada “*Evaluación De Efectividad Del Vermifiltro En Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Para Un Terminal Portuario*”, tuvo como objetivo evaluar la efectividad de los vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en un terminal portuario durante el año 2024. El estudio fue de tipo aplicado y presentó un diseño experimental, para el cual se construyeron cuatro vermifiltros con *Eisenia fetida* y capas de arena y grava como materiales filtrantes. Asimismo, se evaluaron diferentes caudales y densidades de lombrices para determinar su influencia en la eficiencia del tratamiento. Los resultados mostraron eficiencias del 90,15 % para aceites y grasas, 78,04 % para Sólidos Suspendidos Totales (SST) y 37,64 % para DBO. Se concluyó que esta tecnología constituye una alternativa económicamente viable frente a métodos

convencionales y que presenta potencial para resolver problemas prácticos de saneamiento.

Mamani (2022), en su investigación titulada “*Depuración de aguas residuales con colectores solares en un sistema de lombrifiltro para la remoción de elevadas cargas orgánicas en condiciones altoandinas*”, tuvo como objetivo evaluar la depuración de aguas residuales mediante un sistema de lombrifiltro equipado con colectores solares para la remoción de elevadas cargas orgánicas en condiciones altoandinas a 3825 msnm. Para ello, se construyeron dos biofiltros con la misma composición de los estratos, conformados por piedra pómez, *Eisenia foetida*, carbón y arena. Asimismo, al primer biofiltro se le incorporó un sistema de calentamiento mediante colectores solares de bajo costo, mientras que el segundo funcionó como un sistema control. Los resultados mostraron que el biofiltro con colectores solares alcanzó una temperatura media de 17.44°C y presentó una mayor remoción de carga orgánica, obteniendo eficiencias del 66 % para la DBO₅ y 53 % para la DQO. En conclusión, el uso de colectores solares mejoró la depuración del agua residual en el prototipo de lombrifiltro.

Meza (2022), en su investigación titulada “*Evaluación de la eficiencia de un vermifiltro con la especie eisenia foetida para el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un vermifiltro con *Eisenia foetida* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El estudio presentó un diseño experimental, para el cual se construyó un vermifiltro de 1 m de ancho x 1 metro de largo x 1.10 metros de altura, operado con una carga hidráulica de 150 mL/m²/min y un tiempo de retención hidráulico de 5.7 días. Los resultados mostraron que el vermifiltro con la *Eisenia foetida* alcanzó eficiencias de remoción del 95.30 % para los Sólidos Suspendidos Totales (SST), 97.01 % para el nitrógeno total, 63.25 % para el fósforo total, 80.21 % para aceites y grasas, 89.76 % para la DQO, 89.20 % para la DBO₅ y 98.57 % para los coliformes totales. Se concluyó que el vermifiltro fue eficiente en la reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas.

Perez (2024), en su investigación titulada “*Eficiencia de humedales con las macrófitas zantedeschia aethiopica (cartucho) y calceolaria tripartita (zapatitos de ángel) en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de humedales artificiales a escala experimental utilizando las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria Tripartita* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zona rural en Huarichaca, Huánuco. El estudio presentó un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, para el cual se construyeron dos humedales

artificiales y un sistema control. El primer humedal estuvo conformado por la especie *Zantedeschia aethiopica*, mientras que el segundo utilizó la especie *Calceolaria tripartita*. Los resultados mostraron que *Calceolaria tripartita* alcanzó una reducción máxima de la DQO de 290 mg/L a 60 mg/L y de la DBO₅ de 126 mg/L a 19 mg/L; por su parte, *Zantedeschia aethiopica* logró reducir la DQO de 290 mg/l a 80 mg/L y la DBO₅ de 126 mg/L a 28 mg/L. Se concluyó que los humedales artificiales fueron eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales.

Quispe (2019), en su investigación titulada “*Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho-Chosica*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de dos sistemas piloto de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Para ello, se construyeron dos biofiltros; el primero estuvo conformado por un canal de desbaste, un tanque séptico, un humedal subsuperficial de flujo vertical y un humedal superficial, mientras que el segundo estuvo constituido por un canal de desbaste, un tanque séptico, un lombrifiltro y un humedal superficial. Asimismo, en el primer biofiltro se emplearon a las *Cyperus papyrus*, *Alocasia macrorrhiza* y *Eichhornia crassipes*, mientras que en el segundo se utilizaron *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes*. Los resultados mostraron que el primer biofiltro presentó una mayor eficiencia en la remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST), DBO₅ y Coliformes Totales (CT), alcanzando valores de 95.71 %, 91.55 % y 99.87 %, respectivamente. Por otro lado, el segundo biofiltro obtuvo una mayor eficiencia en la remoción de fosfatos, con un valor del 94.5 %. En conclusión, ambos sistemas de biofiltración cumplieron con los estándares de calidad ambiental establecidos.

Romero (2022), en su investigación titulada “*Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal, Bagua, Amazonas, 2021*”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del sistema Tohá para el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal. Para ello, se construyeron dos biofiltros con la misma composición de estratos, conformados por capas de arena fina, grava pequeña y bolones de piedras. En el primer biofiltro se empleó la especie *Eisenia foetida*, mientras que en el segundo se utilizó *Lumbricus terrestris*. Asimismo, se evaluaron ocho parámetros de control: aceites y grasas, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nitratos, pH y temperatura. Los resultados mostraron que el biofiltro con *Eisenia foetida* presentó una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes, alcanzando un porcentaje promedio del 27 % en comparación con el biofiltro que empleó

Lumbricus terrestris, el cual obtuvo una remoción promedio del 13 %. En conclusión, la especie *Eisenia foetida* resultó más eficiente que *Lumbricus terrestris* en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales de camal.

Saboya (2018), en su investigación titulada “*Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas*”, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas. Para ello, se construyeron dos biofiltros compuestos por cuatro capas: aserrín con lombrices, grava fina, piedra chancada y piedras enteras. Asimismo, el tratamiento se realizó durante seis días y se evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la eficiencia de los prototipos. Los resultados mostraron que la especie *Eisenia foetida* logró reducciones del 92 % para la DBO₅, 86 % para la DQO, 78 % para el Nitrógeno Total (NT), 84.4 % para la turbidez, 93 % para el pH y 84 % para los Coliformes Totales (CT), mientras que *Lumbricus terrestris* obtuvo reducciones del 91 % para la DBO₅, 84 % para la DQO, 77 % para el Nitrógeno Total (NT), 83 % para la turbidez, 93 % para el pH y 80 % para los Coliformes Totales (CT). Se concluyó que *Eisenia foetida* presentó un mejor desempeño que *Lumbricus terrestres* durante el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Umasi (2020), en su investigación titulada “*Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco*”, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema piloto de lombrifiltro de tres capas para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para ello, se construyeron tres biofiltros compuestos por una capa de aserrín con *Eisenia foetida*, seguida de capas de arena, grava y piedras de río. Asimismo, la eficiencia fue evaluada bajo un tiempo de retención hidráulica de 8 horas y a un caudal de suministro de 0.77 L/min. Los resultados mostraron eficiencias de remoción del 88 % para la DBO₅, 86 % para la DQO, 95 % para los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y 99 % para *Escherichia Coli*. Concluyendo que las aguas tratadas mediante este sistema de biofiltración pueden ser reutilizadas para el riego y el consumo de animales, debido a que los valores de los parámetros evaluados se encontraron dentro de los límites establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Valdivia (2022), en su investigación titulada “*Biofiltro dinámico aerobio en el tratamiento de efluente del proceso de remojo de una curtiembre*”, tuvo como objetivo evaluar el efecto de un biofiltro en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una

curtiembre. Para ello, se construyó un biofiltro compuesto por grava fina, grava mediana, grava gruesa y aserrín con *Eisenia foetida*. Asimismo, el agua residual fue suministrada mediante aspersores para una distribución homogéneamente sobre el sistema de filtración, además los parámetros evaluados fueron la DBO₅, la DQO, los Solidos Suspendidos Totales (SST) y los aceites y grasas. Los resultados mostraron reducciones del 78 % para la DBO₅, 21 % para la DQO, 81 % para los SST y 75 % para los aceites y grasas. Se concluyó que el biofiltro presentó un efecto importante en la remoción de la DBO₅ y los SST del efluente de curtiembre.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Agua residual

Las aguas residuales son aquellas aguas resultantes del consumo humano en diversas actividades, ya sean domésticas o industriales. Según su origen, se clasifican principalmente en aguas urbanas, aguas industriales, escorrentía agrícola y aguas pluviales (Ramalho, 2021). Estas aguas presentan contaminantes físicos, químicos o biológicos que, al no ser tratados, impactan negativamente en el medio ambiente y en la salud de las personas (Pratap, 2023). Aun así, muchas veces son reutilizadas para el riego de cultivos debido a la limitada disponibilidad del recurso hídrico. Por ello, es necesario que las aguas residuales reciban un tratamiento previo, con la finalidad de evitar efectos negativos en los cuerpos receptores donde son vertidas (Ungureanu, 2020).

2.2.2 Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales según su origen se clasifican en:

- a. **Aguas residuales domésticas:** Las aguas residuales domésticas provienen principalmente de las viviendas y de pequeños establecimientos comerciales. Están compuestas por aguas de lavado, aguas fecales y aguas procedentes de actividades de limpieza, entre otras. Debido a ello, presentan contaminantes como materia orgánica, elevadas concentraciones de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, detergentes y microorganismos patógenos asociados a la presencia de excretas humanas (Widyarani, 2022).
- b. **Aguas residuales pecuarias:** Las aguas residuales pecuarias provienen de las actividades ganaderas y se caracterizan por presentar elevadas concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos, debido a la presencia de excretas animales. Además, la concentración de estos contaminantes depende de la forma en que se desarrolla la actividad pecuaria, siendo mayor en los sistemas de ganadería intensiva que en aquellos donde los animales

permanecen en pastoreo o en condiciones extensivas. Sin embargo, en ambos casos se genera la contaminación de los cuerpos de agua, debido a que la escorrentía producida por la lluvia arrastra los contaminantes hacia los cauces de los ríos y otras fuentes hídricas (Mazinder, 2021).

- c. **Aguas residuales de origen agrícola:** Las aguas residuales de origen agrícola provienen de actividades en las que se emplean abonos y agroquímicos, como fertilizantes y plaguicidas. Debido a ello, estas aguas residuales contienen compuestos orgánicos e inorgánicos, principalmente nitrógeno, fósforo y sustancias organocloradas y organometálicas. Estos contaminantes son arrastrados por acción de la lluvia hacia los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, generando contaminación en las diferentes etapas del ciclo hidrológico (Sane, 2020).
- d. **Aguas residuales industriales:** Las aguas residuales de origen industrial proceden de las actividades desarrolladas por los diferentes sectores industriales y se clasifican en aguas de proceso, aguas de lavado o limpieza, aguas de refrigeración y aguas de asimilación. Estas se caracterizan por la variabilidad de su composición, ya que, dependiendo del tipo de industria y de sus procesos, pueden generarse mayores o menores volúmenes de agua residual. Además, cada industria presenta características particulares en cuanto a los contaminantes presentes en sus efluentes. Sin embargo, es común que las aguas residuales industriales contengan elevadas concentraciones de materia orgánica, donde los valores de DQO y DBO₅ pueden encontrarse entre 1000 y 100000 mg/L (Kato, 2024).
- e. **Aguas residuales de escorrentía urbana:** Las aguas residuales de escorrentía urbana son aquellas que se originan a partir de las precipitaciones pluviales. Durante este proceso, el agua arrastra contaminantes presentes en superficies urbanas impermeables, como pavimentos, veredas y aceras, así como en superficies permeables, tales como jardines, áreas verdes y terrenos sin edificar. Además, el volumen de agua residual generado por la escorrentía es considerablemente mayor que el de las aguas residuales domésticas e industriales, pudiendo alcanzar volúmenes hasta 50 veces superiores (Launay, 2016).

2.2.3 Aguas residuales de camal

Las aguas residuales provenientes de los procesos desarrollados en un camal municipal son categorizadas como aguas residuales industriales debido a la naturaleza y características que presentan, entre ellas las elevadas concentraciones de carga orgánica, representadas

principalmente por la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (Valencia, 2016). Asimismo, debido a la intensidad de estos parámetros, el tratamiento de dichas aguas residuales resulta complejo, ya que, además de la carga orgánica, es necesario considerar otros factores, como el tipo de animales procesados en el camal y las condiciones de limpieza que existan dentro de sus instalaciones (Rouland, 2024). Por otro lado, la importancia de realizar un tratamiento adecuado radica en el impacto negativo que estas aguas pueden generar sobre el medio ambiente, principalmente en los cuerpos receptores donde son vertidas, como ríos y riachuelos. Por ello, los tratamientos biológicos constituyen una alternativa eficiente para la reducción de contaminantes, tales como la DQO, DBO₅, sólidos totales y aceites y grasas (Singh, 2019).

2.2.4 Características de las aguas residuales de camal

El agua residual que se produce durante el sacrificio de los animales y la limpieza de las distintas áreas del camal se caracteriza por contener proteínas, grasas, microorganismos y contaminantes emergentes, entre otros compuestos. Estas características permiten la aplicación de tratamientos adecuados para reducir el impacto de su vertimiento en los cuerpos receptores. Por ello, los principales parámetros utilizados para el control y evaluación de las aguas residuales de camal son el color, la turbidez, el pH, la DQO, la DBO₅, los sólidos, el nitrógeno total, el fósforo total y el carbono orgánico total (Ng, 2022).

a. Parámetros físicos

- **Turbidez:** Este parámetro se usa generalmente para evaluar la calidad de las aguas residuales crudas, ya que mide la cantidad de material suspendido o coloidal presente en ellas. Su determinación se realiza mediante la medición de la luz dispersada al atravesar una muestra de agua utilizando un turbidímetro, y se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) (Valencia, 2016).
- **Color:** El color está determinado principalmente por la presencia de materia orgánica en las aguas residuales. Generalmente, estas aguas presentan una coloración gris; sin embargo, después de circular por los drenajes, pueden adquirir una coloración negra. Este parámetro puede determinarse mediante ensayos de laboratorio utilizando cloroplatinato de potasio y cloruro de cobalto, y se expresa en la Unidades de Platino Cobalto (UPC) (Valencia, 2016).
- **Sólidos:** Los sólidos presentes en las aguas residuales se agrupan en dos categorías según su tamaño. La primera corresponde a los sólidos suspendidos, cuyas partículas

presentan tamaños superiores a 1.2 micras; mientras que la segunda categoría corresponde a los sólidos disueltos, cuyas partículas presentan tamaños inferiores a 1,2 micras. Esta clasificación es importante para determinar el tratamiento o proceso más adecuado para la remoción de dichos sólidos (Valencia, 2016).

b. Parámetros químicos:

- **pH:** El pH es un parámetro importante para evaluar la calidad del agua que será vertida a un cuerpo receptor y su determinación puede realizarse mediante indicadores líquidos o utilizando un instrumento denominado pHmetro. Generalmente, los valores cercanos a 7 se consideran adecuados, ya que indican una condición neutra del agua; sin embargo, algunas aguas residuales de procesos industriales pueden presentar valores cercanos a 5, generando una condición ácida. Cuando estas aguas son vertidas sin tratamiento previo, pueden generar un incremento de dióxido de carbono (CO_2) y una disminución del Oxígeno disuelto, afectando negativamente a los organismos acuáticos (Jiménez, 2020).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La DQO mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua mediante un químico oxidante, como el dicromato de potasio, en un medio ácido. Como resultado de este proceso de oxidación, la materia orgánica es transformada principalmente en agua y dióxido de carbono (CO_2). Además, los valores de la DQO suelen ser superiores a los valores de la DBO_5 (Aguilar, 2023).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5):** La DBO_5 mide la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica presente en una muestra de agua mediante procesos biológicos aerobios llevados a cabo por microorganismos, como bacterias y protozoarios. Asimismo, este parámetro se utiliza para identificar el grado de contaminación del agua, ya que niveles elevados de DBO_5 indica una mayor demanda de oxígeno y, por lo tanto, una menor concentración del oxígeno disuelto, afectando la supervivencia de los organismos acuáticos (Maddah, 2022).
- **Nitrógeno total:** El nitrógeno presente en las aguas residuales se origina principalmente por la degradación de la materia orgánica y por la transformación del amonio en nitritos y nitratos. Además, la concentración de nitrógeno en las aguas residuales suele variar entre los 40 y 80 mg/L; sin embargo, valores superiores a 80 mg/L pueden generar efectos tóxicos y contribuir a la contaminación de los cuerpos receptores. Una alternativa para reducir la concentración de nitrógeno es la aplicación de procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación llevados a cabo por los

microorganismos. Asimismo, para la determinación de este parámetro puede emplearse un fotómetro como instrumento de medición y control (Jiménez, 2020).

- **Fósforo total:** El fósforo presente en las aguas residuales se encuentra generalmente en forma de ortofosfato (P-PO₄). Sin embargo, este elemento también puede estar presente en la materia orgánica disuelta o en los lodos de las aguas residuales domésticas. Además, cuando se encuentra en elevadas concentraciones, puede generar la contaminación de los cuerpos receptores mediante procesos de eutrofización. Por ello, para evaluar la concentración de fósforo presente en las aguas residuales, se utiliza un fotómetro como instrumento de medición y control (Valencia, 2016).
- **Carbono Orgánico Total (COT):** El Carbono Orgánico Total (COT) es un parámetro utilizado para determinar la concentración de materia orgánica presente en las aguas residuales. Para su determinación, se realiza un ensayo empleando una muestra de agua residual en un medio oxidante y, en función de la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) producido durante la oxidación, se calcula el valor del COT (Valencia, 2016).

2.2.5 Tratamiento biológico de las aguas residuales

Debido al impacto ambiental y social que generan las aguas residuales provenientes de los distintos sectores, es necesario realizar un tratamiento previo antes de su descarga a los cuerpos receptores. Por ello, existen diversos procesos para este fin, como los tratamientos físicos, químicos y biológicos (Crini, 2019). Estos últimos comprenden principalmente la degradación de la carga orgánica mediante el uso de microorganismos con capacidad para asimilar la materia orgánica biodegradable, así como nutrientes y macronutrientes (López, 2017). Para ello, existen dos procesos biológicos: el aerobio, en el que los microorganismos utilizan el oxígeno presente para degradar la materia orgánica y transformarla en agua y dióxido de carbono; y el anaerobio, en el que los microorganismos no requieren de oxígeno para la asimilación de la materia orgánica (Cazorla, 2021). Por otro lado, las tecnologías basadas en tratamientos biológicos se han diversificado con el tiempo, pudiendo clasificarse en dos grupos: procesos biológicos de cultivo en suspensión y procesos biológicos de soporte sólido (Ferrer, 2018).

2.2.6 Biofiltro

La biofiltración es una metodología empleada como tratamiento biológico alternativo para las aguas residuales provenientes de distintos sectores, ya sean urbanos o industriales, con la finalidad de reducir el impacto ambiental generado por dichas aguas mediante el uso de

materiales ecológicos (Morales, 2017). Asimismo, el sistema de biofiltración genera una menor cantidad de residuos, como lodos, y las aguas tratadas pueden ser reutilizadas en otras actividades. Además, su construcción e implementación no requieren costos elevados, debido a que los materiales empleados son de fácil adquisición (Sosa, 2014). Por su parte, los biofiltros están compuestos por varias capas dispuestas de forma vertical, las cuales generalmente se encuentran constituidas por un material vivo, seguido de materiales inertes, como grava o virutas de madera (Reyes, 2016).

2.2.7 Carga orgánica

La carga orgánica se refiere a la cantidad o concentración de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas o industriales que puede ser degradada por microorganismos o agentes químicos, debido a que está compuesta por materiales biodegradables y no biodegradables (Carrasquero, 2025). Asimismo, por lo general, se expresa mediante la cuantificación de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) (Lee, 2016), parámetros que representan la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación de los compuestos orgánicos. En este sentido, los parámetros que se utilizan para determinar la carga orgánica se expresan en miligramos de oxígeno por litro de agua (mg O₂/L) (Raffo, 2014). Por otro lado, cuando la carga orgánica no es tratada adecuadamente, puede generar la contaminación de los cuerpos de agua debido al incremento de compuestos orgánicos que favorecen la proliferación de microorganismos consumidores de oxígeno, esto ocasiona la disminución del oxígeno disuelto y afecta la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua, impactando negativamente en su calidad (Oliva, 2014). Por ello, la cuantificación de la carga orgánica resulta fundamental para el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que, dependiendo de los niveles de concentración de DQO y DBO₅, se pueden implementar tecnologías como biofiltros, humedales artificiales y sistemas de lodos activados (Duque, 2018).

2.3 Definición de términos

2.3.1 *Eisenia foetida*

La *Eisenia foetida*, conocida comercialmente como lombriz roja californiana, es una especie capaz de descomponer rápidamente los residuos orgánicos. Entre sus principales características destacan su capacidad para desarrollarse en elevadas densidades poblacionales, su alimentación no selectiva, su adaptación a sustratos con profundidades cercanas a 30 cm y

su permanencia en el lugar donde se cría, debido a que las galerías que construye son predominantemente circulares y no verticales (Domínguez, 2018).

2.3.2 *Zantedeschia aethiopica*

Llamada también “cartucho”, la *Zantedeschia aethiopica* es una especie vegetal que habita principalmente en zonas húmedas, como humedales y pantanos. Presenta raíces rizomatosas mediante las cuales se reproduce, sus hojas tienen forma de flecha y puede alcanzar hasta 1 metro de altura. Asimismo, esta especie es capaz de desarrollarse en suelos con abundante materia orgánica (CABI, 2019).

2.3.3 Percolación

La percolación se refiere al movimiento del agua o de cualquier otro fluido a través de un medio poroso o una capa permeable. Este fenómeno, en el caso de los líquidos, ocurre generalmente por la acción de la gravedad (Soboleva, 2023).

2.3.4 Lecho filtrante

Se refiere al material presente en un sistema de filtración que actúa como una barrera capaz de retener los contaminantes presentes en el agua, dependiendo del grado de porosidad que presente el medio o lecho filtrante (Gualteros, 2015).

III METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que se aplicaron conocimientos previos para el tratamiento del agua residual del camal municipal, la construcción del prototipo y los análisis de los resultados. Según Gast (2018) menciona que la investigación de tipo aplicada es la implementación de los resultados que surgieron de una investigación básica para resolver problemas prácticos reales. Por otro lado, el nivel de investigación fue explicativo, debido a que el objetivo fue determinar la remoción de la carga orgánica de las aguas residuales mediante el sistema de biofiltración con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*, analizando su efecto en la DQO y DBO₅ en relación con el caudal suministrado y el tiempo de retención hidráulico. Según Reyes (2022), el nivel de tipo explicativo se refiere a la identificación de las causas que intervienen en el objeto de investigación y explicar la interrelación con su entorno. Finalmente, el diseño de la investigación fue de tipo cuasiexperimental, ya que se realizó el tratamiento del agua residual mediante el biofiltro, incluyendo un control, así como una pre y post prueba sin asignación aleatoria de las unidades experimentales. Según Hernández (2018), los diseños cuasiexperimentales implican la manipulación de una o más variables independientes para analizar su efecto en una o más variables dependientes; sin embargo, los grupos no se asignan aleatoriamente, sino que ya se encuentran conformados antes de la intervención.

3.2 Ámbito temporal y espacial

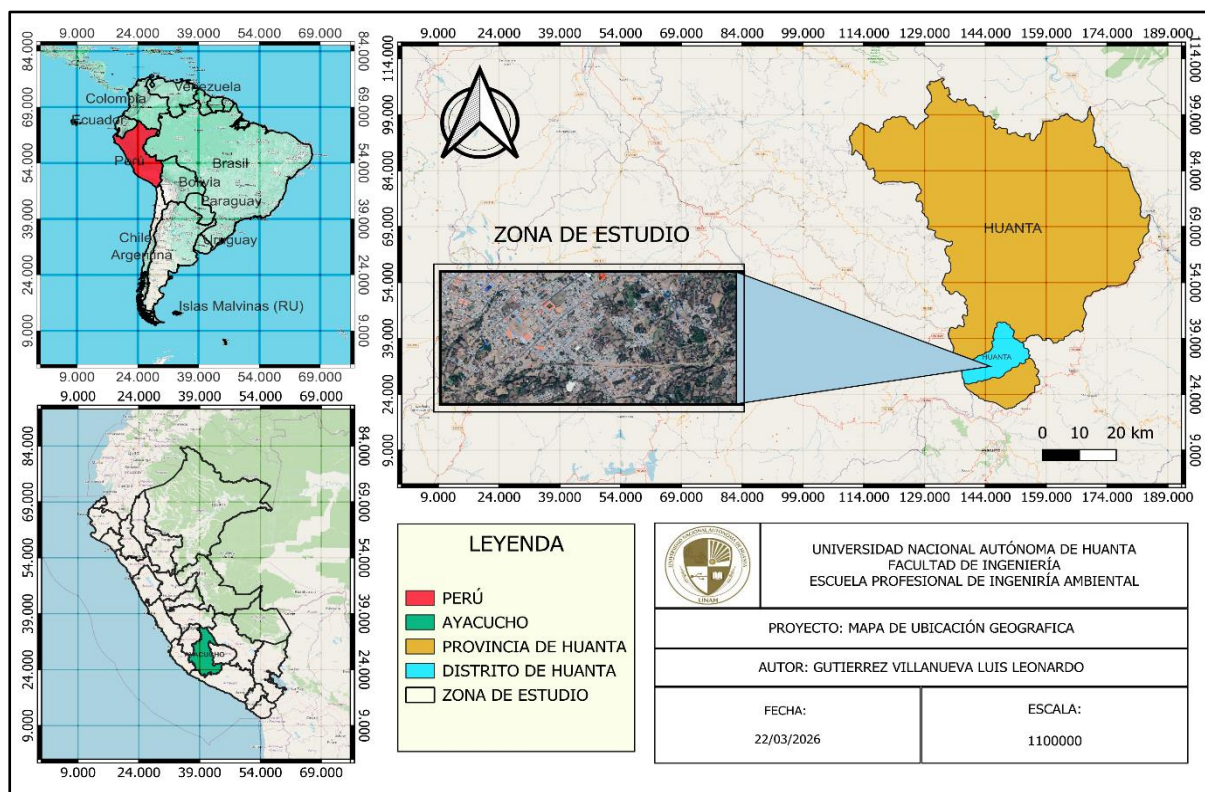
La investigación se desarrolló dentro de la provincia de Huanta del departamento de Ayacucho, Las muestras de agua residual se recolectaron del Camal Municipal de la provincia de Huanta, el cual se encuentra ubicado en el Jr. Ayacucho de la ciudad de Huanta, con coordenadas UTM E: 582513 y N: 8568446. Por otro lado, el tratamiento experimental mediante el biofiltro piloto con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* se llevó a cabo en el distrito de Luricocha, con coordenadas UTM E: 578676 y N: 8574043. Finalmente, los análisis correspondientes a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se realizaron en el laboratorio de química de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, con coordenadas UTM E: 582208 y N: 8569150.

Por su parte, la recolección de las muestras, la instalación y operación del biofiltro piloto para el tratamiento de las aguas residuales de camal, así como los análisis de los

parámetros de la DQO y DBO₅, se desarrollaron durante los meses de Julio y agosto del año 2025.

Figura 1

Mapa de ubicación geográfica



3.3 Población y muestra

Según Sahu (2016), señala que una población se refiere al grupo o conjunto de elementos que presentan características en común, las cuales son importantes para el trabajo de investigación. Para el presente estudio, la población estuvo constituida por las aguas residuales generadas en el camal municipal de la provincia de Huanta, las cuales presentan características físicoquímicas que fueron evaluadas para el desarrollo del proyecto de tesis.

El tipo de muestreo fue sistemático y el tipo de muestra fue compuesta, siendo la cantidad muestreada de 45 litros de agua residual para su tratamiento en los sistemas de biofiltración, para la adaptación de las lombrices y los análisis de DBO₅ y DQO. Según Hernández (2018), la muestra es una porción representativa de la población, que sirve para la recolección de datos de interés para la investigación.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos de campo

Los instrumentos utilizados en campo para la toma de muestras, adaptación de las especies y monitoreo de los sistemas de biofiltración fueron:

- Multiparámetro
- Hoja de cadena de custodia
- GPS
- Cronometro
- pH metro portátil
- Termómetro portátil
- Cinta métrica
- Nivel de mano

3.4.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos utilizados en el laboratorio para los análisis de los parámetros de la DQO y DBO₅ fueron:

- Equipo medidor de DBO₅
- Sistema de reflujo
- Balanza analítica
- Agitador magnético con temperatura
- Bureta

3.5 Técnicas

3.5.1 Técnica de titulación para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La titulación es una técnica ampliamente utilizada para la determinación de la DQO, para ello se utilizó una dosis elevada de dicromato de potasio para oxidar por completo la materia orgánica contenida en la muestra; posteriormente, se tituló el excedente y, en función de la cantidad de oxidante consumido, se realizó el cálculo correspondiente para determinar la concentración exacta de la DQO.

Esta técnica puede realizarse mediante una digestión en un sistema cerrado o abierto, dependiendo del volumen de muestra que se desea analizar (Cárdenas, 2022), debido a que las

muestras analizadas fueron de un volumen de 100 mL, se aplicó la técnica de titulación mediante la digestión en un sistema abierto, utilizando la metodología estándar APHA 5220.

3.5.2 Método de incubación para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Este método consiste en incubar las muestras a analizar durante un periodo de 5 días y a una temperatura de 20 °C. Posteriormente, para determinar la concentración de la DBO₅ se realiza la comparación del oxígeno disuelto inicial y final. Sin embargo, antes de realizar el proceso de incubación, es necesario homogenizar correctamente las muestras para determinar con mayor precisión la concentración final de la DBO₅ (Cárdenas, 2022). Es por ello que las muestras analizadas fueron homogenizadas mediante agitación mecánica y filtradas a través de un filtro de algodón, utilizando la metodología del equipo medidor de DBO₅ del laboratorio de Química de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta.

3.6 Procedimientos

3.6.1 Recolección de los componentes para el biofiltro

Los componentes del biofiltro correspondieron a los medios filtrantes que formaron parte del sistema de biofiltración con las especies y el control, tanto para la capa de los materiales biológicos como para las capas de los materiales inertes, los cuales se describen a continuación:

- Se utilizaron 400 individuos de *Eisenia foetida* (lombriz californiana) como primer medio biológico del biofiltro.
- Se recolectó la planta *Zantedeschia aethiopica* de los suelos ubicado a espaldas del local administrativo de la UNAH como segundo medio biológico del biofiltro.
- Se adquirieron 5 kg de aserrín.
- Se recolectaron 10 kg de grava con tamaño entre 2 cm y 3 cm de diámetro.
- Se recolectaron 10 kg de piedras enteras con tamaño entre 5 y 7 cm de diámetro.

3.6.2 Muestreo del agua residual del camal

Las muestras de agua residual se recolectaron del Camal Municipal de la Provincia de Huanta. Previamente, se determinó el horario de mayor actividad, el cual se registró entre las 11:00 y las 12:00 horas, los días viernes de cada semana. Se eligió este rango de tiempo porque se observó que el agua residual presentaba una mayor concentración, debido a la intensidad del color y a la cantidad de restos orgánicos provenientes de la matanza del ganado. Según Umasi

(2020), se debe tomar la muestra de agua residual en el horario de mayor actividad para garantizar la representatividad de la muestra y que el tratamiento sea el correcto.

Se recolectó una muestra compuesta de agua residual en el periodo antes mencionado. Del total de 45 litros que se tomaron, 20 litros sirvieron para el tratamiento del agua residual en el biofiltro con las especies, 20 litros para el tratamiento del biofiltro control y 5 litros para los análisis de la DBO₅ y DQO. Además, se recolectó un volumen adicional de 7 litros de agua residual adicional antes de iniciar el proceso experimental para la adaptación de la lombriz. Asimismo, los 45 litros de agua residual se recolectaron por cuatro semanas consecutivas, realizándose un total de cuatro tomas de muestra en el Camal Municipal de la Provincia de Huanta.

3.6.3 Muestreo para los Análisis de la DBO₅ y DQO

La recolección de muestras para los análisis de la DBO₅ y DQO fue puntual y se realizó en frascos de vidrio de acuerdo con el protocolo de la NTP 214.060 :2016, dichas muestras se recolectaron antes y después de cada tratamiento (Ver Tabla 2).

Tabla 2

Muestreo para los análisis de la DBO₅ y DQO

Parámetro	Tipo de frasco	Volumen (ml)	Preservante
DBO ₅	Vidrio	1000	Ninguno
DQO	Vidrio	100	H2SO4

3.6.4 Construcción de la estructura de los sistemas de biofiltración

El tratamiento piloto del agua residual mediante los sistemas de biofiltración estuvo compuesto por cuatro sistemas (ver Anexo 6), los cuales se conformaron con base en lo mencionado por Saboya (2018) y se detallan a continuación:

- El primer sistema fue el de homogenización y almacenamiento, para el cual se utilizaron dos baldes de plástico con capacidad de 50 litros, dentro de los cuales se almacenó la muestra de agua residual recolectada del camal municipal. Un balde fue destinado al biofiltro con las especies y otro al biofiltro control.
- El segundo sistema fue el de control del caudal, para el cual se instalaron baldes de plástico con capacidad de 20 litros al costado de cada balde de almacenamiento. Dichos

baldes contaron con una pequeña bomba de agua unida a los baldes de almacenamiento, con la finalidad de que el balde siempre estuviera lleno con 10 litros de agua y que el caudal no sufriera variaciones.

- El tercer sistema fue el de distribución del agua hacia el sistema de biofiltración, para el cual se instaló una válvula de control para el ingreso del agua al sistema y otra válvula para medir el caudal de ingreso. Además, se instaló un tubo de PVC perforado para que la distribución del agua residual fuera homogénea sobre la superficie del sistema del biofiltro con las especies y del biofiltro control.
- El cuarto sistema fue el de biofiltración, para el cual se construyeron dos estructuras de madera con cinco compartimentos. Cada compartimento tuvo 40 cm de ancho, 62 cm de largo y 44 cm de altura. Asimismo, se colocaron bandejas de plástico cuyas dimensiones fueron de 35 cm de ancho, 45 cm de largo y 30 cm de altura. La diferencia de altura entre capa y capa tuvo la finalidad de crear un sistema de aireación que favoreciera la degradación de la materia orgánica por los microorganismos aerobios.

3.6.5 Adaptación de la *Eisenia foetida*

Saboya (2018) recomienda que, antes de colocar a las lombrices dentro del biofiltro, se realice la adaptación para evitar que sufran un cambio brusco al momento de estar en contacto con el agua residual del camal. Para ello, se colocó una cantidad de 400 individuos de la especie *Eisenia foetida* dentro de un contenedor con sustrato de 10 cm de altura. Además, en la base se realizaron perforaciones y se colocó una malla raschel para evitar que el agua se encharcara y que las lombrices escaparan del contenedor.

Para la adaptación de los especímenes se suministró 1 litro diario de agua residual por 7 días de forma gradual, empezando con cantidades pequeñas en distintos momentos del día hasta suministrar la totalidad de 1 litro en los últimos días, siendo el proceso de la siguiente manera: en los días 1 y 2 se suministró el agua en 4 intervalos con un volumen de 250 mL; en los días 3, 4 y 5 se suministró en 2 intervalos con un volumen de 500 mL; y en los días 6 y 7 se suministró el agua en un solo momento con el volumen total de 1 litro (Ver Tabla 3). Asimismo, se monitoreó todo el proceso de adaptación, recopilando datos del pH del agua residual y de la temperatura del sustrato, manteniéndose vigilancia constante ante cualquier cambio externo desfavorable que pudiera afectar la adaptación de las lombrices.

Tabla 3*Adaptación de la Eisenia foetida por 7 días*

Día	pH del agua residual	Temperatura del sustrato °C	Hora de riego	Volumen de agua residual
1	7.2	18,1	11:00 am	250 mL
	7.1	18,3	2:00 pm	250 mL
	7.1	18,7	5:00 pm	250 mL
	7.1	17	8:00 pm	250 mL
	6.9	14.5	11:00 am	250 mL
2	6.9	16.2	2:00 pm	250 mL
	6.8	16.7	5:00 pm	250 mL
	6.7	15.7	8:00 pm	250 mL
	6,9	12	11:00 am	500 mL
3	7,7	15	5:00 pm	500 mL
	7,5	10.5	11:00 am	500 mL
4	7,4	14.2	5:00 pm	500 mL
	7,3	10.8	11:00 am	500 mL
5	7,4	14.5	5:00 pm	500 mL
	7,1	14	11:00 am	1000 mL
7	7	14.2	11:00 am	1000 mL

3.6.6 Distribución de los sustratos del biofiltro

Los sustratos se distribuyeron de forma manual en cada uno de los contenedores, antes de ello se realizaron agujeros de 0.2 cm de radio, con una separación entre ellos de 0.03 x 0.03 m, en la base de cada contenedor de los sustratos. Además, se colocó una malla raschel debajo de la primera capa con la finalidad de que las lombrices no escaparan del contenedor (Mamani, 2022).

La proporción de cada lecho filtrante del biofiltro se dispuso tomando como referencia a la investigación de Castillo (2021). En la primera capa, compuesta por el material biológico con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*, se determinó una proporción del 40 %, equivalente a una altura útil de 14 cm. Para los materiales inertes, como el aserrín, la grava y las piedras de río, se estableció una porción del 20 % para cada capa, equivalente a una altura útil de 7 cm por capa. Esta misma proporción de los materiales inertes se usó en el biofiltro

control (Ver Tabla 5 y 4). Además, la altura útil de cada capa del biofiltro se determinó mediante la ecuación empleada por Saboya (2018).

- **Cálculo altura útil primera capa (*Eisenia foetida*, *Zantedeschia aethiopica* y tierra orgánica)**

$$h = \frac{\% \text{ total del estrato} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{capa 1} = \frac{40 \% * 35 \text{ cm}}{100}$$

$$h = 14 \text{ cm}$$

- **Cálculo altura útil segunda capa (aserrín)**

$$h = \frac{\% \text{ total del estrato} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{capa 2} = \frac{20 \% * 35 \text{ cm}}{100}$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

- **Cálculo altura útil tercera capa (grava)**

$$h = \frac{\% \text{ total del estrato} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{capa 3} = \frac{20 \% * 35 \text{ cm}}{100}$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

- **Cálculo altura útil cuarta capa (piedras de río)**

$$h = \frac{\% \text{ total del estrato} * \text{altura útil del biofiltro}}{100}$$

$$\text{capa 4} = \frac{20 \% * 35 \text{ cm}}{100}$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

- **Cálculo altura útil total**

$$HT = C1 + C2 + C3 + C4$$

$$HT = 14 \text{ cm} + 7 \text{ cm} + 7 \text{ cm} + 7 \text{ cm}$$

$$HT = 35 \text{ cm}$$

Tabla 4

Proporción y altura de los sustratos del biofiltro con las especies

Material	Capas	Sustrato	Proporción	Altura
Biológico	1° capa	<i>Eisenia fetida</i> + <i>Zantedeschia aethiopica</i>	40 %	14 cm
	2° capa	+ tierra orgánica Aserrín	20 %	7 cm
Inerte	3° capa	Grava	20 %	7 cm
	4° capa	Piedras de río	20 %	7 cm

Tabla 5

Proporción y altura de los sustratos del biofiltro control

Material	Capas	Sustrato	Proporción	Altura
Inerte	1° capa	Aserrín	20 %	7 cm
	2° capa	Grava	20 %	7 cm
	3° capa	Piedras de río	20 %	7 cm

3.6.7 Trasplante de la *Zantedeschia aethiopica*

Luego de la selección y recolección de los especímenes de *Zantedeschia aethiopica*, se trasplantaron seis individuos de acuerdo con la metodología de Tomar (2011). Las plantas se colocaron a una profundidad de 10 cm en la primera capa y fueron regadas con agua de grifo durante 7 días, con la finalidad de que las raíces tuvieran el tiempo suficiente para establecerse dentro del contenedor. Posteriormente, se incorporaron a las lombrices ya adaptadas y se procedió a cubrir la superficie con pequeñas piedras, a fin de evitar el impacto directo del agua residual sobre las lombrices.

3.6.8 Medición del caudal y Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

La medición del caudal se realizó al inicio del tratamiento mediante el método volumétrico, el cual consistió en recolectar el agua residual en un recipiente con volumen conocido durante 1 minuto, este procedimiento se realizó por triplicado para obtener un valor representativo del caudal (Ver Tabla 6).

Tabla 6

Medición del caudal para el biofiltro con las especies y control

Sistema	Medición caudal (L/min)	Promedio final caudal (L/min)
Biofiltro con las especies	0.070	0,066
	0.066	
	0.063	
Biofiltro control	0.066	0.065
	0.063	
	0.066	

Asimismo, el tiempo de retención hidráulico se midió con el volumen útil de cada capa del biofiltro y el caudal que se determinó previamente.

- **Volumen útil primera capa (lombriz +planta)**

$$Vu = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura del sustrato}$$

$$Vu = 0.45 \times 0.35 \times 0.14 = 0.02205 \text{ m}^3 = 22.05 \text{ litros}$$

- **Volumen útil por capas (aserrín, grava y piedras)**

$$Vu = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura del sustrato}$$

$$Vu = 0.45 \times 0.35 \times 0.07 = 0.011025 \text{ m}^3 = 11.03 \text{ litros}$$

- **Tiempo de retención hidráulica primera capa (lombriz + planta)**

$$TRH = \frac{\text{Volumen útil}}{\text{caudal}}$$

$$TRH = \frac{22.05L}{0.066L/min} = 334 \text{ min} = 5.56 \text{ Horas}$$

- **Tiempo de retención hidráulica por capas (aserrín, grava y piedras)**

$$TRH = \frac{\text{Volumen útil}}{\text{caudal}}$$

$$TRH = \frac{11.03L}{0.066L/min} = 167.1min = 2.78 \text{ Horas}$$

- **Tiempo de retención hidráulica total**

$$TRHT = TRH \text{ CAPA } 1 + TRH \text{ CAPA } 2 + TRH \text{ CAPA } 3 + TRH \text{ CAPA } 4$$

$$TRHT = 5.56 + 2.78 + 2.78 + 2.78 = 13.9 \text{ Horas}$$

3.6.9 Determinación del porcentaje de remoción de la DQO y DBO₅

Al finalizar el tratamiento del agua residual en cada periodo, se realizó la determinación del porcentaje de remoción de la DQO y DBO₅; para ello, se aplicó la siguiente fórmula propuesta por Morales (2017):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(\text{Concentración inicial}) - (\text{Concentración final})}{(\text{Concentración inicial})} * 100$$

3.6.10 Determinación de la Carga Orgánica (CO)

La carga orgánica se determinó en función de las concentraciones de la DQO y DBO₅, tanto del biofiltro control como del experimental. Estos parámetros representan la concentración de la materia orgánica presente en el agua residual (Metcalf & Eddy, 1995), por ello se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Carga orgánica (g/día)} = \text{Concentración (mg/día)} \times \text{Caudal (m}^3/\text{día)}$$

3.6.11 Análisis de datos

Para el análisis de los datos resultantes del tratamiento mediante el biofiltro con las especies y su control, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Posteriormente, se aplicó la estadística paramétrica t de Student para muestras pareadas, con el fin de contrastar las hipótesis, considerando un nivel de significancia de 0.05. Asimismo, para la presentación de los resultados se empleó la estadística descriptiva mediante tablas y gráficas de barras, todo ello utilizando el software RStudio.

IV RESULTADOS

Los análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se realizaron dentro del laboratorio de química de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, utilizando métodos estandarizados para los parámetros mencionados. Cada medición se realizó antes y después de cada tratamiento, donde los resultados promedios de los parámetros físicos y químicos, así como la Carga Orgánica (CO) se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 7

Parámetros físicos y químicos del agua residual antes del tratamiento con los sistemas de biofiltración

Resultado Promedio del agua residual antes del tratamiento con los sistemas de biofiltración				
	Parámetros físicos		Parámetros Químicos	
Parámetros	pH	Temperatura °C	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
Resultados	7.4	16.3	1096.22	967.13

Tabla 8

Parámetros físicos y químicos del agua residual después del tratamiento con el biofiltro experimental

Resultado Promedio del agua residual después del tratamiento con el biofiltro experimental				
	Parámetros físicos		Parámetros Químicos	
Parámetros	pH	Temperatura °C	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
Resultados	7.1	16.2	476.06	280.13

Tabla 9

Parámetros físicos y químicos del agua residual después del tratamiento con el biofiltro control

Resultado Promedio del agua residual después del tratamiento con el biofiltro control				
	Parámetros físicos		Parámetros Químicos	
Parámetros	pH	Temperatura °C	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
Resultados	7.4	16.3	892.15	809.50

Tabla 10

Carga Orgánica promedio determinada mediante la DQO y DBO₅

Sistema	Carga Orgánica inicial DBO ₅ (g/día)	Carga Orgánica final DBO ₅ (g/día)	Carga Orgánica inicial DQO (g/día)	Carga Orgánica final DQO (g/día)
Biofiltro con las especies	91.92	26.62	104.18	45.24
Biofiltro control	90.52	75.77	102.61	83.50

4.1 Resultados de la Carga Orgánica (CO) basada en la Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO₅)

La carga orgánica asociada a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presentó valores promedio iniciales de 90.52 g/día para el biofiltro control y 91.92 g/día para el biofiltro experimental. Durante los cuatro monitoreos, se observaron variaciones en su comportamiento, donde el sistema de biofiltración con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* registró valores comprendidos entre 39.35 g/día y 12.26 g/día, con un promedio final de 26.62 g/día. Por su parte, el biofiltro control presentó valores entre 92.34 g/día y 54.24 g/día, alcanzando un promedio de 75.77 g/día, lo que evidencia un menor desempeño en la remoción de carga orgánica en comparación con el sistema experimental (Figuras 2 y 3).

Figura 2

Promedios finales de la carga orgánica asociada a la DBO₅ antes y después del tratamiento

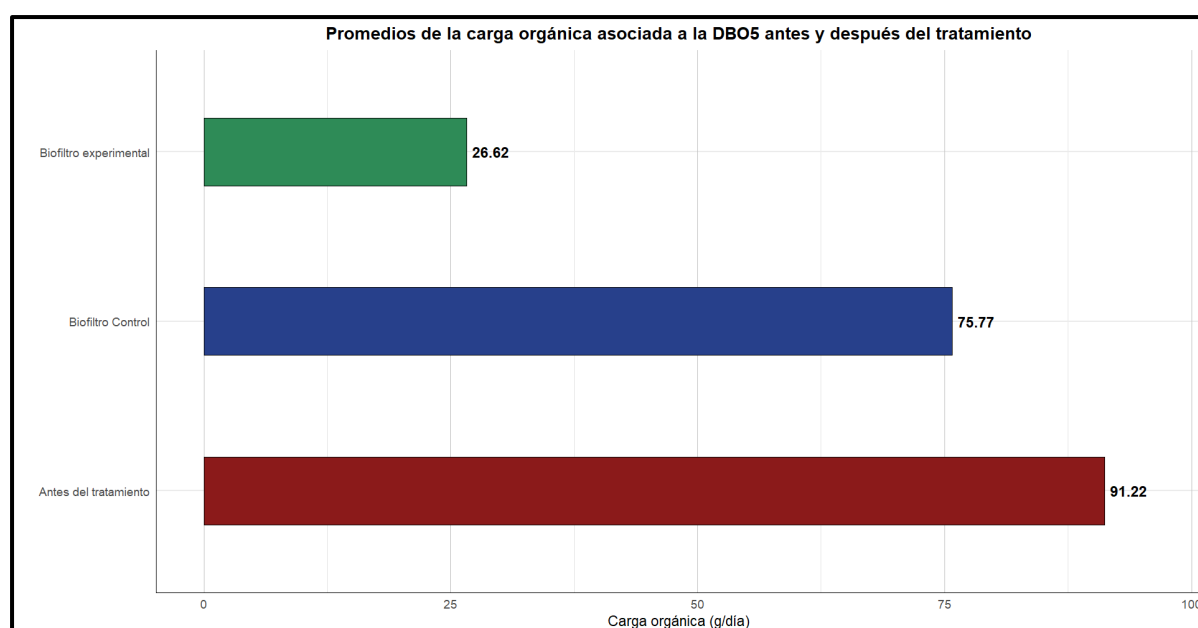
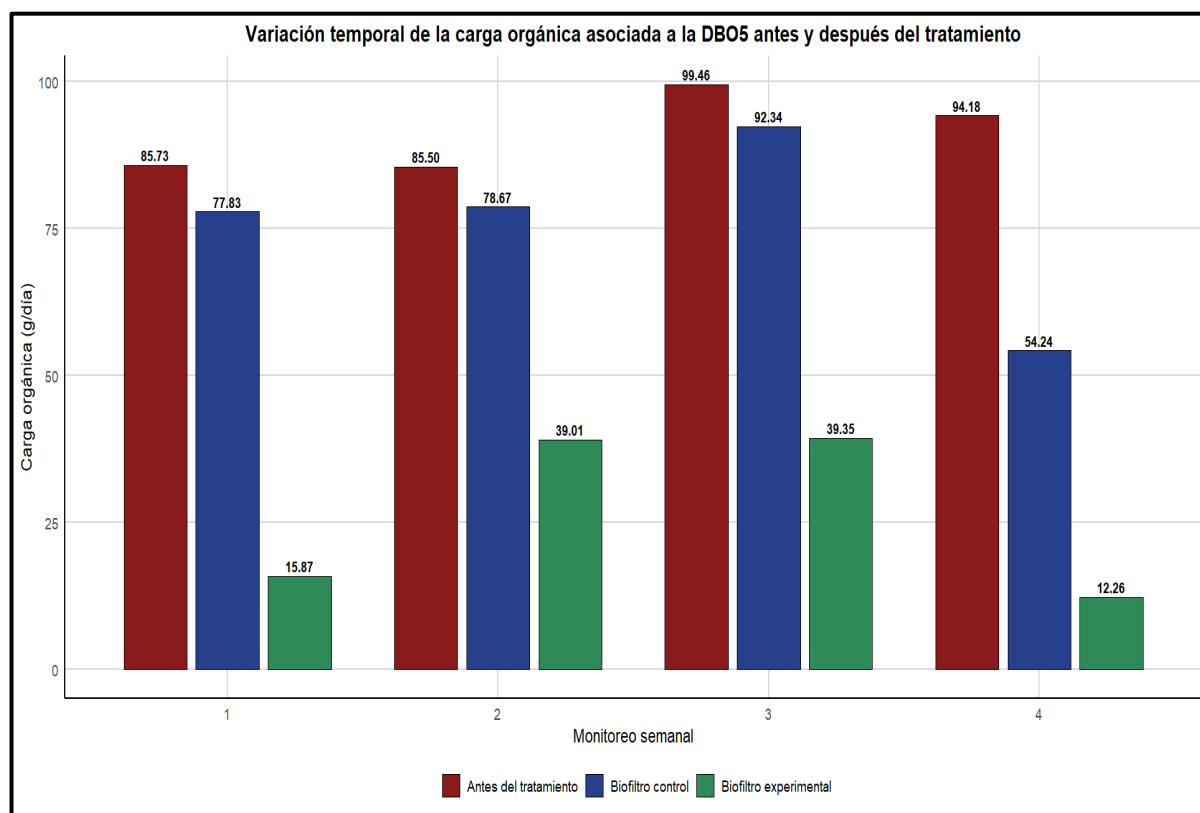


Figura 3

Variación temporal de la carga orgánica asociada a la DBO₅ antes y después del tratamiento

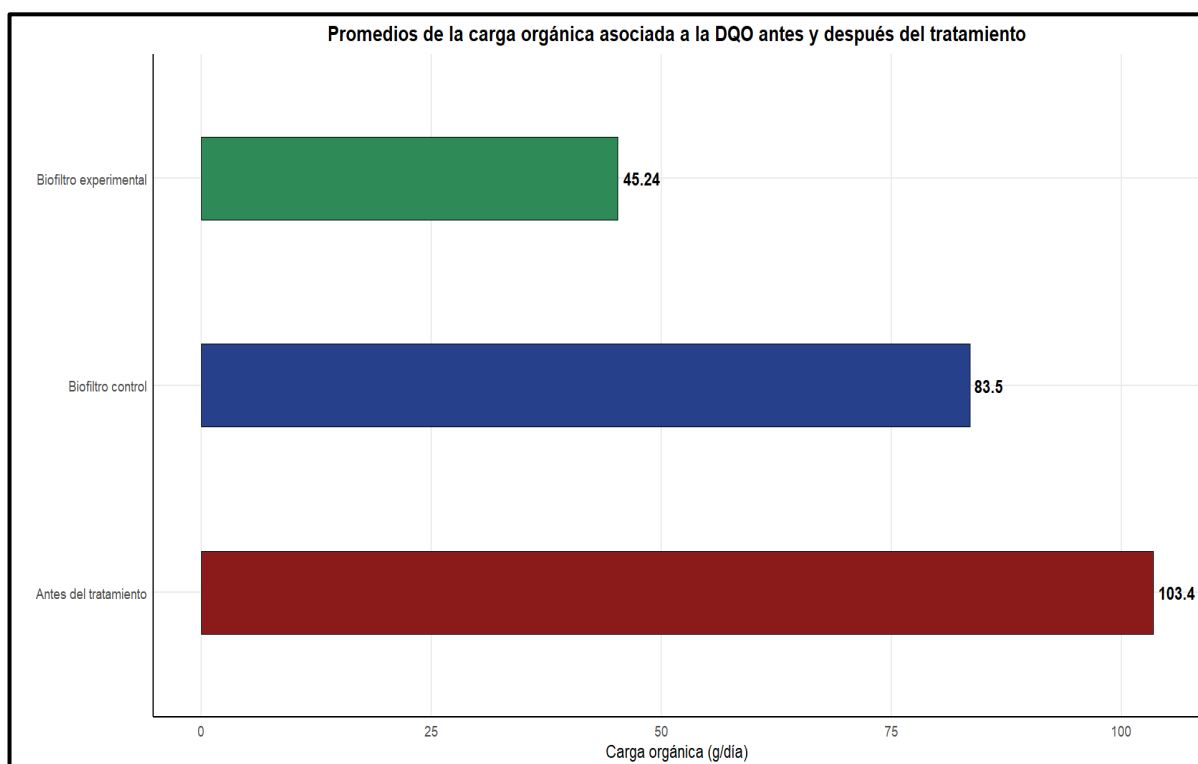


4.2 Resultados de la Carga Orgánica (CO) basada en la Demanda Química Oxígeno (DQO)

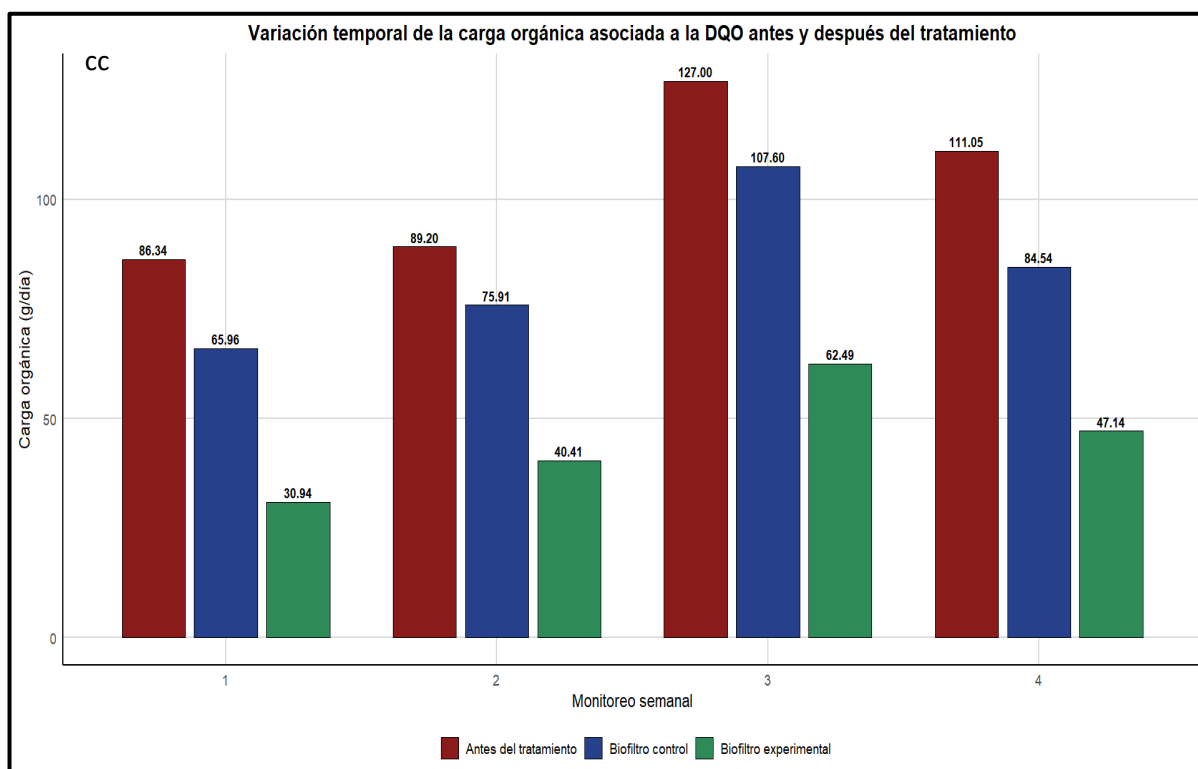
La carga orgánica asociada a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentó valores promedio iniciales de 102.61 g/día para el biofiltro control y 104.18 g/día para el biofiltro experimental. Durante los cuatro monitoreos, se observaron variaciones en su comportamiento, donde el sistema de biofiltración con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* registró valores comprendidos entre 62.49 g/día y 30.94 g/día, con un promedio final de 45.24 g/día. Por su parte, el biofiltro control presentó valores entre 107.60 g/día y 65.96 g/día, alcanzando un promedio de 83.50 g/día, lo que evidencia un menor desempeño en la remoción de carga orgánica en comparación con el sistema experimental (Figuras 4 y 5).

Figura 4

Promedios de la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento

**Figura 5**

Variación temporal de la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento



4.3 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Durante los cuatro monitoreos realizados, se observó que el porcentaje de remoción de la DQO en el biofiltro con las especies fue variable, con una eficiencia de remoción comprendida entre 51.17 % y 64.43 %, y un promedio de 57.13 %. Esta variabilidad se debió a que el agua residual proveniente del camal fue muestreada en distintos periodos y por lo tanto la concentración de los contaminantes orgánicos presento variaciones en su intensidad. Es por ello, que en cada nuevo ciclo de tratamiento en el biofiltro, el efluente presentaba distintas concentraciones de materia orgánica, lo que generó una remoción variable. Por otro lado, con respecto al biofiltro control, el porcentaje de remoción fue mínimo en comparación con el biofiltro con las especies, con un rango entre 14.24 % y 23.28 %, y un promedio de eficiencia de 18.79 %, mostrando un menor porcentaje de remoción con respecto al biofiltro con las especies (Figuras 6 y 7).

Figura 6

Promedio de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

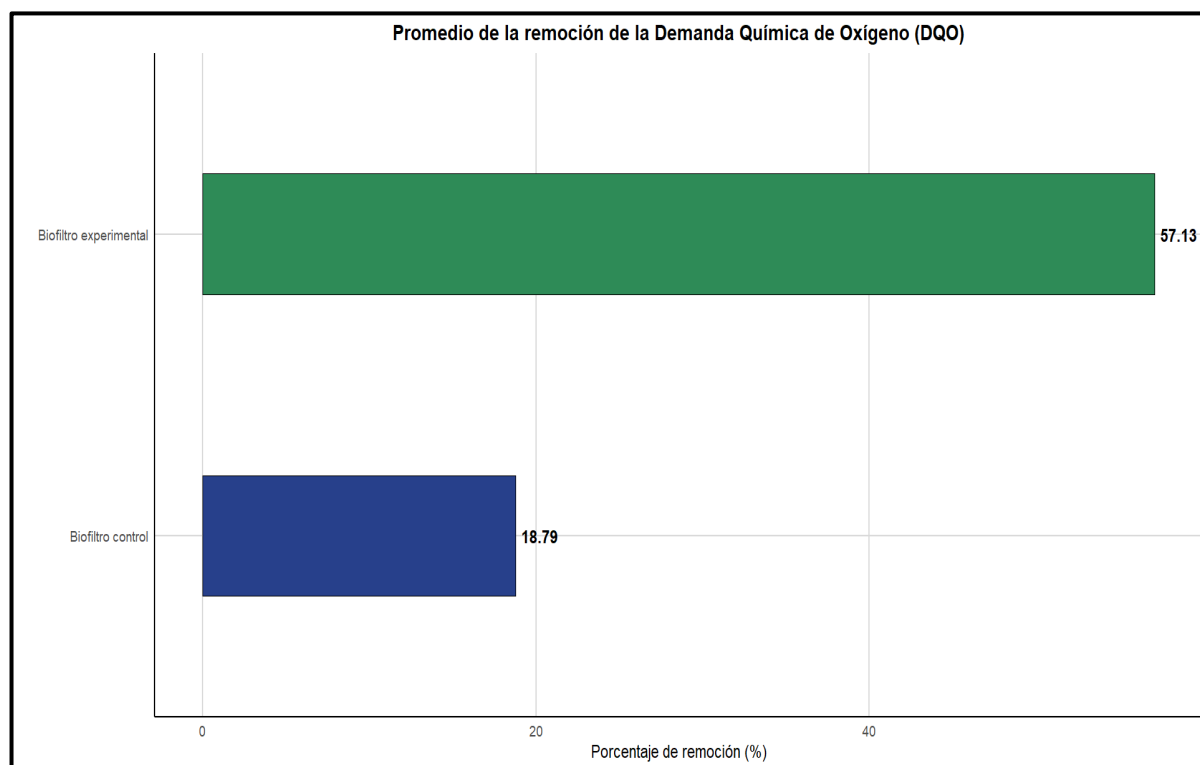
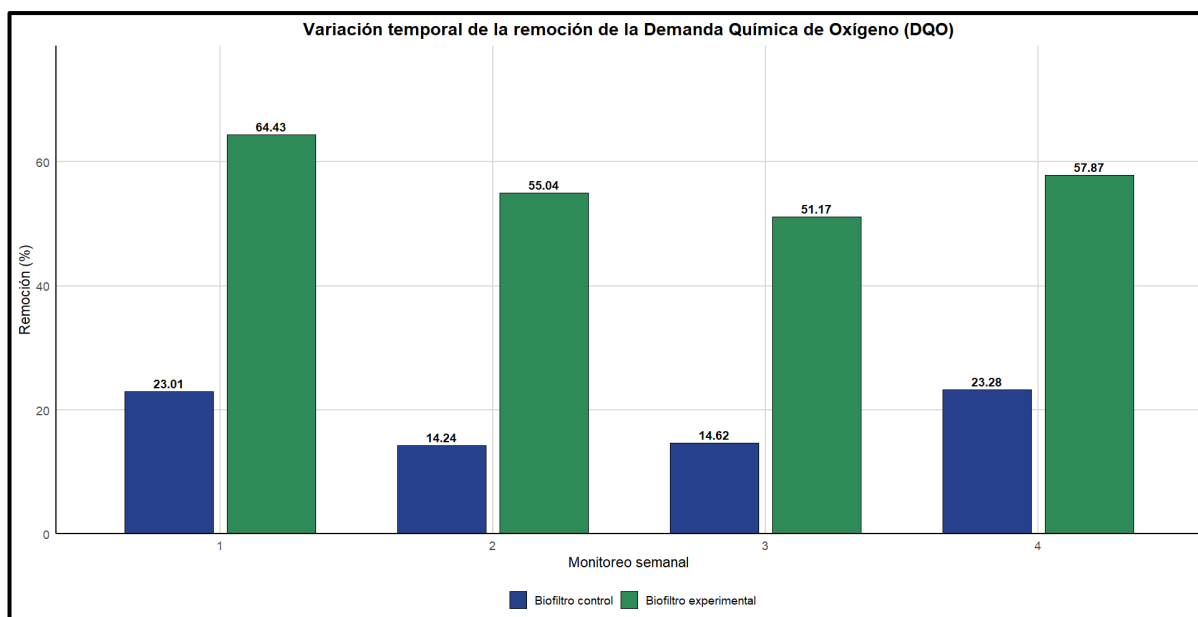


Figura 7

Variación temporal de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)



Con respecto a la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se presentó un valor promedio inicial de 1096.22 mg/L para ambos sistemas de biofiltración. Durante los cuatro monitoreos, se observaron variaciones en su comportamiento, donde el sistema de biofiltración con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* registró concentraciones comprendidas entre 325.58 mg/L y 657.48 mg/L, con un promedio final de 476.06 mg/L. Por su parte, el biofiltro control presentó concentraciones entre 704.73 mg/L y 1149.61 mg/L, alcanzando un promedio final de 892.15 mg/L, evidenciando una mayor reducción de la DQO en el sistema experimental en comparación con el biofiltro control (Figuras 8 y 9).

Figura 8

Promedio de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después del tratamiento

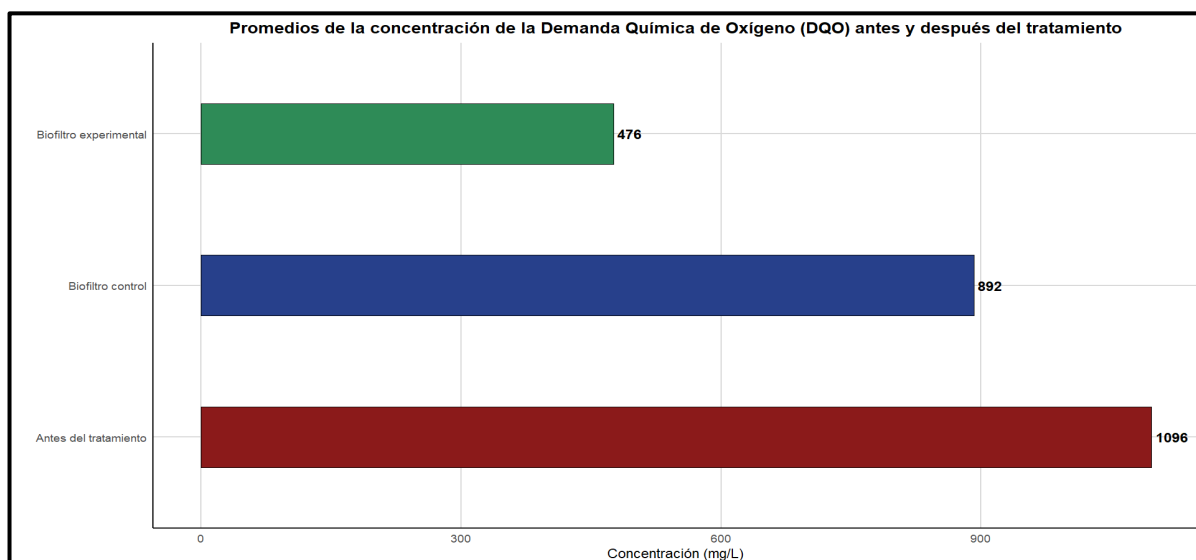
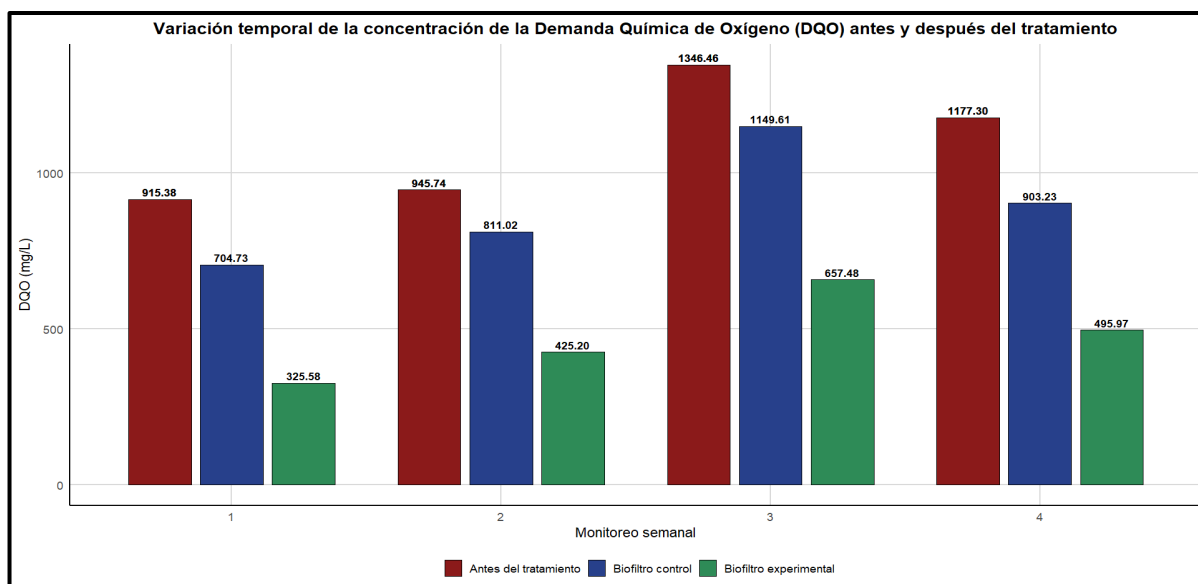


Figura 9

Variación temporal de la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después del tratamiento



4.4 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Los resultados de los análisis de la DBO₅ durante los cuatro monitoreos realizados muestran que la eficiencia de remoción en el biofiltro con las especies estuvo comprendida entre 54.72 % y 87.08 %, con un promedio del 71.04 %. Por otro lado, el biofiltro control obtuvo porcentajes de remoción entre 6.45 % y 41.96 %, logrando una eficiencia promedio de 16.06 % (Figuras 10 y 11).

Figura 10

Promedio final de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

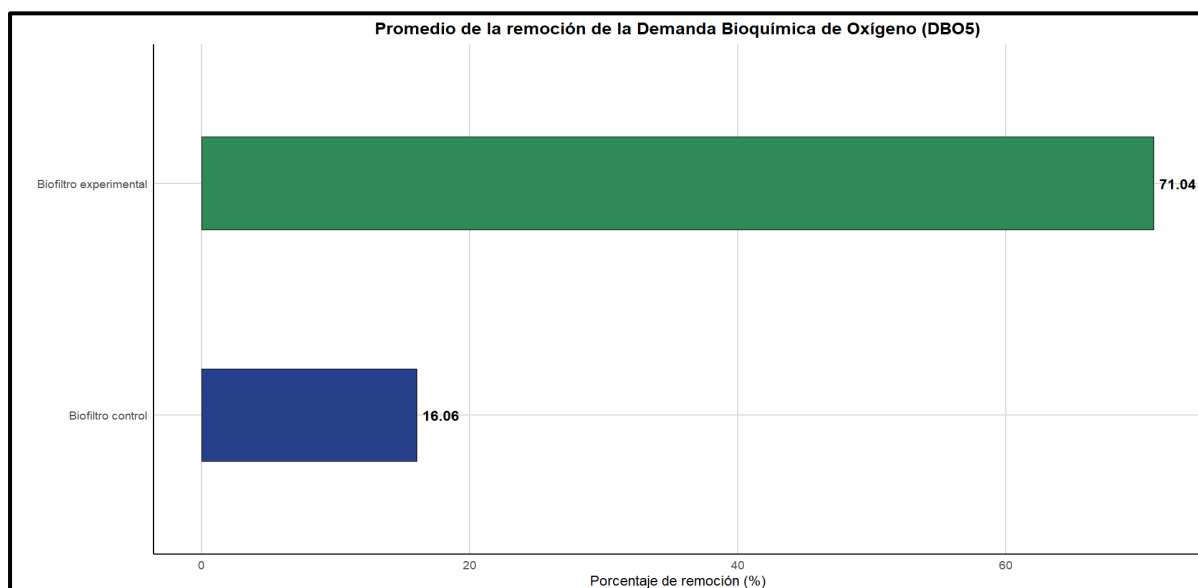
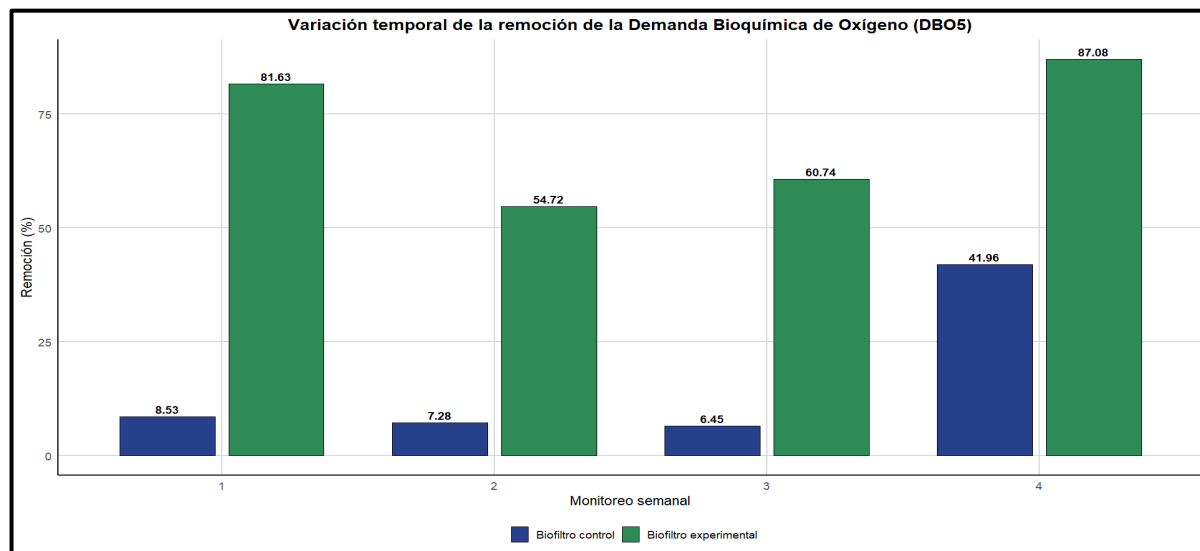


Figura 11

Variación temporal de la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)



Con respecto a la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), se presentó un valor promedio inicial de 967.13 mg/L para ambos sistemas de biofiltración. Durante los cuatro monitoreos, se observaron variaciones en su comportamiento, donde el sistema de biofiltración con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* registró concentraciones comprendidas entre 129.00 mg/L y 414.00 mg/L, con un promedio final de 280.13 mg/L. Por su parte, el biofiltro control presentó concentraciones entre 579.50 mg/L y 986.50 mg/L, alcanzando un promedio final de 809.50 mg/L, lo que evidenció una mayor reducción de la DBO₅ en el sistema experimental en comparación con el biofiltro control (Figuras 12 y 13).

Figura 12

Promedios de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) antes y después del tratamiento

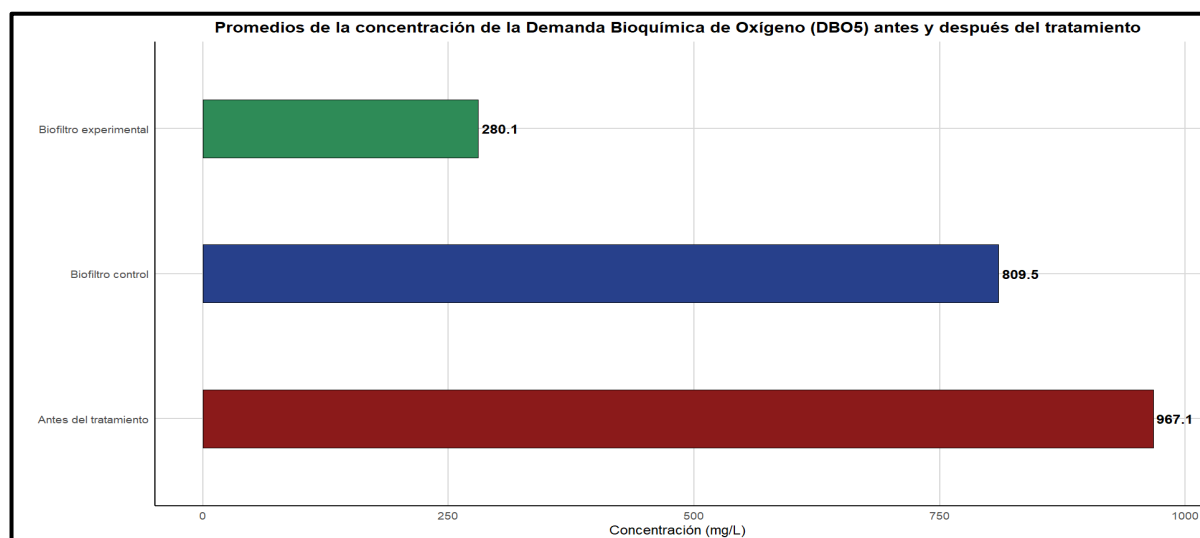
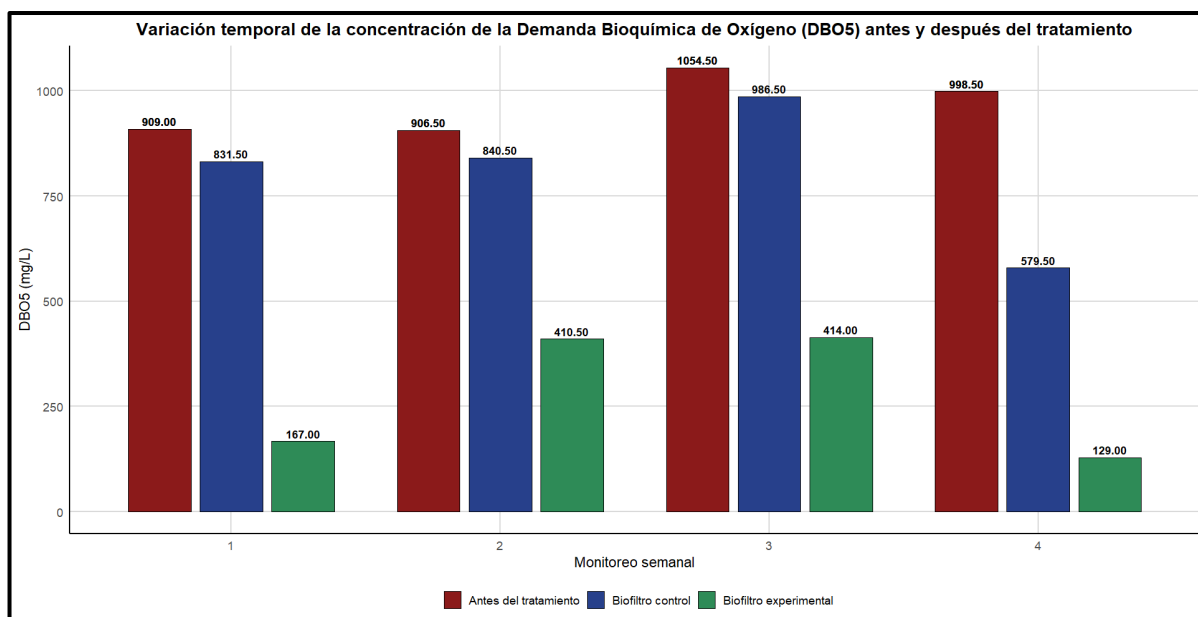


Figura 13

Variación temporal de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) antes y después del tratamiento



4.5 Resultados del pH

Los resultados del pH durante los cuatro monitoreos realizados no presentaron variaciones significativas, estando entre el rango de 6.7 y 7.7. Después del tratamiento con el biofiltro con las especies, el valor promedio del pH fue de 7.12, mientras que en el biofiltro control el pH promedio fue de 7.45, lo que indica que en ambos sistemas el agua tratada alcanzó valores neutros (Figuras 14 y 15).

Figura 14

Promedios del pH antes y después del tratamiento

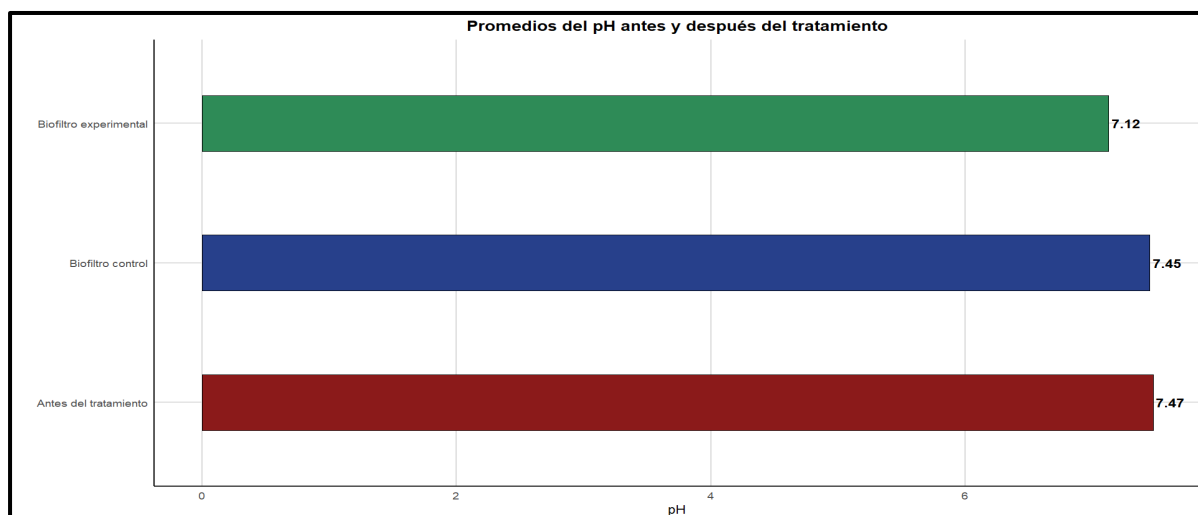
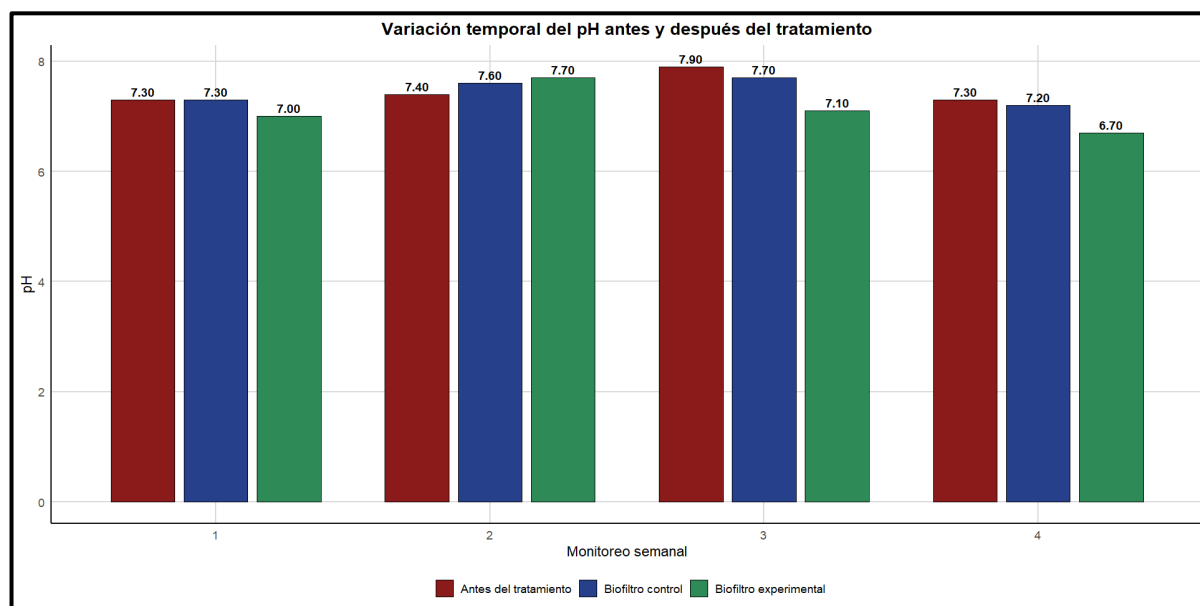


Figura 15

Variación temporal del pH antes y después del tratamiento



4.6 Resultados de la temperatura

Los resultados de la temperatura durante los cuatro monitoreos no presentaron variaciones significativas, estando entre el rango de 15.4 °C y 16.7 °C, obteniendo un valor promedio de 16.23 °C en el tratamiento con el biofiltro con las especies y 16.35 °C con el biofiltro control, lo que indica que los sistemas operaron en temporada fría durante los meses de julio y agosto (Figuras 16 y 17)

Figura 16

Promedios de la temperatura (°C) antes y después del tratamiento

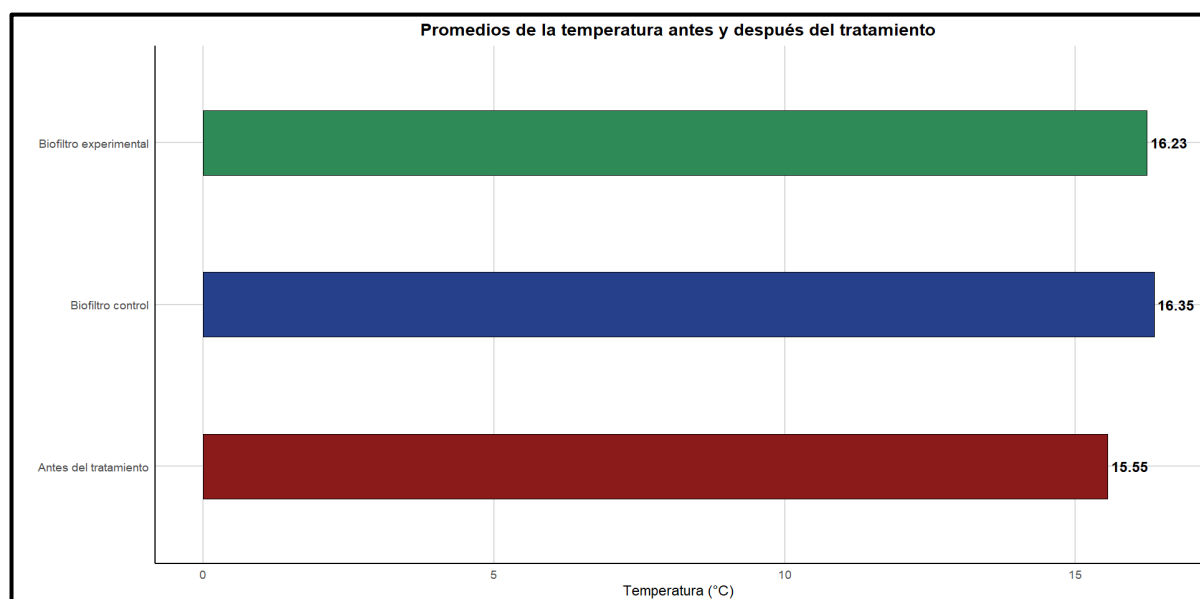
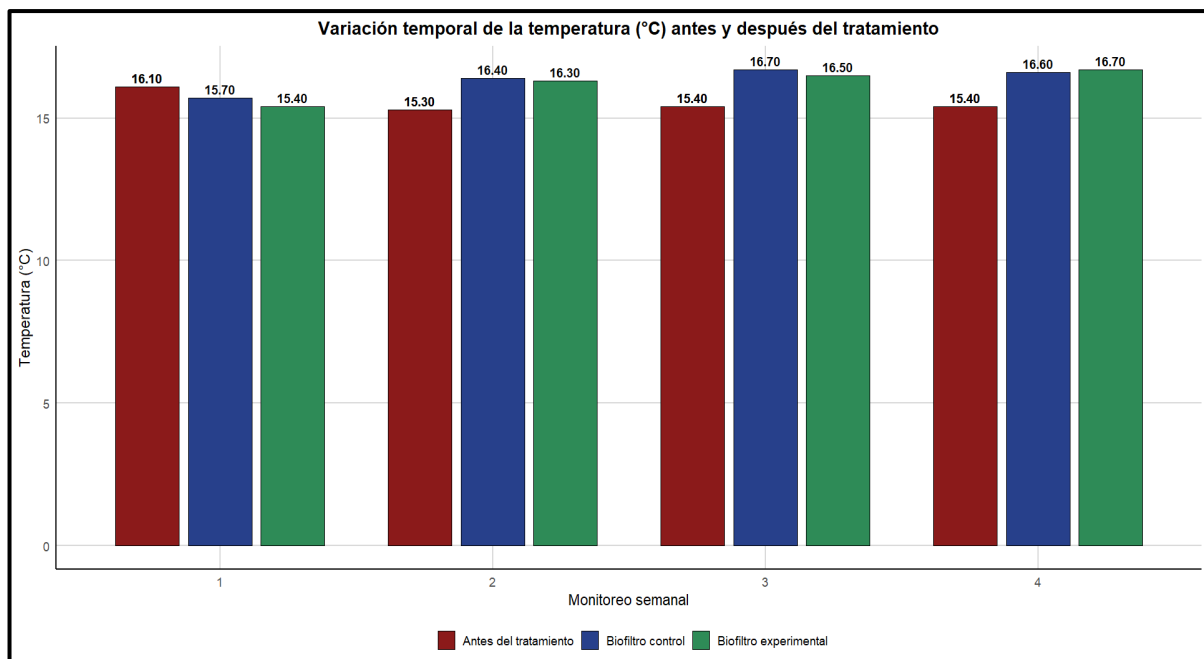


Figura 17

Variación temporal temperatura (°C) antes y después del tratamiento



4.7 Resultados estadísticos de contrastación de hipótesis

4.7.1 Prueba de normalidad

Debido a que los datos obtenidos de las muestras fueron menores a 50, se optó por realizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia del 0.05.

4.7.1.1 Prueba de normalidad para la carga orgánica asociada a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

- **Hipótesis**

H0: Los datos de la carga orgánica asociada a la DBO₅ presentan una distribución normal

H1: Los datos de la carga orgánica asociada a la DBO₅ no presentan una distribución normal

- **Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H0

- **Resultado**

La prueba de Shapiro-Wilk para la carga orgánica asociada a la DBO₅ dio como resultado un p-valor de 0.994, por ende, no se rechaza la H₀ y los datos presentan una distribución normal (Ver Tabla 11).

Tabla 11

Prueba de normalidad para la remoción de la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

parámetro	Prueba de normalidad	Estadístico (W)	P-valor
CO-DBO ₅	Shapiro-Wilk	0.99	0.994

4.7.1.2 Prueba de normalidad para la carga orgánica asociada a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

- Hipótesis**

H₀: Los datos de la carga orgánica asociada a la DQO presentan una distribución normal

H₁: Los datos de la carga orgánica asociada a la DQO no presentan una distribución normal

- Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H₀

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H₀

- Resultado**

La prueba de Shapiro-Wilk para la carga orgánica asociada a la DQO dio como resultado un p-valor de 0.374, por ende, no se rechaza la H₀ y los datos presentan una distribución normal (Ver Tabla 12).

Tabla 12

Prueba de normalidad para la remoción de la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

parámetro	Prueba de normalidad	Estadístico (W)	P-valor

CO-DQO	Shapiro-Wilk	0.88	0.374
--------	--------------	------	-------

4.7.1.3 Prueba de normalidad para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

- **Hipótesis**

H0: Los datos de la DBO₅ presentan una distribución normal

H1: Los datos de la DBO₅ no presentan una distribución normal

- **Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H0

- **Resultado**

La prueba de Shapiro-Wilk para la DBO₅ dio como resultado un p-valor de 0.994, por ende, no se rechaza la H0 y los datos presentan una distribución normal (Ver Tabla 13).

Tabla 13

Prueba de normalidad para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

parámetro	Prueba de normalidad	Estadístico (W)	P-valor
DBO ₅	Shapiro-Wilk	0.99	0.994

4.7.1.4 Prueba de normalidad para la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- **Hipótesis**

H0: Los datos de la DQO presentan una distribución normal

H1: Los datos de la DQO no presentan una distribución normal

- **Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H0

- **Resultado**

La prueba de Shapiro-Wilk para la DQO dio como resultado un p-valor de 0.373, por ende, no se rechaza la H_0 y los datos presentan una distribución normal (Ver Tabla 14)

Tabla 14

Prueba de normalidad para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

parámetro	Prueba de normalidad	Estadístico (W)	P-valor
DQO	Shapiro-Wilk	0.88	0.373

4.7.2 Prueba t de Student para muestras pareadas antes y después del tratamiento

Debido a que los datos tienen una distribución normal, se optó por realizar la prueba estadística de t de Student para muestras pareadas entre el antes y después del tratamiento con un nivel de significancia del 0.05.

4.7.2.1 Prueba t de Student pareada para la carga orgánica asociada a la Demanda

Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

- Hipótesis**

H_0 : No existe una remoción significativa de la carga orgánica asociada a la DBO_5 antes y después del tratamiento.

H_1 : Existe una remoción significativa de la carga orgánica asociada a la DBO_5 antes y después del tratamiento.

- Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H_0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H_0

- Resultado**

La prueba t de Student para muestras pareadas aplicada a la carga orgánica asociada a la DBO_5 antes y después del tratamiento arrojó un p-valor de 0.001603. Dado que este valor es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechazó la hipótesis nula, evidenciando una remoción estadísticamente significativa luego del tratamiento (Ver Tabla 15).

Tabla 15

Prueba t de Student pareada para la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Parámetro	t	gl	p-valor	Media dif
DBO ₅	8.6907	3	0.001603	65.29

4.7.2.2 Prueba t de Student pareada para la carga orgánica asociada a la Demanda

Química de Oxígeno (DQO)

- Hipótesis**

H0: No existe una remoción significativa de la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento.

H1: Existe una remoción significativa de la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento.

- Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H0

- Resultado**

La prueba t de Student para muestras pareadas aplicada a la carga orgánica asociada a la DQO antes y después del tratamiento arrojó un p-valor de 0.0002942. Dado que este valor es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechazó la hipótesis nula, evidenciando una remoción estadísticamente significativa luego del tratamiento (Ver Tabla 16).

Tabla 16

Prueba t de Student pareada para la Carga Orgánica (CO) de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Parámetro	t	gl	p-valor	Media dif
DQO	15.456	3	0.0002942	58.94

4.7.2.3 Prueba t de Student pareada para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

- **Hipótesis**

H0: No existe una remoción significativa de la DBO₅ antes y después del tratamiento.

H1: Existe una remoción significativa de la DBO₅ antes y después del tratamiento.

- **Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H0

- **Resultado**

La prueba t de Student para muestras pareadas aplicada a la DBO₅ antes y después del tratamiento arrojó un p-valor de 0.001603. Dado que este valor es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechazó la hipótesis nula, evidenciando una remoción estadísticamente significativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno luego del tratamiento (Ver Tabla 17).

Tabla 17

Prueba t de Student pareada para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Parámetro	t	gl	p-valor	Media dif
DBO ₅	8.6914	3	0.001603	687

4.7.2.4 Prueba t de Student pareada para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- **Hipótesis**

H0: No existe una remoción significativa de la DQO antes y después del tratamiento.

H1: Existe una remoción significativa de la DQO antes y después del tratamiento.

- **Criterio de determinación**

Donde $\alpha=0.05$

Si: $p\text{-valor} < \alpha$, se rechaza la H0

Si: $p\text{-valor} > \alpha$, no se rechaza la H0

- **Resultado**

La prueba t de Student para muestras pareadas aplicada a la DQO antes y después del tratamiento arrojó un p-valor de 0.0002943. Dado que este valor es menor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se rechazó la hipótesis nula, evidenciando una remoción estadísticamente significativa de la Demanda Química de Oxígeno luego del tratamiento (Ver Tabla 18).

Tabla 18*Prueba t de Student pareada para la Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Parámetro	t	gl	p-valor	Media dif
DQO	15.454	3	0.0002943	620

V DISCUSIÓN

5.1 Carga orgánica (CO)

El biofiltro híbrido compuesto por la *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* evidenció una remoción significativa de la carga orgánica, logrando una reducción de 104.18 g/día a 45.24 g/día para la carga orgánica asociada a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de 91.92 g/día a 26.62 g/día para la carga orgánica asociada a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Por su parte, la DQO y la DBO₅ fueron tratadas como indicadores representativos de la eficiencia total del sistema de biofiltración en el tratamiento de las aguas residuales del camal de Huanta; en este sentido, ambos parámetros presentaron reducciones significativas durante el tratamiento con el biofiltro con las especies, alcanzando eficiencias de remoción de 57.13 % y 71.04 %, respectivamente. Asimismo, la concentración promedio de la DQO disminuyó de 1096.22 mg/L a 476.06 mg/L, mientras que la DBO₅ se redujo de 967.13 mg/L a 280.13 mg/L, evidenciando que la combinación de las especies de *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* permite degradar y reducir la concentración de materia orgánica presente en las aguas residuales de camal.

Las capas que conformaron el biofiltro cumplieron funciones fundamentales en la remoción de la carga orgánica, ya que, al tratarse de un sistema de biofiltración híbrida compuesto por la combinación de dos especies biológicas y materiales inertes como el aserrín, la grava y las piedras, favorecieron el desarrollo simultáneo de procesos físicos, químicos y biológicos, entre ellos, la degradación biológica por microorganismos, sedimentación y el intercambio iónico (Tejedor, 2020). En la primera capa, compuesta por *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*, las lombrices aceleraron la actividad de los microorganismos aerobios encargados de la degradación de la materia orgánica, debido a que facilitan la descomposición de los compuestos biodegradables y presentan enzimas en su tracto intestinal que permiten la degradación de ciertos compuestos químicos (Kumar, 2014). Asimismo, el movimiento constante de las lombrices al excavar creó pequeños túneles que mejoraron la aireación del sustrato, promoviendo condiciones aerobias que favorecieron la eficiencia microbiana en la degradación bioquímica (Arora, 2014). Por su parte, la *Zantedeschia aethiopica* contribuyó mediante la absorción de nutrientes y la dispersión de microorganismos aerobios a través de su sistema radicular, además de oxigenar y mantener la porosidad del sustrato tanto en la parte superficial como profunda de la capa (Samal, 2017). Además, la eficiencia de remoción estuvo influenciada por la densidad de plantas presentes, ya que esta especie presenta un mejor desempeño cuando se encuentra en agrupaciones dentro del biofiltro

(Vasco, 2023). Finalmente, las capas de aserrín, grava y piedras contribuyeron a la formación de biopelículas conformadas por microorganismos, como las bacterias facultativas capaces de degradar la carga orgánica; estas se adhieren a la superficie de dichos materiales y, al entrar en contacto con el agua residual, inician el proceso de depuración (Saboya, 2018).

Los porcentajes de remoción obtenidos estuvieron influenciados por factores operacionales y ambientales; entre ellos, uno de los más importantes fue la temperatura, ya que tanto las lombrices como los microorganismos asociados requieren un rango entre 25 °C y 30 °C para mantener una actividad metabólica óptima (Arora, 2015). Sin embargo, el tratamiento con el biofiltro se desarrolló durante la temporada fría, entre los meses de julio y agosto, situación que se evidenció durante la etapa de adaptación de la *Eisenia foetida*, donde se registraron temperaturas en el sustrato entre 10 °C y 18 °C, lo cual afectó la eficiencia de remoción. Asimismo, el caudal aplicado de 0.066 L/min permitió distribuir el agua de manera uniforme en la primera capa; no obstante, el tiempo de retención hidráulico en la práctica fue menor al calculado teóricamente, debido a que el sustrato utilizado en esta capa estuvo compuesto por tierra orgánica, lo que facilitó un flujo más rápido del agua, especialmente cuando se incrementaba el caudal y el volumen suministrado. Este factor limitó el tiempo de contacto necesario para que las especies actuaran sobre la carga orgánica, restringiendo así la eficiencia máxima de remoción del sistema. A pesar de estas limitaciones, los resultados demostraron que el biofiltro con las especies fue capaz de remover una fracción significativa de carga orgánica presente en el agua residual del camal, evidenciando su viabilidad bajo las condiciones evaluadas. Finalmente, los resultados de las pruebas estadísticas mostraron que el biofiltro piloto con *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* logró una remoción significativa de la carga orgánica, evaluada mediante los indicadores DQO y DBO₅.

5.2 Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Referente a la eficiencia de remoción de la DQO, el porcentaje promedio obtenido fue del 57.13 %, el cual, en comparación con estudios similares de tratamiento de aguas residuales, resultó superior. Por ejemplo, Romero (2022) obtuvo un porcentaje de remoción del 40,12 % empleando un sistema de biofiltración con características similares a la presente investigación. De igual manera, Castillo (2021) registró una eficiencia del 52.25 % utilizando únicamente la especie de *Eisenia foetida* dentro de su sistema de tratamiento. Sin embargo, otros estudios que emplearon macrófitas para la remoción de la materia orgánica mostraron valores de remoción superiores. Por ejemplo, Herrera (2021) reportó un porcentaje de eficiencia del 99 % de remoción de la DQO en humedales empleando a la especie de *Zantedeschia aethiopica*. Estas

diferencias en la eficiencia de remoción muestran que las condiciones de operación de los biofiltros pueden favorecer o limitar la actividad de las lombrices, las plantas y los microorganismos asociados, influyendo directamente en la asimilación de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

5.3 Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO₅, el porcentaje promedio obtenido fue del 71.04 %, el cual resultó superior en comparación con diversos estudios similares. Por ejemplo, Cáceres (2018) reportó una eficiencia del 49.91 % en la remoción de DBO₅ mediante un biofiltro compuesto por lombrices de *Eisenia foetida* y materiales inertes, sin la presencia de otra especie biológica. De manera similar, Castillo (2021) obtuvo una eficiencia de remoción del 52.25 % mediante un biofiltro que empleó lombrices como única especie biológica. Asimismo, Romero (2022) registró un porcentaje de remoción del 42.56 % de la DBO₅ bajo condiciones similares. No obstante, existen otros estudios que obtuvieron eficiencias superiores respecto a la DBO₅. Por ejemplo, Quispe (2019) obtuvo un porcentaje de remoción de 91.55 % mediante el tratamiento con las especies de *Eisenia foetida* y macrófitas similares a *Zantedeschia aethiopica*. De igual modo, Herrera (2021) reportó una remoción del 79 % para la DBO₅ al emplear humedales artificiales con la especie *Zantedeschia aethiopica*. Por su parte, Cabrera (2022) reportó una eficiencia del 86.9 % para la DBO₅ implementando biofiltros con la *Eisenia foetida* para el tratamiento de aguas residuales de origen industrial. Estas diferencias indican que el desempeño del biofiltro en la degradación de los compuestos biodegradables varía debido a la influencia de factores externos, tales como las condiciones ambientales, el caudal suministrado, tipo de especie utilizada y la composición de los sustratos empleados en las capas del sistema. Asimismo, la eficiencia de remoción obtenida fue mayor en comparación con la DQO, debido a que el agua residual de camal presenta una elevada proporción de materia orgánica biodegradable, la cual es degradada por los microorganismos aerobios con la participación conjunta de las lombrices y plantas, las cuales contribuyen a acelerar este proceso.

En tal sentido, los resultados del presente estudio se encuentran dentro del rango de eficiencia reportado en la literatura para la remoción de la carga orgánica, mostrando un desempeño intermedio condicionado por las características operacionales del biofiltro y por factores externos que influyeron en la actividad biológica y en la capacidad de remoción del sistema conformado por *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*.

VI CONCLUSIONES

- El biofiltro híbrido conformado por *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* demostró eficiencia en la remoción de la carga orgánica (CO) presente en las aguas residuales de camal, reduciendo la CO asociada a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 104.18 g/día a 45.24 g/día y la asociada a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 91.92 g/día a 26.62 g/día, evidenciando que la incorporación de agentes biológicos mejora el desempeño del sistema de biofiltración en el tratamiento de las aguas residuales de camal.
- El biofiltro híbrido conformado por *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica* permitió reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 967.13 mg/L a 280.13 mg/L, alcanzando una eficiencia de remoción del 71.04 %, superior al 16.05 % obtenido por el biofiltro control. Asimismo, la prueba t de Student para muestras pareadas confirmó que esta diferencia fue estadísticamente significativa con un p-valor de 0.001603.
- La aplicación del biofiltro híbrido permitió alcanzar una remoción del 57.13 % de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), reduciendo su concentración promedio de 1096.22 mg/L a 476.06 mg/L. Este resultado fue superior al obtenido por el biofiltro control, que alcanzo una remoción del 18.79 % y la prueba t de Student para muestras pareadas evidenció diferencias estadísticamente significativas con un p-valor de 0.0002943, confirmando la eficacia del tratamiento con el biofiltro para este parámetro.
- El uso de biofiltros híbridos es una alternativa viable y sostenible para el tratamiento de las aguas residuales de camal, ya que la integración de especies biológicas y materiales filtrantes complementarios mejora la eficiencia de remoción de la carga orgánica, evidenciando su funcionalidad bajo las condiciones operacionales evaluadas.

VII RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el tratamiento en temporadas donde la temperatura se mantenga dentro del rango de 25 °C a 30 °C, debido a que este intervalo favorece la actividad metabólica de los microorganismos aerobios y de *Eisenia foetida*, permitiendo que el biofiltro tenga una mayor estabilidad operativa y eficiencia en la remoción de la carga orgánica.
- Se recomienda efectuar el mantenimiento periódico de cada lecho filtrante, a fin de evitar la saturación del sistema por la acumulación de materia orgánica. Esto permitirá prevenir la descomposición de materiales como el aserrín, evitar la liberación de compuestos que alteren la calidad del agua tratada y mantener un flujo hidráulico adecuado durante el tratamiento.
- Se recomienda incrementar el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) para obtener mayores eficiencias de remoción, ya que, al aumentar este factor, el agua residual permanecerá más tiempo en contacto con los lechos filtrantes, favoreciendo la actividad metabólica de las lombrices y microorganismos aerobios. Esto permitirá optimizar la reducción de la carga orgánica, especialmente en aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica.
- Se recomienda desarrollar futuras investigaciones orientadas a identificar los grupos microbianos responsables de la degradación de la materia orgánica dentro del sistema de biofiltración, con la finalidad de comprender qué microorganismos predominan en el biofiltro. Asimismo, se sugiere profundizar en la determinación de la densidad óptima de *Eisenia foetida* y *Zantedeschia aethiopica*, a fin de establecer las cantidades adecuadas de estas especies y mejorar el diseño del biofiltro híbrido.

VIII REFERENCIAS

- Aguilar Torrejón, J. A. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time. *SN Appl. Sci*, 5(4), 118. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7>
- Arora, S. (2014). Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system. *Bioresource Technology*, 166, 132–141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.041>
- Arora, S. (2015). The effect of seasonal temperature on pathogen removal efficacy of vermifilter for wastewater treatment. *Water Research*, 74, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.001>
- Blancas, M. (2022). Efficiency of *Zantedeschia aethiopica* and *Nasturtium officinale* in the removal of COD and BOD5 in domestic wastewater from the Santiago Antúnez de Mayolo el Tambo Urbanization - 2021. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 952, 012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/952/1/012001>
- Berrios Ccarita, L. A. (2020). Tratamiento de aguas residuales del camal la colina - pedregal usando el método de reactor UASB. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1144870/simple-search?query=&sort_by=score&order=desc&rpp=10&filter_field_1=advisor&filter_type_1>equals&filter_value_1=Yanqui+Morales%2C+Isaac&filter_field_2=author&filter_type_2>equals&filter_value_2=Berrios+Cca
- CABI. (2019). *Zantedeschia aethiopica* (calla lily). CABI Compendium. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.57590>
- Cabrera, M. (2022). Análisis de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria de Embutidos. *Revista Politécnica*, 49(2), 47-54. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.05>
- Cáceres Poma, D. (2018). Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA para el Desarrollo*, 4(número especial), 13-23. <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115>

- Cáceres Poma, D. (2021). Eficiencia de *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*, 20(1), 83-92. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692>
- Cárdenas León, J. A. (2022). *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. Ecoe Ediciones.
https://www.google.com.pe/books/edition/Calidad_del_agua_para_estudiantes_de_cie/L2NtEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Carhuallanqui Torres, M. N. (2025). Worm-filter in the recovery of wastewater from the commercial activity of hydrobiological products. *Chemical Engineering Transactions*, 117, 433-438. <https://doi.org/10.3303/CET25117073>
- Carrasquero Ferrer, S. (2025). Sequencing batch reactor: a sustainable wastewater treatment option for the canned vegetable industry. *Sustainability*, 17(3), 818. <https://doi.org/10.3390/su17030818>
- Castillo Sánchez, J. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80-99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Castro, E. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema tohá (lombrifiltro) para el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Tinjacá- Boyacá*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22771>
- Cazorla Vinueza, X. (2021). Tratamiento biológico de aguas residuales como un proyecto de emprendimiento comunitario del Tejar Balbanera. *Dom. Cien.*, 7(4), 1767-1787. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1383>
- Costa Conceicao, K. (2023). Performance of hybrid biofilter based on rice husks/sawdust treating grey wastewater. *Water Science & Technology*, 87(10), 1-16. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.132>
- Crini, G. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environ Chem Lett*, 17(2), 145–155. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
- Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (2019). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en*

el sistema de alcantarillado sanitario. El peruano.
<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1748339-3>

Domínguez, J. (2018). Earthworms and Vermicomposting. In *Earthworms - The Ecological Engineers of Soil*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76088>

Duque Sarango, P. J. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios. *Ciencia UNEMI*, 11(28), 88-96.
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p>

Ferrer Polo, J. (2018). *Tratamiento biológico de aguas residuales (3rd ed.)*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC_0358_03_03.pdf?guest=true

Ferrer Polo, J. (2022). *Tratamientos biológicos de aguas residuales (4th ed.)*. edUPV.
https://dama.umh.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991001286827106331&context=U&vid=34CVA_UMH:VU1&lang=es

Gast, D. L. (2018). Research Approaches in Applied Settings. In *Single case research methodology: Applications in special education and behavioral sciences (3rd ed.)*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315150666-1>

Goicochea Silva, A. A. (2026). *Implementación de lombrifiltro para mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Jorge Chávez - Celendín 2024*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Nacional de Cajamarca.
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/9845>

Gómez Cardenas, N. (2022). *Sistemas de lombrifiltro y carbón activado para el tratamiento de aguas residuales en un matadero municipal en Ayacucho, 2022*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad César Vallejo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/108913>

Gualteros Díaz, L. (2015). *Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas Cundinamarca vereda La Yerbabuena*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad de La Salle.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1550&context=ing_ambiental_sanitaria

- Guanuchi Quito, A. E. (2025). Effectiveness of vermifiltration systems in wastewater bioremediation: a sustainable and cost-effective approach. *Proceedings of the 7th IWA International Conference on Ecotechnologies for Wastewater Treatment*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17293187>
- Gurreonero Castillo, V. C. (2024). Evaluación de efectividad del vermifiltro en tratamiento de aguas residuales domésticas para un terminal portuario. *Social Science Research Network*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5043819>
- Guyer Partners, J. P. (2019). *Una Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. J. Paul Guyer, P.E., R.A. https://www.google.com.pe/books/edition/Una_Introducci%C3%B3n_al_Tratamiento_de_Agua/osC3DwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Hasim Suhaib, K. (2022). Effect of plant roots on clogging and treatment performance of horizontal subsurface flow vermifilter for synthetic dairy wastewater. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 26(3), 04022012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000696](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000696)
- Hernández Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Edamsa Impresiones S.A. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf
- Herrera Chavez, L. L. (2021). Eficiencia de Nasturtium officinale WT. Aiton y Zantedeschia aethiopica L. en la remoción de materia orgánica de aguas residuales domésticas. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 4(1), 30-35. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i1.693>
- Ispolnov, K. (2021). A combined vermifiltration-hydroponic system for swine wastewater treatment. *Applied Sciences*, 11(11), 5064. <https://doi.org/10.3390/app11115064>
- Kato, S. (2024). Comprehensive review of industrial wastewater treatment techniques. *Environ Sci Pollut Res*, 31(39), 51064–51097. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34584-0>
- Kharwade, A. (2022). Tainted Wastewater Remediation through Inverted Multimedia Biofilter. *Earth and Environmental Science*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1084/1/012071>

- Kumar Swarnakar, A. (2022). Various types of constructed wetland for wastewater treatment: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1032, 012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1032/1/012026>
- Kumar, T. (2014). Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. *Ecological Engineering*, 62, 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.028>
- Jiménez Madrid, A. (2020). *Marco legal. Efecto y minimizacion de vertidos* (1st ed.). Editorial Elearning, S.L. https://www.google.com.pe/books/edition/Marco_legal_Efecto_y_minimizacion_de_ver/1SH-DwAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Lara, D. (2022). *Evaluación de un biofiltro para el tratamiento de agua residual del grupo Rossi*. [Tesis para obtener el título profesional]. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22130?mode=full>
- Launay, M. A. (2016). Organic micropollutants discharged by combined sewer overflows – Characterisation of pollutant sources and stormwater-related processes. *Water Research*, 104, 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.068>
- Lee, J. (2016). Relationships between water quality parameters in rivers and lakes: BOD5, COD, NBOPs, and TOC. *Environ Monit Assess*, 188(4), 252. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5251-1>
- León Chimbolema, J. G. (2025). Implementation of biofilters with earthworms as a sustainable alternative for wastewater treatment in slaughterhouses. *Centrosur*, 1(25), 121-133. <https://centrosuragraria.com/index.php/revista/article/view/294/595>
- Liberio, F. (2019). *Incidencia en lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) y lenteja de agua (Lemna Minor) en el tratamiento de aguas residuales urbanas en el catón Quevedo, año 2018*. [Tesis para obtener el grado de Magister]. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/6e5e29e0-2352-441f-bfc2-e6df0b0be892>
- Lin, L. (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: a review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 880246. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>

- López Vázquez, C. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño (1st ed.)*. IWA Publishing. https://www.google.com.pe/books/edition/Tratamiento_biol%C3%B3gico_de_aguas_residual/lxNBDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Maddah, H. A. (2022). Predicting Optimum Dilution Factors for BOD Sampling and Desired Dissolved Oxygen for Controlling Organic Contamination in Various Wastewaters. *International Journal of Chemical Engineering*, 2022(8637064), 14. <https://doi.org/10.1155/2022/8637064>
- Mamani Mamani, R. (2022). *Depuración de aguas residuales con colectores solares en un sistema de lombrifiltro para la remoción de elevadas cargas orgánicas en condiciones altoandinas*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5429?show=full>
- Masharqa, A. (2023). Vertical and hybrid constructed wetlands as a sustainable technique to improve domestic wastewater quality. *Water*, 15(19), 3348. <https://doi.org/10.3390/w15193348>
- Matovelle, C. (2024). Performance of *equisetum spp* and *Zantedeschia aethiopica* on the evaluation of artificial wetlands as an alternative for wastewater treatment in rural areas of the ecuadorian andes. *Current Research in Environmental Sustainability*, 7, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2024.100243>
- Mazinder Barua, J. R. (2021). Bacteriological Quality of Livestock Farm Oriented Wastewater as a Source of Surface Water Pollution. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 10(2), 1511-1517. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1002.180>
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3rd ed., Vol. 1). McGraw-Hill. https://openlibrary.org/books/OL26399026M/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_tratamiento_vertido_y_reutilizaci%C3%B3n_3.ed.?utm_source=chatgpt.com
- Meza Pinedo, F. A. (2022). Evaluación de la eficiencia de un vermifiltro con la especie *Eisenia foetida* para el tratamiento de aguas residuales de uso doméstico. *UCV-Scientia*, 14(1), 18-31. <https://doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v14n1a2>

- Morales Fiallos, F. (2017). Biofiltración sobre Cama de Turba, para el Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes del Lavado de Jeans. *Revista Publicando*, 4(10), 579-590. <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/515>
- Ng, M. (2022). Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. *Processes*, 10(7), 1-28. <https://doi.org/10.3390/pr10071300>
- Nsiah Gyambibi, R. (2023). Performance evaluation of developed macrophyte-assisted vermifiltration system designed with varied macrophytes and earthworm species for domestic wastewater treatment. *PLOS One*, 18(3), e0281953. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281953>
- Oliva González, S. (2014). Assessment of the water self-purification capacity on a river affected by organic pollution: application of chemometrics in spatial and temporal variations. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 10583–10593. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3098-y>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Informe Mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, cifras y datos*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553_spa
- Pérez Flores, M. (2019). Diseño y construcción de un filtro biológico para el tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Flor de Leche S.R.L mediante el uso de la Lombriz *Eisenia Foetida*, Lombrifiltro. *CienciaAgro*, 9(1), 42-49. <https://www.institutoagrario.org/cienciagro>
- Perez Zuñiga, J. N. (2024). *Eficiencia de humedales con las macrófitas Zantedeschia aethiopica (cartucho) y Calceolaria tripartita (zapatitos de ángel) en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad de Huánuco. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5616>
- Pratap, B. (2023). Wastewater generation and treatment by various eco-friendly technologies: Possible health hazards and further reuse for environmental safety. *Chemosphere*, 313(137547). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137547>

- Quispe Pérez, M. L. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales* (1st ed.). Voces de la Educación. https://www.google.com.pe/books/edition/Aplicaciones_tecnol%C3%B3gicas_de_tratamient/hikTEAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Quispe Pulido, A. (2019). Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho-Chosica. *Cátedra Villarreal*, 7(1), 66-83. <http://dx.doi.org/10.24039/cv201971325>
- Raffo Lecca, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 17(1), 71-80. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/12035/10751>
- Ramalho, R. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverte. https://www.google.com.pe/books/edition/Tratamiento_de_aguas_residuales/T9MfEAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica* (1st ed.). Page Publishing, Incorporated. https://www.google.com.pe/books/edition/Metodologia_de_la_Investigacion_Cientifi/SmdxEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Reyes, J. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 7(3), 41 - 56. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n3/1390-6542-enfoqueute-7-03-00041.pdf>
- Romero Rojas, R. (2022). Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal, Bagua, Amazonas, 2021. *Ciencias Naturales e Ingeniería*, 5(1), 55-61. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v5i1.890>
- Rouland, G. (2024). Characterization of Low-Volume Meat Processing Wastewater and Impact of Facility Factors. *Water*, 16(4), 540. <https://doi.org/10.3390/w16040540>
- Saboya Rios, X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1123>

- Sahu, P. K. (2016). Population and Sample. In *Applied Statistics for Agriculture, Veterinary, Fishery, Dairy and Allied Fields*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2831-8_5
- Samal, K. (2017). Treatment of wastewater by vermifiltration integrated with macrophyte filter: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 2274-2289. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.026>
- Sane, G. G. (2020). Waste Water Reuse for Agriculture Irrigation- A Review. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 9(12), 1144-1149. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.912.138>
- Segovia Mogollón, J. F. (2023). *Formulación de un manual de operaciones del tratamiento biológico aerobio teniendo en cuenta los parámetros de agua residual en la PTAR de la planta El Diamante DISTRAVES S.A.S de Piedecuesta, Santander, 2023*. [Tesis para obtener el título profesional]. Unidades Tecnológicas de Santander. <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/13326>
- Serna Mendoza, C. A. (2021). *Territorio y desarrollo sostenible* (1st ed.). Ediciones de la U. https://www.google.com.pe/books/edition/Territorio_y_desarrollo_sostenible/NiwaEAAAQB-AJ?hl=es&gbpv=1
- Singh, N. K. (2019). *Water conservation, recycling and reuse: Issues and challenges*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3179-4>
- Singh, R. (2021). Application of vermifiltration technique to treat wastewater: an experimental study. *Proceedings of the Yukthi 2021 – The International Conference on Emerging Trends in Engineering*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3991482>
- Soboleva, E. (2023). Instability Problems and Density-Driven Convection in Saturated Porous Media Linking to Hydrogeology: A Review. *Fluids*, 8(2), 36. <https://doi.org/10.3390/fluids8020036>
- Sosa Hernández, D. (2014). La biofiltración: una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales. *Vidsupra*, 6(2), 56-60. <https://www.ciidirdurango.ipn.mx/assets/files/ciidirdurango/docs/VIDSUPRA/REVISTAS/SV6N2.pdf#page=12>

- Tejedor, J. (2020). Performance of wood chips/peanut shells biofilters used to remove organic matter from domestic wastewater. *Science of The Total Environment*, 738. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139589>
- Tomar, P. (2011). Depuración de aguas residuales urbanas mediante sistema de vermi-biofiltración. *Desalinización*, 282(2011), 95-103. Doi: 10.1016/j.desal.2011.09.007
- Umasi Thea, E. (2020). *Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4739>
- Ungureanu, N. (2020). Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. *Sustainability*, 12(21), 9055. <https://doi.org/10.3390/su12219055>
- Valdivia Gamarra, A. (2022). *Biofiltro dinámico aerobio en el tratamiento de efluente del proceso de remojo de una curtiembre*. [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31021>
- Valencia Monedero, C. H. (2016). *Aguas residuales, una visión integral (1st ed.)*. Editorial Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://www.google.com.pe/books/edition/Aguas_residuales_una_visi%C3%B3n_integral/M3miEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=0
- Vasco Lucio, M. M. (2023). Revisión bibliográfica: uso de especies vegetales como biopurificadoras del recurso hídrico. *Polo del Conocimiento*, 8(5), 352-372. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5568>
- Velmurugan, L. (2024). Enhancing physico-chemical water quality in recycled dairy effluent through microbial consortium treatment. *Heliyon*, 10(21), e39501. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39501>
- Wear, S. L. (2021). Sewage pollution, declining ecosystem health, and cross-sector collaboration. *Biological Conservation*, 255(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109010>
- Widyarani. (2022). Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. *Environ Sci Pollut Res*, 29(22), 32397–32414. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19057-6>

IX ANEXOS

ANEXO I.

PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS Y TIPO DE MUESTREO DE LA DQO Y DBO₅

Preservación de las muestras					
Parámetro	Cantidad mínima (mL)	Tipo de recipiente	Preservación / Conservación	Almacenamiento máximo recomendado	Observaciones
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	1 000	Plástico o vidrio	Refrigerar $\leq 6^{\circ}\text{C}$	48 horas	Almacenar la muestra en un recipiente oscuro. Llenar el frasco completamente sin dejar burbujas de aire.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	100	Plástico o vidrio	Analizar lo antes posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta llegar a un pH < 2, y refrigerar de $\leq 6^{\circ}\text{C}$	28 días	Preferentemente coleccionar las muestras en botellas de vidrio. Analizar las muestras inestables sin demora. De no poder evitarse la demora antes del análisis, preservar la muestra por acidificación a pH ≤ 2 .
Tipo de muestreo					
Parámetro				Muestreo	
				Puntual	Compuesto
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)				Si	Si
Demanda Química de Oxígeno (DQO)				Si	Si

Fuente: INACAL 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HUANTA
Proyecto de Tesis
"Laboratorio de Biotecnología y Química"
FORMATO
Cadena de Custodia - Agua

Solicitante: Luis Leonardo Gutierrez Willamueva.

Dirección/Distrito/Prov./Dpto.: Sr. Heroes del Cenepa 3/N Lucicocha - Huanta - Ayacucho

Procedencia de la muestra / Proyecto: Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido con Equisetum foetidum y Zante deschia actinoplasia de las aguas residuales del comedor municipal de Huanta.

Fecha de Muestreo: 04/07/23

Persona de Contacto: Luis Leonardo Gutierrez Willamueva.

Correo electrónico: leogutiwi90@gmail.com.

Teléfono: 992892079.

DESCRIPCION DE LA MUESTRA					ENSAYOS SOLICITADOS (3)							PARÁMETROS EN CAMPO					OBSERVACIONES EN CAMPO
Estación de Muestreo			Tipo de Matriz (2)	Cordenada UTM	Cantidad de Envases	Demanda Biológica de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno	TSS	Aceites y Grasas			pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Oxígeno Total (mg/l)	(Indicar observaciones relevantes en el monitoreo): color, olor, clima, materiales extraños, etc.
Código de Laboratorio	Código de Campo	Hora de muestreo															
	MI	11:00 am	AR	N:8568432 E:582436	2	X	X					7.3	16.1				Color rojo intenso, olor muy fuerte.

Agua Naturales (AN)	Agua Residuales (AR)	Agua Para Uso y Consumo Humano (AC)	Equipos Utilizados en el muestreo		
			Nombre del equipo	Marca	Código Interno
1. Subterránea	3. Residual	6. De Bebida			
2. Superficiales	Doméstica	6.1. Potable			
	4. Residual	6.2 De mesa			
	Industria	6.3. Envasada			
	5. Residual	7. De piscina			
	Municipal	8. Laguna Artificial			

Condiciones de Recepcion de Muestras -Lab.		C/NC ⁽⁴⁾
Envases adecuados		
Muestras dentro de tiempo de conservación		
Condiciones de conservación (T°)		
Preservación		
Código de equipo:		TCV:

CONTROL DE CALIDAD	
BKC: Blanco de campo, BKV: Blanco viajero DUP: Duplicado de Campo	Observaciones en campo
Observaciones:	Las muestras tomadas se analizaron por duplicado.

Observaciones:	

Solicitante: Luis Leonardo Gutierrez Willamueva

Fecha: 04/07/23

Responsable de muestreo: Luis Leonardo Gutierrez Willamueva

Fecha: 04/07/23

Recepcion de Lab.

Fecha:

Firma

Hora:

Figura 19

Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 2)

[illegible]

Figura 20

Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 3)

[illegible]

Figura 21

Cadena de custodia de las muestras antes del tratamiento (monitoreo 4)

[illegible]

Anexo 3.

CADENA DE CUSTODIA DE LA TOMA DE MUESTRA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON LOS SISTEMAS DE BIOFILTRACIÓN

Figura 22

Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo I)

[illegible]

Figura 23

Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 2)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE HUANTA

Proyecto de Tesis

"Laboratorio de Biotecnología y Química"

FORMATO

Cadena de Custodia - Agua

Solicitante:		Luis Leonardo Gutierrez Willanueva.										Fecha de Muestreo:		14/07/25.	
Dirección/Distrito/Prov./Dpto.:		Sr. Heroes del Cerezo S/N Lucicocha - Huanta - Ayacucho										Persona de Contacto:		Luis Leonardo Gutierrez Willanueva.	
Procedencia de la muestra / Proyecto: ⁽¹⁾		Remoción de carga orgánica mediante un biopiltro híbrido con Eisenia foetida y Zanthoxylum armatum de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.										Correo electrónico:		lco Guti@Gmail.com.	
												Telefono:		98892079.	

DESCRIPCION DE LA MUESTRA				ENSAYOS SOLICITADOS (3)								PARÁMETROS EN CAMPO					OBSERVACIONES EN CAMPO
Estación de Muestreo			Tipo de Matriz (2)	Cordenada UTM	Cantidad de Envases	Demanda Biológica de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno	TSS	Acidez y Grasas			pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Libre (mg/L)	Oxígeno Total (mg/L)	(Indicar observaciones relevantes en el monitoreo): color, olor, clima, materiales extraños, etc.
Código de Laboratorio	Código de Campo	Hora de muestreo															
	MT 1	10:00 am	AR	N: 8574093 E: 578676	2	X	X					7.7	16.3				Color amarillento, sin olor.
	MT 2	10:10 am	AR	N: 8574093 E: 578676	2	X	X					7.6	16.4				color rojizo, olor fuerte.

Agua Naturales (AN)	Agua Residuales (AR)	Agua Para Uso y Consumo Humano (AC)	Equipos Utilizados en el muestreo		
1. Subterránea	3. Residual	6. De Bebida	Nombre del equipo	Marca	Código Interno
2. Superficiales	Doméstica	6.1. Potable			
	4. Residual	6.2 De mesa			
	Industria	6.3. Envasada			
	5. Residual	7. De piscina			
	Municipal	8. Laguna Artificial			

CONTROL DE CALIDAD	
BKC: Blanco de campo, BKV: Blanco viajero DUP: Duplicado de Campo	Observaciones en campo
Observaciones:	Luis muestras fueron tomadas para analisis en duplicado.

Condiciones de Recepcion de Muestras -Lab.		C/NC ⁽⁴⁾
Envases adecuados		
Muestras dentro de tiempo de conservacion		
Condiciones de conservación (TV)		
Preservacion		

Código de equipo:	TCV:
-------------------	------

Observaciones:

Luis Leonardo Gutierrez Willanueva	Luis Leonardo Gutierrez Willanueva	
Solicitante	Responsable de muestreo	Firma
Fecha: 14/07/25	Fecha: 14/07/25	Fecha: 14/07/25
Hora: 10:30 am	Hora: 10:30 am	Hora: 10:30 am

Recepcion de Lab.	Firma
Fecha:	Hora:

Figura 24

Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 3)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA																																																																																																																																																																																							
Proyecto de Tesis																																																																																																																																																																																							
"Laboratorio de Biotecnología y Química"																																																																																																																																																																																							
FORMATO																																																																																																																																																																																							
Cadena de Custodia - Agua																																																																																																																																																																																							
Solicitante:	Luis Leonardo Gutierrez Willamueva.																																																																																																																																																																																						
Dirección/Distrito/Prov./Dpto.:	Jr. Héroes del Cenepa, S/N Lucicocha - Huanta - Ayacucho																																																																																																																																																																																						
Procedencia de la muestra / Proyecto:	Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido. Con Etosmia foetida y Zantedeschia aethiopica de las aguas residuales del canal municipal de Huanta.																																																																																																																																																																																						
Fecha de Muestreo:	21/07/25																																																																																																																																																																																						
Persona de Contacto:	Luis Leonardo Gutierrez Willamueva.																																																																																																																																																																																						
Correo electrónico:	leo.gutiérrez@gmail.com																																																																																																																																																																																						
Telefono:	992892079.																																																																																																																																																																																						
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Estación de Muestreo</th> <th rowspan="2">Tipo de Matriz (2)</th> <th rowspan="2">Cordenada UTM</th> <th rowspan="2">Cantidad de Envases</th> <th colspan="5">ENSAYOS SOLICITADOS (3)</th> <th colspan="5">PARÁMETROS EN CAMPO</th> <th rowspan="2">OBSERVACIONES EN CAMPO</th> </tr> <tr> <th>Código de Laboratorio</th> <th>Código de Campo</th> <th>Hora de muestreo</th> <th>Densidad Biológica de Oxígeno</th> <th>Densidad Química de Oxígeno</th> <th>TSS</th> <th>Acidez y Grasas</th> <th>pH</th> <th>Temperatura (°C)</th> <th>Conductividad (µS/cm)</th> <th>Oxígeno Libre (mg/L)</th> <th>Oxígeno Total (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>MT1</td> <td>10:00 am</td> <td>AR</td> <td>N: 8574043 E: 578676</td> <td>2</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7.1</td> <td>16.5</td> <td></td> <td>Color rojo claro, poco olor.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MT2</td> <td>10:10 am</td> <td>AR</td> <td>N: 8574043 E: 578676</td> <td>2</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>7.7</td> <td>16.7</td> <td></td> <td>Color rojo fuerte, olor fuerte.</td> </tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		Estación de Muestreo			Tipo de Matriz (2)	Cordenada UTM	Cantidad de Envases	ENSAYOS SOLICITADOS (3)					PARÁMETROS EN CAMPO					OBSERVACIONES EN CAMPO	Código de Laboratorio	Código de Campo	Hora de muestreo	Densidad Biológica de Oxígeno	Densidad Química de Oxígeno	TSS	Acidez y Grasas	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Libre (mg/L)	Oxígeno Total (mg/L)		MT1	10:00 am	AR	N: 8574043 E: 578676	2	X	X						7.1	16.5		Color rojo claro, poco olor.		MT2	10:10 am	AR	N: 8574043 E: 578676	2	X	X						7.7	16.7		Color rojo fuerte, olor fuerte.																																																																																																																							
Estación de Muestreo			Tipo de Matriz (2)	Cordenada UTM				Cantidad de Envases	ENSAYOS SOLICITADOS (3)					PARÁMETROS EN CAMPO					OBSERVACIONES EN CAMPO																																																																																																																																																																				
Código de Laboratorio	Código de Campo	Hora de muestreo			Densidad Biológica de Oxígeno	Densidad Química de Oxígeno	TSS		Acidez y Grasas	pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno Libre (mg/L)	Oxígeno Total (mg/L)																																																																																																																																																																									
	MT1	10:00 am	AR	N: 8574043 E: 578676	2	X	X						7.1	16.5		Color rojo claro, poco olor.																																																																																																																																																																							
	MT2	10:10 am	AR	N: 8574043 E: 578676	2	X	X						7.7	16.7		Color rojo fuerte, olor fuerte.																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Agua Naturales (AN)</th> <th>Agua Residuales (AR)</th> <th>Agua Para Uso y Consumo Humano (AC)</th> <th colspan="3">Equipos Utilizados en el muestreo</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Nombre del equipo</th> <th>Marca</th> <th>Código Interno</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Subterránea</td> <td>3. Residual</td> <td>6. De Bebida</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. Superficiales</td> <td>Doméstica</td> <td>6.1. Potable</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>4. Residual</td> <td>6.2 De mesa</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Industria</td> <td>6.3. Envasada</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>5. Residual</td> <td>7. De piscina</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Municipal</td> <td>8. Laguna Artificial</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Agua Naturales (AN)	Agua Residuales (AR)	Agua Para Uso y Consumo Humano (AC)	Equipos Utilizados en el muestreo						Nombre del equipo	Marca	Código Interno	1. Subterránea	3. Residual	6. De Bebida				2. Superficiales	Doméstica	6.1. Potable					4. Residual	6.2 De mesa					Industria	6.3. Envasada					5. Residual	7. De piscina					Municipal	8. Laguna Artificial																																																																																																																																									
Agua Naturales (AN)	Agua Residuales (AR)	Agua Para Uso y Consumo Humano (AC)	Equipos Utilizados en el muestreo																																																																																																																																																																																				
			Nombre del equipo	Marca	Código Interno																																																																																																																																																																																		
1. Subterránea	3. Residual	6. De Bebida																																																																																																																																																																																					
2. Superficiales	Doméstica	6.1. Potable																																																																																																																																																																																					
	4. Residual	6.2 De mesa																																																																																																																																																																																					
	Industria	6.3. Envasada																																																																																																																																																																																					
	5. Residual	7. De piscina																																																																																																																																																																																					
	Municipal	8. Laguna Artificial																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Condiciones de Recepción de Muestras - Lab.</th> <th>C/Nº</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Envases adecuados</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muestras dentro de tiempo de conservación</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condiciones de conservación (Tº)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Preservación</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Condiciones de Recepción de Muestras - Lab.		C/Nº	Envases adecuados			Muestras dentro de tiempo de conservación			Condiciones de conservación (Tº)			Preservación																																																																																																																																																																									
Condiciones de Recepción de Muestras - Lab.		C/Nº																																																																																																																																																																																					
Envases adecuados																																																																																																																																																																																							
Muestras dentro de tiempo de conservación																																																																																																																																																																																							
Condiciones de conservación (Tº)																																																																																																																																																																																							
Preservación																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CONTROL DE CALIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BKC: Blanco de campo, BKV: Blanco viajero DUP: Duplicado de Campo</td> <td>Observaciones en campo</td> </tr> <tr> <td>Observaciones:</td> <td>Las muestras fueron tomadas para analisis en duplicado.</td> </tr> </tbody> </table>		CONTROL DE CALIDAD		BKC: Blanco de campo, BKV: Blanco viajero DUP: Duplicado de Campo	Observaciones en campo	Observaciones:	Las muestras fueron tomadas para analisis en duplicado.																																																																																																																																																																																
CONTROL DE CALIDAD																																																																																																																																																																																							
BKC: Blanco de campo, BKV: Blanco viajero DUP: Duplicado de Campo	Observaciones en campo																																																																																																																																																																																						
Observaciones:	Las muestras fueron tomadas para analisis en duplicado.																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Solicitante</td> <td>Responsable de muestreo</td> </tr> </tbody> </table>		Firma		Solicitante	Responsable de muestreo																																																																																																																																																																																		
Firma																																																																																																																																																																																							
Solicitante	Responsable de muestreo																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Recepción de Lab.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Firma		Recepción de Lab.																																																																																																																																																																																			
Firma																																																																																																																																																																																							
Recepción de Lab.																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fecha: 21/07/25</td> <td>Hora: 10:30 am</td> </tr> </tbody> </table>		Firma		Fecha: 21/07/25	Hora: 10:30 am																																																																																																																																																																																		
Firma																																																																																																																																																																																							
Fecha: 21/07/25	Hora: 10:30 am																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Firma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fecha: 21/07/25</td> <td>Hora: 10:30 am</td> </tr> </tbody> </table>		Firma		Fecha: 21/07/25	Hora: 10:30 am																																																																																																																																																																																		
Firma																																																																																																																																																																																							
Fecha: 21/07/25	Hora: 10:30 am																																																																																																																																																																																						

Figura 25

Cadena de custodia de las muestras después del tratamiento (monitoreo 4)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

Proyecto de Tesis

"Laboratorio de Biotecnología y Química"

FORMATO

Cadena de Custodia - Agua

Solicitante:

Luis Leonardo Gutierrez Willamueva.
 Jr. Héroes del Cenepa s/n Luciocha - Huanta - Ayacucho.
 Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido
 con Elexenia pastida y fuente desecna atmosférica de las aguas
 residuales del comal municipal de Huanta.

Fecha de Muestreo :

04/08/25.

Dirección/Distrito/Prov./Dpto.:

Jr. Héroes del Cenepa s/n Luciocha - Huanta - Ayacucho.

Persona de Contacto:

Luis Leonardo Gutierrez Willamueva.

Procedencia de la muestra / Proyecto:⁽¹⁾

Remoción de carga orgánica mediante un biofiltro híbrido
 con Elexenia pastida y fuente desecna atmosférica de las aguas
 residuales del comal municipal de Huanta.

Correo electrónico:

leo.guti90@gmail.com.

Telefono:

992892079.

DESCRIPCION DE LA MUESTRA				ENSAYOS SOLICITADOS (3)							PARÁMETROS EN CAMPO					OBSERVACIONES EN CAMPO	
Estación de Muestreo			Tipo de Matriz (2)	Cordenada UTM	Cantidad de Envases	Demanda Biológica de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno	TSS	Acidez y Grasas			pH	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Cloro Libre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	(Indicar observaciones relevantes en el monitoreo): color, olor, clima, materiales extraños, etc.
Código de Laboratorio	Código de Campo	Hora de muestreo															
	MT1	10:00 am	AR	N: 8574043 E: 578679	2	X	X					6.7	16.7				Color amarillento, poco olor.
	MT2	10:10 am	AR	N: 8574043 E: 578679	2	X	X					7.2	16.6				color rosizo, olor fuerte.

Agua Naturales (AN)	Agua Residuales (AR)	Agua Para Uso y Consumo Humano (AC)	Equipos Utilizados en el muestreo		
			Nombre del equipo	Marca	Codigo interno
1. Subterránea	3. Residual	6. De Bebida			
2. Superficiales	Doméstica	6.1. Potable			
	4. Residual	6.2 De mesa			
	Industria	6.3. Envasada			
	5. Residual	7. De piscina			
	Municipal	8. Laguna Artificial			

CONTROL DE CALIDAD

BKC: Blanco de campo, BKV: Blanco viajero DUP: Duplicado de Campo

Observaciones:

Las muestras tomadas se analizarán por duplicado.

Condiciones de Recepcion de Muestras -Lab.		C/NC ⁽⁴⁾
Envases adecuados		
Muestras dentro de tiempo de conservacion		
Condiciones de conservacion (T°)		
Preservacion		
Codigo de equipo:	TCV:	
Observaciones:		

Luis Leonardo Gutierrez Willamueva

Solicitante

Luis Leonardo Gutierrez Willamueva

Responsable de muestreo

Fecha: 04/08/25

Hora: 10:30 am

Fecha: 04/08/25

Hora: 10:30 am

Recepcion de Lab.

Firma

Fecha:

Hora:

Anexo 4.

GUÍA DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

5220 B. Método de Reflujo Abierto

1. Discusión General

a. *Principio:* La mayoría de los tipos de materia orgánica se oxidan mediante una mezcla hirviendo de ácidos crómico y sulfúrico. Una muestra se refluje en una solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Tras la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ no reducido restante se valora con sulfato ferroso amónico para determinar la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumida y la materia oxidable se calcula en términos de equivalente de oxígeno. Mantenga constantes las proporciones de pesos, volúmenes y concentraciones de los reactivos cuando se utilicen volúmenes de muestra distintos de 50 mL. El tiempo de reflujo estándar de 2 h puede reducirse si se ha demostrado que un período más corto produce los mismos resultados. Algunas muestras con DQO muy baja o con contenido de sólidos altamente heterogéneo pueden necesitar análisis en réplica para obtener los datos más fiables. Los resultados mejoran aún más al hacer reaccionar una cantidad máxima de dicromato, siempre que quede algo de dicromato residual.

2. Equipo

a. *Aparato de reflujo, compuesto por un matraz Erlenmeyer de 500 o 250 mL con cuello esmerilado 24/40 y condensador Liebig, West o equivalente de 300 mm con junta esmerilada 24/40, y una placa calefactora con potencia suficiente para producir al menos $1,4 \text{ W/cm}^2$ de superficie de calentamiento, o equivalente.*

b. *Homogenizador.*

c. *Pipetas, Clase A y de boca ancha.*

3. Reactivos

a. *Solución estándar de dicromato de potasio, 0,04167 M:* Disolver 12,259 g de $K_2Cr_2O_7$, grado estándar primario, previamente secado a 150°C durante 2 h, en agua destilada y diluir hasta 1000 mL. Este reactivo experimenta una reacción de reducción de seis electrones; la concentración equivalente es $6 \times 0,04167 \text{ M}$ o $0,2500 \text{ N}$.

b. *Sulfuric acid reagent:* Add Ag 2 SO 4 , reagent or technical. Dejar reposar de 1 a 2 días para disolver. Mezclar.

c. *Solución indicadora de ferroína:* Disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 695 mg de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en agua destilada y diluir hasta 100 mL. Esta solución indicadora puede adquirirse ya preparada.*

d. *Titulante estándar de sulfato ferroso amónico (FAS), aproximadamente 0,25 M:* Disolver 98 g de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ en agua destilada. Añadir 20 mL de H_2SO_4 concentrado, enfriar y diluir hasta 1000 mL. Estandarizar esta solución diariamente con solución estándar de $K_2Cr_2O_7$ de la siguiente manera:

Diluir 25,00 mL de $K_2Cr_2O_7$ estándar hasta aproximadamente 100 mL. Añadir 30 mL de H_2SO_4 concentrado y enfriar. Valorar con disolución valorante de FAS empleando 0,10 a 0,15 mL (2 a 3 gotas) de indicador ferroína.

Molaridad de la solución FAS

$$\frac{\text{Volumen de disolución } 0,04167 \text{ M de } K_2Cr_2O_7 \text{ valorado, mL}}{\text{Volumen de FAS empleado en la valoración, mL}} \times 0,2500$$

e. *Sulfato de mercurio, $HgSO_4$, cristales o polvo.* f. *Ácido sulfámico:* Solo se requiere si se va a eliminar la interferencia de nitritos (véase 5220A.2 más arriba).

g. *Potasio hidrógeno ftalato (KHP) estándar, $HOOCCH_2COOK$:* Triture ligeramente y luego seque el KHP hasta peso constante a 110°C . Disuelva 425 mg en agua destilada y diluya hasta 1000 mL. El KHP tiene una DQO teórica ¹ de $1,176 \text{ mg O}_2/\text{mg}$ y esta solución tiene una DQO teórica de $500 \text{ mg O}_2/\text{mL}$. Esta solución es estable refrigerada, pero no indefinidamente. Esté atento a la aparición de crecimiento biológico visible. Si es posible, prepare y transfiera la solución en condiciones estériles. La preparación semanal suele ser suficiente.

4. Procedimiento

a. *Tratamiento de muestras con COD de $\geq 50 \text{ mg O}_2/\text{L}$:* Mezclar la muestra si es necesario y pipetear 50,00 mL en un matraz de reflujo de 500 mL. Para muestras con un DQO de $\geq 900 \text{ mg O}_2/\text{L}$, usar una porción menor diluida a 50,00 mL. Añadir 1 g de $HgSO_4$, varias perlas de vidrio y, muy lentamente, 5,0 mL de reactivo de ácido sulfúrico, agitando para disolver el $HgSO_4$. Enfriar durante la agitación para evitar posibles pérdidas de materiales volátiles. Añadir 25,00 mL de solución 0,04167 M de $K_2Cr_2O_7$ y mezclar. Conectar el matraz al condensador y abrir el agua de refrigeración. Añadir el resto del reactivo de ácido sulfúrico (70 mL) por el extremo abierto del condensador. Continuar agitando y mezclando mientras se añade el ácido. PRECAUCIÓN: Mezclar bien la mezcla de reflujo antes de aplicar calor para evitar un calentamiento local del fondo del matraz y una posible proyección del contenido.

Cubrir el extremo abierto del condensador con un vaso de precipitados pequeño para evitar la entrada de material extraño a la mezcla de reflujo y dejar en reflujo durante 2 h. Enfriar y lavar el condensador con agua destilada. Desconectar el condensador de reflujo y diluir la mezcla aproximadamente al doble de su volumen con

* GFS Chemicals, Inc., Columbus, OH, o equivalente.

agua destilada. Enfríe a temperatura ambiente y valore el exceso de $K_2Cr_2O_7$ con FAS, utilizando 0,10 a 0,15 mL (2 a 3 gotas) de indicador ferroína. Aunque la cantidad de indicador ferroína no es crítica, utilice el mismo volumen para todas las valoraciones. Tome como punto final de la valoración el primer cambio brusco de color de azul verdoso a marrón rojizo que persista durante 1 minuto o más. Las determinaciones duplicadas deben coincidir dentro del 5 % de su promedio. Las muestras con sólidos suspendidos o componentes de oxidación lenta pueden requerir determinaciones adicionales. El color azul verdoso puede reaparecer. De la misma manera, refluya y valore un blanco que contenga los reactivos y un volumen de agua destilada igual al de la muestra.

b. *Procedimiento alternativo para muestras con baja DQO: Siga el procedimiento del 4 a, con dos excepciones: (i) utilizar el estándar 0,004167 M $K_2Cr_2O_7$, y (ii) valorar con solución estandarizada 0,025 M FAS. Ejercer extrema precaución con este procedimiento, ya que incluso trazas de materia orgánica en el material de vidrio o de la atmósfera pueden causar errores graves. Si se requiere una mayor sensibilidad, concentre un volumen mayor de muestra antes de digerir bajo reflujo de la siguiente manera: Añada todos los reactivos a una muestra mayor de 50 mL y reduzca el volumen total a 150 mL hirviendo en el matraz de reflujo abierto a la atmósfera sin el condensador conectado. Calcule la cantidad de $HgSO_4$ a añadir (antes de la concentración) sobre la base de una relación de peso de 10:1, $HgSO_4:Cl$, usando la cantidad de Cl presente en el volumen original de la muestra. Procese un blanco de reactivos con el mismo procedimiento. Esta técnica tiene la ventaja de concentrar la muestra sin pérdidas significativas de materiales volátiles fácilmente digeribles. Se pierden materiales volátiles difíciles de digerir, como los ácidos volátiles, pero se obtiene una mejora respecto a los métodos ordinarios de concentración por evaporación. No se espera que los análisis duplicados sean tan precisos como en 5220B.4 a.*

c. *Determinación de la solución patrón: evaluación de la técnica y la calidad de los reactivos, realizando el ensayo sobre una solución patrón de ftalato ácido de potasio.*

5. Cálculo

$$\text{COD as mg O}_2/\text{L} = \frac{(A - B) M}{\text{mL de muestra}} \times 8000$$

donde:

A = mL de FAS empleados para el blanco, B = mL de FAS empleados para la muestra, M = molaridad del FAS, y

8000 = milliequivalent weight of oxygen 1000 mL/L.

6. Precisión y sesgo

Un conjunto de muestras sintéticas que contenían hidrogenoftalato de potasio y NaCl fue analizado por 74 laboratorios. Con una DQO de 200 mg O_2 /L en ausencia de cloruro, la desviación estándar fue 13 mg/L (coeficiente de variación, 6,5%). Con una DQO de 160 mg O_2 /L y 100 mg Cl /L, la desviación estándar fue de 14 mg/L (coeficiente de variación, 10,8%).

7. Referencias

1. PITWELL, L.R. 1983. DQO estándar. Chem. Brit. 19:907.

8. Bibliografía

- MOORE, W.A., R.C. KRONER & C.C. RUCHHOFT. 1949. Método de reflujo con dicromato para la determinación de oxígeno consumido. Anal. Chem. 21: 953.
- MEDALIA, A.I. 1951. Prueba para detectar trazas de materia orgánica en agua. Anal. Chem. 23:1318.
- MOORE, W.A., F.J. LUDZACK & C.C. RUCHHOFT. 1951. Determinación de valores de oxígeno consumido en desechos orgánicos. Anal. Chem. 23:1297.
- DOBBS, R.A. & R.T. WILLIAMS. 1963. Eliminación de la interferencia de cloruros en la prueba de demanda química de oxígeno. Anal. Chem. 35:1064.

Anexo 5.

GUÍA DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

6 Determinación de la DBO

¡ADVERTENCIA! Tenga en cuenta las **INDICACIONES DE SEGURIDAD** del principio de este manual de instrucciones. La muestra, el KOH y el inhibidor de nitrificación pueden representar posibles **PELIGROS**.

6.1 Elección del volumen de la muestra

El valor de DBO a esperar de la muestra determina el volumen a emplear. De aquí resulta un intervalo de medida de DBO (sin dilución de la muestra) de 0 – 4000 mg/l.

Intervalo de medida DBO mg/l	Volumen de la muestra en ml	Dosificación inhibidor de nitrificación ATU
0 – 40	428	10 gotas
0 – 80	360	10 gotas
0 – 200	244	5 gotas
0 – 400	157	5 gotas
0 – 800	94	3 gotas
0 – 2000	56	3 gotas
0 – 4000	21,7	1 gotas

El intervalo de medida debería elegirse de tal forma que los resultados a esperar se encuentren en la mitad superior del intervalo de medida. Si el valor DBO a esperar es desconocido, en el caso de aguas residuales domésticas puede partirse de la base que el valor DBO₅ a esperar corresponde aproximadamente al 80% del valor DQO.

6.2 Preparación de la muestra de agua

1. Comprobar el valor del pH de la muestra de agua residual. El valor óptimo del pH se encuentra entre 6,5 y 7,5. Cualquier desviación mayor produce un valor de DBO menor. En caso de un valor de pH demasiado elevado, puede neutralizarse p. ej. con ácido clorhídrico diluido (1 molar) o con ácido sulfúrico diluido (1 molar); en caso de un valor de pH demasiado bajo, con una solución de hidróxido sódico (1 molar).
2. Según las instrucciones en cada caso mezclar bien la muestra de agua, dejarla depositar brevemente, filtrarla u homogeneizarla.
3. Medir exactamente la cantidad de muestra necesaria (véase 6.1) con el correspondiente matraz aforado de rebose e introducirla en el frasco para muestras (si es necesario usar un embudo). Los volúmenes de muestra predefinidos deben ser introducidos con exactitud, de lo contrario pueden producirse errores de medición graves. Aquí hay que poner especial atención a la distribución uniforme de las sustancias en suspensión. Es recomendable realizar de cada muestra una determinación doble o triple. En muestras iguales con diferente proporción de partículas en suspensión deben esperarse resultados correspondientemente divergentes. En caso de gran dispersión de los valores deberían repetirse las mediciones.

4. Para inhibir la nitrificación se recomienda la adición del inhibidor de nitrificación B. Esto debe tenerse en cuenta especialmente en el intervalo de medida bajo de 0 - 40 mg/l, p. ej. en el tratamiento de aguas residuales. La recomendación para una dosificación óptima del inhibidor de nitrificación B (=aliltiurea / ATU) depende del intervalo de medida (véase 6.1 Elección del volumen de la muestra).

Nota: Las bacterias nitrificantes consumen también oxígeno. Esta disminución de oxígeno puede presentarse dentro de los primeros cinco días, especialmente en el caso de muestras con valores de DBO reducidos. En la determinación de la DBO normalmente no debería registrarse la disminución de oxígeno de nitrificantes. Con el inhibidor de nitrificación B es posible anular la actividad de estas bacterias mediante inhibición enzimática, de manera que la DBO resulte sólo de la degradación de sustancias orgánicas. Si justamente debe determinarse la disminución de oxígeno en el marco de la nitrificación (N-DBO), puede considerarse una comparación de la muestra con y sin inhibidor de nitrificación. La diferencia entre los valores de DBO corresponde entonces a la demanda de oxígeno de las bacterias nitrificantes.

5. Introduzca en cada frasco para muestras una varilla agitadora magnética limpia y, en el estuche seco, añada 3-4 gotas de la solución de hidróxido potásico al 45 % (sirve para enlazar el dióxido de carbono). Seguidamente introduzca el estuche en el frasco para muestras.

¡ATENCIÓN! La muestra no debe entrar en contacto en ningún caso con la solución de hidróxido potásico. Esto podría alterar los valores de medición.

¡ATENCIÓN! No utilice en ningún caso grasas u otros lubricantes como agente obturador adicional para los sensores de DBO o para los estuches. Tales productos pueden contener disolventes que ataquen la carcasa de los sensores. Esto puede producir graves daños en la carcasa de plástico, hasta producir el fallo de los sensores. ¡No nos responsabilizamos de los daños causados por el empleo de grasas para juntas!

6. La muestra preparada debe llevarse a la temperatura deseada ± 1 °C antes de iniciar la medición. (P. ej. 20 °C ± 1 °C). Esto puede realizarse por ejemplo agitando uniformemente la muestra sobre el sistema inductivo de agitación en el armario termostático.

BD 600 dispone de una función Autoinicio que puede conectarse opcionalmente y que permite el empleo de muestras a una temperatura de 15 a 21 °C. Con la función Autoinicio conectada, el sistema comprueba a intervalos determinados si en el frasco para DBO ha tenido lugar una disminución de presión y, sólo entonces, se inicia la medición del tiempo (como máximo tres horas después del inicio de un sensor DBO, se empieza a contabilizar el tiempo, independientemente de si hasta el momento se determinó o no una disminución de la presión).

7. Coloque los sensores para la DBO sobre los frascos para muestras y atorníllelos cuidadosamente. Esto es especialmente importante puesto que el sistema debe ser completamente estanco. Seguidamente coloque el frasco para DBO con el sensor atornillado en el soporte para frascos. Esto puede hacerse directamente dentro del armario termostático. Alternativamente, gracias a la construcción de fácil manejo del DB600, también es posible sacar del armario termostático todo el aparato de base para la DBO con el soporte integrado para frascos mientras el sistema inductivo de agitación permanece dentro del armario. Para ello es necesario desconectar el cable de alimentación del DB 600.

¡ADVERTENCIA! No tire del cable.

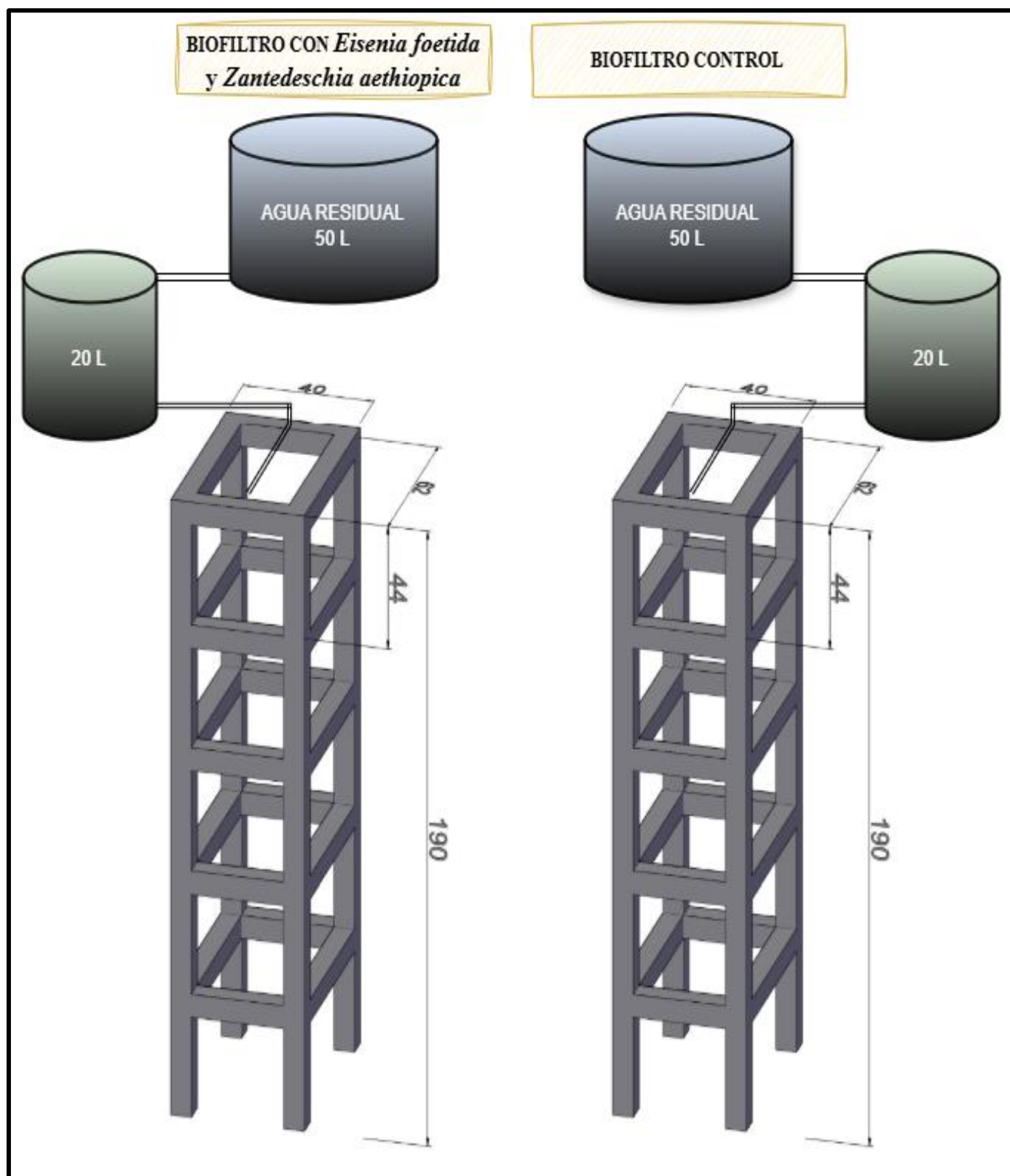
Después de haber cargado el soporte con los frascos para la DBO, se posiciona en el sistema inductivo de agitación, de modo que los 4 tornillos de ajuste se sujeten en las entalladuras correspondientes del mecanismo de agitación.

8. Inicie la muestra (véase el apartado 5.5.2 Iniciar medición / serie de medición)
9. Incube la muestra según las normas (p. ej. DBO₅ para 5 días a 20 °C).

Anexo 6.

PLANO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Figura 26

Plano de los sistemas de biofiltración con las especies y control

Anexo 7.
PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 27

Acondicionamiento del área de operación del sistema de biofiltración



Figura 28

Construcción e instalación de los sistemas de biofiltración



Figura 29

Selección y acondicionamiento de los materiales filtrantes para los sistemas de biofiltración



Figura 30

Adaptación de la lombriz Eisenia foetida



Figura 31

Selección, recolección y trasplante de la Zantedeschia aethiopica



Figura 32

Toma de muestras del agua residual antes del tratamiento



Figura 33

Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)



Figura 34

Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)



Anexo 8.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
General: ¿Cuál será la remoción de la carga orgánica mediante un biofiltro híbrido utilizando <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> de las aguas residuales del camal municipal de Huanta?	General: Determinar la remoción de la carga orgánica mediante un biofiltro híbrido utilizando <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.	General: Existe una remoción significativa de la carga orgánica mediante un biofiltro híbrido con <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> en las aguas residuales del camal municipal de Huanta.	VI: Biofiltro híbrido con <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i>	TIPO: Aplicada NIVEL: Explicativo DISEÑO: Cuasiexperimental GE: O1 X O2 GC: O1 – O2 GE: Grupo experimental GC: Grupo control O1: Medición inicial de DQO y DBO ₅ O2: Medición final de DQO y DBO ₅ X : Aplicación del biofiltro híbrido
Específicas: ¿Cuál será la remoción de la DBO ₅ mediante un biofiltro híbrido utilizando <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> de las aguas residuales del camal municipal de Huanta?	Específicos: Determinar la remoción de la DBO ₅ mediante un biofiltro híbrido utilizando <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.	Específicas: Existe una remoción significativa de la DBO ₅ mediante un biofiltro híbrido con <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> en las aguas residuales del camal municipal de Huanta.		
¿Cuál será la remoción de la DQO mediante un biofiltro híbrido utilizando <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> de las aguas residuales del camal municipal de Huanta?	Determinar la remoción de la DQO mediante un biofiltro híbrido utilizando <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> de las aguas residuales del camal municipal de Huanta.	Existe una remoción significativa de la DQO mediante un biofiltro híbrido con <i>Eisenia foetida</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i> en las aguas residuales del camal municipal de Huanta.	VD: Carga orgánica	POBLACIÓN: Las aguas residuales producidas por el camal municipal de la ciudad de Huanta. MUESTRA Y MUESTREO: 45 Litros de agua residual, muestra compuesta. TECNICAS: Técnica de titulación para DQO y Método de incubación para DBO ₅ . PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS: Prueba de normalidad Shapiro-Wilk, prueba t de Student para muestras pareadas, estadística descriptiva, Software R studio.