



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA
CIUDAD DE ASILLO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RONY SAUL MAMANI CCALLO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA
CIUDAD DE ASILLO 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. RONY SAUL MAMANI CCALLO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

: 
Dr. RONALD MADERA TERÁN

PRIMER MIEMBRO

: 
Mgtr. WILFREDO DAVID SUÑO PACORI

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

: 
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 0070-2026-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de enero del 2026

VISTO: El expediente N° 2026-CU-000172 presentado por el (la) Bachiller: **RONY SAUL MAMANI CCALLO** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **RONY SAUL MAMANI CCALLO**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - **APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. RONALD MADERA TERÁN
- * **1er Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTÍCULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARBON**.

ARTÍCULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **RONY SAUL MAMANI CCALLO**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : miércoles 28 de enero del 2026
- * **HORA** : 11:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2026
Interesado (a)



TESIS UANCV



VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1419-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 31 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU-9824 por el señor (a): **RONY SAUL MAMANI CCALLO** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 987-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 068 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RONY SAUL MAMANI CCALLO**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **M.Sc. Jesús Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 068 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **RONY SAUL MAMANI CCALLO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**, con el Tema Titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) **1a)**, Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIANCONTE CALLA
DECANO (e)
C.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



TESIS UANCV

UNIVERSIDAD ANDINA

"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 954-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 29 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 6078, presentado por el señor (a) **RONY SAUL MAMANI CCALLO** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 685 -2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 058 -2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **RONY SAUL MAMANI CCALLO** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FORSTII EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **MSc. Jesus Esteban Castillo Machaca** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 058 -2026- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FORSTII EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

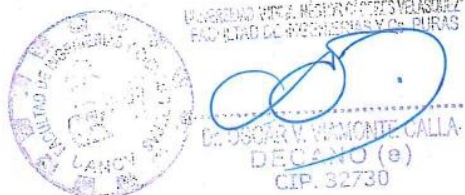
ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **RONY SAUL MAMANI CCALLO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulada: **EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FORSTII EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



EFEECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Andina Nestor
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

5%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

3

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

repositorio.upsc.edu.pe

Fuente de Internet

2%

5

repository.udistrital.edu.co

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.unac.edu.pe

Fuente de Internet

1%



Metadatos Complementarios

EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	RONY SAUL MAMANI CCALLO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71604757
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-2512-7382
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8065-6533
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	RONALD MADERA TERÁN
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02429150
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02428673
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Dirección: PLANTA DE TRATAMIENTO DEL DISTRITO DE ASILLO Departamento: PUNO Provincia: AZÁNGARO Distrito: ASILLO Coordenadas: Latitud: 15° 50' 31.4" S Longitud: 70° 01' 45.2" W URL Maps https://maps.app.goo.gl/idnrQNn3H3VWU7AZ8 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2025 – Enero 2026
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 Ciencias ambientales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#5.07.01

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CERDAS VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS


Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo RONY SAUL MAMANI CCALLO, identificado con DNI

Nro. 71604757 en mi condición de egresado de:

- ☐ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Informo que he elaborado el/la ☐ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico denominada:

EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES
ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD
DE ASILLO 2025

Asesorado por: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 01 de ABRIL del 2026


FIRMA ASESOR


FIRMA TESISTA



Huella



DEDICATORIA

A Dios

por darme la vida y la salud, por ser mi guardián y ofrecerme fortaleza cuando lo requería, así como su amor sin límites.

A mis padres

A mis amados papas, por ofrecerme su apoyo a lo largo de este camino, por haber estado presentes en los instantes que más los necesité, por brindarme orientación y respaldo siempre, y por su constante motivación que me ha permitido ser un individuo recto.

A mis familiares.

A mis amados parientes por el aliento y apoyo que me proporcionaron a lo largo de mi educación completa.



AGRADECIMIENTO

De mi particular agradecimiento:

Primeramente, agradezco a Diosito por ser mi fortaleza y guardián en las circunstancias más difíciles y por no permitirme rendirme jamás.

A la UANCV y a la escuela profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, por brindarme la posibilidad de desarrollarme profesionalmente.

Al jurado evaluador, debido a sus recomendaciones y a la revisión del informe final de esta tesis.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Planteamiento del problema	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas Específicos.....	19
1.3. Objetivos de la investigación	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Justificación de la investigación.....	20
1.5. Hipótesis de la investigación	23



1.5.1. Hipótesis general	23
1.5.2. Hipótesis específicas.....	23
1.6. Variables.....	23
1.6.1. Variable independiente	23
1.6.2. Variable dependiente	23
1.7. Operacionalización de variables	23

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	26
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	26
2.1.2. Antecedentes nacionales	32
2.1.3. Antecedentes locales	41
2.2. Marco teórico.....	42
2.2.1. Aguas residuales.....	42
2.2.2. Contaminantes orgánicos en las aguas residuales	46
2.2.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales	48
2.2.4. Biofiltro o lombrifiltro.....	54
2.2.5. Contribución de la lombriz en el proceso de tratamiento	57
2.2.6. Medio filtrante de los biofiltros.....	62
2.3. Marco conceptual	64



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación	66
3.2. Tipo de la investigación	66
3.3. Enfoque de la investigación	66
3.4. Población y muestra	66
3.4.1. Población	67
3.4.2. Muestra	67
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	67
3.5.1. Técnicas.....	67
3.5.2. Instrumentos	67
3.6. Materiales y equipos.....	67
3.7. Ubicación de la zona en estudio	68
3.8. Procedimiento metodológico	68
3.8.1. Evaluar el estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo	68
3.8.2. Determinar la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025	71



3.8.3. Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie <i>Eisenia foetida</i> de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025	75
--	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.....	76
4.1.1. Evaluar el estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo	76
4.1.2. Determinar la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025	80
4.1.3. Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie <i>Eisenia foetida</i> en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025	94
4.2. Prueba estadística	99
4.3. Discusión	103
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS	123



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	24
Tabla 2 Concentración de contaminantes orgánicos en el afluente de la PTAR	79
Tabla 3 Concentración de contaminantes orgánicos en el efluente de la PTAR	80
Tabla 4 Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR ...	81
Tabla 5 Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> en la primera fecha de evaluación.	82
Tabla 6 Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie <i>Eisenia foetida</i> en la primera fecha de evaluación.	84
Tabla 7 Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> en la segunda fecha de evaluación.....	86
Tabla 8 Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie <i>Eisenia foetida</i> en la segunda fecha de evaluación.....	88
Tabla 9 Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> en la tercera fecha de evaluación.	90
Tabla 10 Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie <i>Eisenia foetida</i> en la tercera fecha de evaluación.	92
Tabla 11 Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la primera fecha de evaluación.	95
Tabla 12 Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación.	96



Tabla 13	Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación.	98
Tabla 14	Prueba de normalidad Shapiro – Wilk	100
Tabla 15	Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos.....	101
Tabla 16	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción a diferentes horarios evaluados de los contaminantes orgánicos.....	101
Tabla 17	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de los contaminantes orgánicos	102



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Proceso de tratamiento de aguas residuales 49
Figura 2	Digestión de la lombriz..... 58
Figura 3	Medio filtrante del biofiltro de lombrices 64
Figura 4	Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> en la primera fecha de evaluación 83
Figura 5	Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie <i>Eisenia foetida</i> en la primera fecha de evaluación..... 85
Figura 6	Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> en la segunda fecha de evaluación 87
Figura 7	Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie <i>Eisenia foetida</i> en la segunda fecha de evaluación. 89
Figura 8	Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> en la tercera fecha de evaluación..... 91
Figura 9	Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie <i>Eisenia foetida</i> en la tercera fecha de evaluación..... 93
Figura 10	Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la primera fecha de evaluación. 95
Figura 11	Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación. 97
Figura 12	Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación. 99

RESUMEN

La investigación surge debido a que la actual planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Asillo se halla deteriorada y a su vez ya excedió su vida útil de diseño; toda esta situación repercute en las propiedades de las aguas residuales; y por ende generando una contaminación al cuerpo receptor; en ese contexto se trazó el objetivo general de determinar el efecto de la especie *Eisenia foetida* en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo 2025; con procedimiento mediante la evaluación del estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento; seguidamente se efectuó la incorporación de agua residual a los biofiltros de modo independiente (con *Eisenia foetida*-EF, y sin lombrices); para conocer cómo incide la temperatura del sustrato en la remoción de contaminantes orgánicos. En los resultados se encontró deficiencias en la planta; en los experimentos se halló que la temperatura del sustrato del biofiltro alcanzó su mejor valor de remoción de contaminantes orgánicos a las 13:00 horas (16.50 °C) influyendo significativamente en su remoción, lo que favorece el metabolismo y la degradación de la materia orgánica por la especie; con un porcentaje de remoción alcanzado de la DBO5 en 61.26%, DQO en 60.84%, nitratos en 43.18% y fosfatos en 58.92%. Concluyendo que la especie *Eisenia foetida* presenta un efecto positivo para la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo.

Palabras clave: Aguas residuales, biofiltro, contaminantes orgánicos, *Eisenia foetida*, remoción.



ABSTRACT

The research arose because the current wastewater treatment plant in the city of Asillo is deteriorated and has exceeded its design life span. This situation affects the properties of the wastewater, thereby contaminating the receiving body of water. In this context, the general objective was to determine the effect of the species *Eisenia foetida* on the removal of organic contaminants present in domestic wastewater in the city of Asillo 2025. This was done by evaluating the operational status of the current treatment system. Wastewater was then added to the biofilters independently (with *Eisenia foetida*-EF and without worms) to determine how substrate temperature affects the removal of organic contaminants. The results revealed deficiencies in the plant; the experiments found that the temperature of the biofilter substrate reached its best value for the removal of organic contaminants at 1:00 p.m. (16.50 °C) significantly influencing its removal, which favors the metabolism and degradation of organic matter by the species; with a removal percentage achieved of 61.26% for BOD5, 60.84% for COD, 43.18% for nitrates, and 58.92% for phosphates. In conclusion, the species *Eisenia foetida* has a positive effect on the removal of organic pollutants present in domestic wastewater in the city of Asillo.

Keywords: Wastewater, biofilter, organic pollutants, *Eisenia foetida*, removal.



INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales domésticas mencionadas son aquellas que han sido alteradas debido a la intervención de las acciones humanas diarias, lo cual provoca una elevada carga orgánica. Esta carga está constituida por aguas grises y negras (Castillo, 2021). La presencia de metales pesados, fósforo, nitrógeno, (DQO), y (DBO) es alta en la mayoría de estas aguas. Principalmente se observa la presencia de coliformes fecales y totales; estos valores se analizan para comprobar la calidad del agua (Condori & Guillen, 2018).

De acuerdo con los informes de la SUNASS, (2015), el 69.64% del agua residual no se trata; sólo se procesa el 30.35%, que es tratada a través del saneamiento por medio de la recolección en la red de canales alcantarillados, lo cual conduce al almacenamiento (PTAR). Esto evidencia un escaso tratamiento y representa el principal problema en Perú en términos sanitarios (Saboya, 2018).

El lombrifiltro es un tipo de biocontrolador en el que las lombrices son los primordiales descomponedores de la materia orgánica; por ende, en este mecanismo se vierte el agua residual para su tratamiento posterior. La totalidad del procedimiento incluye estratos o capas filtrantes de distintos materiales, y es la lombriz, junto a una amplia cantidad de microorganismos, la que asume la responsabilidad de absorber y digerir los residuos orgánicos. Esto permite que el agua se despoje de sus contaminantes primordiales: los restos patógenos existentes en el agua residual. Asimismo, "es una opción ecológica y eficaz para el tratamiento de aguas residuales, contribuye a la recuperación del recurso,



reducir los efectos sobre la salud y el medio ambiente; además son asequibles y fáciles de manejar" (Bolaños et al., 2017).

Por otro lado, el lombrifiltro es más eficaz que la lombriz *Eisenia foetida* para eliminar materia orgánica, logrando una disminución del 95% en DQO y DBO5. La utilidad del método para el tratamiento de aguas servidas domésticas (Cáceres et al., 2018) queda demostrada.

Por esta razón, se realiza el estudio titulado: "Efecto de la especie *Eisenia foetida* en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo 2025". En ese contexto el presente estudio contiene cuatro capítulos, mencionándose a conti En el Capítulo I, Introducción, se definen los objetivos del estudio, así como la hipótesis, el tema y la justificación de la investigación.

Los argumentos relacionados con el tema de estudio, las referencias, los fundamentos teóricos y el marco legal que han sustentado este trabajo se presentan en el Capítulo II.

El Capítulo III es el que analiza la metodología del estudio, en la cual se explican los métodos, las herramientas, el diseño y el tipo de investigación, así como la población y la muestra e igualmente cómo se maneja la información.

Las conclusiones y sus discusiones se exponen en el capítulo IV, cada una por separado. Finalmente, las recomendaciones se incorporan en las conclusiones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente en el mundo existe una contaminación continua de los cuerpos naturales, producto de la actividad antrópica, uno de ellos es el vertimiento constante de aguas servidas (Arora et al., 2022); además el 45% de las aguas servidas producidas en el mundo se vierten sin un depuración seguro a las masas receptoras de agua natural (Gutiérrez et al., 2023), todo ello porque las plantas de tratamiento no dan cumplimiento a las normas prescritas con base a la remoción de contaminantes orgánicos; generando que su vertimiento no sea apta para los propósitos de reutilización (Sudipti et al., 2020), provocando la contaminación ambiental, la alteración de la calidad del agua, el perjuicio a la biodiversidad y cambios en la estructura y función de un ecosistema (Al Ghamdi, 2023); además ha conllevado a la muerte de 800,000 personas por efecto del consumo de agua contaminada con material orgánico (UNESCO, 2020), dado que el tratamiento de las aguas residuales afecta proporcionalmente a la salud humana e influye en el medio ambiente, es un problema prioritario (Kumar & Khwairakpam, 2024).

Las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) son las que se encargan de supervisar y controlar los sistemas de saneamiento en Perú. Estos sistemas llevan las aguas residuales a lo que se conoce como plantas de tratamiento (PTAR) (Quispe & Casimiro, 2019). No obstante, sólo el 32% de las aguas residuales producidas es tratada en una PTAR, a pesar de que el 82.6% de los habitantes urbanos puede acceder a servicios de alcantarillado (Paricahua, 2024). Esto sucede porque hay deficiencias en la esfera del saneamiento en cuanto al tratamiento de aguas residuales; muchas infraestructuras existentes no logran depurar adecuadamente los contaminantes orgánicos presentes en estas aguas (Aldoradin & Quispe, 2023); las cuales son arrojadas a los ríos, lagos, mares o quebradas, lo que contamina los cuerpos de agua naturales; esto asimismo causa la polución de las aguas subterráneas por medio de la infiltración en el subsuelo, generando focos infecciosos que afectan a la salud humana como a la fauna y flora locales (OEFA, 2019); siendo esta una de las principales problemáticas representado un riesgo a los recursos naturales y a la salubridad de las personas (Mendoza & Villa, 2023).

En el departamento de Puno en específico en la ciudad de Asillo, no es ajena a esta situación; debido a que la actual estructura de la laguna facultativa está perjudicada debido a que no se le da cuidado preventivo, por el incremento de la población existente e industrias en la localidad, las cuales disponen sus aguas residuales al alcantarillado sanitario, y por ende generan un incremento del caudal, provocando el colapso de la planta, y ahondando todo ello la planta ya supero su de diseño; toda esta

situación está repercutiendo en el contenido de los contaminantes orgánicos, provocando que exceda los LMP para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) (Ticona, 2020); además, este contaminante, si no se trata apropiadamente, es directamente vertido en el río; ocasionando una grave contaminación al ecosistema acuático (Mamani & Chavez, 2018). La PTAR es la responsable de manejar los contaminantes orgánicos que se exhiben en las aguas servidas, y lo hace mal, lo cual agrava la condición, lo que ha propiciado la aparición de vectores como moscas y ratas. Esto fomenta la difusión de enfermedades tales como: Alergias, hepatitis y enfermedades diarreicas o gastrointestinales que afectan fundamentalmente a la población.

Ante ello las tecnologías convencionales para tratar los contaminantes orgánicos tienden a ser muy costosas tanto en su instalación, funcionamiento y mantenimiento (Mendoza & Villa, 2023); ante ello, analizando una solución óptima que contemple la sostenibilidad económica y ambiental. Para realizar la investigación actual, se sugiere implementar un biofiltro de lombrices rojas californianas (*E. foetida*) a escala piloto con el fin de evaluar su capacidad para eliminar contaminantes orgánicos de las aguas residuales que proceden de la ciudad de Asillo.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la especie *Eisenia foetida* en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Cuál es el estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo?
- ✓ ¿Cuál es la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025?
- ✓ ¿Cuánto es el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie *Eisenia foetida* en de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la especie *Eisenia foetida* en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo
- ✓ Determinar la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025.

- ✓ Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie *Eisenia foetida* en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025.

1.4. Justificación de la investigación

Es crucial depurar las aguas residuales para eliminar los contaminantes orgánicos, debido a la contaminación y al peligro que esto supone para la salud; por ello, es necesario tener criterios y métodos preventivos para el tratamiento de dicho contaminante. Por ejemplo, se puede implementar un tratamiento biológico apropiado para erradicarlo o reducirlo a un nivel en el que no represente una amenaza ni para la salubridad humana ni para el ecosistema (Saboya, 2021).

Por ello es que la investigación se justifica debido a que la actual "PTAR" de la ciudad de Asillo; está deteriorada y colapsada debido a la escasez de mantenimiento y operación de la planta; por el incremento de la población existente e industrias en la localidad, las cuales disponen sus aguas residuales al alcantarillado sanitario, y por ende generan un incremento del caudal y volumen de agua residual y ahondando esta situación la actual planta ya cumplió su vida útil de diseño; y además las autoridades competentes poco o nada se preocupan de esta situación; lo cual se traduce en un déficit de la gestión operacional de la planta; y ante ello la planta ya no tiene la capacidad de eliminar contaminantes para la que fue diseñada (Ticona, 2020); que es sin duda el contaminante orgánico más abundante; a razón de que la PTAR se encuentra en un muy mal estado de conservación; conllevando a que se contamine el cuerpo receptor (rio Asillo), con dichos contaminantes.

Es un asunto que debe ser considerado con seriedad, ya que la cantidad de aguas servidas domésticas con alta carga orgánica aumenta conforme la población de la ciudad se expande; esto hace que el río sea incapaz de absorber y neutralizar dichos contaminantes a la que está sometido, lo que se traduce en la pérdida de las cualidades naturales del agua y de su capacidad para sustentar la vida acuática.

Motivo por la cual, se Justifica el desarrollo de la investigación, donde se experimentará el impacto de la especie *Eisenia foetida* en la reducción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas servidas de los hogares de Asillo.

Justificación social

La posterior implementación del biofiltro con la especie de lombriz en estudio, mejorará la calidad del río, porque removerá los contaminantes orgánicos, para las familias que residen en las proximidades del río Asillo; además de disminuir las amenazas potenciales para la salubridad asociados a la contaminación biótica; por ejemplo, el sistema mitigará la carga orgánica; y los olores desagradables resultantes de la descomposición del material orgánico en el efluente, lo que a su vez reducirá el número de vectores; por consiguiente, la implantación de dicho sistema a gran escala tendría una incidencia sustancial en el modo de vivir de la población (Aldoradin & Quispe, 2023).

Justificación técnica

El biofiltro de lombrices es una opción para tratar contaminantes orgánicos a través de un biofiltro en capas, cuya primera capa se compone por grava, la segunda compuesto por arena de río, la tercera capa con aserrín y la última capa con el material biológico de lombrices; siendo apta para la depuración de la abundante carga orgánica como es el caso en estudio (Gutiérrez et al., 2023).

Justificación económica

En términos económicos, esta tecnología es asequible y de fácil manejo; sus resultados informarán las disposiciones que se tomen sobre la remoción de contaminantes orgánicos, evitando costes innecesarios asociados a la instalación de plantas de tratamiento más costosas (Mendoza & Villa, 2023).

Justificación ambiental

La ciudad de Asillo produce aguas residuales con abundante carga orgánica, que, al ser descargada a un cuerpo receptor sin previo tratamiento suficiente, afectan negativamente tanto a la salud de los habitantes de alrededor como a los ecosistemas; Por este hecho, es necesario aplicar nuevas tecnologías que disminuyan o eliminen por completo el excedente de carga contaminante de las aguas servidas como es de los contaminantes orgánicos y evaluar su eficacia (Rojas & Campos, 2022); por esta razón, se está tratando de disminuir la contaminación del

medio acuático del río Asillo mediante el uso de la tecnología de biofiltros con lombrices (*E. foetida*).

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de la especie *Eisenia foetida* presenta un efecto significativo en la remoción de contaminantes orgánicos presente en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025

1.5.2. Hipótesis específicas

- El estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo es deficiente.
- La temperatura del sustrato del biofiltro influye significativamente en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025
- El porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie *Eisenia foetida* en las aguas residuales domésticas supera el 60%.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

- ✓ Especie *Eisenia foetida*

1.6.2. Variable dependiente

- ✓ Eficiencia de la remoción de contaminantes orgánicos

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

<u>VARIABLES</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>ESCALA</u>	<u>METODOLOGÍA</u>
<u>Independiente</u>	Cantidad de lombrices que pueden cohabitar en un determinado volumen del sustrato	Guía de lombricultura: 1m2	10kg de lombriz	<u>Diseño de investigación</u>
Especie <i>Eisenia foetida</i>	Tasa máxima de riego	1.00	m3/m2/día	Experimental
Temperatura	Temperatura del sustrato	5:00 horas	°C	<u>Tipo de investigación</u> Aplicativo
		10:00 horas	°C	
		13:00 horas	°C	
		16:00 horas	°C	
		19:00 horas	°C	
<u>Dependiente</u>	Estado actual de la PTAR	Tratamiento primario Tratamiento secundario Tratamiento terciario	--- --- ---	<u>Población y muestra</u> Aguas residuales de Asillo
Eficiencia de la remoción de contaminantes orgánicos	Contaminantes orgánicos	Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la actual planta	%	<u>Técnicas</u> Análisis de la carga orgánica
		DBO5	mg/L	
		DQO	mg/L	
		Nitratos	mg/L	
		Fosfatos	mg/L	
	Temperatura del sustrato	5:00 horas	°C	<u>Instrumentos</u> Certificado de análisis de la carga orgánica
		10:00 horas	°C	
		13:00 horas	°C	
		16:00 horas	°C	
		19:00 horas	°C	



Porcentaje de remoción a diferentes temperaturas del sustrato	5:00 horas	%
	10:00 horas	%
	13:00 horas	%
	16:00 horas	%
	19:00 horas	%
Días de monitoreo	Primera fecha de monitoreo (día 0)	día
	Segunda fecha de monitoreo (día 10)	día
	Tercera fecha de monitoreo (día 20)	día



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Kumar & Khwairakpam (2024), investigaron el papel de las lombrices (*E. foetida*) en la depuración de contaminantes y el ensayo de toxicidad de aguas servidas municipales de una ciudad de Turquía, se instaló un reactor nativo (vermifiltro como capa activa) durante 60 días con una tasa hidráulica de $1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ y un tiempo de detención por medio de agua de 3,5 h para evaluar su desempeño, la eliminación de sólidos suspendidos totales, DBO₅, sólidos disueltos totales, DQO y sulfato fue del 92 %, 93 %, 89 %, 86 % y 63,43 %, respectivamente, la prueba de fitotoxicidad revela una mayor tasa de germinación y crecimiento de las plantas con efluente de vermifiltro que con el afluente de filtro y aguas residuales crudas, además, el vermifiltro logró la eliminación de bacterias heterótrofas 1,54 veces; por tanto, el efluente tratado puede utilizarse para fines de riego; en general, este estudio estableció una alternativa potencial

al sistema para tratar aguas residuales convencional y logrará el objetivo del desarrollo sostenible.

Al Ghamdi (2023), examinó la efectividad del tratamiento de aguas servidas urbanas con ecofiltros microbianos-lombrices (MEE) (reactor 2) y la unidad de filtrado sin lombrices (reactor 1) en Nueva Delhi; se uso unidades para tratar aguas servidas de vermibiofiltración que comprende la unidad de tratamiento de filtración biológica, especies de lombrices *Eisenia fetida*, organismos vivos del suelo y piedras naturales para la depuración de las aguas servidas en los municipios, la DBO, el (TDS), DQO y el carbono orgánico total (TOC) se monitorearon durante siete semanas, estos parámetros mostraron una tendencia decreciente en ambas unidades de filtración; una reducción del 75 % en el COT del reactor 2 muestra la eficacia del sistema propuesto para la utilización de aguas servidas de los hogares urbanos; el reactor 2 también mostró una reducción de DBO, DQO y TDS aproximadamente en el rango de 85, 90 y 30 % respectivamente; esta técnica parece ser útil para desarrollar un sistema de purificación doméstico útil y de bajo costo en áreas con escasez de agua utilizando bioorganismos inofensivos.

Quezada (2024), Se examinó el desempeño de un biofiltro (BF) y un VF en la eliminación de nutrientes, material orgánico y en la actividad enzimática de la proteasa y amilasa, en Concepción - Chile. El objetivo es analizar con mayor profundidad los efectos del uso de lombrices en el tratamiento de aguas residuales. El influente se recogió de una PTAR rural después de la depuración primario, y las muestras son monitoreadas

usando espectrofotometría. Con base a la supresión de la (DQO), los resultados entre los sistemas revelan eficiencias de $54,2 \pm 16,5\%$ y $51,9 \pm 18,5\%$ para el BF y el VF respectivamente. El estudio se enfocó en la reducción de nitrógeno (N-NH_4^+) en términos de nutrientes, eliminando un $68,0 \pm 22,3\%$ y un $77,5 \pm 22,9\%$ de N-NH_4^+ para VF y BF respectivamente. En otro orden de cosas, el fósforo del fosfato ($\text{P-PO}_4\text{-3}$) se elimina en un $58,0 \pm 45,6\%$ y un $83,2 \pm 26,2\%$, respectivamente. Finalmente, la actividad de sistemas fue de $0,50 \pm 0,18$ U/mgSSV para la amilasa en VF y $0,21 \pm 0,16$ U/mgSSV en BF. La actividad proteásica fue de $0,0018 \pm 0,0012$ U/mg SSV en VF y $0,0009 \pm 0,0005$ U/mg SSV en BF. En conclusión, los hallazgos apuntan a que la inclusión de la lombriz no tendría un impacto importante en el tratamiento de aguas servidas.

Gutiérrez et al. (2023), analizaron el desempeño de un vermifiltro con lombrices a gran escala para reducir los nutrientes, la sustancia biológica y las bacterias resistentes a los antibióticos contenidas en las aguas servidas en Quito; los afluentes y efluentes se obtuvieron de una PTAR rural mediante un sistema de desinfección VF y UV; los resultados muestran una eliminación significativa ($p < 0,05$) de la DQO (77%), la DBO 5 (84%), el nitrógeno total (NT) (53%) y el fósforo total (36%); la estacionalidad es una variable influyente para la eliminación de DQO, DBO 5 y NT; Además, la distribución de pesos moleculares muestra que el VF no genera un cambio considerable en la distribución de material orgánico (DQO y carbono orgánico total (TOC)) y $\text{NH}_4^+ - \text{N}$; El sistema de desinfección UV eliminó el 99% de las bacterias coliformes; sin embargo, no se eliminan a concentraciones seguras; por lo tanto, es

posible detectar bacterias resistentes a los antibióticos ciprofloxacina, amoxicilina y ceftriaxona en un 63,5%, 87,3% y 63,5%, respectivamente, las cuales se detectaron en los efluentes; este estudio muestra el potencial de un sistema para la eliminación de la contaminación y la necesidad de optimizar el VF para que sea un tratamiento seguro.

Castillo & Chimbo (2021) establecer la eficacia de los lombrifiltros en la eliminación de compuestos orgánicos en efluentes municipales de una zona rural de Quito. Para crear el biofiltro con 4 sustratos, se utilizó un procedimiento que incluía aserrín combinado con *E. foetida*, carbón activado, grava molida y piedras fluviales; presentando resultados significativos de DQO, DBO, SST y ST en el influente, y los mayores porcentajes de eliminación se lograron a un caudal de $1,8 \times 10^{-2}$ lts/s y un TRH de 0,93 hrs, con un 53,35% para DQO/DBO, un 67,84% para SST y un 53,81% para ST; en última instancia, se concluyó que el empleo de biofiltros de la especie *Eisenia foetida* para remover materiales orgánicos representa una tecnica de tratamiento ecoamigable muy económico, eficaz y adecuado para el medio biotico.

Cayoja y Ballester (2021) llevaron a cabo la investigación de un biofiltro dinámico, también llamado Lombrifiltro o sistema Tohá, que fue complementado con lombrices para la población de la capital de Pucarani. En base a la DBO, los efluentes exhiben una carga orgánica contaminante equivalente a 383,24 mg/l; en cuanto a los coliformes termorresistentes, tienen una carga contaminante de $2E+07$ (U.F.C/100ml). Se realizó un lombrifiltro de 0,185 m² de superficie en el laboratorio, fundamentado en

estudios previos sobre la edificación de biofiltros. Se utilizó viruta de madera Ochoa como soporte y medio filtrante, y la operación se extendió durante medio año. Se realizaron tres modificaciones en la alimentación con el fin de determinar la carga hidráulica y cuántas lombrices del tipo *Eisenia Foetida* había. Una tasa hidráulica (tasa) de 0,5 m³/día por m² se determinó como la más adecuada para permitir que la lombriz subsista y para tratar efluentes de manera óptima. Así se logró una eficiencia de eliminación del 91,63% para DBO₅, que bajó desde 345,40 mg/l hasta 25,32 mg/l. Se proyectó la planta de tratamiento tomando en consideración el Lombrifiltro + lagunas de maduración como opción principal y el Lombrifiltro + cámara UV como segunda opción, basándose en la efectividad de eliminación lograda en el lombrifiltro experimental. El efluente reveló que el agua era de tipo C, tal como lo determina el Reglamento. por siguiente paso, se efectuó el análisis de costo-efectividad, lo que dio como resultado un VAN de Bs. 1843224,0 con una (TIR) de 7,2%. Estos hallazgos promueven el empleo de este tipo de tratamiento en la población de Pucará.

En Jiutepec, México, Cardoso et al. (2020) implementaron un vermifiltro piloto (VP) con el objetivo de analizar la efectividad en la eliminación de contaminantes del agua; según el procedimiento, el vermifiltro contenía un sustrato filtrante orgánico, u sustrato inorgánica y un tezontle relleno de una capa de materia orgánica que incluía residuos alimentarios (restos de verduras y frutas) y lodos de depuradora; esta capa también contenía anélidos (lombrices de tierra) del tipo *Eisenia foetida*, que se depositaban en ella; el VP se inyectó continuamente con

aguas residuales procedentes de los aseos; en el experimento se utilizaron tres fases, 3 tasas de filtración (TF) y 3 COS (carga orgánica superficial); La fase 1 demostró las mayores remociones de sólidos y MA (98% de DBO, 93% de DQO, y 96% de SST), así como la mayor remoción de nitrógeno amoniacal (97%) y coliformes fecales ($18,6 \times 10^3$ NMP/100mL a 4 NMP/100ml); estos resultados sugieren que el vermifiltro es efectivo en la remoción de contaminantes, logrando niveles de remoción significativos; en consecuencia, se requiere más investigación para mejorar los protocolos de descontaminación y reuso del agua para espacios verdes o agricultura.

En Pakistán, Sukhdeep y Puneet (2019) gestionaron las aguas servidas generadas por la industria de productos lácteos, reutilizándolas para riego o procesos industriales. Metodología: Para llevar a cabo el vermifiltro, se utilizó la especie *Eisenia foetida* y desechos de jardín, los cuales fueron empleados como sustrato para mantener el medio filtrante. Se emplearon tres tasas diferentes de carga hidráulica (CH), de 1,5; 2 y 2,5 m³/m²/día, para calcular el caudal ideal y lograr una depuración eficaz de aguas servidas mediante la vermifiltración. analizando las condiciones de pH, DQO, SST, DBO y PT (fósforo total). Lo que logró fue una eficiencia máxima de la CH de 1.4 m³/m²/día, con los siguientes niveles de DQO, SST, TP y DBO: 90.55%, 80.23%, 88.76% y 95.75% de efectividad de eliminación, respectivamente. En resumen, la vermifiltración genera un vermicompost con una alta concentración de fosfatos y nitratos, lo cual favorece el crecimiento de diversas especies de plantas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mendoza & Villa (2023), examinaron si el Sistema Tohá tiene un impacto relevante en la calidad del agua residual en San Pablo - Canchis - Cusco; para conseguirlo, se creó un plan para la construir el sistema tohá, que incluía la instalación de un sistema de tuberías para trasladar las aguas servidas a un depósito u reservorio; desde allí, las aguas residuales se bombeaban continuamente mediante goteo hasta la primera capa del biofiltro, conocida como vermicompost, que se compone de compost, lombrices y humus; el objetivo primordial de esta capa es mantener el material organico de las aguas residuales y desintegrar los contaminantes que se pueden encontrar; después, las aguas residuales se hicieron pasar por capas de grava, gravilla y serrín antes de ser vaciadas en un tanque que actúa como depósito para las aguas residuales procesadas; más tarde, las aguas residuales tratadas se distribuyen en cinco contenedores con caudales variables para someterlas a diversas evaluaciones según los criterios establecidos; posteriormente, las aguas residuales se remitirán a un laboratorio para que sean analizadas en términos físicos, químicos y bacteriológicos. Los hallazgos demostrarán que todos los parámetros físico-químicos y bacteriológicos están dentro del límite de lo estipulado en el D.S. n° 003-2010-MINAM, lo cual avala la efectividad del sistema para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales, se traduce en una disminución del 43% de la DBO5 y del 47% de la DQO; se elimina el 83% de los aceites y grasas, y el pH se restablece al 100%; por último, la disminución de los coliformes termotolerantes consigue el 8%; tambien se ha exhibido que las

fluctuaciones de temperatura en horario diurno y nocturno, no tienen ningún impacto notable en el procesamiento de disminución de la DQO y la DBO de las aguas servidas, junto con los niveles de humedad.

Aldoradin & Quispe (2023), establecieron el grado de eficacia del sistema Tohá y Wetland, acoplado, para procesar las aguas servidas que se derraman en el canal Huanca - San Luis - Cañete; se establecieron los siguientes niveles para el diseño y posterior instalación del modelo conectado de humedal y tohá mediante análisis documentario, inspección de guías y análisis de artículos científicos; el estudio utilizó un diseño factorial 2x3 para determinar la incidencia del mecanismo (tasa de riego y tiempo de retención hidráulica, o "TRH") y del componente (altura del aserrín); altura del serrín = 5 y 10 cm; TRH = 24 y 48 hrs adaptado en la entrada de efluentes de cada sistema; tasa de riego = 1 y 0,4 m³/m²/día adaptado en la entrada de efluentes de cada humedal artificial; altura del aserrín = 5 y 10 cm, y m³/m²/día ajustados en la entrada de efluente de cada planta de lombrices; se asignaron tres semanas al desarrollo del experimento en el prototipo acoplado, en las que se recogieron muestras de 50 litros diarios de aguas servidas en la zona de descarga. En las semanas tres y cuatro, para la supervisión y la evaluación de parámetros DQO, DBO₅, coliformes fecales, pH y temperatura, se tomaron cinco litros de agua residual por cada uno de los ingresos y salidas del sistema; los resultados demostraron que cuando los indicadores están a 48 horas, se elimina el 65,10% y el 65,09% de la DBO₅ y la DQO, y cuando la tasa de riego es de un m³/m²/día y la altura del aserrín es de cinco centímetros, se elimina el 98,26% de los coliformes termotolerantes; después de tomar

en consideración los parámetros que permiten monitorear las aguas residuales como indicadores y no como contaminantes, se halló que los parámetros de temperatura y pH no presentan variaciones significativas en la entrada y salida del prototipo ajustado; al final, se estimó que el acoplamiento Humedal y Tohá exhibe una ponderación moderadamente eficiente con 58.95% de contaminantes establecidos removidos en la reducción de aguas residuales que se vierten en el canal de riego Huanca.

Moscoso (2022), Analizó la efectividad del vermifiltro (VF) en comparación con el filtro de control para disminuir los parámetros físicoquímicas de las aguas servidas producidas por un matadero avícola en Lima. El método abarcó un vermifiltro compuesto por cuatro estratos (grava, arena y tierra con lombrices), así como un filtro de control que no contenía las lombrices. El propósito era evidenciar la efectividad del vermifiltro a largo plazo, mediante la reducción de los índices físico-químicos en los efluentes (DQO, AyG, SST, pH y DBO). Dado que no se cumplía la homogeneidad de varianzas ni la normalidad, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis. El diseño del experimento contemplaba tres repeticiones. Por medio de pruebas, se observó que la eficiencia en el VF aumentó hasta lograr un pH de 7.03 ± 0.06 y eliminar el $96.15\% \pm 0.48\%$ de DQO, el $98.75\% \pm 0.15\%$ de A y G, el $99.58\% \pm 0.04\%$ de SST y el $99.83\% \pm 0.01\%$ de DBO; por otro lado, la eficacia del FC disminuyó al obtener un pH de 7.50 ± 0.10 y eliminar el $91.81\% \pm 0.17\%$ de DQO, el $92.16\% \pm 0.41\%$ de A y G, el $99.24\% \pm 0.08\%$ de SST y el $99.76\% \pm 0.02\%$ de DBO. Se verificó que ambos tratamientos alcanzan con las

regulaciones establecidas en los (VMA); de igual modo, se le atribuye la efectividad del VF de manera directa a la lombriz *Eisenia fetida*.

Rojas & Campos (2022), Utilizando Lombrifiltros, que están compuestos por lombrices de tierra y lombrices rojas californianas, demuestro la eficacia del sistema Tohá para purificar las aguas servidas del camal de Bagua, ubicado en el departamento peruano de Amazonas. Se obtuvo la lombriz roja californiana y la de tierra, a través de excavaciones, en Chachapoyas. Después, cada una fue colocada individualmente durante siete días para adaptarse; luego se inocularon en el sistema del Lombrifiltro. Un depósito de 281 litros y tuberías de PVC de media pulgada se emplearon para concluir el diseño preexperimental. Se llevaron a cabo análisis para examinar las características físico-químicas del agua servida que se origina en el camal municipal. Se comprobó que la especie roja de California elimina un 27% de los contaminantes, frente al 13% que elimina la lombriz terrestre. Se concluye que la especie *E. Foetida* es mucho más efectiva para disminuir la contaminación presentes en las aguas servidas de camales.

Saboya (2021), Evaluo la eficacia de las lombrices roja californiana (*E. foetida*) y de tierra (*L. terrestris*) en la depuración de aguas residuales en la región peruana de Chachapoyas. Por eso, se llevó a cabo la adecuación de las dos especies durante una semana. Luego, estas fueron inoculadas en el sistema del lombrifiltro; este último se compone de dos estructuras hechas de madera y con 4 sustratos. Por último se aplicó un tanque para guardar el flujo continuo. Se analizó el nivel de los parámetros

microbiológicos y fisicoquímicos del agua residual que fue sometida al proceso de tratamiento para determinar la efectividad en la eliminación de especies. Los hallazgos revelaron que la especie EF consiguió reducir la DBO5 en un 93%, la DQO en 85%, el NT en 77%, la turbidez en 83.3%, el pH en 94% y el CT en 83%; por su parte, la especie LT disminuyó los siguientes porcentajes: DBO5, 91%; DQO, 84%; NT, 77%; turbidez, 83%; pH, 93% y CT, 80%. Se determinó que EF es más eficaz para eliminar contaminantes del agua residual doméstica con una media del 87%, frente a LT que consiguió un promedio del 85%. Ambos promedios son aceptables según lo establecido por DS N°004-2017-MINAM.

Gamarra (2021), Se determinó la eficacia del vermifiltro para eliminar las impurezas de las aguas servidas de la comunidad La Punta – Sapallanga. Para ello, se instaló una planta piloto del sistema de vermifiltración, empleando un procedimiento con tres tratamientos que recibían caudales variables: el primero tenía un flujo de 25 mL/min; el segundo, uno de 51 mL/min; y el tercero, uno de 76 mL/min. Todos los filtros contaban con cuatro capas. En primer lugar, se monitorearon los parámetros fisicoquímicos del agua servida entrante y saliente del sistema. Después de eso, se verificaron los parámetros fisicoquímicos del agua que entraba al filtro y la que salía depurada del sistema. Se realizó un análisis semanal de los parámetros seleccionados durante tres semanas; el resultado final reveló que los tres tratamientos habían eliminado el 96,8% de la DBO5, el 86,5%, el 82,57% y el 79,95% de la DQO y el 95,3%, el 96,1% y el 95,5% de los SST. También se observó que cada sistema de tratamiento tendía a estabilizarse en términos de pH.

Durante un periodo de 3 semanas, los parámetros designados se analizaron cada siete días; los resultados finales mostraron que el pH de los tres sistemas de tratamiento tendía a estabilizarse y que la DBO5 se eliminaba del sistema en el 96,7% de los casos; la DQO se eliminaba del sistema en el 86,5%, 82,57% y 79,95% de los casos; y el total de (SST) se eliminaba del sistema en el 95,3%, 96,1% y 95,5% de los casos.

Olivera (2021), Confirmó la eliminación de DBO - DQO en filtros percoladores, utilizando *E. Foetida* y *Lumbricus*, a partir de las aguas servidas domésticas en Tuyururi - Huaraz. Los filtros fueron creados con las mismas peculiaridades y situaciones del entorno, siendo la única variación entre ellos los géneros de lombrices. Cada filtro fue diseñado a escala piloto, con el siguiente caudal: 0.4 m³/día; una tasa de filtración de 0.84 m³/m²/día; un área superficial de 0.35 m² y una profundidad de 1.05 metros. Las lombrices fueron sometidas a un periodo de preadaptación y adaptación que se extendió durante 30 días. Durante este lapso, se observaron los parámetros de control, incluyendo pH, caudal, temperatura y humedad. Tras la adaptación, se llevó a cabo un análisis de los contaminantes (DBO5 - DQO) en la depuración durante octubre del año 2019 y febrero del 2020. El pH, la temperatura, la humedad, el caudal, la constante de asimilación y el tiempo de permanencia hidráulica fueron los factores que afectaron directamente a la eliminación de materia orgánica. El filtro percolador con *Eisenia foetida*, en base a lo anterior, alcanzó una tasa media de eliminación de DBO5 del 58.62% y del 73.34% para DQO; las condiciones eran, en esta ocasión, una temperatura promedio de 20.30 °C, un pH de 6.64 y una humedad del 71.20%. Por su cuenta, el

filtro percolador con *Lumbricus terrestris* logró un porcentaje medio de eliminación del 51.03% para DBO5 y del 81.07% para DQO; en este caso, la temperatura promedio fue de 20.50°C, la humedad media fue de 69.50%, y el pH medio fue de 6.64. Los hallazgos alcanzados llevaron a concluir que el filtro percolador con *E. foetida* es más efectivo para eliminar DBO5; en cambio, el filtro con *Lumbricus terrestris* es más eficiente para suprimir DQO.

Rojas (2021) realizó una investigación acerca de la efectividad de eliminar el nitrógeno total y el fósforo total en zonas andinas mediante biofiltros, empleando a *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida* como agentes filtrantes. La investigación se llevó a cabo utilizando aguas servidas domésticas provenientes de Tuyururi, Huaraz. El diseño y la construcción de los filtros a escala piloto se realizó con un caudal de 0.4 m³/día, una superficie de 0.50m x 0.60m y una tasa de filtración del 0.82 m³/m²/día. El sistema de distribución utilizó tubería PVC de 3/4", mientras que cada biofiltro tenía una de 2". También, el drenaje del sistema contaba con una pendiente del 1.5%. En primer lugar, las lombrices se mantuvieron en dos tinas durante dos semanas y se les proporcionó alimento cada tres días con 260 ml de agua residual. Luego, se realizó la fase de adaptación en filtros durante otros 15 días. En esta etapa, se supervisó el crecimiento y la reproducción de las dos especies de lombrices a través del análisis de la temperatura, el pH y la humedad. El tratamiento fue la última etapa, en la que se llevó a cabo un seguimiento del fósforo y nitrógeno totales en cada biofiltro. En el biofiltro que contenía *Eisenia foetida*, se logró eliminar un 40.38% de fósforo total y un 33.70%

de nitrógeno total, con unas condiciones de pH de 7.53, temperatura de 21.13°C y humedad del 70.75%. Para el filtro que incluía a *Lumbricus* terrestres, la eliminación fue del 33.97% en términos de fósforo total y del 35.09% en cuanto a nitrógeno total; este estuvo expuesto a una temperatura media de 20.05°C, un pH de 6.14 y una humedad de 71.15%. Para concluir, el biofiltro con *Lumbricus* terrestres es más efectivo en eliminar nitrógeno total y el filtro con *E. foetida* es más efectivo en eliminar fósforo.

Cáceres et al., (2021), En Moquegua, se estableció la eficacia de tres métodos para depurar aguas residuales domésticas: hipoclorito de calcio, *Eichornia crassipes* y *Eisenia foetida*. Para establecer el estado inicial de un afluente, Se recolectó una muestra representativa de aguas desechadas de casa y se examinaron los indicadores microbiológicos (coliformes termotolerantes), físicos (STS y temperatura) y químicos (DBO5 y pH). Este afluente, después de un proceso de pre-sedimentación fue depurado con tres diferentes sistemas de purificación: el primero incluyó *E. foetida*, el segundo una combinación de *E. foetida* y *E. crassipes*, y el tercero una mezcla de los tres elementos previos junto con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Por otro lado, *E. foetida* fue analizada de acuerdo con diversas tasas de riego: A0 (grupo de control, sin tratamiento), A1 (0.5 [m³/día]/m²) y A2 (1 [m³/día]/m²); *E. crassipes*, de acuerdo con el período de retención: B1 (siete días de depuración), B2 (catorce días de depuración) y B0 (grupo control: sin depuración); y $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, en concordancia con C1 (empleo de hipoclorito de calcio) y C0 (grupo control: sin depuración). Se analizaron los efluentes bajo los mismos parámetros que se utilizaron para el

afluente, cada uno de ellos con dos repeticiones. La estadística ANOVA (análisis de varianza) y la prueba de Tukey fueron empleadas. Los hallazgos indicaron que los sistemas de depuración presentados tienen variaciones significativas, siendo el sistema más efectivo el que incluye *E. crassipes* + *E. foetida*, con reducciones promedio del 5 °C, el 94.48% de STS, el 98.41% de DBO5 y la totalidad de coliformes termotolerantes, además de un pH final de 7.43.

Umasi (2020), Analizó la efectividad de un biofiltro de 3 capas para limpiar las aguas residuales municipales en Juliaca. Metodología: El sistema de lombricultura se transfirió al aparato tras cinco días de adaptación de las lombrices. Este consistía en tres espacios separados por capas de materia orgánica (compost y serrín), la especie *E. foetida* y una capa compuesta por grava media, rocas de río y arena. Además, contaba con un envase para guardar aguas residuales que suministraba al dispositivo de forma constante (flujo continuo). El filtro de lombriz se trató con un tiempo de contacto de 8 hrs a un flujo de 0,78 l/min; se analizaron los contenidos iniciales de DBO, SST, DQO y *E. coli*; según los resultados indicaron que la especie *E. foetida* disminuyó la DBO5 en un 89%, la DQO a un 87%, SST a un 96% y la *E. coli* en un 98%; concluyendo que en base a los LMP, se considera que el procedimiento está dentro de los niveles de uso permitidos tanto para bebidas animales y para riego de vegetales.

2.1.3. Antecedentes locales

Tairo (2021), evaluó la efectividad del Lombrifiltro (*E. foetida*) en el mejoramiento de los indicadores fisicoquímicos de las aguas servidas del camal municipal de Juliaca; este estudio práctico y experimental instituye el empleo del filtro de lombriz con el método de horas y flujo utilizando cuatro muestras, cada una con un tipo de flujo distinto y tres repeticiones; debido a la reacción del biofiltro de lombriz a los parámetros físicos, la turbiedad de la muestra depurada fue de 54,2 NTU, mientras que la turbidez de la muestra no tratada fue de 148 NTU; además, la temperatura de la muestra tratada era de 17°C, mientras que la de la muestra no tratada era de 16,4°C; los valores de SST de las muestras tratada y no tratada fueron de 289,33 y 625,5 mg/l, respectivamente; En contraste, los valores de pH de las muestras tratadas y no tratadas fueron 7.49 y 7.37, respectivamente; la muestra sin tratamiento tenía 921.54 mg/l de DBO, mientras que la cantidad fue de 240.2 mg/l después del proceso; respecto a DQO, contaba con 320.5 mg/l tras el tratamiento, conforme a los parámetros químicos. Debido al mayor caudal, el biofiltro mostró un porcentaje bajo de eficacia de eliminación con Q3 y Q4; sin embargo, con Q2 tuvo éxito (76.56%). En general, se concluyó que el biofiltro cumplía con la eficacia de eliminación de los elementos físico-químicos.

Ramos (2019) propuso un tratamiento de aguas residuales para poblaciones medianas en Puno, empleando el lombrifiltro, un sistema ecológico que utiliza la especie *E. foetida*; El mecanismo propuesto consistía únicamente en un sistema secundario, el método del biofiltro,

que elimina la mayoría de los contaminantes; consta de cuatro capas: arena fina en la tercera capa, presente con grava en la segunda capa, guijarros de río en la primera capa y la especie *E. foetida* en la cuarta capa, los resultados mostraron que el 81% de DBO5-DQO, P, N, SST, pH y CF podían eliminarse tras 45 minutos de retención; esto sugiere que es posible criar *E. foetida* para tratar aguas desechadas a elevaciones superiores a 3800 m.s.n.m., siempre que el hábitat proporcione condiciones suficientes para la supervivencia y el crecimiento de la especie.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que han modificado sus características naturales a causa de la actividad humana. Por lo tanto, se vierten en un cuerpo natural de agua y necesitan un tratamiento previo debido a su alta carga de materia orgánica (Saboya, 2018).

El OEFA (2014) también describe a estas aguas como aquellas cuya calidad ha cambiado a causa de las actividades cotidianas de la gente, lo que las hace necesitar un tratamiento previo antes de volver a usarse, descargarse en el sistema de alcantarillado o desecharse en cuerpos acuáticos.

De la misma manera, Cartagena (2021) sostiene que las propiedades de estas aguas cambian tras haber sido empleadas en las casas, fábricas o labores productivas, por ejemplo. Por lo tanto, las AR

contienen grandes cantidades de residuos industriales, detergentes, grasas, productos agroindustriales y componentes tóxicos.

La mayor parte de las aguas residuales, por su carga contaminante, acaban en masas receptoras de agua (ríos, mares y lagos) y suelos; esto causa consecuencias letales como la reducción del oxígeno, lo que imposibilita la vida de la flora y fauna presentes en esos lugares (UNESCO, 2016).

De acuerdo con la OEFA (2015), las aguas servidas se catalogan así:

a) Aguas residuales domesticas

Se refiere a las que se originan del uso doméstico, como su nombre lo indica. Estas incluyen la generación de los espacios de venta que tienen residuos humanos, tales como detergentes, grasas y coliformes, entre otros componentes, que son producto de las actividades diarias de la gente (OEFA, 2015).

También, las ARD se refieren a aquellas que pertenecen a la vida del ser humano, como la higiene, el cocinar y las necesidades fisiológicas. Estas pueden representar un riesgo potencial por sus efectos en el medio biótico y en la salubridad de las personas (Saboya, 2018).

b) Aguas residuales municipales

Se refiere a aguas residuales (AR) que trascienden de mezclar aguas pluviales con aguas industriales. Estas han sido depuradas después de un proceso anterior y luego se vierten en los sistemas

colectores cumpliendo con los valores exigidos por la normativa (Caceres, Calisaya y Bedoya, 2018).

Además, la norma OS 090 (2006) lo define como las aguas que se emplean en las tareas cotidianas de las personas, tal como el lavado personal, la lavandería, la cocción de alimentos y otras actividades productivas. Su propósito es ser vertidas en los desagües de casa o directamente al medioambiente natural.

c) Aguas residuales industriales

Son las que se originan de un proceso de producción industrial, el cual abarca los ámbitos de la minería, la energía, la agricultura y la pesca, entre otros. En ellos, todos los procesos generan ARD en función de los productos empleados en cada industria (OEFA, 2015).

De igual modo, el organismo Alianza por el Agua (2015) señala que las aguas de cualquier taller o empresa que empleen agua en su proceso de producción, manipulación o transformación son también consideradas, incluyendo las aguas servidas, las aguas de proceso y refrigeración.

Composición del agua residual de los hogares

Las aguas residuales están constituidas por una mezcla diversa que proviene de los vertidos de las actividades domésticas, que se han degradado en su calidad natural debido al uso de compuestos. Entre sus componentes principales, según Saboya (2018), se encuentran:

a) pH: El pH se determina como el logaritmo negativo del contenido de iones hidrógeno (H^+). El pH, , calcula la cantidad de iones de hidrógeno

en una solución y sirve también para identificar si esta es básica o ácida. Según la referencia (Condori & Guillen, 2018), el rango es de 0 a 14: un valor por debajo de 7 señala que hay más acidez, uno superior a 7 indica basicidad y cuando es igual a 7 se da neutralidad.

b) Solidos totales Suspendidos: El pH se determina como el logaritmo negativo del contenido de iones hidrógeno (H^+). El pH, o potencial de hidrógeno, mide la cantidad de iones de hidrógeno en solución y sirve también para identificar si esta es básica o ácida. Según la referencia (Condori & Guillen, 2018), el rango es de 0 a 14: un valor por debajo de 7 señala que hay más acidez, uno superior a 7 indica basicidad y cuando es igual a 7 se da neutralidad.

c) Bacterias coliformes: Estas bacterias coliformes, que son parte de la familia de bacterias y están presentes en los seres humanos, el suelo, las plantas y los animales, indican que el agua tiene potencialmente contaminación por aguas negras. Esto proviene de residuos en proceso de descomposición. Normalmente se encuentran en mayor cantidad en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Condori & Guillen, 2018).

d) Demanda biológica de oxígeno: La cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar el componente orgánico biodegradable en entornos aerobios, también es un indicador de la comida disponible para el sistema biológico. Es un indicador que se usa con frecuencia para evaluar y establecer la calidad de las aguas superficiales y las aguas residuales (ya sean tratadas o no). El periodo de incubación

es de cinco días. De acuerdo con la referencia que se está considerando (Cartagena, 2021).

e) Demanda química de oxígeno: Para determinar la cantidad de materia orgánica en aguas residuales, se mide el oxígeno equivalente utilizando un elemento químico fuerte, que suele ser dicromato de potasio, en condiciones de alta temperatura y un entorno ácido. Según Paico Revilla (2017), la DQO es un parámetro de concentración orgánica muy útil para aguas residuales, y su concentración en cuerpos acuáticos no debe exceder los 200 mg/L. Para realizar el análisis se requiere poco tiempo. Parámetros biológicos: Son esenciales para controlar las enfermedades provocadas por organismos patógenos de procedencia humana (Cartagena, 2021).

2.2.2. Contaminantes orgánicos en las aguas residuales

Se trata de compuestos químicos o biológicos que contienen carbono y que se hallan en las aguas servidas, generadas a partir de múltiples acciones humanas e industriales. Aunque estos contaminantes tienen la capacidad de degradarse en el medio ambiente, en concentraciones altas pueden tener una incidencia negativa sobre los ecosistemas acuáticos y la salud de los usuarios (Sanchez, 2022).

Según Largo (2022), entre los principales contaminantes orgánicos en las aguas residuales se encuentran:

Materia orgánica biodegradable: Se refiere a sustancias que pueden ser descompuestas por microorganismos, como restos de alimentos, grasas, aceites, y residuos vegetales o animales. La DBO, que

indica el volumen de oxígeno requerido para que los organismos desintegren el material orgánico presente, es el parámetro más comúnmente empleado para medir esta contaminación. Los nitratos, sulfatos y nitritos son otros ejemplos.

Compuestos orgánicos volátiles (COVs): Son sustancias que se evaporan fácilmente y pueden contaminar al aire y el agua. Incluyen solventes como el benceno, el tolueno, y el cloroformo, que se manipulan en procesos industriales y se pueden descargar en el agua.

Grasas y aceites: Estos contaminantes provienen de la cocina, principalmente del uso de aceites y grasas en el preparativo de alimentos. Al llegar a las aguas residuales, las grasas y aceites pueden formar capas que interfieren con el tratamiento del agua, además de causar bloqueos en las tuberías y sistemas de alcantarillado.

Residuos de productos de higiene personal: Los champús, jabones, cremas y cosméticos contienen compuestos orgánicos que se disuelven o se eliminan por el desagüe. Algunos productos, como los que contienen microplásticos o ingredientes sintéticos, pueden ser difíciles de eliminar en los procesos de tratamiento convencionales.

Carbohidratos, proteínas y grasas: Estos compuestos provienen de restos de alimentos y desechos humanos. En las aguas residuales domésticas, son biodegradables, pero su descomposición consume oxígeno, lo que puede generar problemas como la eutrofización en cuerpos acuáticos receptores si no se gestionan apropiadamente las aguas residuales.

Celulosa: Procedente del papel higiénico y otros materiales basados en celulosa que se eliminan por el inodoro. Aunque es biodegradable, su acumulación puede causar obstrucciones en los sistemas de drenaje y los problemas que surgen en el tratamiento del agua.

A pesar de que una gran cantidad de estos contaminantes son biodegradables y pueden ser eliminados o reducidos en los sistemas de depuración de aguas servidas, su alta concentración puede generar una sobrecarga en las plantas de tratamiento. Asimismo, si no se procesan de manera apropiada las aguas residuales, pueden provocar la polución en cuerpos acuáticos naturales, lo que impactaría negativamente la calidad del agua y la variabilidad biológica (Vasquez A., 2024).

2.2.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales

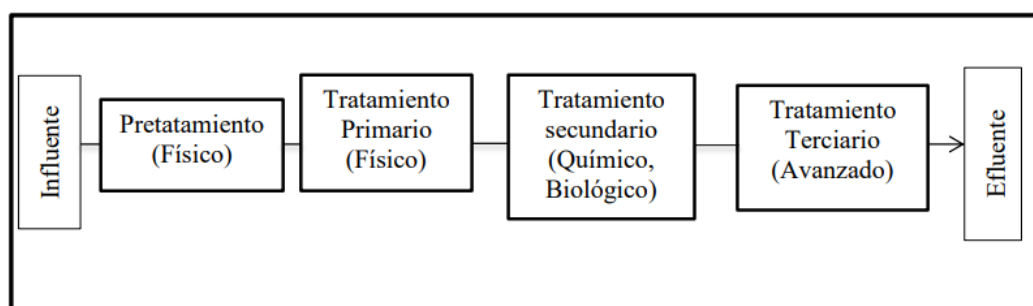
De acuerdo con (Arias & Tiquillahuanca (2018), el objetivo del tratamiento de aguas servidas es eliminar la carga contaminante que contienen estas aguas en cada una de sus fases. Los objetivos principales de remoción incluyen: DBO, sólidos en suspensión, patógenos, nitrógeno y fósforo son algunas de las sustancias con las que se trabaja dependiendo de las propiedades del agua a tratar. Algunas de estas propiedades incluyen la eliminación de trazas de metales pesados, la eliminación de compuestos inorgánicos disueltos y la eliminación de componentes orgánicos refractarios como los pesticidas, detergentes y fenoles.

La complejidad del sistema de tratamiento se determina según las metas y los requerimientos que se establecen. Normalmente, se hace referencia al pretratamiento, al tratamiento primario, al secundario y al terciario (Bermúdez, 2019). El conjunto de estos sistemas, así como las estructuras requeridas, se denomina planta tratar aguas residuales (PTAR). La figura 3 (Bravo, 2019) ilustra este proceso de tratamiento.

El sistema de tratamiento se vuelve más complejo en función de los objetivos y necesidades que se plantean. Se suele hablar, por lo general, de cuatro fases: pretratamiento, tratamiento primario-secundario y terciario (Caicedo, 2017). A la totalidad de estos sistemas y las estructuras necesarias se les llama planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Este procedimiento de tratamiento se puede ver en la figura 1.

Figura 1

Proceso de tratamiento de aguas residuales



Nota. Obtenido de (Caicedo, 2017)

a) Pretratamiento

Para prevenir inconvenientes de mantenimiento y operación en las instalaciones (tuberías, maquinaria, etc.) y bloqueos en el sistema de tratamiento, es forzoso que las aguas servidas pasen por un tratamiento

preliminar antes de comenzar con el tratamiento en sí. Este método incluye la eliminación de SS gruesos y fijos por medio de rejillas de barras, utilizando limpieza manual, mecánica o con desintegradores, coladores o trituradoras. Los SS fijos que son más pequeños, como los residuos minerales pesados, se eliminan mediante desarenadores (Lima et al., 2017).

De acuerdo con Moscoso (2022), las cribas son las responsables de atrapar los sólidos más grandes para conseguir este pretratamiento; después, estos se eliminan a través de procedimientos manuales o mecánicos y se destruyen mediante procesos anaeróbicos o incineración. Por último, el pretratamiento concluye cuando el agua residual pasa por desarenadores. Estas son cámaras que tienen como propósito disminuir la velocidad del agua servida y, a través de la sedimentación, eliminar sólidos como arena u otros componentes.

b) Tratamiento primario

El propósito es separar del agua servida una fracción de los SS, que son insolubles y sedimentables, además de las partículas coloidales y solubles (mediante un proceso de decantación posterior, floculación y coagulación). El tratamiento primario no resulta muy eficaz para eliminar materia orgánica; sin embargo, disminuye la DBO asociada con los sólidos en suspensión (Fernandez et al., 2022).

De acuerdo con Moscoso (2022), en este momento se permite que el agua repose en un estanque para que los desechos flotantes se acumulen y sean extraídos posteriormente. Asimismo, los desechos más

pesados, como los lodos, se amontonan en el fondo del estanque. La finalidad de este tratamiento es suprimir los sólidos suspendidos.

Los sedimentadores son responsables de la separación de los sólidos en suspensión para conseguir el tratamiento primario; este procedimiento se basa en la variación de pesos en los sólidos y el agua (Guzmán, 2024).

c) Tratamiento secundario

Su objetivo es suprimir la mayor parte de la materia coloidal orgánica. En especial, se trata de operaciones biológicas que pueden clasificarse en cuatro grupos esenciales: los anaerobios (en los que la materia orgánica cumple la función de aceptor final de electrones), los anóxicos (donde el nitrato actúa como aceptor electrónico) y los aeróbicos (en los que el oxígeno es aceptor de electrones). Además, (Liberio, 2018) señala que estos procesos se pueden combinar. El método de lombrifiltro, que se incluye en esta fase del tratamiento, es un método aeróbico (Martinez, 2016).

Ramón et al. (2015), indican que la presencia de oxígeno en el entorno produce altos rendimientos energéticos, lo cual genera una significativa producción de lodos por el crecimiento acelerado de las bacterias en condiciones aerobias.

De acuerdo con Riveros (2021), hay varios sistemas para el tratamiento secundario, entre los que se encuentran:

- **Lodos activados:** Este tratamiento suprime entre un 60% y un 80% de la materia orgánica que se disuelve. El lodo tiene la función de descomponer el material orgánico en el reactor biológico, dado que este mezclado por biomasa y sólidos inorgánicos.
- **Filtros percoladores:** Se realiza la utilización de agua residual en un medio filtrante compuesto por grava gruesa o por materiales sintéticos. En el material filtrante se formarán los microorganismos que degradan la materia orgánica. Es importante señalar que la eficacia del tratamiento depende tanto de las dimensiones del filtro percolador como de la alineación de biopelículas.
- **Sistemas biológicos rotativos de contacto:** Consiste en cultivar microorganismos, que son los representantes de descomponer el material orgánico. Para ello, se utilizarán discos giratorios como soporte. Sin duda, este método se utiliza cuando el efluente presenta bajos niveles de aceites y grasas, logrando ser efectivo entre el 70% y el 90%.
- **Filtros intermitentes de arena:** Eliminación de sólidos sedimentables, microorganismos y materia orgánica, que solo se puede realizar cuando los efluentes tienen turbiedad baja.
- **Tratamiento anaerobio de flujo:** Tratamiento con una tecnología de fácil manejo que es adecuada para climas tropicales; por ende, los microorganismos se reproducen más fácilmente en este entorno (pág. 32). Su eficacia en la eliminación de materia orgánica y partículas sedimentables oscila entre el 40% y el 70%.

La tecnología empieza a operar cuando el agua se desplaza de la zona alta a la baja en el manto de lodo, llevando a cabo las tareas de digestión anaerobia, filtro biológico y decantación de todos lodos en una unidad (Rojas D, 2020).

d) Tratamiento terciario

La eliminación de fosforo y nitrógeno es el propósito principal del tratamiento terciario o avanzado, pero también incluye la desinfección y erradicación de sustancias contaminantes y tóxicas específicas. Usualmente se emplea cuando es necesario un efluente final con un alto grado de pulido y valores muy bajos de DBO y SS (Romero & Campos, 2020).

Las tecnologías que se utilizan, según Arora et al. (2020), son las siguientes:

- **Desinfección:** Se emplea un método de oxidación química para eliminar los microorganismos patógenos que tienen el potencial de amenazar la salud de los seres vivos. Para culminar, el tratamiento tiene lugar cuando el agua depurada va a estar en contacto con los habitantes.
- **Osmosis inversa:** Se emplea cuando el efluente se instala en una membrana idonea; después, el fluido con menos contaminantes pasa a través de esa membrana. Finalmente, después de esta separación, el agua purificada permanece en un compartimiento y los contaminantes disueltos se encuentran en el otro.

- **Electrodiálisis:** En la última fase de un tratamiento de aguas servidas, se realiza el procedimiento de eliminar componentes inorgánicos como el fósforo y el nitrógeno de los efluentes.
- **Adsorción:** La meta de este procedimiento es eliminar los olores y sabores del agua servida a través del uso de carbón activado; la técnica consiste en quitar las moléculas e iones que se encuentran en los desechos líquidos.

2.2.4. Biofiltro o lombrifiltro

Es un sistema biológico que se emplea como tratamiento terciario o secundario de aguas servidas y cuya función es purificar dichas aguas mediante procedimientos naturales. Esta tecnología de filtración en múltiples etapas incluye un biofiltro tradicional, que puede estar formado por estratos de filtrado, humedales artificiales, lombrices y microorganismos asociados (Umasi, 2020).

La tecnología surgió como una solución para el tratamiento de aguas residuales a un costo bajo, en pequeña o mediana escala; los costos relacionados con la implementación, operación y mantenimiento son más bajos que los de otros tipos de depuración. Por lo tanto, es una opción viable en poblaciones rurales. Asimismo, su mecanismo de acción no es muy complicado, lo que implica que los requisitos para formar a los trabajadores no son excesivos, y la escasa necesidad de espacios amplios facilita su aplicación y empleo descentralizado (Loro, 2018).

La idea es incorporar el afluente en la parte de arriba del filtro, que, por medio de la gravedad, empieza a desplazarse por las diferentes

capas. El material orgánico queda atrapada en la capa superficial y es descompuesta por las lombrices, que la digieren hasta transformarla en humus (Román, 2020).

El biofiltro es tecnológico porque involucra varios fenómenos bioquímicos y microbiológicos que ocurren cuando se fermenta la comida de las lombrices usando materiales orgánicos. Asimismo, tiene un enfoque ecológico ya que recicla diversos sustratos usados para su alimentación (desechos industriales, excreta bovina, basura orgánica). También representa una respuesta lógica, económica y simple al problema ambiental (Umasi, 2020).

Eisenia foetida, es conocida como lombriz roja californiana

La *E. foetida* es una lombriz extremadamente prolífica, muy activa, trabajadora y resistente al estrés, quizás como ninguna otra. Se ha conseguido que trabaje en densidades de 60.000 a 70.000 lombrices por m², un número que no puede soportar ninguna otra especie de lombriz salvaje (Cartagena, 2021).

La lombriz californiana, que tiene una estructura biológica sencilla, está compuesta por agua en un 80% a 90% de su peso total. Muestra colores que abarcan desde el negro, blanco, marrón, rojo y los tonos rosados; esta diversidad se debe a la apariencia de pigmentos como la protoporfirina y el éster metílico, que le otorgan protección contra la radiación ultravioleta. Además, cabe mencionar que suelen vivir unos 15 años en condiciones de cautiverio, llegan a la adultez entre los 7 y 9 meses, pueden alcanzar un tamaño de hasta 10 cm de largo y pesar entre 0.25 y 1.5 gramos (Umasi, 2020).

Las lombrices pueden alimentarse de cualquier clase de materia orgánica, procesan la cantidad semejante a su propio peso. De esta, el 80% se expulsa como humus y el 20% se utiliza para su sustento. Por lo tanto, la población de estos dependerá del volumen de material orgánico existente en el agua (Bolaños, Cordero y Segura, 2017).

Las lombrices rojas californianas, así como las *E. foetida*, se alimentan de la materia orgánica que contienen los afluentes residuales y lo convierten en un nutriente para el suelo agrícola (el humus de lombriz). Según lo que se concluyó en las investigaciones, la especie de lombriz *E. foetida* es la más apta para experimentos, ya que produce una disminución más significativa de DQO (86.53%) y de DBO (87.16%) en comparación con las especies de lombrices *Perionyx excavatus* y *Peruonix sansibaricus*. Se sugiere que la densidad de las lombrices sea de 10.000 por cada metro cúbico de lombrifiltro, conforme a investigaciones anteriores realizadas en el laboratorio. Teniendo en cuenta esta densidad y que la cantidad de lombrices no varía con la profundidad, sino con el área, ya que estas se mantienen en la superficie buscando oxígeno. Las lombrices viven dentro de un rango adecuado, con condiciones adversas que pueden provocar su muerte. Un nivel óptimo para ellas es a una temperatura entre 15 y 24 °C, con una humedad del 70 al 80 %, pH de 6.0 a 8.0, CE de 4.0 a 23 mmhos/cm y porcentaje proteico del 7.6 al 13%. El número total de lombrices varía según la cantidad de comida disponible. Los residuos orgánicos, sean vegetales o animales, pueden ser utilizado como materia prima en la alimentación que ingieren a diario, que equivale a su peso (Mitma, 2017).

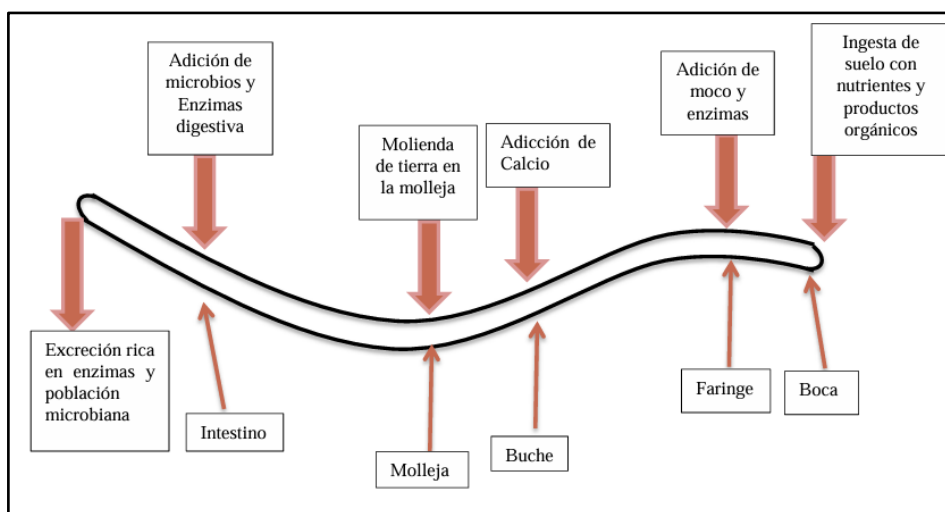
El desarrollo de un balance de masas que considera lo siguiente: la cantidad de materia orgánica que son capaces de procesar, el número de lombrices por área y la máxima tasa de riego que el lecho puede soportar para sortear la muerte de las lombrices a causa de escasez de oxígeno ($1\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$) es la base del diseño del lombrifiltro. Asimismo, según Quille (2017), se puede estimar el área requerida (A) para el tratamiento una vez que se ha determinado la tasa de riego (T_{Riego}) y se ha conocido el caudal de diseño (Q):

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

Asimismo, indica que el material orgánico presente en las aguas servidas se transforma en masa corporal de lombrices y en humus de lombriz. Por lo tanto, es factible eliminar los excedentes de humus regularmente y de esta manera volver a establecer la estratigrafía original del biofiltro. Este tiene el potencial de ser utilizado como un excelente fertilizante agrícola, el cual no perjudica ni quema a las plantas, incluso si se usa en exceso, a diferencia de los fertilizantes químicos (Quille, 2017).

2.2.5. Contribución de la lombriz en el proceso de tratamiento

Después, se describe la función que tiene la lombriz en el proceso de filtración para reducir la materia orgánica y regular patógenos, así como se analizan el pH y la temperatura.

Figura 2***Digestión de la lombriz***

Nota. Obtenido de (Singh *et al.*, 2017)

a) Remoción de materia orgánica

La descomposición microbiana y la actividad de madriguera de las lombrices son los dos elementos esenciales para que el vermifiltro tenga éxito. Lo primero permite que el sistema se ventile de forma pasiva y la conductividad hidráulica en medios filtrantes mejore, lo que optimiza el procesamiento de tratamiento (Singh *et al.*, 2017). Se puede ver lo 2do en la ingestión, donde las lombrices ingieren todas las partículas suspendidas que están incrustadas en el sustrato filtrante y las expulsan como partículas finas que tienen una superficie específica más amplia y una mayor habilidad de absorción. Esto aumenta la biodisponibilidad para los microorganismos. Según Arora & Kazmi (2015), el ifiltro es más efectivo que el geofiltro debido a la asociación simbiótica entre microorganismos y lombrices. En esta, las lombrices descomponen y homogeneizan el componente por medio de movimientos musculares intestinales, mientras que los primeros realizan la degradación bioquímica

del material residual. A este proceso se le suma un líquido pegajoso llamado "moco", que contiene varias enzimas que ayudan a mineralizar los contaminantes en las aguas servidas y promueven la actividad microbiana (Samal et al., 2018).

En relación con el moco, Guzmán (2024) afirma que este está formado por glucoproteínas, aminoácidos y pequeñas moléculas de tipo proteico y glucosídico que colaboran en mantener una apropiada relación C/N para optimizar las funciones bioquímicas del sistema. Asimismo, afirma que las lombrices convierten los elementos orgánicos insolubles en solubles, lo que favorece la descomposición de los materiales orgánicos por parte de organismos.

El nitrógeno amoniacal se elimina a través de la rápida adsorción en los medios filtrantes y, seguidamente, se transforma en nitrato por medio de la nitrificación biológica. También el amoníaco produce una toxicidad mínima en la vivencia de las lombrices del filtro (Sheng et al., 2009).

Singh et al. (2017) sostiene, además, que la incorporación de lombrices en el lecho filtrante produce un aumento en la población microbiana del vermifiltro. Esto ocurre porque las lombrices tienen millones de flora microbiana en su intestino y la excretan como tierra fertilizada con una cantidad significativa de bacterias.

En cambio, el producto final de vermicompuesto (humus) que se encuentra en la parte más alta del vermifiltro marrón presenta un alto porcentaje de nitrógeno y fósforo. Este puede utilizarse para rehabilitar

tierras infértiles mediante el acondicionamiento del suelo (Kumar et al., 2015).

b) Control de patógenos

Largo (2022) realizó un estudio y llegó a la conclusión de que las lombrices tienen la capacidad de ingerir microbios ineficientes y perjudiciales presentes en el agua servida, además de contribuir con la eliminación de los patógenos. Por otra parte, Arora et al. (2014) reportan que los fluidos celómicos que las lombrices expulsan de su cavidad corporal (el celoma) poseen propiedades antibacterianas y reducen patógenos en los residuos; adicionalmente, ciertas cepas microbianas tienen una actividad antibacteriana más fuerte. Según sus experimentos, la eliminación logarítmica de Salmonella y E. coli fue considerablemente más alta en el efluente del vermifiltro que en el del geofiltro. En lo que se refiere a los microorganismos beneficiosos, estos investigadores descubrieron que el vermifiltro contenía 26 especies bacterianas aisladas, mientras que el geofiltro tenía un total de 11 especies bacterianas aisladas e identificadas. Esto pone de manifiesto que el vermifiltro exhibió una población microbiana más amplia y diversa, debido al contenido de lombrices que promueven el desarrollo de organismos beneficiosos. Arora (2020), por otro lado, indica que la efectividad para eliminar patógenos aumenta conforme la temperatura se eleva.

c) Temperatura, pH y Humedad

La lombriz E. Foetida o roja californiana tiene un intervalo de temperatura ideal entre 15 y 30 °C. La mejor temperatura para reproducirse es de 15 a 20 °C; por su parte, la temperatura ideal para

crecer al máximo y procesar residuos es de 25 a 27 °C (Arora et al., 2014). Los mismos autores llevaron a cabo una investigación en laboratorio sobre la temperatura del vermifiltro durante las distintas estaciones, indicó que la eliminación de DBO y DQO se presentó un poco más elevada en primavera, pero que la temperatura del medio filtrante, a 10-15 cm por debajo de la superficie, se situaba generalmente entre 20.0 y 35.8 °C, a pesar de que la temperatura del entorno fuera inferior. Cardoso y colaboradores (2020) indican, por su parte, que las temperaturas a las cuales el sistema opera de manera normal varían entre 3 y 40°C. Esto es resultado de los procesos internos del sistema, como la digestión de las bacterias. Hallaron en sus experimentos que, aunque las temperaturas del medio ambiente eran bajas, el agua servida cruda y el interior del filtro tenían temperaturas de aproximadamente 10 a 15°C. Esto señala que la temperatura del material del filtro puede ser superior al ambiente. De acuerdo con Singh, Samal, Roshan y Bhunia (2019). Esto se puede deber a que los medios filtrantes tienen la capacidad de resistir los cambios de temperatura, lo que permite su empleo en climas diversos (Cayoja & Ballester, 2021).

Las lombrices pueden neutralizar el pH de las aguas servidas casi por completo, y durante su procesamiento hay muy poco o ningún problema de malos olores (Singh et al., 2019). Según Arora y Kazmi (2015), las transformaciones en el pH pueden ser causadas por una disminución de la concentración de amoníaco, que es un material alcalino, y por un incremento paulatino de nitrato, que es una sustancia ácida, en

las aguas residuales durante la vermifiltración; este proceso tiene lugar a aproximadamente 7.3 ± 0.2 .

La humedad del lecho filtrante tiene un impacto en la expansión de la lombriz porque su cuerpo está compuesto por cerca del 80% de agua, que es el nivel ideal para el crecimiento y la actividad de este organismo en el lombrifiltro (Velasco, 2015).

2.2.6. Medio filtrante de los biofiltros

Cuando se eligen los medios de filtrado, es necesario considerar la permeabilidad hidráulica y el potencial de adsorción del medio específico. Una mala tasa hidráulica puede causar que el sistema se bloquee e inunde. Entre los materiales utilizados están el aserrín y otros con distintos tamaños de grano (Singh et al., 2017).

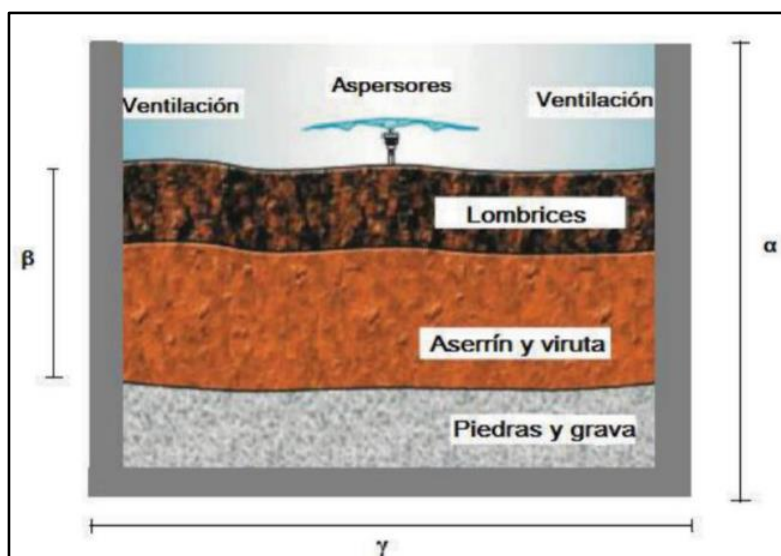
Dado que las lombrices son una especie epigea y prefieren vivir cerca de la superficie, el incremento en la altura del lecho puede dar lugar a condiciones anaeróbicas en la parte inferior. Esto se traduce en ingestión y digestión fundición, capturando y consumiendo sólidos como alimento. Mayor ventilación Aumento de la superficie terrestre mezclada con moco, enzimas y microorganismos. Incremento de la degradación bacteriana de los contaminantes. Contaminado afluente Túneles (excavación) Agregar enzimas digestivas, moco y flora bacteriana Lecho filtrante Lombrices Vermicompuesto Mayor capacidad de absorción del material del lecho Eliminación de sólidos Fijación de nutrientes Mineralización Nitrificación Incremento de biomasa Supresión de sustancias orgánicas Oxidación orgánica Efluente procesado. La

actividad y el crecimiento de las lombrices (Singh et al., 2017) tienen un impacto en la representación del mecanismo de vermifiltración.

Un estudio de Xing et al. (2010) que compara las condiciones anaerobias y aerobias del vermifiltro con el sistema de geofiltro encontró que existe una predominancia de microorganismos aerobios cuando la relación es superior a 1,00. En el geofiltro, esta relación disminuyó de 1.13 a 0.67 a medida que se profundizaba, lo que indica que los microorganismos anaerobios eran dominantes en el fondo; no obstante, en el filtro siempre fue mayor a 1.00, alcanzando su valor máximo (1.46) a una profundidad de 12 cm. Según sus experimentos, Arora y Kazmi (2015) sostienen que las lombrices viven a profundidades de 15-25 cm.

Además, según Rojas (2021), este sistema está formado por tres capas construidas con distintos materiales. La parte superior está constituida por una multitud de microorganismos y lombrices que habitan en un lecho de viruta y aserrín, el cual representa el ambiente donde estos seres se desarrollan. Estos seres son responsables de dividir la materia orgánica, lo que elimina el contaminante más importante del agua. Luego se coloca la capa de grava y, por último, una tercera capa compuesta por piedras de mayor tamaño. Las estratas formadas por rocas proporcionan soporte y aireación del sistema, garantizando su capacidad para ser permeable. La figura 6 muestra el modelo del lombrifiltro. Sobre el lombrifiltro se rocía agua residual, que luego atraviesa el lecho con las lombrices. El efluente se descarga por gravedad, y el producto resultante es claro y no contiene materia orgánica.

Figura 3

Medio filtrante del biofiltro de lombrices

Nota. Obtenido de (Singh et al., 2017)

Wang et al. (2014) indica el orden en que se colocan las capas de filtrado en el lombrifiltro y sus especificaciones correspondientes: α es la altura total del lombrifiltro y sus especificaciones correspondientes: α es la altura total del lombrifiltro, β corresponde a la altura del lecho (es decir, viruta, aserrín y lombrices que ocupan el 56% de la altura total del lombrifiltro), y γ es la longitud del filtro.

2.3. Marco conceptual

- a) **Aguas residuales domesticas-.** Son aguas residuales domésticas producidas en bañeras, duchas, lavaderos, lavamanos y otras fuentes, con la excepción de las aguas negras. Representan una porción significativa de las aguas servidas, que constituyen entre el 50 y el 60 % del total de aguas servidas que se desechan en la vivienda (Rojas, 2020).
- b) **Contaminantes orgánicos-.** Son compuestos o agentes que modifican la estructura y composición de materiales de tipo orgánico, tales como madera, cuero, papel, restos de animales o vegetales y otras sustancias que tienen carbono en su estructura (Kumar & Ghosh, 2019).



- a) **Lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*)**-. Las lombrices rojas de California, conocidas también como *Eisenia foetida*, transforman la materia orgánica proveniente de los afluentes residuales para convertirla en un nutriente del suelo agrícola denominado humus de lombriz (Mitma, 2017).
- b) **Lombrifiltro**-. Este sistema se compone de varias capas filtrantes y lombrices (*E. foetida*) y recibe el agua residual que necesita tratamiento, la cual pasa por los lechos filtrantes. El material orgánico queda aislada y es consumida después por las lombrices (Cartagena, 2021).
- c) **Eficiencia de tratamiento**-. La correlación entre la cantidad o masa eliminada y la que se aplica sobre un parámetro específico, en una planta o proceso de tratamiento. Se puede expresar en decimales o como porcentaje (Kumar y Ghosh, 2019).
- d) **Límite máximo permisible**-. Establece el grado de contenido de componentes, sustancias y parámetros químicos, físicos y biológicos que están existentes en las emisiones liberadas al medioambiente; si estos niveles son excesivos, pueden causar daños a la salud pública y al ambiente (ANA, 2016).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de la investigación

Es EXPERIMENTAL, porque el investigador generara una situación para tratar de analizar sobre su afección hacia quien participa en ella (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.2. Tipo de la investigación

La investigación es de tipo aplicado porque sus aportaciones están destinadas a aclarar la comprensión indicada sobre un asunto real relacionado con el control de una disciplina en particular (Hernández y Fernández, 2018).

3.3. Enfoque de la investigación

A razón de que aplicara la estadística y se analizarán eventos medibles, la investigación será de un enfoque CUANTITATIVO (Hernandez & Fernandez, 2018).

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

Una población consiste en un grupo de sujetos, objetos y más, que presentan una serie de características comunes (Hernandez & Fernandez, 2018).

La población en estudio estuvo compuesta por las aguas residuales provenientes de la ciudad de Asillo.

3.4.2. Muestra

De acuerdo con Córdova (2018), la muestra es “una parte de una población que se considera representativa de ella”.

La muestra analizada fue de 51 litros de aguas residuales de la ciudad de Asillo, y se empleó un muestreo no probabilístico intencional del investigador.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

- ✓ Muestreo de agua contaminada
- ✓ Análisis de la carga orgánica

3.5.2. Instrumentos

- Cadena de Custodia del muestreo de agua contaminada
- Certificado de análisis de la carga orgánica

3.6. Materiales y equipos

a) Materiales

- ✓ Catastro de la ciudad de Asillo
- ✓ Materiales de escritorio
- ✓ Cuaderno de apuntes
- ✓ Cooler

b) Equipos

- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Laptop

3.7. Ubicación de la zona en estudio

La región que se examina es la laguna facultativa, en la que se vierten las aguas residuales con un caudal promedio de 1.2 L/s. Estas aguas son de Asillo, una ciudad ubicada en la provincia de Azángaro, dentro del departamento de Puno. Se halla a una altitud de 3882 msnm y sus coordenadas geográficas son: latitud 14°47'26.01" S y longitud 70°21'32.19" O.

3.8. Procedimiento metodológico**3.8.1. Evaluar el estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo**

Para cumplir con el objetivo presente, se realizó una búsqueda de información al principio a través de visitar la entidad encargada del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en Asillo. Esto fue para entender su capacidad operativa y funcional, que en este caso es la municipalidad de Asillo; donde se pidió el expediente técnico para averiguar las propiedades del sistema actual.

Después se llevó a cabo una visita al terreno de la planta de tratamiento; para realizar el recorrido y conocer la situación actual de la operación y funcionamiento; evaluando las estructuras, si se hallan deterioradas, obsoletas con fisuras, dimensionando de los componentes, caudal de fujo, entre otros datos adicionales consideradas necesarias.

También se calculó la eficacia de eliminación actual de contaminantes orgánicos (DQO, DBO5, fosfatos y nitratos) en la planta de tratamiento de aguas residuales en Asillo, "Considerando el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales o domésticas" (MVCS, 2014), que establece que para estimar la eficacia con la que una planta elimina contaminantes, se deben establecer dos puntos de muestreo: uno en el afluente (ingreso) y otro en el efluente (salida) de dicha planta.

Consideraciones para la toma de muestra-. El punto de monitoreo inicial (afluente), que se encuentra al inicio de la PTAR, debería estar situado en un sitio que impida, preferentemente, la interferencia de sólidos. Por esta razón, se aconseja ubicar este punto normalmente después de la cámara de rejillas. En relación al monitoreo final, el mismo debe estar situado en la salida de la PTAR (efluente), esto es, en el último buzón de salida, u otra estructura que cumpla como estructura de evacuación.

Además, según lo estipulado en el "Protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de las plantas tratadoras de aguas residuales domésticas o municipales" de la RM. De acuerdo con el MVCS (2014), se realizó la recolección de la muestra entre las 10:00 y las 11:00 horas durante el período seco para evitar que el sistema de carbonatos se descompense debido a una actividad fotosintética excesiva en momentos de mayor radiación solar.

Toma de muestra-. El punto de monitoreo inicial (afluente), que se encuentra al inicio de la PTAR, debería estar situado en un sitio que

impida, preferentemente, la interferencia de sólidos. Por esta razón, se aconseja ubicar este punto normalmente después de la cámara de rejillas. En relación al monitoreo final, el mismo debe estar situado en la salida de la PTAR (efluente), esto es, en el último buzón de salida, u otra estructura que cumpla como estructura de drenaje.

Los puntos en los que se tomaron las muestras de agua residual deben tener las siguientes peculiaridades:

Posibilitar que la muestra represente el flujo

Estar situados en un lugar con una mezcla más óptima y, preferiblemente, cerca de la ubicación del aforo

Si hay agua de recirculación, el punto de muestreo para medir el afluente debe estar antes del ingreso de esta.

Deberá ser de fácil acceso y seguro, evitando senderos escarpados, con piedras, vegetación densa o barro.

Para su identificación, será necesario que tengan una etiqueta en la que se incluya el nombre del punto de monitoreo.

Conservación de muestras. Las muestras obtenidas del afluente y del efluente se mantuvieron en cajas térmicas (cooler), protegidas de la luz solar y con suficiente espacio para el elemento refrigerante hasta que fueran llevadas al laboratorio de la EPISA.

Parámetros a evaluar -. Con respecto a los parámetros a evaluar en el afluente de la PTAR; fue principalmente los contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, nitratos, fosfatos) analizada ex situ en el laboratorio y parámetros complementarios como él (pH, conductividad eléctrica).

Estos parámetros se examinaron, tal como ya se ha indicado, en el afluente y efluente de la PTAR de Asillo, utilizando muestras simples (muestras tomadas al momento) en ambos casos.

Determinación de la eficiencia de la PTAR -. Después de determinar las concentraciones del afluente y el efluente de los contaminantes orgánicos (DQO, DBO5, nitratos y fosfatos), se utilizó la siguiente fórmula para calcular la eficacia con que la planta elimina dichos elementos:

$$E=(Co-Ci)/Co*100$$

Donde:

E: Eficiencia de la PTAR

C: Cantidad de Carga contaminante de salida

Co: Cantidad de Carga contaminante de entrada

Dichos parámetros serán comparados con los LMP de efluentes de PTAR del D.S N° 003-2010-MINAM (2010)

3.8.2. Determinar la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025

Después se determinó que la temperatura del sustrato del biofiltro de lombrices (E. foetida) influye en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales de Asillo, como DBO5, fosfatos, nitratos y DQO; este procedimiento se realizó utilizando el siguiente método:

Construcción del biofiltro-. Se utilizaron dos sistemas de tratamiento (biofiltro) con flujo constante, que contaban con un tanque

para abastecer a estos sistemas con agua residual, así mismo se introdujeron; en el primer sistema, la Especie *E. foetida*, y en el segundo sistema sin presencia de especies biológicas (ningún organismo).

Cantidad de lombrices dispuestas al biofiltro-. Según la Guía de lumbricultura (2014), para garantizar el aumento y la supervivencia de 10 kg de lombriz en un área de 1m²; por lo que, para este estudio, se llevó a cabo una regla de tres con el objetivo de determinar la dosis aconsejada para la especie *E. foetida* en el biofiltro, siendo 500gr aproximadamente.

Determinación de la tasa máxima de riego-. La tasa máxima de riego será de 1 m³/m²/día, siendo el mayor volumen de flujo que puede tolerar el filtro para impedir la muerte de las lombrices por falta de oxígeno (Acuña & Reyes, 2017), por ende, en el presente estudio se garantizó que la tasa máxima de riego del biofiltro no sea mayor al valor:

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

Donde:

T_{Riego} : Tasa de riego

Q: Caudal

A: Área

Reemplazando:

$$T_{\text{Riego}} = \frac{0.1}{0.1125} \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$T_{\text{Riego}} = 0.89 \leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

Se ha observado un índice de riego de 0.89 m³/m²/día, inferior a 1m³/m²/día; por ende, se puede afirmar que este caudal no causará la muerte de las lombrices.

Dimensionamiento del biofiltro-. Se han previsto dos estructuras de vidrio con cuatro separaciones para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Asillo; según lo recomienda Acuña & Reyes (2017), en el cual las dimensiones de la estructura serán las siguientes: la primera capa contendrá materiales biológicos pertenecientes a la especie *E. foetida*, mientras que la segunda estructura no contendrá ninguna especie de lombriz; en la segunda capa se añadirá aserrín para que sirva de alimento y soporte a las lombrices, y esta capa estuvo separada de las otras por una malla para evitar que las lombrices migren a otros sustratos; la tercera capa consistió en grava, y la cuarta capa consistió en piedra de río ya limpia; las dos estructuras tendrán también dos tubos de ventilación para el suministro de aire, así como un orificio de salida que dirija el agua tratada a un recipiente donde se recogió para su análisis correspondiente.

Estabilización de los biofiltros-. La estabilización se refiere a que los microorganismos se desarrollen, adhieran e incorporen en los sustratos del material filtrante, para la mejora de la eficiencia de tratamiento (Sudipti et al., 2020); ante ello se estabilizó los biofiltros con la incorporación de aguas residuales durante un lapso de un mes para garantizar el desarrollo de microorganismos y con ello tener una mejor efectividad de eliminación de contaminantes orgánicos (DBO₅, DQO, nitratos, fosfatos).

Adaptación de la especie *E. foetida*-. Con el fin de asegurar que el proceso para tratar las aguas residuales tuviera éxito, las lombrices de la especie *Eisenia foetida* se adecuaron antes de comenzar la experimentación; esto se debe a que las lombrices son especialmente

delicadas a los cambios en su hábitat y, lo que es más importante, ya que entrarán en contacto con los contaminantes existentes en las aguas residuales (Al Ghamdi, 2023), por esta razón, el sustrato estuvo listo para que las lombrices se multipliquen; adicionalmente, se rociaron aguas residuales sobre él, todos los días; además, se realizó una prueba de humedad con el tamaño de un puño para comprobar el contenido de humedad, que es uno de los elementos esenciales para estimar la capacidad de supervivencia de la especie *E. foetida* (Acuña & Reyes, 2017); tras los últimos siete días de adaptación, se pesaron las lombrices para determinar su peso preciso para la supervivencia en el biofiltro antes de continuar con el desarrollo experimental.

Preparación del Tratamiento-. Para el proceso experimental se vertió agua residual en 3 momentos durante el día; caracterizadas por su temperatura; a las 5:00 horas, 10:00 horas 13:00 horas, 16:00 horas y 19:00 horas, tomando la temperatura en el sustrato del material biológico, durante un periodo de tres días (lunes, miércoles y viernes); para ambos sistemas.

Finalmente, y utilizando la estadística de ANOVA (análisis de varianza), se determinó con precisión cómo la temperatura del sustrato del biofiltro de la especie *E. foetida* afecta la eliminación de contaminantes orgánicos (DQO, DBO5, nitratos y fosfatos) en las aguas residuales de Asillo.

3.8.3. Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie *Eisenia foetida* de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025

Finalmente, luego se determinó el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, nitratos, fosfatos) tomando en consideración la ecuación descrita por Saboya (2021), estableciendo la concentración inicial (antes de pasar por el biofiltro) y la concentración final (después de pasar por el biofiltro); de las diferentes variables en estudio (Temperatura del sustrato a diferentes días del monitoreo).

$$\% \text{ remotion} = (C_i - C_f) / C_i * 100$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

Igualmente, las concentraciones finales fueron comparados con los LMP y con los estándares de calidad ambiental (ECA), y con ello conocer si son aptas para el vertimiento hacia el cuerpo receptor.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Evaluar el estado situacional de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo

a) Estado situacional del sistema actual de tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento hoy en día es bastante sencillo. Los sólidos sedimentables no permiten la digestión anaeróbica, pues, debido a su estado actual, los tanques de tratamiento no tienen una altura óptima y no utilizan correctamente la gravedad.

Asimismo, no hay un filtro biológico que pueda soportar de manera efectiva la biomasa activa que se adhiere a él y a los sólidos suspendidos en el filtro.

Las cámaras de rejillas, se encuentran deterioradas y rotas en algunas partes, no cumpliendo su condición de pre tratamiento.

Cabe recalcar que inicialmente se construyeron dos lagunas facultativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el año 2000, se concluyó la edificación de la planta de tratamiento de aguas residuales actual, situada en las afueras de la ciudad, a 70 metros del río Asillo, así mismo referido a la PTAR se encontró fisuras en el concreto, fierros corroídos, con filtraciones en la caja de válvulas.

De igual forma la laguna facultativa de la ciudad de Asillo ha enfrentado problemas de contaminación y deficiencias en su funcionamiento durante varios años. En temporadas de lluvia, la infraestructura tiende a colapsar, lo que provoca que las aguas residuales ingresen al río Asillo, afectando a las comunidades cercanas; además la disposición de los elementos de la PTAR se ilustra.

Las evaluaciones efectuadas por la municipalidad han evidenciado que el sistema de tratamiento vigente no satisface los estándares fisicoquímicos y microbiológicos que se encuentran en los Límites Máximos Permitidos (LMP) y en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

De igual forma se ha detectado que las aguas residuales de las viviendas que entran al río Asillo, especialmente desde las lagunas facultativas del distrito, contribuyen significativamente a la contaminación del río.

En específico las lagunas facultativas de Asillo presenta deficiencias en su funcionamiento que resultan en la contaminación del río Asillo, afectando el medio ambiente y la salud pública. Se han propuesto mejoras

en la infraestructura y en los procesos de tratamiento para abordar estos problemas y cumplir con los estándares ambientales establecidos.

Debido en gran medida a la insuficiencia de la infraestructura que posee cada componente, las instalaciones de la PTAR no funcionan adecuadamente. Por lo tanto, el sistema actual tiene un conjunto de deficiencias, como las siguientes:

- Retención de Sólidos.
- Generación de olores desagradables
- No Retiene sólidos gruesos de gran tamaño.
- No retiene sólidos finos adecuadamente
- Generación de vectores como moscas y roedores

b) Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos

La tabla 2 muestra la cantidad de contaminantes orgánicos en el afluente de la PTAR de Asillo. En ella, se señala que la conductividad eléctrica es de 411.83mS/cm y el pH es 7.23; además, la temperatura es de 15.09°C. La demanda biológica de oxígeno tiene una concentración de 162.65 mg/L, al igual que la química, cuyo nivel es de 431.51 mg/L; también se indica que los nitratos tienen una concentración de 133.00 mg/L y los fosfatos, por último, poseen un nivel de 4.43 mg/L respectivamente.

Tabla 2*Concentración de contaminantes orgánicos en el afluente de la PTAR*

Parámetros	unidad	Resultados
pH	und.	7.23
Conductividad eléctrica	mS/cm	411.83
Temperatura	°C	15.09
DBO ₅	mg/L	162.65
DQO	mg/L	431.51
Nitratos	mg/L	133.00
Fosfatos	mg/L	4.43

La tabla 3 muestra la cantidad de contaminantes orgánicos en el efluente de la PTAR de Asillo, revelando que el pH es de 7.75 y que la conductividad eléctrica es de 518.16 mS/cm, además de una temperatura de 15.13 °C. La cantidad demandada biológicamente de oxígeno asciende a 70.47 mg/L, mientras que la demanda química del mismo elemento se sitúa en 191.02 mg/L; la concentración de nitratos es también notable al ser de 111.75 mg/L, y por último los fosfatos tienen un nivel equivalente a 3.53 mg/L, indicando además que la concentración de los parámetros: DBO₅, DQO no superan el rango permitido por el LMP (100mg/L y 200mg/L) mientras que para el ECA (3mg/L y 10mg/L) para la categoría uso poblacional y recreación si la superan.

Tabla 3*Concentración de contaminantes orgánicos en el efluente de la PTAR*

Parámetros	unidad	Resultados
pH	und.	7.75
Conductividad eléctrica	mS/cm	518.16
Temperatura	°C	15.13
DBO5	mg/L	70.47
DQO	mg/L	191.02
Nitratos	mg/L	111.75
Fosfatos	mg/L	3.53

4.1.2. Determinar la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Asillo, 2025

a) Influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos

La tabla 4, se visualiza la temperatura promedio registrada durante 40 días, monitoreándola cada 10 días, indicando que en el tratamiento 1 (biofiltro con la especie *Eisenia foetida*), mostro una temperatura que varía a lo largo del día, alcanzando un mínimo de 6.00°C a las 05:00 horas y un máximo de 18.62°C a las 13:00 horas debido a la radiación solar; mientras que a las 16:00 horas, las temperaturas disminuyen ligeramente a un promedio de 17.57°C y bajando nuevamente a 12.53°C a las 19:00 horas.

Tabla 4

Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR

Temperatura del sustrato - °C				
Hora	Primera fecha	Segunda fecha	Tercera fecha	Promedio
05:00	4.80	4.10	5.10	5.60
10:00	11.25	13.58	14.54	13.69
13:00	15.70	16.23	17.23	16.39
16:00	16.23	18.69	16.25	16.24
19:00	11.25	10.63	10.53	11.18

b) Remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación.

En la tabla 9, se evidencia la remoción de contaminantes orgánicos mediante el biofiltro con la especie *Eisenia foetida*, indicando que a la 05:00 horas, con una temperatura de 11.30 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 27.00 y 74.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} tienen valores de 63.50 y 1.35 mg/L, respectivamente; a las 10:00 horas, con una temperatura de 16.20 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 26.50 y 73.00 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 63.40 y 1.38 mg/L; mientras que a las 13:00 horas, presento una temperatura de 19.10 °C, donde los valores de DBO5 y DQO varían entre 19.80 y 69.90 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} alcanzan valores de 59.80 y 1.20 mg/L; del mismo modo, a la 16:00 horas, con una temperatura de 17.10 °C, los valores de DBO5 y DQO oscilan entre 23.00 y 71.00 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 60.00 y 1.30 mg/L y finalmente, a las 19:00 horas, con una temperatura de 14.10 °C, los valores de DBO5 y DQO

fluctúan entre 25.20 y 73.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 62.00 y 1.35 mg/L.

Tabla 5

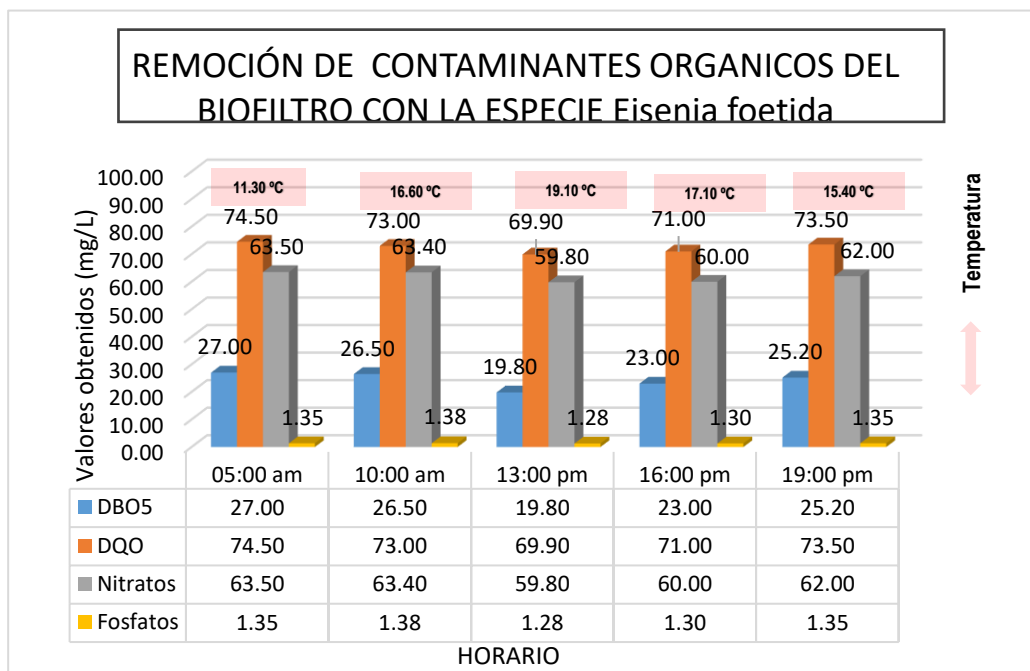
Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie Eisenia foetida en la primera fecha de evaluación.

Parámetros	Und.	LMP/ ECA	Concentración inicial	Primera fecha de evaluación				
				Concentración Final				
				05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
				0	0	0	0	0
Temperatura	°C	<35	15.13	11.3	16.6	19.1	17.1	15.4
DBO ₅	mg/L	100	70.47	27.0	26.5	19.8	23.0	25.2
DQO	mg/L	200	191.02	74.5	73.0	69.9	71.0	73.5
NO_3^-	mg/L	50	111.75	63.5	63.4	59.8	60.0	62.0
PO_4^{3-}	mg/L	01	3.53	1.35	1.38	1.28	1.30	1.35

La figura 15 presenta la eliminación de contaminantes orgánicos del biofiltro con el organismo *Eisenia foetida* en la primera fecha de evaluación, lo que demuestra que las cantidades de contaminantes orgánicos cambian a lo largo de los distintos momentos del día, logrando una remoción favorable a las 13:00 horas, con una temperatura de 19.40 °C los niveles de DBO₅ y DQO oscilan entre 19.80 y 69.90 mg/L; de manera similar, los nitratos alcanzan 59.80 mg/L y los fosfatos se estabilizan en torno a 1.28 mg/L; esto sugiere que, en un biofiltro con lombrices (*Eisenia foetida*), a medida que aumenta la temperatura, mayor es el consumo de materia orgánica presente en el agua, acelerando su descomposición y generando compuestos más biodisponibles para los microorganismos, lo que facilita la remoción de contaminantes en el agua, lo que prueba la eficacia de este tratamiento.

Figura 4

*Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en la primera fecha de evaluación*



En la tabla 6, podemos observar la remoción de contaminantes orgánicos mediante un biofiltro sin la especie *Eisenia foetida*, donde se obtuvieron los siguientes resultados:, a las 05:00 horas, con una temperatura de 11.0 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 44.90 y 97.80 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} tienen valores de 83.00 y 2.55 mg/L, respectivamente; a las 10:00 horas, con una temperatura de 16.20 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 43.90 y 96.80 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 80.30 y 1.90 mg/L; a las 13:00 horas, con una temperatura de 18.40 °C, los valores de DBO5 y DQO varían entre 40.00 y 87.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} alcanzan valores de 80.80 y 1.80 mg/L; del mismo modo, a la 16:00 horas, con una temperatura de 16.30 °C, los valores de DBO5 y DQO oscilan entre 42.50

y 84.80 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 81.00 y 1.85 mg/L y finalmente, a las 19:00 horas, con una temperatura de 14.10 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 44.00 y 88.20 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 83.00 y 1.90 mg/L.

Tabla 6

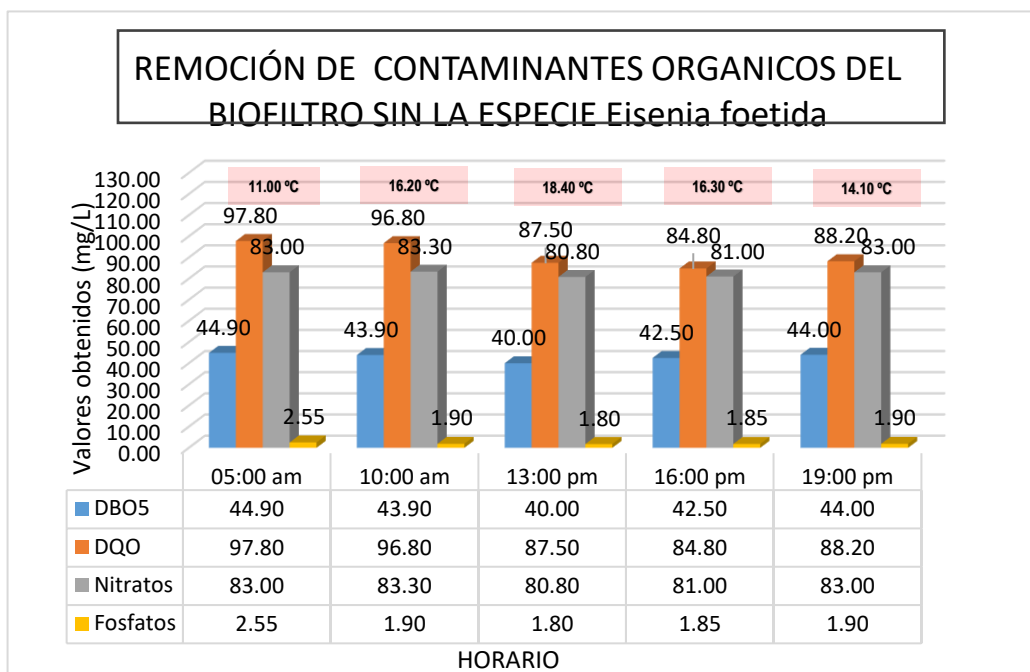
Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie Eisenia foetida en la primera fecha de evaluación.

Primera fecha de evaluación								
Parámetros	Und.	LMP	Concentración inicial	Concentración Final				
				05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
Temperatura	°C	<35	15.13	11.0	16.2	18.4	16.3	14.1
DBO5	mg/L	100	70.47	44.9	43.9	40.0	42.5	44.0
DQO	mg/L	200	191.02	97.8	96.8	87.5	84.8	88.2
NO_3^-	mg/L	50	111.75	83.0	83.3	80.8	81.0	83.0
PO_4^{3-}	mg/L	0.1	3.53	2.55	1.90	1.80	1.85	1.90

La figura 5 ilustra la eliminación de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie *Eisenia foetida* en el primer día de evaluación, lo que señala las temperaturas varían durante los diferentes horarios del día, logrando una remoción favorable a las 13:00 horas con una temperatura de 18.40 °C, en donde los niveles de DBO5 y DQO fluctúan entre 40.00 y 87.50 mg/L; de manera similar, los nitratos alcanzan 80.80 mg/L y los fosfatos se estabilizan en torno a 1.90 mg/L; esto sugiere que, en un biofiltro sin lombrices, los microorganismos responsables de la descomposición siguen realizando un trabajo efectivo en la eliminación de contaminantes orgánicos a medida que la temperatura aumenta

Figura 5

Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie Eisenia foetida en la primera fecha de evaluación.



c) Remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación.

En la tabla 7, se muestra la remoción de contaminantes orgánicos mediante un biofiltro con la especie *Eisenia foetida*, donde se obtuvieron los siguientes resultados: a la 05:00 horas, con una temperatura de 11.80 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 27.50 y 75.30 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} tienen valores de 63.90 y 1.40 mg/L, respectivamente; a las 10:00 horas, con una temperatura de 16.90 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 27.00 y 73.60 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 63.60 y 1.40 mg/L; a las 13:00 horas, con una temperatura de 19.40 °C, los valores de DBO5 y DQO varían entre 20.20 y 70.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} alcanzan valores de 60.20

y 1.32 mg/L; del mismo modo, a las 16:00 horas, con una temperatura de 17.50 °C, los valores de DBO5 y DQO oscilan entre 23.50 y 71.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 60.30 y 1.34 mg/L y finalmente, a las 19:00 horas, con una temperatura de 14.10 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 24.80 y 74.20 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 62.40 y 1.40 mg/L.

Tabla 7

Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie Eisenia foetida en la segunda fecha de evaluación.

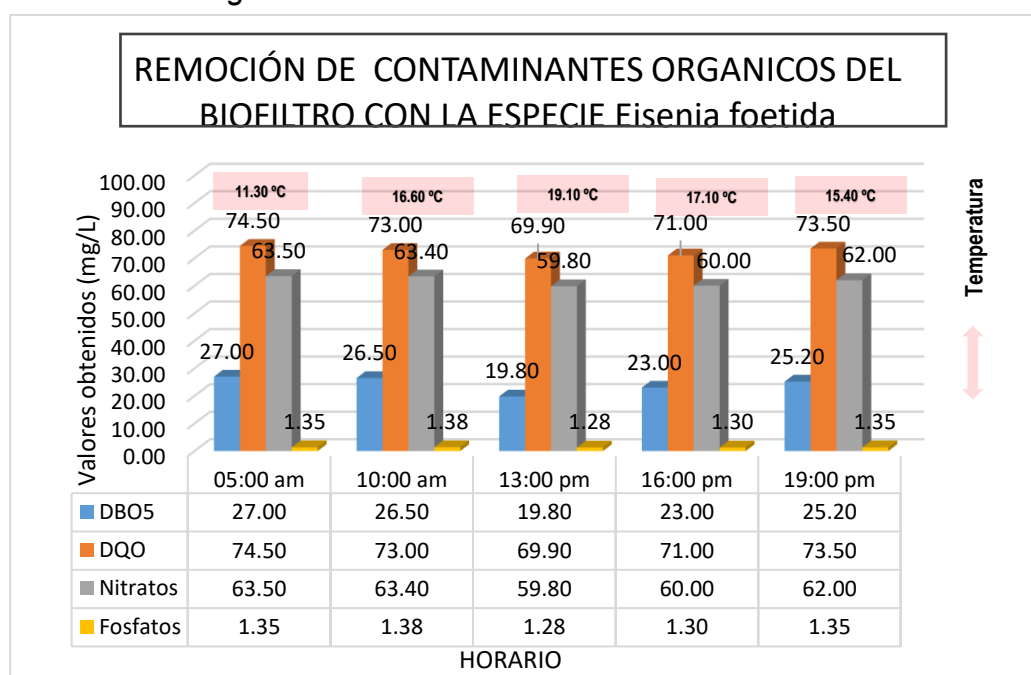
Parámetros	Und.	LMP	Concentración inicial	Segunda fecha de evaluación				
				Concentración Final				
				05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
Temperatura	°C	<35	15.13	16.9	19.4	17.5	15.7	11.8
DBO5	mg/L	100	70.47	27.0	20.2	23.5	24.8	27.5
DQO	mg/L	200	191.02	73.6	70.5	71.5	74.2	75.3
NO_3^-	mg/L	**	111.75	63.6	60.2	60.3	62.4	63.9
PO_4^{3-}	mg/L	**	3.53	1.40	1.32	1.34	1.40	1.40

En la figura 6, se evidencia la remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en la segunda fecha de evaluación, indicando que la remoción varía durante los diferentes horarios del día, logrando una remoción favorable a las 13:00 horas con una temperatura de 19.40 °C los niveles de DBO5 y DQO oscilan entre 20.20 y 70.50 mg/L; de manera similar, los nitratos alcanzan 60.20 mg/L y los fosfatos se estabilizan en torno a 1.32 mg/L; esto sugiere que, en un biofiltro con lombrices (*Eisenia foetida*), a medida que aumenta la temperatura, mayor es el consumo de materia orgánica presente en el

agua, acelerando su descomposición y generando compuestos más biodisponibles para los microorganismos, lo que facilita la filtración de contaminantes presentes en el agua, demostrando así que este tratamiento es efectivo.

Figura 6

*Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en la segunda fecha de evaluación*



En la tabla 8, se observa la remoción de contaminantes orgánicos mediante un biofiltro sin la especie *Eisenia foetida*, donde se obtuvieron los siguientes resultados; a las 05:00 horas, con una temperatura de 11.50 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 45.30 y 97.10 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} tienen valores de 83.50 y 2.60 mg/L, respectivamente; a las 10:00 horas, con una temperatura de 16.50 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 44.50 y 97.10 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 83.70 y 2.60 mg/L; a las 13:00 horas, con una

temperatura de 18.50 °C, los valores de DBO5 y DQO varían entre 40.50 y 88.20 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} alcanzan valores de 81.20 y 1.85 mg/L; del mismo modo, a las 16:00 horas, con una temperatura de 16.60 °C, los valores de DBO5 y DQO oscilan entre 43.00 y 85.30 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 81.40 y 1.90 mg/L y finalmente, a las 19:00 horas, con una temperatura de 14.30 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 44.50 y 88.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 83.40 y 1.90 mg/L.

Tabla 8

*Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie *Eisenia foetida* en la segunda fecha de evaluación.*

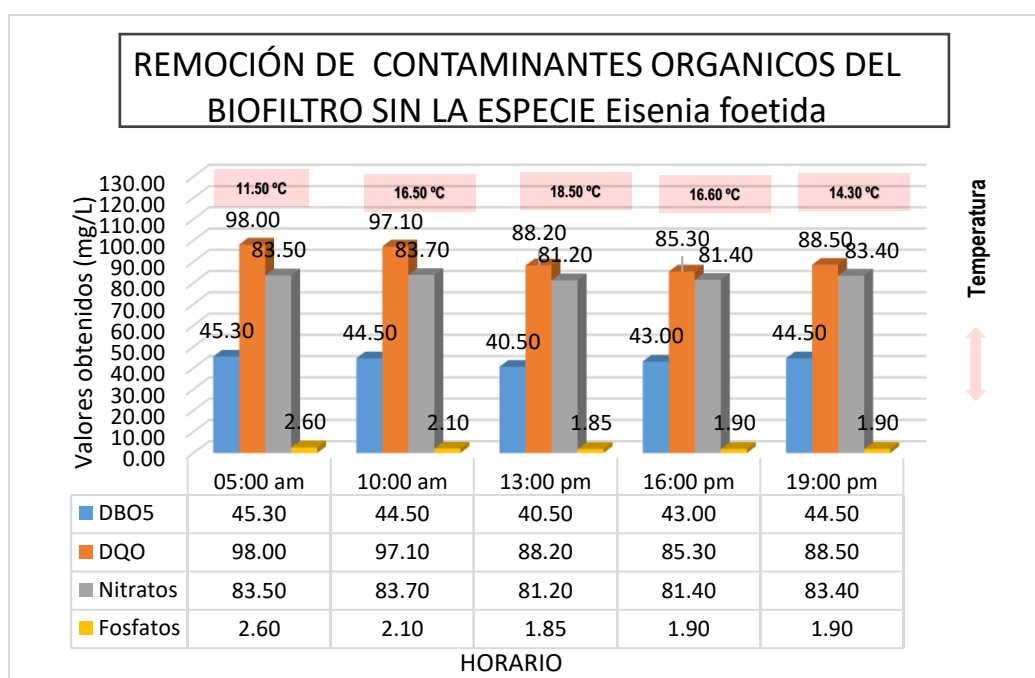
Parámetros	Und.	LMP/ ECA	Concentración inicial	Segunda fecha de evaluación				
				Concentración Final				
				05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
Temperatura	°C	<35	15.13	11.5	16.5	18.5	16.6	14.3
DBO5	mg/L	100	70.47	45.3	44.5	40.5	43.0	44.5
DQO	mg/L	200	191.02	98.0	97.1	88.2	85.3	88.5
NO_3^-	mg/L	50	111.75	83.5	83.7	81.2	81.4	83.4
PO_4^{3-}	mg/L	0.1	3.53	2.60	2.10	1.85	1.90	1.90

En la figura 7, se evidencia la remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie *Eisenia foetida* en la segunda fecha de evaluación, indicando que los valores finales varían durante los diferentes horarios del día, logrando una remoción favorable a las 13:00 horas con una temperatura de 18.50 °C, los niveles de DBO5 y DQO fluctúan entre 40.50 y 88.20 mg/L; de manera similar, los nitratos alcanzan 81.20 mg/L y los fosfatos se estabilizan en torno a 1.90 mg/L; esto sugiere

que, en un biofiltro sin lombrices, los microorganismos responsables de la descomposición siguen realizando un trabajo efectivo en la eliminación de contaminantes orgánicos a medida que la temperatura aumenta

Figura 7

Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie Eisenia foetida en la segunda fecha de evaluación.



d) Remoción de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación.

La eliminación de contaminantes orgánicos a través del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* puede verse en la tabla 9 en donde se obtuvieron los siguientes resultados: a la 05:00 horas, con una temperatura de 11.50 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 27.30 y 4.80 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} tienen valores de 63.50 y 1.45 mg/L, respectivamente; a las 10:00 horas, con una temperatura de

16.80 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 26.80 y 73.20 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 63.70 y 1.38 mg/L; a las 13:00 horas, con una temperatura de 19.20 °C, los valores de DBO5 y DQO varían entre 19.90 y 70.10 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} alcanzan valores de 59.90 y 1.30 mg/L; del mismo modo, a las 16:00 horas, con una temperatura de 17.30 °C, los valores de DBO5 y DQO oscilan entre 23.40 y 71.200 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 60.20 y 1.35 mg/L y finalmente, a las 19:00 horas, con una temperatura de 15.60 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 25.00 y 74.00 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 62.10 y 1.38 mg/L.

Tabla 9

Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie Eisenia foetida en la tercera fecha de evaluación.

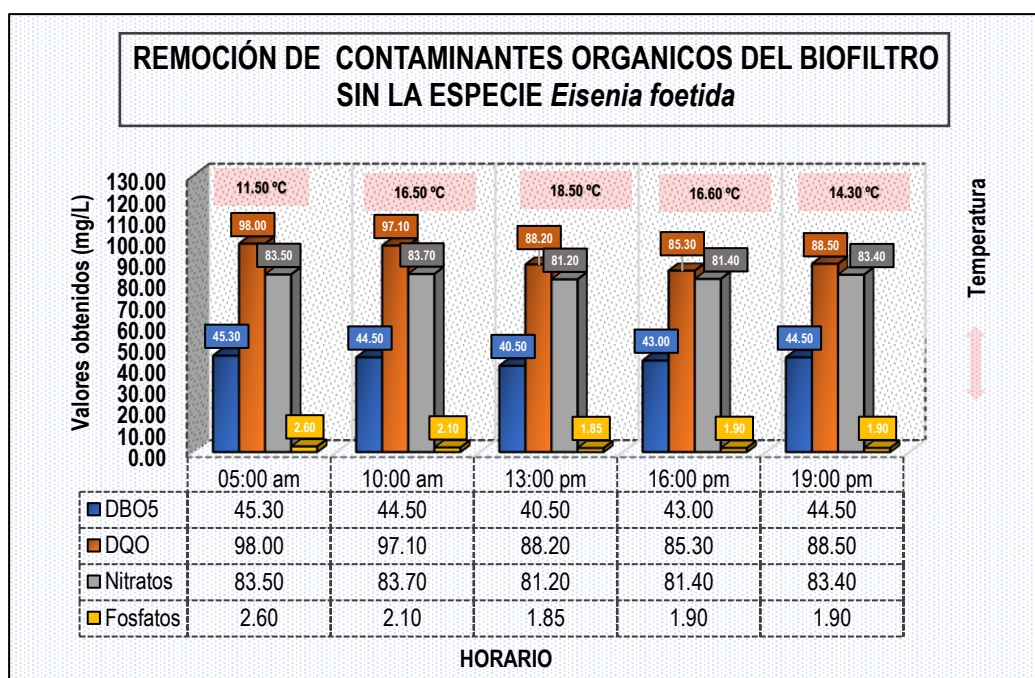
Tercera fecha de evaluación								
Parámetros	Und.	LMP/ ECA	Concentración inicial	Concentración Final				
				05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
Temperatura	°C	<35	15.13	11.5	16.8	19.2	17.3	15.6
DBO5	mg/L	100	70.47	27.3	26.8	19.9	23.4	25.0
DQO	mg/L	200	191.02	74.8	73.2	70.1	71.2	74.0
NO_3^-	mg/L	50	111.75	63.5	63.7	59.9	60.2	62.1
PO_4^{3-}	mg/L	0.1	3.53	1.45	1.38	1.30	1.35	1.38

En la figura 8, se evidencia la eliminación de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en la tercera fecha de evaluación, indicando que la remoción varían durante los diferentes horarios del día, logrando una remoción favorable a las 13:00 horas con una temperatura de 19.20 °C los niveles de DBO5 y DQO oscilan entre

19.90 y 70.10 mg/L; de manera similar, los nitratos alcanzan 59.90 mg/L y los fosfatos se estabilizan alrededor de 1.30 mg/L; esto indica que en un biofiltro con lombrices (*Eisenia foetida*), el consumo de la materia orgánica del agua aumenta conforme sube la temperatura, lo que acelera su descomposición y produce compuestos más biodisponibles para los microorganismos. Esto simplifica la filtración de contaminantes presentes en el agua, evidenciando así la efectividad de este tratamiento.

Figura 8

Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro con la especie Eisenia foetida en la tercera fecha de evaluación.



En la tabla 10, se puede evidenciar la remoción de contaminantes orgánicos mediante un biofiltro sin la especie *Eisenia foetida*, donde se obtuvieron los siguientes resultados: a las 05:00 horas, con una temperatura de 11.20 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 45.00

y 98.50 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} tienen valores de 83.00 y 2.50 mg/L, respectivamente; a las 10:00 horas, con una temperatura de 16.30 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 44.10 y 97.40 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 83.50 y 2.00 mg/L; a las 13:00 horas, con una temperatura de 18.60 °C, los valores de DBO5 y DQO varían entre 40.30 y 88.00 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} alcanzan valores de 80.90 y 1.90 mg/L; del mismo modo, a las 16:00 horas, con una temperatura de 16.50 °C, los valores de DBO5 y DQO oscilan entre 42.80 y 85.20 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 81.10 y 1.85 mg/L y finalmente, a las 19:00 horas, con una temperatura de 14.20 °C, los valores de DBO5 y DQO fluctúan entre 44.20 y 88.00 mg/L, mientras que el NO_3^- y el PO_4^{3-} son 83.20 y 1.85 mg/L.

Tabla 10

*Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie *Eisenia foetida* en la tercera fecha de evaluación.*

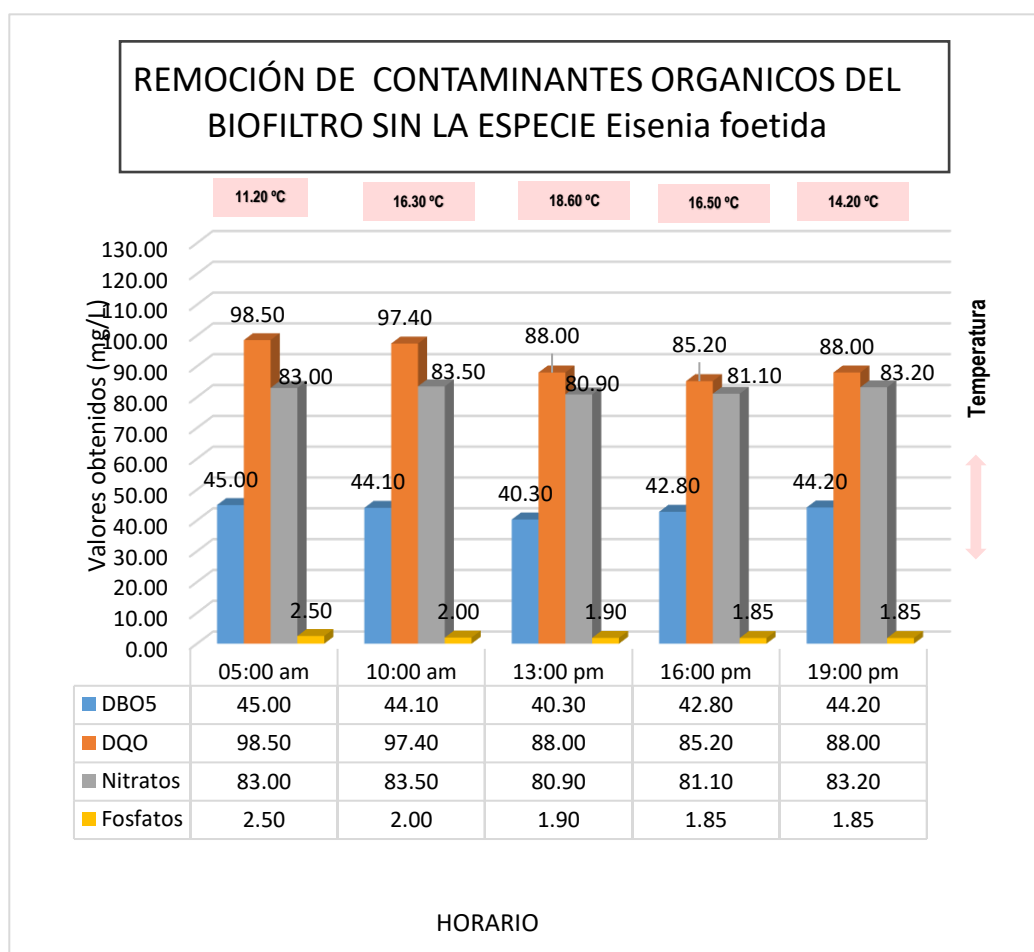
Tercera fecha de evaluación								
Parámetros	Und.	LMP/ ECA	Concentraci ón inicial	Concentración Final				
				05:0 0	10:0 0	13:0 0	16:0 0	19:00
Temperatura	°C	<35	15.13	11.20	16.30	18.60	16.50	14.20
DBO5	mg/L	100	70.47	45.00	44.10	40.30	42.80	44.20
DQO	mg/L	200	191.02	98.50	97.40	88.00	85.20	88.00
NO_3^-	mg/L	50	111.75	83.00	83.50	80.90	81.10	83.20
PO_4^{3-}	mg/L	0.1	3.53	2.50	2.00	1.90	1.85	1.85

En la figura 9, se evidencia la eliminación de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie *Eisenia foetida* en la tercera fecha de evaluación, los cuales varían durante los diferentes horarios del día,

logrando una remoción favorable a las 13:00 horas con una temperatura de 18.60 °C, los niveles de DBO5 y DQO fluctúan entre 42.80 y 88.00 mg/L; de manera similar, los nitratos alcanzan 81.90 mg/L y los fosfatos se estabilizan en torno a 1.90 mg/L; esto sugiere que, en un biofiltro sin lombrices, los microorganismos responsables de la descomposición siguen realizando un trabajo efectivo en la eliminación de contaminantes orgánicos a medida que la temperatura aumenta.

Figura 9

Remoción de contaminantes orgánicos del biofiltro sin la especie Eisenia foetida en la tercera fecha de evaluación



4.1.3. Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie *Eisenia foetida* en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025

a) Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la primera fecha de evaluación

En la tabla 11 y la figura 10, se muestra el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la primera fecha de evaluación indicando que la DBO5 presenta un porcentaje de remoción que varía entre el 61.69% y el 71.90%, evidenciando una mayor eficiencia a las 13:00 horas con un 71.90%; de manera similar, la DQO oscila entre el 61.00% y el 63.41%, con una remoción más significativa observada también a las 13:00 horas con 63.41%; por otro lado, los nitratos muestran una remoción menos eficiente, con eficiencias que varían entre 43.18% y 46.49% y finalmente, la remoción de fosfatos presenta una eficiencia que varía entre 60.91% y 63.74%, destacándose particularmente a las 13:00 horas con 63.74%.

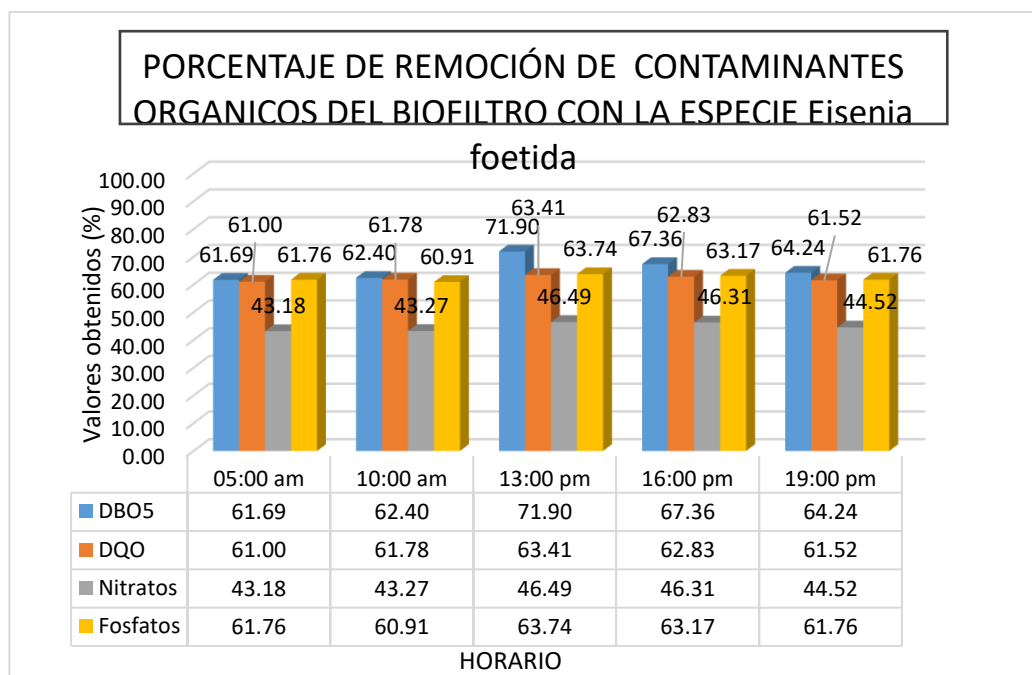
Tabla 11

Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la primera fecha de evaluación.

Parámetro	Und.	Primera fecha de evaluación					
		Concentración inicial	Concentración final				
			05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
DBO5	mg/L	70.47	27.00	26.50	19.80	23.00	25.20
Eficiencia %			61.69	62.40	71.90	67.36	64.24
DQO	mg/L	191.02	74.50	73.00	69.90	71.00	73.50
Eficiencia %			61.00	61.78	63.41	62.83	61.52
NO ₃ ⁻	mg/L	111.75	63.50	63.40	59.80	60.00	62.00
Eficiencia %			43.18	43.27	46.49	46.31	44.52
PO ₄ ³⁻	mg/L	3.53	1.35	1.38	1.28	1.30	1.35
Eficiencia %			61.76	60.91	63.74	63.17	61.76

Figura 10

Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la primera fecha de evaluación.



b) Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación

En la tabla 12 y la figura 11, se muestra el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación; indicando que la DBO5 presenta un porcentaje de remoción que varía entre el 60.98% y el 71.34%, evidenciando una mayor eficiencia a las 13:00 horas con un 71.34%; de manera similar, la DQO oscila entre el 60.58% y el 63.09%, con una remoción más significativa observada también a las 13:00 horas con 63.09%; por otro lado, los nitratos muestran una remoción menos eficiente, con porcentajes que varían entre 42.82 % y 46.13% y finalmente, la remoción de fosfatos presenta una eficiencia que varía entre 60.34% y 62.61%, destacándose particularmente a las 13:00 horas con 62.61%.

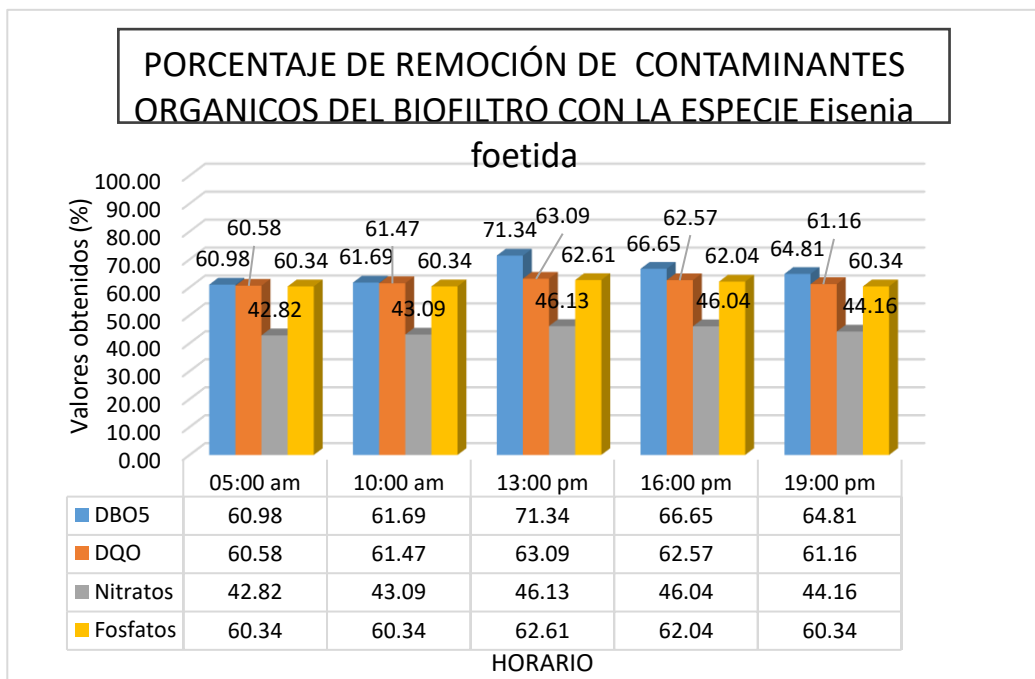
Tabla 12

Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación.

Parámetro	Und.	Segunda fecha de evaluación					
		Concentración inicial	Concentración final				
			05:00	10:00	13:00	16:00	19:00
DBO5	mg/L	70.47	27.00	26.50	19.80	23.00	25.20
Eficiencia %			61.69	62.40	71.90	67.36	64.24
DQO	mg/L	191.02	74.50	73.00	69.90	71.00	73.50
Eficiencia %			61.00	61.78	63.41	62.83	61.52
NO ₃ ⁻	mg/L	111.75	63.50	63.40	59.80	60.00	62.00
Eficiencia %			43.18	43.27	46.49	46.31	44.52
PO ₄ ³⁻	mg/L	3.53	1.35	1.38	1.28	1.30	1.35
Eficiencia %			61.76	60.91	63.74	63.17	61.76

Figura 11

Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la segunda fecha de evaluación.



c) Porcentaje remoción de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación.

En la tabla 13 y la figura 12, se muestra el porcentaje de eliminación de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación, indicando que la DBO5 presenta un porcentaje de remoción que varía entre el 61.26% y el 71.76%, evidenciando una mayor eficiencia a las 13:00 horas con un 71.76%; de manera similar, la DQO oscila entre el 60.84% y el 63.30%, con una remoción más significativa observada también a las 13:00 horas con 63.30%; por otro lado, los nitratos muestran una remoción menos eficiente, con porcentajes que varían entre 43.18 % y 46.40% y finalmente, la remoción de fosfatos presenta una eficiencia que varía entre

58% y 63.17%, destacándose particularmente a las 13:00 horas con 63.17%.

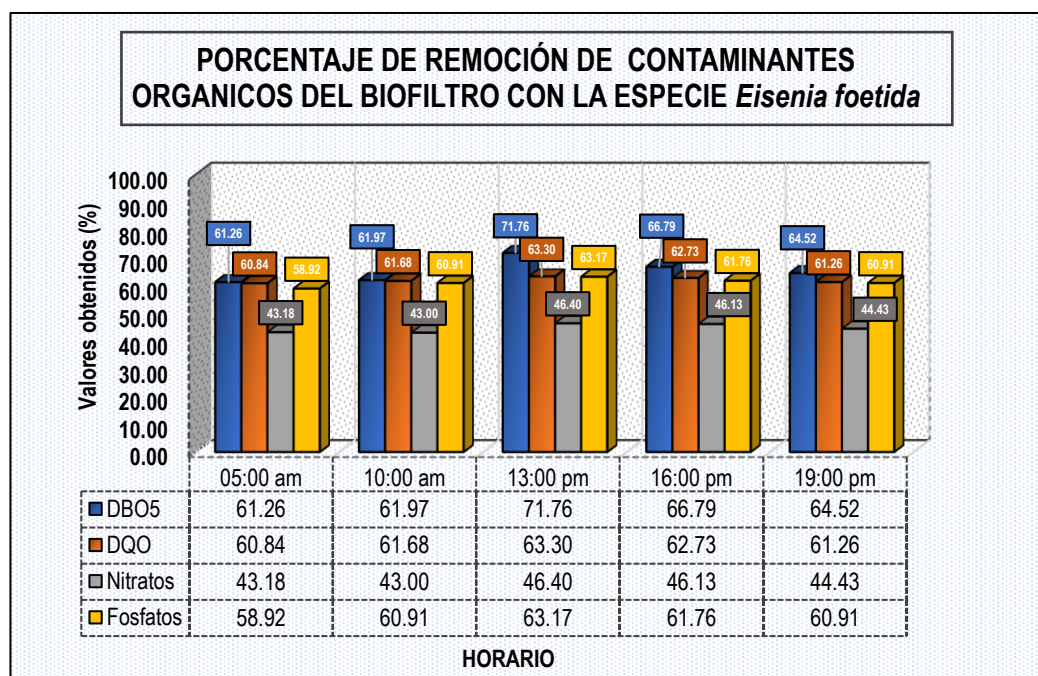
Tabla 13

Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación.

Tercera fecha de evaluación								
Parámetro	Concentración		Concentración final					
	Und.	inicial	05:00	10:00	13:00	16:00	19:00	
DBO ₅	mg/L	70.47	27.30	26.80	19.90	23.40	25.00	
Eficiencia %			61.69	62.40	61.26	61.97	71.76	
DQO	mg/L	191.02	73.20	70.10	71.20	74.00	73.20	
Eficiencia %			61.00	61.78	60.84	61.68	63.30	
NO ₃ ⁻	mg/L	111.75	63.50	63.70	59.90	60.20	62.10	
Eficiencia %			43.18	43.27	43.18	43.00	46.40	
PO ₄ ³⁻	mg/L	3.53	1.45	1.38	1.30	1.35	1.38	
Eficiencia %			61.76	60.91	58.92	60.91	63.17	

Figura 12

Porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos en la tercera fecha de evaluación.



4.2. Prueba estadística

H_a: La aplicación de la especie *Eisenia foetida* presenta un efecto significativo en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025

H_n: La aplicación de la especie *Eisenia foetida* presenta un efecto significativo en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025

Prueba de normalidad

- Nivel de significancia = 5 %
- Nivel de confianza = 95 %
- Prueba de normalidad: Shapiro- Wilk

- Estimador:

Si P valor $\Rightarrow$ 0.05, = presenta distribución normal de los datos

Si P valor $<$ 0.05, = no presenta distribución normal de los datos

La tabla 14 presenta los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, que se realizó para analizar el efecto que ejerce la especie *Eisenia foetida* en la reducción de contaminantes orgánicos en las aguas residuales domésticas del lugar de Asillo. Esta prueba señala que el P-valor excede el valor alfa ($\alpha > 0.05$), lo cual permite determinar que los datos presentan una distribución normal. Por ende, se puede emplear la técnica estadística ANOVA.

Tabla 14

Prueba de normalidad Shapiro – Wilk

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Remoción contaminantes orgánicos	de	,955	50	,744

Además, aclarando que se utilizó el test de normalidad de Shapiro-Wilk debido a que el número de datos es igual o inferior a 50.

En la tabla 15, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos, indicando que para efectos de los diferentes horarios es altamente significativo ($p\text{-valor} < 0.05$), confirmando que la concentración de contaminantes orgánicos varía considerablemente en

cada horario evaluado; con un coeficiente de variación de 29.43 %, lo que indica que el trabajo de investigación fue adecuadamente conducido.

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Horario	51.12	5	12.78	7.77	0.0032
Contaminantes orgánicos	1161.97	4	387.32	235.54	<0.0001
Error	39.02	11	4.88		
Total	136.36	20			
C.V. = 2.11 %					

En la tabla 28, se evidencia la prueba de Tukey para el porcentaje de eliminación a diferentes horarios evaluados de los contaminantes orgánicos, los resultados muestran que presenta una remoción del 63.25% de contaminantes orgánicos, para el horario de monitoreo de las 13:00horas, siendo este el dato de mayor porcentaje de remoción, no obstante, el horario de monitoreo de las 13:00horas 5;00horas; presento un porcentaje de remoción de 59.02% de contaminantes orgánicos; siendo la cantidad estadísticamente inferior a los demás ensayos

Tabla 16

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción a diferentes horarios evaluados de los contaminantes orgánicos

Horario	Media (%)	N° de parámetros	SIG. ≤ 0.05
13:00 horas	63.25	4	a
16:00 horas	61.87	4	a

10:00 horas	59.72	4	b
19:00 horas	59.49	4	b
05:00 horas	59.02	4	b

La tabla 17 presenta la prueba de Tukey para el porcentaje de eliminación de contaminantes orgánicos. Según los resultados, se eliminó el 67.73% de DBO5, el 64.22% de DQO, el 63.71% de fosfatos y el 47.88% de nitratos; en base a las diferentes horas analizadas, se observó una variación estadísticamente mayor al 50% en la eliminación de contaminantes orgánicos, por lo que se acepta la hipótesis alternativa H_a y se rechaza la nula H_o .

Tabla 17

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de los contaminantes orgánicos

Horario	Media (%)	N° de horarios	SIG. ≤ 0.05
DBO5	67.73	5	a
DQO	64.22	5	a
FOSTATOS	63.71	5	b
NITRATOS	47.88	5	c

4.3. Discusión

Estos resultados a nivel regional coinciden con investigaciones previas, como la de Pari (2024), quien estableció que la eficiencia promedio de eliminación de DBO5 en las aguas servidas de Cabanilla a las 12:00 horas era del 87.32%. De igual manera, Tairo (2021), también encontró que el biofiltro con *Eisenia foetida* removió la turbidez, SST con 289.33 mg/L, DBO 5240.2 mg/L y DQO 320.5 mg/L, mostrando una mejora notable del 76.56% en las muestras tratadas, aunque la eficiencia variaba según el caudal.

Además, Ramos (2019), quien estableció que la eficiencia promedio de eliminación de DBO5 en las aguas residuales de Cabanilla a las 12:00 horas era del 87.32%.

Por otro lado, las siguientes investigaciones resaltan la importancia de seleccionar la especie adecuada según el tipo de agua residual a tratar. La investigación de Moscoso (2022), sobre el vermifiltro con lombrices *Eisenia foetida* en comparación con un filtro control sin lombrices, en aguas residuales de un matadero avícola en Lima, se evidenció una destacable eficacia de los vermifiltros al conseguir eliminar el 96.15% de DQO, el 98.75% de AyG, el 99.58% de SST, el 99.83% de DBO y tener un pH de 7.03, sobrepasando así a la filtración control. Este hallazgo respalda estudios previos, como el de Saboya (2021), quien también reportó Un tratamiento eficaz de aguas residuales domésticas en Chachapoyas a través de las lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*) y *Eisenia foetida*, con énfasis en la preeminencia de *Eisenia foetida*, que

logró reducir la DBO5 un 92%, la DQO un 86%, el NT un 78%, la turbidez un 84.4% y el pH un 93%.

Rojas y Campos (2022) mostraron que la *Eisenia foetida* es más efectiva que la *Lumbricus terrestris* para eliminar contaminantes en aguas residuales de camales, de manera similar. Finalmente, se consiguió un descenso del 24.31% en sólidos sedimentables, del 26.73% en sólidos suspendidos, del 40.12% en la demanda química de oxígeno (DQO), del 42.56% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), del 25.49% en nitratos, del 2.41 % en pH y del 27.89% en aceites y grasas. Cáceres et al. (2021) llevaron a cabo investigaciones en sistemas de depuración que combinaban hipoclorito de calcio con *Eichhornia crassipes* y *Eisenia foetida*. Sus hallazgos mostraron que la combinación más eficaz fue la de las dos especies mencionadas, pues logró eliminar el 100% de los coliformes termotolerantes y una parte del 98.41% en DBO5. Estos hallazgos indican que la mezcla de especies en un sistema integrado puede mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

PRIMERA: En términos generales, se concluye que la aplicación de la especie *Eisenia foetida* tiene un impacto importante en el desecho de contaminantes orgánicos que se encuentran en las aguas residuales domésticas, por su capacidad para ser rentable y eficiente, así como por su sostenibilidad ecológica.

SEGUNDA: Los resultados indican que la PTAR de Asillo presenta abandono y negligencia en su operación. Además, se observan problemas con el funcionamiento, como la retención de sólidos, el surgimiento de olores desagradables, la incapacidad para retener sólidos gruesos de gran tamaño y no hacerlo adecuadamente con los sólidos finos. También se generan vectores como moscas y roedores. Asimismo, la planta actual muestra una baja eficacia en eliminar contaminantes orgánicos: 56.67% de eliminación de DBO₅, 55.73% de DQO, 15.98% de nitratos y 20.32% de fosfatos.

TERCERA: Los resultados indican que a las 13:00 horas la temperatura del sustrato del biofiltro llegó a su nivel más alto, con un promedio de 16.50 °C, lo cual favorece el metabolismo y la descomposición de materia orgánica por microorganismos y *Eisenia foetida*. En este caso, el biofiltro con lombrices tuvo un mejor desempeño en el tercer día, logrando eliminar DBO₅ (30 mg/L), DQO (70.20 mg/L), nitratos (81 mg/L) y fosfatos (1.85 mg/L), lo que demuestra que fue más eficiente que el sistema sin lombrices.



CUARTA: En la tercera fecha de evaluación, se determinó que el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* fue muy eficiente en eliminar contaminantes orgánicos de las aguas residuales domésticas del municipio de Asillo, con porcentajes de eliminación: DBO5 61.26%, DQO 60.84%, nitratos 43.18% y fosfatos 58.92%.

RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se aconseja el perfeccionamiento del diseño del lombrifiltro para simplificar el proceso de desinfección. Para disminuir los microorganismos patógenos, se propone la creación de una cámara de desinfección con rayos UV.
- SEGUNDA:** Se aconseja el perfeccionamiento del diseño del lombrifiltro para simplificar el proceso de desinfección. Para disminuir los microorganismos patógenos, se propone la creación de una cámara de desinfección con rayos UV.
- TERCERA:** Para prevenir la tasa de mortalidad y aumentar la reproducción de las lombrices, se sugiere considerar las cantidades especificadas en este proyecto.
- CUARTA:** Se aconseja llevar a cabo estudios sobre la utilización de lombrifiltro con otros sustratos de soporte, lo que incluye el examen de un mayor número de parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J., & Reyes, J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus Terrestris y Eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua- Amazonas, 2015*. Bagua: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas. Obtenido de <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1208/JOSE%20EDGARDO%20ACU%C3%91A%20MARRUFO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Al Ghamdi, A. (2023). South African Journal of Chemical Engineering. *Microbial earthworm eco-filters (MEES) for urban wastewater treatment*, 386 - 393.
- Aldoradin, R., & Quispe, L. (2023). *Eficiencia del acoplamiento wetland y tohá en el tratamiento de las aguas residuales vertidas al canal Huanca, San Luis, Cañete, 2023*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Anusha, V. &. (2015). • Application of Vermifiltration in Domestic Wastewater Treatment. International Journal of Innovative. *Science, Engineering and Technology*, 7301 - 7304.
- Arana, H. (2022). *Influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de las aguas residuales domésticas para zonas rurales de la provincia de Cusco, departamento Cusco*. Cusco: Universidad Continental.
- Arias, Y., & Tiquillahuanca, Y. (2018). *Aplicación del sistema Tohá para el tratamiento de riles generados en la planta Agromar Industrial S.A. Sullana*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.



- Arora, S., & Kazmi, A. (2015). The effect of seasonal temperature on pathogen removal efficacy of vermifilter for wastewater treatment. *Water Research*, 88-99.
- Arora, S., Rajpal, A., Bhargava, R., Pruthi, V., Bhatia, A., & Kazmi, A. (2014). Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system. *Bioresource Technology*, 132 - 141.
- Arora, S., Saraswat, S., Mishra, R., Rajvanshi, J., Sethi, J., Verma, A., . . . Saxena, S. (2020). Design, performance evaluation and investigation of the dynamic mechanisms of earthworm-microorganisms interactions for wastewater treatment through vermifiltration technology. *Bioresource Technology Reports*, 1 - 20.
- Baena, G. (2017). *Metodologia de la investigacion*. Mexico: Grupo Editorial Patria. Obtenido de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- Bermudez, G. (2019). *Tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Chimbote, usando un biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines*. Chimbote: Universidad San Pedro.
- Bhise, H., & Anaokar, G. (2015). Design and Suitability of Modular Vermifilter for Domestic Sewage Treatment. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 44-51.



- Bravo, M. (2019). *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina*. Bio-Bio: Universidad del Bio-Bio.
- Cáceres, D., Calisaya, G., & Justo, E. (2021). Eficiencia de *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes* e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú. *Ecología Aplicada*, 1 - 15.
- Cachata, I. (2023). *Tratamiento de aguas residuales de una granja piloto de cerdos a través de microorganismos benéficos, y lombrifiltros*. La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Caicedo, J. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del ministerio de agricultura, ganadería, acuacultura y pesca, Riobamba 2015*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M. (2014). Evaluation of a Pilot Vermifilter for the Treatment of Wastewater. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.10.003>, 33-44. doi:DOI: <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.10.003>.
- Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M. (2020). Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales en Jiutepec-Mexico. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 1-15.



- Castillo, J., & Chimbo, J. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 1-15.
- 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*. Boyacá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cayoja, G., & Ballester, W. (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales de la población de Pucarani mediante el método Toha*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Centeno, L., & López, L. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales. *Arnaldoa*, 433-446. doi:<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>.
- Cerdan, A. (2021). *Diseño de un sistema de bombeo solar-eólico para consumo de agua en cabañas ecoturísticas en la Pitaya, Veracruz, México*. Andalucía: Universidad Internacional de Andalucía.
- Chachi, V. (2021). *Eficiencia del biofiltro de lombrices Eisenia foetida para el tratamiento de las aguas residuales de la industria cárnica, Ate – 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Chicaiza, C. (2018). Estudio de la influencia de la tasa hidraulica en la biodegradacion de aguas residuales domesticas tratadas por sistemas no convencionales de vermifiltracion. *Escuela Politécnica Nacional*, 145 -155.



- Cruz, C., & Rivero, A. (2020). • *Disminución de costos en el tratamiento de aguas residuales industriales lácteas utilizando un Prototipo de Lombrifiltro*. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.
- Cueva, J., & Vasquez, A. (2022). *Efecto de la densidad de lombrices sobre el proceso de lombrifiltración de las aguas residuales del camal municipal del distrito de la esperanza, la libertad 2021*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.
- D.S N° 003-2010-MINAM. (2010). *Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Lima. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- Dondajewska, R., Kozak, A., Rosińska, J., & Gołdyn, R. (2019). Water quality and phytoplankton structure changes under the influence of effective microorganisms (EM) and barley straw – Lake restoration case study. *Science of the Total Environment*, 1355-1366.
- Edgardo, J., & Reyes, J. (2017). • *Eficiencia de lumbricus terrestris y eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua- Amazonas*. Amazonas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Fernandez, C., Ordoñez, P., & Santos, J. (2022). *Tratamiento de lombrifiltro para la reducción de DQO y DBO5 del efluente industrial de una planta de confitería 2022*. Callao: Universidad Nacional del Callao.

- Flores, J. (2018). *Estudio de factibilidad de uso de energía fotovoltaica para abastecer de agua potable al caserío Túpac Amaru, Olmos, 2018*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Gallegos, D. (2023). *Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde*. Villa El Salvador: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Gamarra, B. (2021). *Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga*. Huancayo: Universidad Nacional de Huancayo.
- Gutiérrez, V., Monsalves, N., Gomez, G., & Vidal, G. (2023). Rendimiento de un vermifiltro a gran escala para el tratamiento de aguas residuales en la eliminación de materia orgánica, nutrientes y bacterias resistentes a los antibióticos. *sustainabiliy*, 1 - 15.
- Guzman, G. (2024). *Estudio de Factibilidad de la aplicación del sistema Tohá en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Huamán, H., & Misme, K. (2020). *Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales con lombrifiltro*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Krzeminski, P., Iglesias, A., Madebo, G., Garrido, J., & Van der Graaf, F. (2012). Impact of temperature on raw wastewater composition and activated



sludge filterability in full-scale MBR systems for municipal sewage treatment. *Journal of Membrane Science*, 348-361.

Kumar, A., & Khwairakpam, M. (2024). A comparative study with vermifilter and geofilter for domestic wastewater treatment and their efficacy on phytotoxicity. *Journal of Water Process Engineering*, 1 - 7.

Kumar, C., & Ghosh, A. (2019). Fabrication of a vermifiltration unit for wastewater recycling and performance of vermifiltered water (vermifiltrate) on onion (*Allium cepa*). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1 - 11.

Kumar, T., Bhargava, R., Prasad, K., & Pruthi, V. (2015). Evaluation of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. *Ecological*, 370-377.

Kumar, T., Rajpal, A., Bhargava, R., & Prasad, K. (2014). Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. *Ecological Engineering*, 77-82. doi:DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.10.028>.

Landeta, F. (2019). *Evaluación de la Eficiencia de un Sistema de Vermifiltros en el tratamiento de Aguas Residuales del Camal de Ibarra*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Largo, C. (2022). *Diseño y operación de vermifiltros a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Manizales: Universidad Católica de Manizales.



- Li, Y., Robin, P., Cluzeau, D., Bouché, M., Qiu, J., Laplanche, A., . . . Callarec, J. (2018). Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: Monitoring methodology on an experimental farm. . *Ecological Engineering* , 301-309.
- Liberio, F. (2018). *Incidencia de lombriz roja californiana (Eisenia Foetida) y lenteja de agua (Lemna Minor) en el tratamiento de aguas residuales urbanas en el canton Quevedo*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Lima, A., Mesak, C., Souza, G., Mozena, W., & Malafaia, G. (2017). Organic waste vermicomposting through the addition of rock dust inoculated with domestic sewage wastewater. *ELSEVIER*, 651-658.
- Loureco, N., & Nunes, L. (2016). Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering*, 138-146.
- Lourenço, N., & Nunes, L. (2017). Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological* , 138-146.
- Mamani, N., & Chavez, R. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018*. Juliaca: Universidad Peruana Union.
- Mamani, W., & Cuba, D. (2019). *Bases teóricas para operatividad del sistema de bombeo de abastecimiento de agua potable con suministro de energía fotovoltaica en Collana-Taraco-Huancane-Puno-2019*. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.



- Manyuchi, M. K. (2013). Vermifiltration of Sewage Wastewater for Potential Use in Irrigation Purposes Using *Eisenia fetida* Earthworms. *Engineering* , 538-542.
- Manyuchi, M., & Kadzungura, I. (2013). Pilot Scale Studies for Vermifiltration of 1000 m³/day of Sewage Wastewater Treatment. *Asian J. Eng. Technol.*, 13-19.
- Martinez, A. (2016). Evaluacion del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *En I. T. Rica, Tecnologia en Marcha*, 63-72.
- Mendoza, O., & Villa, H. (2023). *Tratamiento de las aguas residuales empleando el Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Metcalf, E., & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento vertido y reutilización (tercera edición)*. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPANA, S.A.
- Morales, E., & Bornhardr, C. (2010). Study of factors related to the emerging vermifiltration biotechnology for cattle slurry treatment and valorization as organic fertilizer. *Advances in Sciences and Technology of Natural Resources*, 1 - 13.
- Moscoso, W. (2022). *Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales provenientes de un matadero avícola con la tecnología de los vermifiltros*. Lima: Universidad Científica.

- MVCS. (2014). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domésticas o municipales*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- OEFA. (2019). *Tratamiento de agua residuales en el Peru*. Lima: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Olivera, G. (2021). *Comparación de la remoción de la DBO y DQO en filtros percoladores con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris de las aguas residuales domésticas en Tuyoruri-2019*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Paricahua, R. (2024). *Eficiencia de remoción de la demanda biológica de oxígeno y coliformes fecales de la especie Eisenia foetida y Lumbricus terrestris de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Cabanilla*. Julaica: Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez.
- Pramanik, P. (2010). Changes in microbial properties and nutrient dynamics in bagasse and coir during vermicomposting: Quantification of fungal biomass through ergosterol estimation in vermicompost. *Waste Management*, 787-791.
- Quezada, E. (2024). *Evaluación de la actividad enzimática de un vermifiltro en el tratamiento de aguas servidas*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Quiroz, N. (2019). *Estudio de la remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de un filtro biológico a partir de lombrices californianas (Eisenia Foétida)*. Pamplona Norte de : Universidad de Pamplona Colombia.



- Quispe, A., & Casimiro, W. (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. *Universidad Nacional Federico Villarreal*, 1 - 18.
- Ramón, J., León, J., & Castillo, N. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. *MUTIS*, 46-54.
- Ramos, H. (2019). *Tratamiento de aguas residuales mediante el cultivo de la Eisenia Foetida para poblaciones menores a 2000 habitantes*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez.
- 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*, 41-56.
- Riveros, A. (2021). *Eficiencia del sistema Tohá y canal de fitodepuración en la reducción de la DBO5, DQO y SST de aguas residuales provenientes del camal municipal de la provincia de Calca-Cusco 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Rojas, D. (2020). *Estudio de filtros biológicos para aguas grises utilizando lombriz rojas californianas (Eisenia foetida)*. Viña del Mar: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Rojas, J. (2021). *Eficiencia del método de biofiltros en climas andinos, en la remoción del nitrógeno y fósforo total, empleando como medios filtrantes la Eisenia foetida y Lumbricus terrestris de las aguas residuales*



domésticas de Tuyururi -2019. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.

Rojas, R., & Campos, R. (2022). Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal, Bagua, Amazonas, 2021. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1 - 7.

Romero, R., & Campos, R. (2020). *Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal, Bagua, Amazonas*. Amazonas: Revista Científica UNTRM.

Saboya, X. (2021). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Muro de la Investigación*, 1 - 24.

Samal, K. (2018). A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment Kundan. *Science of the Total Environment*, 156-169.

Samal, K., Dash, & Bhunia, P. (2017). Performance assessment of a Canna indica assisted vermifilter for synthetic dairy wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 363-374.

Samal, K., Roshan, R., & Bhunia, P. (2018). A comparative study of macrophytes influence on performance of hybrid vermifilter for dairy wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4714-4726.

Sanchez, M. (2022). *Influencia del vermicompostaje en la recuperación de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santa Clara - Lima*. Lima: Universidad Continental.



- Sheng, Y., Qun, Y., Ping, J., & Qi, Y. (2009). Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process. *Water Science & Technology*, 3001 - 3010.
- Singh, R., Bhunia, P., & Dash, R. (2017). A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. *Journal of Environmental Management*, 656-672. doi:DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.042>.
- Singh, R., Samal, K., Roshan, R., & Bhunia, P. (2019). Vermifiltration as a sustainable natural treatment technology for the treatment and reuse of wastewater:. *Journal of Environmental Management*, 140-151.
- Somarriba, R., & Guzman, F. (2014). *Guia de lombricultura*. Lima: Universidad Nacional Agraria.
- Sukhdeep, K., & Puneet, P. (2019). *Vermifiltration Using Garden Waste as Padding Media for Treatment of Dairy Wastewater*. Nueva Delhi: Springer International Publishing.
- Tairo. (2021). *Lombrifiltro para la mejora de los parámetros físico - químicos de aguas residuales del camal municipal Juliaca 2021*. Juliaca: Univerisdad Andina Nestor Caceres Velasquez. Obtenido de http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/7154/T036_73747896_T_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ticona, N. (2020). *Evaluación Y Propuesta De Mejoramiento De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Del Distrito De Ilave - Provincia De El Collao*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez.



- Umasi. (2020). *Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco*. Juliaca: Universidad Peruano Unión.
- UNESCO. (2020). *Water and climate change*. Ginebra: United Nations World Water Development Report 2020.
- Valenzuela, B. (2020). *Determinación del punto de máxima potencia en sistemas de bombeo solar fotovoltaico utilizando el algoritmo perturbación observación P&O*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana .
- Vasquez, A. (2024). *Eficiencia de la aplicación de un Sistema de Vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal Cusco, Distrito de San Jerónimo 2023*. Cusco: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Vasquez, S. (2017). *Análisis de la eficiencia de un prototipo de Biofiltro en el tratamiento de aguas residuales para riego en Trapiche, Comas, 2017*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Velasco, Y. (2015). *Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales*. Lima: Universidad .
- Vicente, 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* , 32 - 41.
- Vizcaíno, L., & Fuentes, N. (2016). Efectos de eisenia foetida y eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Redalyc*, 189-198.



- Wang, L., Guo, Z., Che, Y., Yang, F., Chao, J., Gao, Y., & Zhang, Y. (2014). The effect of vermifiltration height and wet:dry time ratio on nutrient removal performance and biological features, and their influence on nutrient removal efficiencies. *Ecological Engineering*, 165-172.
- Xing, M., Li, X., & Yang, J. (2010). Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity . *African Journal of Biotechnology* , 7513-7520.
- Yang, J., Liu, J., Xing, M., Lu, Z., & Yan, Q. (2013). Effect of earthworms on the biochemical characterization of biofilms in vermifiltration treatment of excess sludge. *Bioresource Technology*, 10 - 17.



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	UND	METODOLOGÍA
General	General	General	Independiente	Cantidad de lombrices que pueden cohabitar en un determinado volumen del sustrato	Guía de lombricultura: 1m2	10kg de lombriz	
¿Cuál es el efecto de la especie <i>Eisenia foetida</i> en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo?	Determinar el efecto de la especie <i>Eisenia foetida</i> en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025	La aplicación de la especie <i>Eisenia foetida</i> presenta un efecto significativo en la remoción de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales domésticas de la Asillo	Especie <i>Eisenia foetida</i>	Tasa máxima de riego	1.00	m3/m2/día	
				Dimensiones del filtro de lombrices (biofiltro)	Altura: 80 Ancho: 25 Largo: 45	cm cm cm	
				Espesor de sustratos del biofiltro	Especie <i>Eisenia foetida</i> Aserrín Grava Arena de río	cm cm cm cm	
Específicas	Específicas	Específicas	Dependiente	Estado actual de la PTAR	Tratamiento primario Tratamiento secundario Tratamiento terciario	--- --- ---	Diseño de investigación
¿Cuál es el estado situacional de la capacidad operativa y de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo?	Evaluar el estado situacional de la capacidad operativa y de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo	El estado situacional de la capacidad operativa y de funcionamiento del sistema actual de tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo es deficiente		Contaminantes orgánicos	Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la actual planta	%	Experimental
¿Cuál es la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025?	Determinar la influencia de la temperatura del sustrato del biofiltro en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025	La temperatura del sustrato del biofiltro influye significativamente en la remoción de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025	Eficiencia de la remoción de contaminantes orgánicos	Temperatura del sustrato	DBO5 DQO Nitratos Fosfatos 5:00 horas 10:00 horas 13:00 horas 16:00 horas 19:00 horas	mg/L mg/L mg/L mg/L °C °C °C °C °C	Tipo de investigación Aplicativo
¿Cuánto es el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie <i>Eisenia foetida</i> en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Asillo, 2025?	Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos empleando la especie <i>Eisenia foetida</i> en las aguas residuales	El porcentaje de remoción de contaminantes		Porcentaje de remoción a diferentes temperaturas del sustrato	5:00 horas 10:00 horas 13:00 horas 16:00 horas 19:00 horas	% % % % %	Población
				Días de monitoreo	Primera fecha de monitoreo (día 0)	día	



domésticas de la ciudad de Asillo, 2025	orgánicos empleando la especie <i>Eisenia foetida</i> en las aguas residuales domésticas supera el 60%.
--	---

Segunda fecha de monitoreo (día 10)	día
Tercera fecha de monitoreo (día 20)	día



Anexo 2. Certificados de análisis



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N.º 00306:

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual MUESTRA (1)

PROCEDENCIA : PTAR ASILLO
MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACIÓN
TITULO : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025
ANÁLISIS SOLICITADO: PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS
MUESTREO : 07/09/2025, por el interesado
ANÁLISIS : 08/09/2025
COD. MUESTRA : 8009-000663

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	AFLUENTE RESULTADOS	METODO ANALITICO
Fosforo	mg/L	4.43	Colorímetro
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	431.52	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	162.65	Digestión cerrada
Nitratos	mg/L	133.00	Colorímetro

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025,
VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UANCV

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

N.º 003066

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual MUESTRA (2)**PROCEDENCIA** : PTAR ASILLO**MOTIVO** : TESIS DE INVESTIGACIÓN**TÍTULO** : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**ANÁLISIS SOLICITADO:** PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS**MUESTREO** : 07/09/2025, por el interesado**ANÁLISIS** : 08/09/2025**COD. MUESTRA** : B009-000664**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS****ASPECTO** : Líquido**COLOR** : Característico al agua residual**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	EFLUENTE RESULTADOS	METODO ANALITICO
Fosforo	mg/L	3.53	Colorímetro
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	191.02	Digestión cerrada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	70.47	Digestión cerrada
Nitratos	mg/L	111.75	Colorímetro

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.

VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

N.º 001

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual TRATADA**PROCEDENCIA** : LABORATORIO**MOTIVO** : TESIS DE INVESTIGACIÓN**TÍTULO** : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**ANÁLISIS SOLICITADO: PARÁMETROS:** DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS**MUESTREO** : 08/09/2025, por el interesado**ANÁLISIS** : 09/09/2025**COD. MUESTRA** : B009-000668**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS****ASPECTO** : Líquido**COLOR** : Característico al agua residual**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

PARÁMETROS	UNIDAD	HORA 5:00	HORA 10:00	HORA 13:00	HORA 16:00	HORA 19:00
Fosfatos	mg/L	1.35	1.38	1.28	1.30	1.35
DQO	mg/L	74.50	73.00	69.90	71.00	73.50
DBO	mg/L	27.00	26.50	19.80	23.00	25.20
Nitratos	mg/L	63.50	63.40	59.80	60.00	62.00

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.

VºBº

ING. SAÚL MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UANA

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

N.º 003068

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual TRATADA

PROCEDENCIA : LABORATORIO
MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACIÓN
TITULO : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025
ANÁLISIS SOLICITADO: PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS
MUESTREO : 08/09/2025, por el interesado
ANÁLISIS : 09/09/2025
COD. MUESTRA : B009-000669

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDAD	HORA 5:00	HORA 10:00	HORA 13:00	HORA 16:00	HORA 19:00
Fosfatos	mg/L	2.55	1.90	1.80	1.85	1.90
DQO	mg/L	97.80	96.80	87.50	84.80	88.20
DBO	mg/L	44.90	43.90	40.00	42.50	44.00
Nitratos	mg/L	83.00	83.30	80.80	81.0	83.00

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.
VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - LINA

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N.º 00

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual TRATADA

PROCEDENCIA : LABORATORIO
MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACIÓN
TITULO : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025
ANÁLISIS SOLICITADO: PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS
MUESTREO : 09/09/2025, por el interesado
ANÁLISIS : 10/09/2025
COD. MUESTRA : B009-000670

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido
COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDAD	HORA 5:00	HORA 10:00	HORA 13:00	HORA 16:00	HORA 19:00
Fosfatos	mg/L	1.40	1.32	1.34	1.40	1.40
DQO	mg/L	73.60	70.50	71.50	74.20	75.30
DBO	mg/L	27.00	20.20	23.50	24.80	27.50
Nitratos	mg/L	63.60	60.20	60.30	62.40	63.90

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.
VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UANCV

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N.º 0030

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual TRATADA

PROCEDENCIA : LABORATORIO

MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025

ANÁLISIS SOLICITADO: PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS

MUESTREO : 09/09/2025, por el interesado

ANÁLISIS : 10/09/2025

COD. MUESTRA : B009-000671

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido

COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDAD	HORA 5:00	HORA 10:00	HORA 13:00	HORA 16:00	HORA 19:00
Fosfatos	mg/L	2.60	2.10	1.85	1.90	1.90
DQO	mg/L	98.00	97.10	88.20	85.30	88.50
DBO	mg/L	45.30	44.50	40.50	43.00	44.50
Nitratos	mg/L	83.50	83.70	81.20	81.40	83.40

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.

VºBº

ING. SAÚL MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N.º 003071

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual TRATADA

PROCEDENCIA : LABORATORIO

MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACIÓN

TITULO : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025

ANÁLISIS SOLICITADO: PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS

MUESTREO : 11/09/2025, por el interesado

ANÁLISIS : 12/09/2025

COD. MUESTRA : B009-000672

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : Líquido

COLOR : Característico al agua residual

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDAD	HORA 5:00	HORA 10:00	HORA 13:00	HORA 16:00	HORA 19:00
Fosfatos	mg/L	1.45	1.38	1.30	1.35	1.38
DQO	mg/L	74.80	73.20	70.10	71.20	74.00
DBO	mg/L	27.30	26.80	19.90	23.40	25.00
Nitratos	mg/L	63.50	63.70	59.90	60.20	62.10

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.

VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA

Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, Facultad de Ingeniería Química – Cel.: 951755420

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

N.º 003072

Certificado de Análisis

ASUNTO : Análisis De Agua Residual TRATADA**PROCEDENCIA** : LABORATORIO**MOTIVO** : TESIS DE INVESTIGACIÓN**TITULO** : EFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE ASILLO 2025**ANÁLISIS SOLICITADO:** PARÁMETROS: DQO, DBOs, NITRATOS y FOSFATOS**MUESTREO** : 11/09/2025, por el interesado**ANÁLISIS** : 12/09/2025**COD. MUESTRA** : B009-000673**CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS****ASPECTO** : Líquido**COLOR** : Característico al agua residual**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

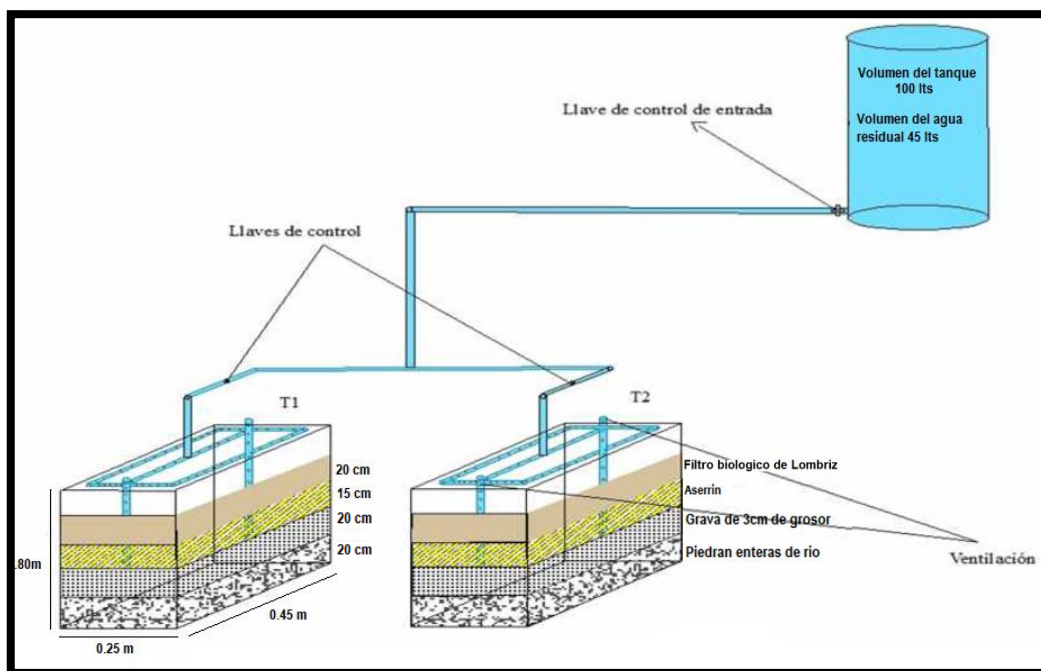
PARÁMETROS	UNIDAD	HORA 5:00	HORA 10:00	HORA 13:00	HORA 16:00	HORA 19:00
Fosfatos	mg/L	2.50	2.00	1.90	1.85	1.85
DQO	mg/L	98.50	97.40	88.00	85.20	88.00
DBO	mg/L	45.00	44.10	40.30	42.80	44.20
Nitratos	mg/L	83.00	83.50	80.90	81.10	83.20

Puno, C.U. 22 de noviembre del 2025.

VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DE LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA

Anexo 3. Esquema grafico del filtro



Anexo 4. Panel fotográfico



FOTO N° 1: PTAR Asillo



FOTO N° 2: Toma de muestras de agua residual en el afluente



FOTO N° 3: Toma de muestras de agua residual en el efluente



FOTO N° 4: Especie *Eisenia foetida* utilizado para el proceso experimental



FOTO N° 5: Acondicionamiento de la Lombrices *Eisenia foetida* en el biofiltro



FOTO N° 6: Sistema del biofiltro de Lombrices *Eisenia foetida*



FOTO N° 7: Evaluación de la temperatura del sustrato del Biofiltro de lombrices



FOTO N° 8: Análisis de los parámetros In situ



FOTO N° 9: Evaluación de la temperatura del sustrato del Biofiltro de lombrices



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 01 / 04 / 2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: RONY SAUL MAMANI CCALLO

Dirección: Jr. Chavez - Asillo

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71604757

Teléfono: 923382982 email: 71604757rony@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: EFFECTO DE LA ESPECIE EISENIA FOETIDA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES
ORGÁNICOS PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE
ASILLO 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): biofiltro, remoción, aguas residuales, contaminantes orgánicos

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☒ Sí autorizo
- ☐ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL

Firma de Autor



huella digital

01 - ABRIL - 2026

Fecha