

Steven Bill RIVERA VASQUEZ

Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Merca...

 Revisión Repositorio Institucional UNSM

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:524518995

Fecha de entrega

7 nov 2025, 9:37 GMT-5

Fecha de descarga

7 nov 2025, 9:40 GMT-5

Nombre del archivo

OK. ING. SANITARIA - Steven Bill Rivera Vasquez.pdf

Tamaño del archivo

2.6 MB

79 páginas

17.461 palabras

96.107 caracteres




12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	4%
2	Internet	tesis.unsm.edu.pe	2%
3	Internet	hdl.handle.net	1%
4	Internet	www.mag.go.cr	<1%
5	Publicación	Quille Quille, Lenin. "Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de..."	<1%
6	Internet	repositorio.ucss.edu.pe	<1%
7	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2025-10-14	<1%
9	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
10	Internet	www.docsity.com	<1%
11	Internet	repositorio.unac.edu.pe	<1%

12	Internet	repositorio.unasam.edu.pe	<1%
13	Internet	repositorio.untels.edu.pe	<1%
14	Trabajos del estudiante	Melbourne Institute of Business and Technology on 2023-04-02	<1%
15	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
16	Trabajos del estudiante	POSGRADO on 2025-09-12	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2018-01-03	<1%
18	Trabajos del estudiante	consultoriadeserviciosformativos on 2025-07-17	<1%
19	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
20	Internet	www.coursehero.com	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2021-07-09	<1%
22	Internet	repositorio.ujcm.edu.pe	<1%
23	Publicación	FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "PAM...	<1%
24	Trabajos del estudiante	Tecsup on 2020-12-24	<1%
25	Trabajos del estudiante	Tecsup on 2016-07-26	<1%

26	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
27	Trabajos del estudiante	unasam on 2024-12-07	<1%
28	Publicación	ENVIRONMENTAL HYGIENE & SAFETY SRLTDA. "DAA de la Planta de Concreto Pre...	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2020-07-21	<1%
30	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
31	Internet	www.ucongreso.edu.ar	<1%
32	Trabajos del estudiante	Universidad Sergio Arboleda on 2015-05-23	<1%
33	Trabajos del estudiante	tec on 2019-04-07	<1%
34	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-03-13	<1%
35	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2017-11-27	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2022-07-21	<1%
37	Trabajos del estudiante	Universidad de Piura on 2019-03-04	<1%
38	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
39	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-11-27	<1%

40	Publicación	Larico Mamani, César Julio. "Evaluación del comportamiento de las unidades de p...	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco on 2024-11-06	<1%
42	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica Sedes Sapientiae on 2025-11-06	<1%
43	Trabajos del estudiante	University of La Guajira on 2024-06-07	<1%
44	Internet	oa.upm.es	<1%
45	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

Autor:

Steven Bill Rivera Vasquez
<https://orcid.org/0009-0007-2111-6765>

Asesor:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Moyobamba, Perú

2025



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

1 Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

Autor:

Steven Bill Rivera Vasquez

Sustentado y aprobado el 28 de mayo del 2025, ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado

Ing. M.Sc. Santiago Alberto
Casas Luna

Secretario de Jurado

Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata

Miembro de Jurado

Ing. M.Sc. Stánler Irigoín
Vásquez

Asesor

Ing. Dr. Yrwin Francisco
Azabache Liza

Moyobamba, Perú

2025

Declaratoria de autenticidad

Steven Bill Rivera Vasquez, con DNI N° 61172713, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba.**

1 Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 28 de mayo del 2025.



Steven Bill Rivera Vasquez

DNI N° 61172713

Ficha de identificación

Título: Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba	Área de investigación: Ciencia y tecnología ambiental. Línea de investigación: Hidráulica y Saneamiento Básico. Sublínea de investigación: Manejo Integral de Aguas Residuales, Excretas y Residuos Sólidos. Grupo de investigación: Hidráulica y Saneamiento Básico, (Resolución N° 137-2023-UNSM/CF/FE, 30 de noviembre del 2023). Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/> , Aplicada <input checked="" type="checkbox"/> , Desarrollo experimental <input type="checkbox"/>
Autor: Steven Bill Rivera Vasquez	Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0009-0007-2111-6765
Asesor: Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza	Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0000-0003-1396-9745

Dedicatoria

Le dedico a mi mamá Rosa Vásquez, por el apoyo incondicional, que siempre confío en mí, este esfuerzo le dedico a ella con mucho amor.

Steeven Bill

Agradecimientos

Agradecer a Dios por la salud y la fuerza, a mi mamá Rosa, hermana Kellizabeth, mi pareja Enith que son las personas que siempre me estuvieron apoyando en todo momento.

1 Agradecer a los docentes de la Facultad de Ecología por brindarme las enseñanzas académicas y el acceso al laboratorio de escuela de Ingeniera Sanitaria para el análisis de las muestras.

Agradecer al IESTP Alto Mayo, por brindarme las instalaciones del Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca”, para ejecutar la tesis.

1 Agradecer al Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza por la asesoría en el desarrollo de mi tesis.

Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1. Antecedentes internacionales	19
2.1.2. A nivel nacional.....	20
2.1.3. A nivel regional	21
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
2.2.1. Agua residual no doméstica (ARnD).....	21
2.2.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	23
2.2.3. Sistema Tohá.....	24
2.2.4. Eisenia foetida o lombriz roja Californiana.....	26
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	29
3.1.1. Contexto de la investigación.....	29
3.1.2. Periodo de ejecución	29
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	29
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	30
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	30
3.2. Sistema de variables	30

	10
3.2.1. Variables principales.....	30
3.3. Procedimientos de la investigación.....	31
3.3.1. Diseño de investigación.....	31
3.3.2. Análisis de la carga contaminante de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba	33
3.3.3. Análisis la carga contaminante de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba tratada con el sistema Tohá	35
3.3.4. Evaluación de la eficiencia del sistema Tohá en la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba.....	38
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Carga contaminante de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba	41
4.2. Carga contaminante de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba tratada con el sistema Tohá.....	44
4.2.1. Condiciones ambientales de <i>Eisenia foetida</i>	45
4.2.2. Carga contaminante de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el ARnD tratada con el sistema Tohá	46
4.3. Eficiencia del sistema Tohá en la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba	49
4.3.1. Eficiencia del sistema Tohá en la disminución de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el ARnD del Mercado Central de Moyobamba	49
4.3.2. Prueba de hipótesis general.....	51
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS.....	61
Anexo 1. Ubicación del área de estudio	61
Anexo 2. Para hacer uso de las instalaciones del Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca”.....	62

Anexo 3. Autorización para ingreso a laboratorio y, uso de equipos y materiales .	63
Anexo 4. Ficha de recolección de datos para evaluar las condiciones ambientales de <i>Eisenia foetida</i>	64
Anexo 5. Reportes de laboratorio de análisis del parámetro aceites y grasas	65
Anexo 6. Resultados de laboratorio de análisis de DQO, DBO ₅ y SST, y niveles de eficiencia de los sistemas Tohá	70
Anexo 7. Pruebas estadísticas.....	71
Anexo 8. Plano del sistema Tohá	72
Anexo 9. Registro fotográfico	73

Índice de tablas

3	Tabla 1 Impactos del exceso de concentraciones de parámetros de aguas residuales no domésticas	22
	Tabla 2 Valores máximos admisibles de los parámetros del anexo 1.....	23
	Tabla 3 Procesos del tratamiento de aguas residuales	24
	Tabla 4 Taxonomía de Eisenia foetida o lombriz roja Californiana	26
36	Tabla 5 Descripción de variables por objetivo específico	30
	Tabla 6 Distribución de muestra según sistema Tohá	32
	Tabla 7 Procedimientos realizados para el análisis de las muestras	34
	Tabla 8 Prueba de normalidad para seleccionar el estadístico de muestras relacionadas	39
	Tabla 9 Prueba de normalidad para seleccionar el estadístico de muestras independientes	40
	Tabla 10 Condiciones de pH, temperatura y humedad de la lombriz Eisenia foetida... 45	
	Tabla 11 Eficiencias del sistema Tohá en la disminución de AyG, DQO, DBO ₅ y SST en el ARnD del mercado central de Moyobamba.....	49
7	Tabla 12 Resultados de la prueba de Wilcoxon para comparar concentraciones de AyG y SST antes y después del tratamiento con el sistema Tohá	51
7	Tabla 13 Resultados de la prueba T de muestras emparejadas para comparar concentraciones de DQO y DBO ₅ antes y después del tratamiento con el sistema Tohá	51
	Tabla 14 Resultados de la prueba T de muestras independientes para comparar la eficiencia de remoción entre dos sistemas Tohá	51
	Tabla 15 Concentraciones iniciales, finales y eficiencias para AyG, DQO, DBO ₅ y SST	70
33	Tabla 16 Prueba T de muestras emparejadas	71
	Tabla 17 Prueba T de muestras independientes	71

Índice de figuras

Figura 1 Capas de un sistema Tohá.....	26
Figura 2 Ciclo de vida de Eisenia foetida.	27
Figura 3 Diseño de los sistemas Tohá.	37
Figura 4 Concentraciones de AyG en el ARnD proveniente del mercado central	41
Figura 5	42
Figura 6 Concentraciones de DBO ₅ en el ARnD proveniente del mercado central	42
Figura 7 Concentraciones de SST en el ARnD proveniente del mercado central.	43
Figura 8 Concentraciones de AyG en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.	46
Figura 9 Concentraciones de DQO en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.....	47
Figura 10 Concentraciones de DBO ₅ en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.....	47
Figura 11 Concentraciones de SST en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.....	48

RESUMEN

Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

El estudio buscó, evaluar la implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba. Se implementó el sistema Tohá en el Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca” del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Alto Mayo” (IESTP Alto Mayo), distrito de Moyobamba. Se consideró un diseño de investigación preexperimental con dos grupos experimentales: el sistema Tohá 1 (ST 1) y el sistema Tohá 2 (ST 2), ambos consistieron en capas de 10 cm de grava gruesa, 10 cm de arena, 5 cm de fibra de coco, 5 cm de aserrín y, 10 cm de compost con 350 g de *Eisenia foetida* en ST 1 y 750 g en ST 2. Se analizó las concentraciones de aceites y grasas (AyG), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y sólidos suspendidos totales (SST) en el tanque de almacenamiento con ARnD. Asimismo, se diseñó e implementó los sistemas Tohá, se analizó la carga contaminante en el agua residual tratada después de 5, 10, 15 y 20 días de funcionamiento del sistema de tratamiento y los resultados tanto del afluente y efluente se compararon con los valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el anexo 1 del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Finalmente, se calculó las eficiencias de reducción y se evaluó si la implementación del sistema disminuye significativamente la carga contaminante (prueba de Wilcoxon y prueba T de muestras emparejadas) y el sistema Tohá más eficiente (prueba T de muestras independientes). Se encontró que, las concentraciones promedio de los cuatro parámetros estudiados en el ARnD del mercado no cumplieron los VMA. La lombriz *Eisenia foetida* durante la adaptación y funcionamiento del sistema se desarrolló en condiciones ambientales ideales, lo que facilitó el proceso de tratamiento. Asimismo, se determinó que el ST 2 reportó menores concentraciones promedio de AyG, DQO, DBO₅ y SST que cumplieron los VMA, en comparación con el ST 1, donde solo AyG y SST cumplieron con los valores admisibles. Finalmente, se encontró que el ST 2 presentó mayores eficiencias de remoción de 96,4 ± 3,7 % para AyG, 74,6 ± 6,4 % para DQO, 77,2 ± 6,7 % para DBO₅ y 78,5 ± 5,9 % para SST. Se concluye que, la implementación del sistema Tohá disminuye significativamente los niveles de AyG, DQO, DBO₅ y SST presente en el ARnD del mercado central de Moyobamba, y se logran mayores eficiencias al aumentar la cantidad de *Eisenia foetida*.

Palabras clave: Agua residual no doméstica, carga contaminante, *Eisenia foetida*, sistema Tohá.

ABSTRACT

Implementation of the Tohá system to reduce the pollutant load in non-domestic wastewater from the Central Market of Moyobamba

19 The study sought to, Evaluate the implementation of the Tohá system to reduce the pollutant load in non-domestic wastewater from the Central Market of Moyobamba. The Tohá system was implemented at the “La Tipishca” Agricultural Research and Production Center of the “Alto Mayo” Institute of Higher Education and Technology (IESTP Alto Mayo), district of Moyobamba. A pre-experimental research design was considered with two experimental groups: the Tohá 1 system (ST 1) and the Tohá 2 system (ST 2), both consisted of layers of 10 cm of coarse gravel, 10 cm of sand, 5 cm of coconut fiber, 5 cm of sawdust and 10 cm of compost with 350 g of *Eisenia foetida* in ST 1 and 750 g in ST 2. The concentrations of oils and fats (ODG), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD5) and total suspended solids (TSS) were analyzed in the storage tank with NDWW. Likewise, the Tohá systems were designed and implemented, the pollutant load in the treated wastewater was analyzed after 5, 10, 15 and 20 days of operation of the treatment system and the results of both the influent and effluent were compared with the maximum allowable values (MAV) established in Annex 1 of D.S. No. 010-2019-VIVIENDA. Finally, the reduction efficiencies were calculated and it was evaluated whether the implementation of the system significantly decreases the pollutant load (Wilcoxon test and paired samples T-test) and the more efficient Tohá system (independent samples T-test). It was found that, the average concentrations of the four parameters studied in the market NDWW did not meet the MAVs. The earthworm *Eisenia foetida* during the adaptation and operation of the system developed under ideal environmental conditions, which facilitated the treatment process. Likewise, it was determined that ST 2 reported lower average concentrations of OyG, COD, BOD5 and TSS that met the MAVs, compared to ST 1, where only OyG and TSS met the admissible values. Finally, it was found that ST 2 presented higher removal efficiencies of 96.4 ± 3.7 % for OyG, 74.6 ± 6.4 % for COD, 77.2 ± 6.7 % for BOD5 and 78.5 ± 5.9 % for TSS. It is concluded that the implementation of the Tohá system significantly decreases the levels of OyG, COD, BOD5 and TSS present in the NDWW of the central market of Moyobamba, and greater efficiencies are achieved by increasing the amount of *Eisenia foetida*.

45 **Keywords:** Non-domestic wastewater, pollutant load, *Eisenia foetida*, Tohá system.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El agua es un recurso natural primordial que sostiene los ecosistemas, la vida y la sociedad humana (Yang et al., 2021), donde los ríos son considerados una de las fuentes principales de agua dulce para las personas, resultando necesario controlar, proteger y gestionar el recurso hídrico ante la contaminación (Barakat et al., 2016; Singh et al., 2005). Sin embargo, la calidad de las fuentes hídricas se ven alteradas por procesos naturales y por la acción antrópica, por ejemplo, la descarga de efluentes agrícolas, domésticos e industriales (Singh y Kumar, 2017; Wang et al., 2020).

Las aguas residuales del sector no doméstico (ARnD) son efluentes líquidos producidos por actividades comerciales o industriales (Anaya y Zegarra, 2015), que día tras día perjudican la calidad de las superficies hídricas, tomando en cuenta los diversos contaminantes que se vierten sin previo tratamiento (Bautista y Pramparo, 2022). Además, se puede afectar las infraestructuras de tratamiento de los vertimientos (United States Environmental Protection Agency [US EPA], 2023), debido a la corrosión, formación de incrustaciones y obstrucciones, generación de gases y tóxicos (Uría, 2021). Los mercados forman parte del rubro de usuarios no domésticos y diariamente producen grandes volúmenes de aguas residuales que perjudican el ambiente, particularmente en forma de contaminación por olores y contaminación del agua, además de enfermedades transmitidas por el agua (Binti, 2017).

A nivel mundial, los países en desarrollo generan en promedio entre 30 – 70 mm³/persona/año (Edokpayi et al., 2017) y 380 mil millones de m³ de aguas residuales al año, con posible incremento al 2030 y 2050 entre 24 y 51 %, respectivamente (Qadir et al., 2020), además, casi el 80 % de aguas residuales se vierten a cuerpos de agua o al ambiente de forma inadecuada o sin previo tratamiento, pudiendo deteriorar la calidad hídrica y causar diarreas (Ferreira et al., 2021; Hafeez et al., 2021).

En el Perú, 50 empresas gestionan en 260 localidades el servicio de agua y saneamiento, de los cuales 96 localidades vierten de forma directa en canales, ríos, drenes y al océano, llegando a descargar en el 2020 alrededor de 267 292 388 m³/año equivalente al 22 % del volumen de agua residual descargado por las empresas prestadoras (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022). En el departamento de San Martín la descarga de aguas residuales también es un problema, incrementándose el vertimiento de 7 583 913 m³ a 8 629 483 m³ entre el 2008 al 2016 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017, p. 17).

El tratamiento y la reutilización de las aguas residuales es uno de los esfuerzos más prometedores para atajar la crisis mundial del agua (Arora y Saraswat, 2021). Para ello, se deben emplear alternativas económicas, eficientes e innovadoras para tratarlas óptimamente (Sosa et al., 2014; Tejada et al., 2018). Entre estas, destaca la vermifiltración, particularmente el “Sistema Tohá”, que emplea lombrifiltros para tratar aguas residuales a través de una acción combinada entre lombrices de tierra y microorganismos, reduciendo notablemente la carga orgánica del agua, como también otros contaminantes biológicos y fisicoquímicos (Ramón et al., 2015).

El sistema Tohá, es una extensión del vermicompostaje, un sistema de biofiltro donde las lombrices tienen la función de digerir partículas suspendidas tamizadas en la capa filtrante y degradan la materia orgánica por acción enzimática y en proceso de ingestión, airean el sistema de manera pasiva mediante la actividad de excavación y reducen patógenos (Arora y Saraswat, 2021). Por ello, este enfoque es una tecnología ideal para el tratamiento de efluentes domésticos e industriales, debido a su rentabilidad y propiedades ecológicamente sostenibles (Singh et al., 2017).

Diversos estudios han demostrado la eficiencia del sistema Tohá, por ejemplo, en el ámbito internacional, Gwebu y Mpala (2022) determinaron que la vermifiltración con grava y tierra compostada con 20 g de lombrices *Eseinia fétida* fue eficiente al reducir fosfatos, nitratos, DBO₅, coliformes totales, SST, STD, turbidez y pH. En el ámbito nacional, Umasi (2020) al usar un sistema con capas de *Eisenia foetida*, materia orgánica (aserrín y compost) y una capa final de arena, grava mediana y piedra de río, determinó que el agua tratada presentó niveles aceptables para usarlo en riego de vegetales (restringido y no restringido) y bebida de animales.

El sector comercial e industrial conocido como UND, genera grandes volúmenes de aguas residuales. Un ejemplo de esto es el mercado central de Moyobamba, donde, pese a la escasez de datos de volumen de efluentes, se conoce que no existe algún sistema de tratamiento de aguas residuales. Según los últimos reportes de la EPS Moyobamba, las concentraciones de AyG, DQO, DBO₅ y SST superan los VMA (Rodrigo, 2023), afectando así el sistema de alcantarillado y el ambiente. En respuesta a este problema, el estudio propuso implementar un sistema Tohá a nivel de laboratorio para disminuir la carga contaminante en el ARnD del mercado central.

El problema de estudio fue: ¿En qué medida la implementación del sistema Tohá disminuye la carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba? Se planteó como hipótesis nula (H₀): La implementación de un sistema Tohá si disminuye la carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado

Central de Moyobamba; y, la hipótesis alterna (H_i) fue: La implementación de un sistema Tohá no disminuye la carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba. El objetivo general fue: Evaluar la implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba. Los objetivos específicos fueron: 1ro: Analizar la carga contaminante de AyG, DQO, DBO_5 y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba; 2do: Analizar la carga contaminante de AyG, DQO, DBO_5 y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba tratada con el sistema Tohá; y, 3ro: Evaluar la eficiencia del sistema Tohá en la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Namaldi y Azgin (2023) evaluaron la eficiencia de un sistema de vermifiltración a escala de laboratorio para reducir SST, conductividad eléctrica, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales y metales pesados en zonas industriales organizadas (ZIO) y aguas residuales domésticas (AD). Construyeron los sistemas en base a cuatro capas: un lecho de lombrices y tres de diferentes materiales filtrantes, con funcionamiento a una carga hidráulica óptima de $1,8 - 2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ durante 45 días con *Eisenia fetida* como especie de lombriz. Encontraron niveles de eficiencia para SST y DQO entre 95 y 80 % (ZIO) y del 90 y 88 % (AD), respectivamente; el nitrógeno total y fósforo total se redujeron en 69 y 67 % (OIZ) y en 84 y 74 % (AD), además, los metales pesados se redujeron entre 51 y 77 % en aguas residuales de ZIO.

Castillo y Chimbo (2021) en zonas rurales, evaluaron la eficiencia en la remoción de materia orgánica con lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas. Diseñaron un sistema Tohá, conformado por 4 estratos: aserrín + *Eisenia foetida*, carbón activado, grava y piedras de río. Obtuvieron altos valores de DQO, DBO_5 , sólidos totales (ST) y SST, alcanzando altos porcentajes de eficiencia con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 0,92 h y flujo volumétrico de $1,8 \times 10^{-2} \text{ L/s}$ logrando 52,91 % para ST, 66,74 % para SST y 52,25 % para DQO y DBO_5 . Concluyeron que el sistema de lombrifiltros a base de *Eisenia foetida* fue un sistema innovador y ecológico que necesita baja inversión, además de ser amigable y eficiente con el ambiente.

Ghasemi et al. (2020) en una región de aproximadamente 280 personas trataron las aguas residuales mediante vermificación. Introdujeron las aguas residuales domésticas de la zona residencial acumuladas en una fosa séptica a un sistema con filtro de arena y vermifiltro con carga óptima de 2 m^2 al día durante 45 días y midieron pH, conductividad eléctrica, DQO, turbidez y nitratos. Encontraron reducción de nitratos (60 %), DQO (80 %), conductividad eléctrica (80 %) y turbidez (90 %), cumpliendo así las normas ambientales de calidad de aguas residuales tratadas.

Rosales-Ayala et al. (2019) en la ciudad La Libertada en El Salvador, caracterizaron aguas residuales de tipo especiales (industriales y agroindustriales), en específico analizaron el agua residual de restaurantes y mercado municipal, el influente y efluente

de la planta de tratamiento y el cuerpo receptor (Río Chilama), realizaron los muestreos en marzo de 2017 (A) y marzo de 2018 (B). Entraron que las concentraciones de AyG variaron entre 126,0 y 340,0 mg/L con promedios de 233,6 mg/L (A) y 247,7 mg/L (B); los valores de DQO fluctuaron entre 1 829,0 y 3 438,0 mg/L con promedios de 2 676,9 mg/L (A) y 2 564,0 mg/L (B); las concentraciones de DBO₅ variaron entre 1 115,0 mg/L y 2 160,0 mg/L con una media de 1 562,7 mg/L (A) y 1 646,7 mg/L (B), finalmente, las concentraciones de SST fluctuaron entre 330,0 mg/L y 1 340,0 mg/L con promedios de 924,1 mg/L (A) y 961,9 mg/L (B).

2.1.2. A nivel nacional

3 Carhuallanqui (2022) en el mercado mayorista terminal pesquero determinó las condiciones operativas adecuadas de los lombrifiltros para tratar los efluentes residuales. Utilizó 3 lombrifiltros con sustratos de igual peso y cantidades diferentes de lombrices, evaluados en 5, 10 y 15 días, además, se adaptó a *Eisenia foetida* durante dos meses antes del tratamiento y el sistema estuvo compuesto por un tanque de alimentación de 122,5 L, con caudal total diario de 0,0926 m³/s y flujo vertical al sistema. Encontró que antes (A) y después (D) las concentraciones de color fue 285 PCU (A) y 41,37 PCU (D), temperatura de 16,5 °C (A) y 22,5 °C (D), conductividad eléctrica de 8,43 µmho (A) y 3,46 µmho (D), y AyG de 87,03 mg/L (A) y 11,06 mg/L (D); asimismo, encontró porcentajes de remoción de 82,01 % para turbidez, 87,29 % para AyG, 95,60 % para SST, 89,91 % para DQO, 89,91 % para DBO₅, 91,11 % para MO, 56,0 % para coliformes fecales y 99,54 % para coliformes totales. Determinó la eficiencia de los lombrifiltros y su aplicación en diferentes sectores.

3 Gamarra (2021) en la comunidad La Punta – Sapallanga, evaluó la eficiencia de un sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de efluentes residuales domésticos. Instalaron un sistema vermifiltro conformado por tres tratamientos (T): T1 = 25 mL/min; T2 = 50 mL/min; T3 = 75 mL/min; además, cada filtro tuvo cuatro capas: humos y lombriz (*Eisenia foetida*), aserrín, grava y arena gruesa, realizó los análisis cada 7 días durante 3 semanas. Encontró una remoción de 96,7 % para DBO₅ con los tres tratamientos; para DQO la remoción fue: 86,5 % (T1), 82,57 % (T2) y 79,95 % (T3); para SST la remoción fue: 95,3 % (T1), 96,1 % (T2) y 95,5 % (T3); y, el pH en los tres tratamientos se estabilizó. Concluyó que el sistema de vermifiltro empleado tuvo una elevada eficiencia para depurar contaminantes de los efluentes residuales domésticos de la comunidad La Punta – Sapallanga.

2.1.3. A nivel regional

1 Rodrigo (2023) en la ciudad de Moyobamba, evaluó la descarga de ARnD y propuso alternativas para reducir el exceso de concentraciones fisicoquímicas. Consideró una muestra de 133 usuarios no domésticos (UND) dentro de los cuales se encontró las actividades de CIUU 4719 que representa a las actividades de venta al por menor en comercios no especializados. Encontró que de siete muestreos en UND de CIUU 4719, seis excedieron al menos un parámetro del anexo 1 del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, además, reveló 3 excesos de AyG y/o DBO₅, 4 excesos para SST y 5 excesos para DQO, las concentraciones de AyG variaron entre 2,0 y 276,6 mg/L, la DQO entre 29,3 y 5 917,9 mg/L, la DBO₅ entre 10,4 y 3 288,0 mg/L y los SST entre 8,3 y 2 183,1 mg/L, asimismo, reportó que esta industria fue la segunda actividad de la ciudad de Moyobamba con mayor pago por exceso de VMA con un promedio de S/. 315,48.

13 Garcia (2021) evaluó la eficiencia de remoción de concentraciones de contaminantes de efluentes residuales domésticos mediante la aplicación del sistema biológico Tohá a escala de planta piloto. El sistema implementado contó con un tanque de almacenamiento de 1 100 L de volumen, con una bomba sumergible de 1 hp; el filtro biológico fue de 8,13 m³ con materiales filtrantes como: aserrín, arena fina, malla raschel, piedra chancada, piedra over y lombrices; los componentes auxiliares fueron: una caja de registro de 0,6 x 0,6 m y un lecho de secado de 0,6 x 0,6 m con piedra chancada, arena fina, piedra over y materiales filtrantes. Encontró porcentajes más altos de remoción de: 76,12 % para DQO, 84,21 % para DBO₅, 23,56 % para pH, 20,79 % para SST y 52,86 % para coliformes termotolerantes, además, a excepción de SST y coliformes termotolerantes todos los demás parámetros cumplieron los LMP.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Agua residual no doméstica (ARnD)

Las ARnD son aquellos efluentes que se generan por actividades industriales, comerciales y económicas, que difiere de las aguas residuales producidos por usuarios domésticos al preparar los alimentos y por actividades de aseo personal y por desechos fisiológicos (Agurto, 2015).

Las aguas residuales no domésticas generadas por diferentes actividades económicas tienen un elevado nivel de perjuicio, debido a que diariamente se vierten efluentes con elementos y sustancias fisicoquímicas con altas concentraciones. Estas aguas son descargadas al sistema de alcantarillado sanitario, pudiendo afectar las infraestructuras sanitarias al generar aniegos y atoros, y además con la posibilidad de arriesgar la salud de la población expuesta (Revolledo, 2022).

a. Impactos del exceso de concentraciones de aguas residuales no domésticas

La principal característica de la descarga de ARnD, especialmente del sector industrial es la gran cantidad de volumen que se evacua y los niveles elevados de contaminantes. Al verter los efluentes al alcantarillado sanitario puede verse alterado su adecuado funcionamiento, siempre y cuando existan elementos corrosivos que atacan uniones y estructuras de concreto. Por otro lado, si las concentraciones de aceites y grasas o de sólidos son elevados, el diámetro efectivo de las tuberías se puede reducir y producir eventualmente atoros. De igual forma, las plantas de tratamiento se pueden ver afectadas al reducir su eficiencia para tratar las aguas residuales, debido a las elevadas concentraciones fisicoquímicas de los efluentes (Anaya y Zegarra, 2015).

Tabla 1

Impactos del exceso de concentraciones de parámetros de aguas residuales no domésticas

Parámetro	Aspecto	Implicancia en la operación de colectores y PTAR
DQO	Refiere el total de compuestos con propiedades oxidables de los afluentes. La asociación entre la DQO/DBO ₅ es el elemento más relevante al analizar este parámetro. Mientras la asociación sea más elevada, el tratamiento será de mayor dificultad y existirán mayores riesgos de no alcanzar concentraciones determinadas de DQO en el afluente.	Altas concentraciones de DQO se asocian con la presencia de compuestos inhibidores del tratamiento biológico. Una elevada asociación DQO/DBO ₅ implica mayores riesgos y costos en la operación de plantas de tratamiento.
DBO ₅	Da a conocer la biodegradabilidad de los efluentes. Se conoce como la porción de oxígeno necesitado por la comunidad bacteriana mientras se realiza la estabilización del material orgánico bajo condiciones aeróbicas.	Niveles altos de DBO ₅ pueden generar problemas de deterioro en los sistemas de alcantarillado por la producción de gases anaerobios que pueden llegar a convertirse en H ₂ SO ₄ (ácido sulfúrico) que tiene características de ser extremadamente corrosivo. Así también, el H ₂ S (gas generado en los procesos anaerobios) presenta elevados costos para evitar malos olores. Elevados niveles de DBO ₅ en las plantas de tratamiento no es considerado como crítico, pero genera costos adicionales de energía, incremento de volúmenes de reactores y la disposición última de los lodos.
SST	Estima la fracción de material en suspensión en los efluentes.	Concentraciones elevadas de SST repercuten en atoros en el sistema de alcantarillado. Este parámetro es el único que presenta niveles muy elevados sin asociarse con otros parámetros. Valores altos en la PTAR refieren costos elevados

11

1

1

Parámetro	Aspecto	Implicancia en la operación de colectores y PTAR
		para remover y disponer finalmente los lodos.
A y G	Este parámetro se asocia con la DQO y DBO ₅ . La asociación no es pre determinable y las propiedades particulares hacen imprescindible una mención dividida.	Valores elevados de aceites y grasas pueden producir inconvenientes de incrustaciones en el sistema y producir atoros. Además, pueden generar incrementos en los costos de operación, debido a que es necesario eliminarlos (limpieza). Los costos adicionales por el tratamiento biológico se incluyen en la DQO y DBO ₅ . Este parámetro es razonablemente fácil para tratarse en instalaciones previo vertimiento al sistema de alcantarillado.

Nota. Tomado y adaptado de Resolución de Consejo Directivo N.º 025-2011-SUNASS-CD (2011)

b. Valores máximos admisibles (VMA)

Se definen a los VMA como aquellos valores de concentraciones de sustancias, elementos o parámetros fisicoquímicos, que definen a un efluente no doméstico que será vertido en el sistema de alcantarillado sanitario, que al superar el máximo admisible puede ocasionar daños inmediatos o progresivos a la infraestructura sanitaria, instalaciones, equipos y maquinarias de las redes de alcantarillado y tratamiento de efluentes residuales, además, incide de forma negativa en los procesos de tratamiento de efluentes residuales (Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, 2019). En la Tabla 2, se muestran los VMA del anexo 1 para vertimiento de descargas a la red de alcantarillado sanitario.

Tabla 2

Valores máximos admisibles de los parámetros del anexo 1

Parámetro	Simbología	Unidad	VMA para descargas a la red de alcantarillado
Aceites y grasas	A y G	mg/l	100,0
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	1 000,0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	500,0
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	500,0

Nota. Tomado y adaptado de Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (2019)

2.2.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de los efluentes residuales tiene como fin encontrar en cada etapa la eliminación de los contaminantes presentes en estas aguas (Castro, 2019). Dentro de los principales objetivos de la remoción están: fósforo, nitrógeno, patógenos, sólidos suspendidos, DBO y otras sustancias considerando las propiedades del efluente que se tratará, como: remoción de sustancias inorgánicas y remoción de metales pesados, además, de acuerdo a la necesidad y fines propuestos se realiza la complejidad de los

sistemas de tratamiento, habitualmente se habla de etapas como: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario (Fuquene, 2011). En la Tabla 3 se describen los procesos del tratamiento de aguas residuales.

Tabla 3
Procesos del tratamiento de aguas residuales

Tratamiento de agua residual			
Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Objetivos: Separar grasas, arena, y objetos gruesos.	Objetivos: Eliminación de material flotante y sedimentable.	Objetivos: Eliminación de material orgánico coloidal.	Objetivos: Eliminación de sólidos suspendidos, material orgánico patógeno y residual.
Operación básica: Desengrasado. Desarenado. Desbaste.	Operación básica: Decantación primaria. Procedimientos fisicoquímicos (floculación y coagulación).	Operación básica: Decantación secundaria. Degradación bacteriana.	Operación básica: Filtración. Floculación. Desinfección. Eliminación de fosforo y nitrógeno.
Proceso físico.	Proceso fisicoquímico	Proceso biológico.	Proceso biológico y fisicoquímico.

Nota. Tomado y adaptado de Sevilla (2018, como se citó en Carhuallanqui, 2022)

2.2.3. Sistema Tohá

El sistema Tohá es un sistema utilizado para tratar aguas residuales industriales o domésticas, fue desarrollado por un grupo de investigación dirigido por el Dr. José Tohá Castellá, con el fin de encontrar una opción ecológica para la descontaminación de los efluentes residuales. Los resultados que se obtuvieron con esta metodología demostraron una elevada eficiencia del nuevo sistema para remover microorganismos patógenos y materia orgánica (Fundación para la transferencia tecnológica, 2005, como se citó en Arias y Tiquillahuanca, 2018).

El sistema Tohá comprende un conjunto de procesos que tienen como fin reducir las concentraciones de contaminantes fisicoquímicos y biológicos presentes en aguas servidas y efluentes industriales. Este método permite obtener agua limpia (efluente tratado) y un residuo sólido conocido como biosólido o lodo, debe ser dispuesto de forma segura con el objetivo de evitar malos olores y la contaminación, contribuyente de esta manera a la recuperación de recursos y a la disminución de impactos al ambiente y salud (Ramón et al., 2015).

Khwairakpam (2020) refiere que la vermifiltración es un proceso que adapta el vermicompostaje tradicional para el tratamiento de aguas residuales, permitiendo que el

agua fluya por gravedad vertical/horizontalmente a través de un medio filtrante como arena y grava de diferentes tamaños, es así que las aguas residuales se purifican en este proceso a medida que se filtran a través del vermicompost mediante degradación física y microbiana, y la materia orgánica pasa a través del intestino de la lombriz de tierra, que sale como producto final con valor agregado.

a. Componentes del sistema Tohá

7 El tratamiento de aguas residuales en el sistema Tohá implica el proceso de vermicompostaje y procesos microbianos en la eliminación de cargas residuales en el efluente. El medio del sistema se caracteriza particularmente por materiales granulares como ceramita, cuarzo en capas de varios tamaños, grava y tierra inoculada con lombrices. Los materiales granulares permiten la eliminación de contaminantes mediante filtración, en tanto, las lombrices cumplen el rol de degradar los desechos y activar el crecimiento de organismos microbiológicos que descomponen los residuos (Gwebu y Mpala, 2022).

5 Estos sistemas de tratamiento se componen de un medio filtrante y de un soporte (Figura 1). El medio filtrante es una capa de humus de 2 cm de profundidad, donde cohabitan microorganismos y lombrices *Eisenia foetida*. La primera capa de soporte y que además puede servir de filtro es el aserrín (debajo del humus), cuyo espesor a considerar debería ser por lo menos de 25 cm con el objetivo de alcanzar la franja operativa adecuada para el desarrollo de la lombriz. Además, tiene como principal objetivo actuar como alimento para las lombrices cuando la carga contaminante de agua residual no es suficiente. La segunda capa se constituye de grava o ripio y la tercera se conforma de bolones con espesor de alrededor de 25 cm de espesor, las piedras de mayor dimensión se colocan en la parte inferior y las de menor tamaño en el estrato superior, esta capa se destina a la aireación y drenaje del sistema. El piso del filtro, que también se conoce como falso fondo, presenta una cierta pendiente (alrededor de 1 %), con el objetivo de que el agua fluya hacia la canaleta de evacuación, la misma que también presenta una corta pendiente (0,5 %). La adición de aserrín al lecho se debe realizar con una frecuencia de 4 meses, debido a la disminución de esta capa por el fraccionamiento alcanzado (Salazar, 2005)



Figura 1
 Capas de un sistema Tohá
 Nota. Tomado de Salazar (2005)

2.2.4. Eisenia foetida o lombriz roja Californiana

Eisenia foetida se clasifica como anélido terrestre dentro del reino animal, perteneciente a la clase Oligoquetos, donde el ambiente húmedo es su principal hábitat y no tolera la luz. Además, esta lombriz es hermafrodita insuficiente, siendo de tipo bisexual que requiere aparearse para su reproducción (Somarriva y Guzmán, 2004).

La lombriz roja Californiana es utilizada en la lombricultura en más del 80 % de criaderos a nivel mundial, lo cual lo cataloga como uno de las especies más cultivadas debido a sus características particulares como: capacidad de apiñamiento, potencial reproductor, tolerancia a factores ambientales y por su rusticidad (Guadarrama y Taboada, 2004).

a. Taxonomía de *Eisenia foetida* o lombriz roja Californiana

En la Tabla 4 se muestra la clasificación taxonómica de *Eisenia foetida* o lombriz roja Californiana.

Tabla 4
 Taxonomía de *Eisenia foetida* o lombriz roja Californiana

Taxonomía	
Reino	Animal
División	Anélidos
Clase	Clitelados
Orden	Oligoqueto
Familia	Lombrícidos
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Foetida</i>

Nota. Tomado y adaptado de Díaz (2002)

b. Características de *Eisenia foetida* o lombriz roja Californiana

Campos y Guzmán (2014) refieren que la lombriz roja Californiana presenta las siguientes características:

- Es de color rojo intenso (de donde proviene su nombre).
- De 3 a 5 mm de diámetro, de 6 a 8 cm de largo llegando a alcanzar en algunos casos los 10 cm.
- Presenta un cuerpo de tipo cilíndrico, formado por una gran cantidad de segmentos conocidos como metámeros, somitos o anillos (250). Cada segmento está dotado de cerdas o quetas (como pelitos), estructuras que permiten moverse en el suelo; estas estructuras son generadas en los "pliegues" de la piel y representa a una de las principales características externas para su clasificación taxonómica.
- El peso es de 1 g y 1,4 g en la etapa de adulto, a diario come equivalente a su peso y elimina un 60 % en forma de abono.
- Cuenta con una boca, una faringe y un buche que es un órgano que almacena temporalmente. El mucus permite ablandar y humedecer previamente el alimento, la molleja tritura el alimento elaborándolo para las etapas finales de la absorción y digestión, además, la secreción de calcio lo hacen las glándulas calcáreas.
- Viven alrededor de 1 y 4 años en cautiverio.
- El hábitat óptimo para su crecimiento y desarrollo debe tener una humedad de 70 a 80 %, pH entre 6,8 y 7,2 y temperaturas de 25 °C. Habita dentro de los primeros 50 cm del suelo.
- La madurez sexual lo alcanza entre los 10 y 12 semanas (3 meses) (Figura 2).

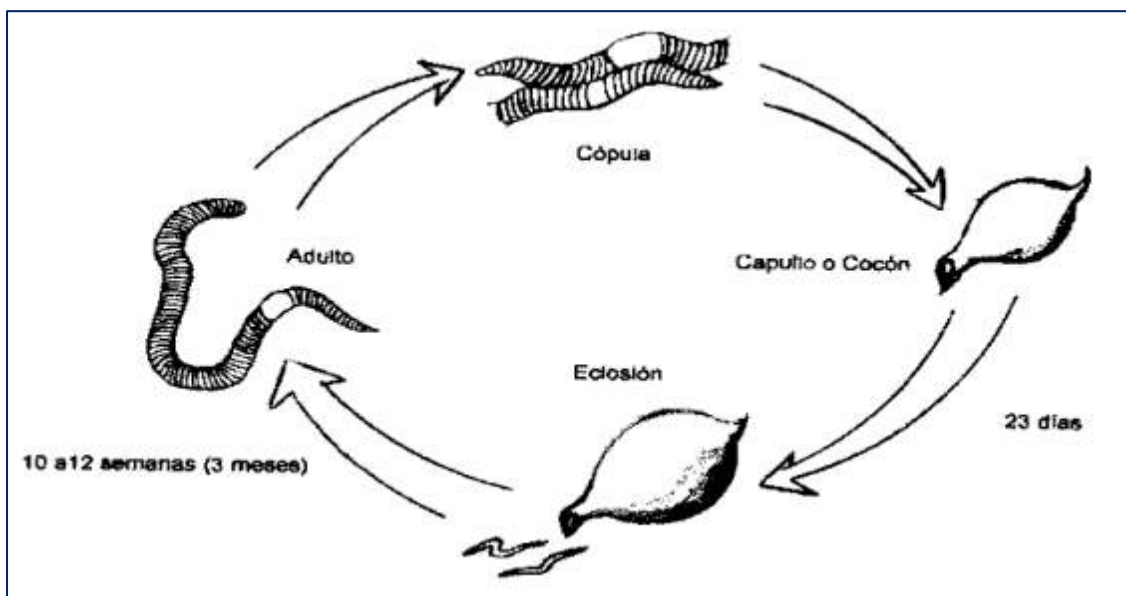


Figura 2

Ciclo de vida de Eisenia foetida.

Nota. Tomado de Campos y Guzmán (2014)

4 - Tiene ambos sexos, pero para su reproducción debe aparearse, la cual se realiza una vez cada semana a través de la fecundación cruzada, de cada cópula o acoplamiento resultan 2 cápsulas denominadas capullos o cocones (uno de cada consorte), éstas se desarrollan en el Clitelo (estructura que usualmente es en forma de anillo) y este se localiza entre el somito 13 y 37. Los cocones, capullos o cápsulas presentan forma de pera y se liberan o abandonan por los progenitores.

c. Condiciones ambientales para el desarrollo de *Eisenia foetida* o lombriz roja Californiana

Restrepo et al. (2007) refiere que las condiciones ambientales ideales para el desarrollo de *Eisenia foetida* o lombriz roja Californiana son las siguientes:

- pH: El valor de pH ideal es 7.
- Temperatura: Rango óptimo entre 12 y 25 °C.
- Humedad: 70 % para favorecer ingestión del alimento y deslizamiento en el material.
- 21 - Aireación: Fundamental para una respiración y desarrollo adecuado de las lombrices. Si este parámetro no es adecuado la ingestión de alimento se minimiza, además reproducción y apareamiento debido a la compactación.

Por su parte, Benavides et al. (2006) manifiestan que las condiciones que afectan la reproducción de esta lombriz son: temperaturas fuera del rango entre 16 a 28 °C y niveles de humedad relativa fuera del rango de 60 a 80 %.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación**

3.1.1. **Contexto de la investigación**

a. **Ubicación política**

- **Área de estudio** : Mercado central de Moyobamba.

Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca” del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Alto Mayo” (IESTP Alto Mayo).

- **Distrito** : Moyobamba.

- **Provincia** : Moyobamba.

- **Departamento** : San Martín.

b. **Ubicación geográfica**

El sistema Tohá se implementó a escala piloto en el Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca” del IESTP Alto Mayo ubicado en la carretera Fernando Belaúnde Terry km 492 en el sector Indañe, distrito y provincia de Moyobamba, departamento de San Martín. La ubicación exacta del sistema fue en las coordenadas UTM WGS 84 Z 18S: X: 280046; Y: 9330484, a una altitud aproximada de 871 m.s.n.m. (ver Anexo 1).

La muestra de agua residual no doméstica (ARnD) se recolectó de un buzón de desagüe del mercado central de la ciudad de Moyobamba, para luego ser conducido a las instalaciones del sistema Tohá para el debido proceso de tratamiento. El punto de muestreo en el mercado se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Z 18S: X: 281152; Y: 9332700, a una altitud aproximada de 874 m.s.n.m. (ver Anexo 1).

3.1.2. **Periodo de ejecución**

El proyecto se ejecutó durante un periodo de seis meses contados desde el 26 julio de 2024 al 25 de enero del 2025.

3.1.3. **Autorizaciones y permisos**

Se solicitó permiso al IESTP para hacer uso de las instalaciones del Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca” (ver Anexo 2).

Asimismo, se solicitó la autorización pertinente a la Facultad de Ecología para hacer uso del laboratorio, con la finalidad de analizar las muestras de DBO₅, DQO y SST (ver Anexo 3).

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Se consideró medidas de bioseguridad para no exponer a riesgos de salud al equipo de investigación durante la toma de muestra y uso de laboratorio.

Asimismo, se evitó arrojar desperdicios al ambiente, se emplearon bolsas plásticas para la colocación temporal de los desechos y posteriormente fueron arrojados en un lugar adecuado.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Como investigadores declaramos que la intervención respetó los principios éticos generales de la investigación. La integridad, el respeto a las personas, respeto al ecosistema, beneficencia y justicia, además, principios como la confidencialidad y transparencia.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

- Variable dependiente : Sistema Tohá.
- Variable independiente : Carga contaminante en agua residual no doméstica.

Tabla 5

Descripción de variables por objetivo específico

Objetivo específico Nº 1: Analizar la carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba.

Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Carga contaminante en agua residual no doméstica cruda	- AyG. - DQO. - DBO ₅ . - SST.	- Procedimiento directo en campo mediante la recolección de ARnD del mercado con un balde y, muestras del tanque de almacenamiento con frascos de plástico y ámbar.	- mg/L. - mg/L. - mg/L.
	- Cumplimiento de valores máximos admisibles (VMA).	- Procedimiento indirecto en gabinete.	- mg/L, según Tabla 2.

Objetivo específico № 2: Analizar la carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba tratada con el sistema Tohá.

Carga contaminante en agua residual no doméstica tratada	- AyG.	- Procedimiento directo en campo mediante la recolección de ARnD del mercado con un balde y, muestras del tanque de almacenamiento con frascos de plástico y ámbar.	- mg/L.
	- DQO.		- mg/L.
	- DBO ₅ .		- mg/L.
	- SST.	- Procedimiento directo en laboratorio con el empleo de equipos, instrumentos y materiales propios de laboratorio.	- mg/L.
	- Cumplimiento de valores máximos admisibles (VMA).	- Procedimiento indirecto en gabinete.	- mg/L, según Tabla 2.
Condiciones ambientales de <i>Eisenia foetida</i>	- pH.		- Unid. de pH.
	- Temperatura.		- °C.
	- Humedad.		- Nominal.

Objetivo específico № 3: Evaluar la eficiencia del sistema Tohá en la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba.

Eficiencia del sistema Tohá	- Eficiencia.	- Procedimiento indirecto en gabinete mediante pruebas estadísticas inferenciales.	- %.
	- Disminución significativa de carga contaminante.		- Aceptar H ₀ : si p > 0,05.
	- Sistema Tohá eficiente.		

3.3. Procedimientos de la investigación

3.3.1. Diseño de investigación

Tipo de investigación

Aplicada: ya que la finalidad del estudio se centró en solucionar el problema de elevada carga contaminante en agua residual no doméstica (AyG, DBO₅, DQO y SST) del Mercado Central de Moyobamba a través de la implementación del Sistema Tohá. Tipo de investigación que tiene como fin primordial dar solución a problemas prácticos inmediatos, donde el propósito de desarrollar aportes al conocimiento teórico resulta ser secundario (Sánchez y Reyes, 2006).

Nivel de investigación

Explicativo: porque se explicó las posibles causas que derivaron en los resultados del estudio. La investigación explicativa busca el porqué de los fenómenos o hechos a través del establecimiento de relaciones causa-efecto (Sánchez y Reyes, 2006).

Población

En el presente estudio, la población está conformado por el caudal de vertimiento de agua residual no doméstica del mercado central de Moyobamba. Se determinó mediante el método volumétrico un caudal de 0,384 L/s.

Muestra

Se consideró como muestra a 150 L de ARnD, que se dispuso en el tanque de almacenamiento y se distribuyó en los sistemas Tohá, con un caudal de tratamiento de 150 mL/min. Asimismo, se consideró como muestra al volumen de agua recolectado para el análisis de carga contaminante. Tomando en cuenta que se muestreó en el tanque de almacenamiento (afluente = ARnD sin tratar) y en la llave de salida de los sistemas Tohá (efluente = ARnD tratada) se consideró una muestra total de 37,2 L de ARnD (Tabla 6).

Tabla 6

Distribución de muestra según sistema Tohá

Parámetros	Sistema Tohá 1		Sistema Tohá 2		Tanque de almacenamiento	
	Unid. (L)	Total (L)	Unid. (L)	Total (L)	Unid. (L)	Total (L)
AyG	1,0	4,0	1,0	4,0	1,0	4,0
DQO	0,1	0,4	0,1	0,4	0,1	0,4
DBO ₅	1,0	4,0	1,0	4,0	1,0	4,0
SST	1,0	4,0	1,0	4,0	1,0	4,0
Total (L)		12,4		12,4		12,4

Nota. Unid.: Unidad

Diseño experimental o muestral

El diseño de la investigación es preexperimental con un solo grupo donde se analizó los cambios producidos en las concentraciones de ARnD del mercado central de Moyobamba. Según Ramos (2021) en este diseño de investigación la variable independiente cuenta solo con un nivel conocido llamado "grupo de experimentación", este es parte de la intervención que los investigadores desarrollan; en cambio, la variable dependiente es medible empleando un instrumento en dos momentos (pre y post-test). El esquema de este diseño es el siguiente:

G1: **Y₁** **X₁** **Z₁**

G2: **Y₂** **X₂** **Z₂**

Donde:

G: Grupo experimental.

Y_1 y Y_2 : Es la medición de la carga contaminante en el ARnD del mercado central de Moyobamba antes de la implementación de los sistemas Tohá.

Z_1 y Z_2 : Es la medición de la carga contaminante en el ARnD del mercado central de Moyobamba después de la implementación de los sistemas Tohá.

X_1 y X_2 : Sistema Tohá 1 y sistema Tohá 2.

a) Representación de la información

La información se representó mediante tablas y figuras. Se usó el programa Excel.

Análisis estadístico

- Estadística descriptiva (sumas, restas, promedios, desviación estándar y otros) en el programa Excel.

- Estadístico inferencial de Shapiro-Wilck para analizar el supuesto de normalidad.

- Para determinar si la implementación del sistema Tohá disminuye significativamente la carga contaminante, se utilizaron pruebas estadísticas inferenciales: la prueba de Wilcoxon (para AyG y SST) y la prueba T de muestras emparejadas (para DQO y DBO₅).

- Se desarrolló la prueba T de muestras independientes para identificar el sistema Tohá más eficiente en la disminución de la carga contaminante en el ARnD del mercado central de Moyobamba.

- El análisis inferencial se desarrolló con el programa IBM SPSS Statistics 27 y a un nivel de confianza del 95 %.

3.3.2. Análisis de la carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

a. Actividades y tareas

- Recolección de ARnD del mercado central.

- Muestreo y análisis en el afluente del sistema de tratamiento.

- Evaluación del cumplimiento de valores máximos admisibles (VMA).

- Procesamiento y análisis de datos.

b. Descripción de los procedimientos

b1. Recolección de ARnD del mercado central

- El ARnD del mercado central de Moyobamba se recolectó de la caja de desagüe en el Jr. Emilio Acosta, luego se trasladó al tanque de almacenamiento del sistema Tohá ubicado en el Centro de Investigación y Producción Agropecuaria "La Tipishca" del

14

1

IESTP Alto Mayo. La recolección se realizó cada 2 días dado a los requerimientos del sistema de tratamiento y se priorizó un horario de mayor desarrollo de actividades como restaurantes, eviscerado de pescados, pollos y otros, con el objetivo de obtener una mayor concentración de los parámetros.

b2. Muestreo y análisis en el afluente del sistema de tratamiento

- El muestreo se realizó en el tanque de almacenamiento del sistema dos días previos al muestreo en el efluente, ya que se tomó en cuenta el tiempo promedio en que el ARnD permanece en el sistema antes de ser descargada y el tiempo que transcurre en vaciarse el tanque de almacenamiento, obteniendo de esta forma una muestra inicial representativa. Se realizaron 4 muestreos y se utilizaron frascos de vidrio color ámbar de 1 litro para AyG, frascos de plástico de 100 mL para DQO y, frascos de plástico de 1 litro para DBO₅ y SST. Al momento del muestreo se tomó en consideración las siguientes indicaciones:

1. Abertura de frascos y comienzo de recolección de las muestras.
2. Con el objetivo de evitar la formación de burbujas, los frascos de DBO₅ se llenaron lentamente en su totalidad.
3. Se añadió preservantes a las muestras de AyG y DQO.
4. Para el parámetro AyG, la muestra se recolectó de la superficie del tanque de almacenamiento de ARnD.
5. Después de recolectar las muestras se procedió a rotular y empaquetarlas para su traslado o envío al laboratorio.

- El análisis de las muestras de AyG lo realizó el balotario "NKAP Laboratorios Ambientales". Para el caso de DQO, DBO₅ y SST el análisis se realizó en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología (FECOL) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM). En la siguiente tabla se describen los procedimientos y métodos empleados para el análisis de las muestras.

Tabla 7

Procedimientos realizados para el análisis de las muestras

Parámetros	Procedimientos
DQO	<ul style="list-style-type: none"> - Colocación de 75 mL de muestra en un vaso precipitado. - Dilución de la muestra (relación: 1 en 20) empleando una fiola de 50 mL. Se mezcló 5 mL de muestra en 45 mL de agua destilada. - Incorporación de 2,5 mL de muestra diluida en los viales de DQO y se homogenizó lentamente. - Ubicación de los viales en el equipo digestor y climatización durante 2 hrs. - Retiro de los viales del equipo y enfriamiento durante 1 hr como mínimo. - Estabilización del equipo DR 900 mediante la lectura de un vial con agua destilada como parte de una muestra blanca. - Medición de la DQO.

DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> - Programación del equipo y medición de la concentración inicial de oxígeno en la muestra utilizando el equipo H198193. Este valor se registró en un cuaderno. - Incorporación de 300 mL de la muestra en los frascos Winkler y de nutrientes apropiados. Homogenización agitando y cierre de los frascos. - Colocación de las muestras en la incubadora (labForce - Incu 22) durante 5 días a 20°C de temperatura. - Extracción de los frascos y colocación de la muestra en vasos precipitados para medir el oxígeno. - Estimación de la DBO₅ tomando en cuenta los valores de oxígeno inicial y final.
SST	<ul style="list-style-type: none"> - Colocación de 75 mL en un vaso precipitado y agitación para homogenizarlo. - Introducción del sensor del equipo DIST1, medición y registro del valor obtenido.
AyG*	EPA METHOD 1664 Rev. B 2010

Nota. *Información proporcionada por el laboratorio de análisis del parámetro.

b3. Evaluación del cumplimiento de valores máximos admisibles (VMA)

- Para determinar si el ARnD cruda del mercado de Moyobamba que se vierte al sistema de alcantarillado cumple los valores óptimos de vertimiento a la red de alcantarillado sanitario, se comparó los resultados con los VMA establecidos en el anexo 1 del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (Tabla 2).

c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Estadística descriptiva (sumas, restas, promedios, desviación estándar y otros) en el programa Excel.

3.3.3. Análisis la carga contaminante de AyG, DQO, DBO5 y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba tratada con el sistema Tohá

a. Actividades y tareas

- Diseño e implementación del sistema Tohá.
- Muestreo y análisis en el efluente del sistema Tohá.
- Evaluación del cumplimiento de valores máximos admisibles (VMA).
- Procesamiento y análisis datos.

b. Descripción de los procedimientos

b1. Diseño e implementación del sistema Tohá

- Se diseñó el sistema tomando en consideración las dimensiones de cada vermifiltro, el área total, los parámetros de análisis, los materiales de construcción y la adaptación de la lombriz roja Californiana. Se dispuso de un área de 3 x 2 m dentro de uno de los ambientes del Centro de Investigación y Producción Agropecuaria "La Tipishca" del IESTP Alto Mayo. Se determinó el caudal de tratamiento (150,0 mL/min) considerando

el método volumétrico (ecuación 1) (Alvarado, 2017, p. 3), para ello se empleó un recipiente de 1 litro y un cronómetro.

$$Q = \frac{V}{T} \dots (1)$$

Donde:

Q: caudal (L/s).

V: volumen (L).

T: tiempo (s).

- Se determinó la tasa de riego del sistema Tohá estableciendo una relación entre el caudal y el área (ecuación 2). El diseño del sistema se sustenta en el desarrollo de un balance de masas que toma en cuenta: la cantidad de lombrices capaces de cohabitar por unidad de área, la porción de material orgánico que estos pueden digerir y la tasa máxima de riego que el lecho puede soportar a fin de evitar la muerte de las lombrices por inexistencia de oxígeno, cuyo valor debe ser $\leq 1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (Salazar, 2005). Se determinó una tasa $0,19 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ que cumplió el valor requerido de tasa de riego.

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

Donde:

Q: caudal (m^3).

A: Área (m^2).

- Se adquirieron 1,1 kg de la especie *Eisenia foetida* y la adaptación se realizó en una bandeja, donde se añadió agua residual del mercado central de Moyobamba. La adaptación se realizó durante 7 días, periodo en el que se midió de manera continua los niveles de pH, temperatura y humedad, con el fin de garantizar las condiciones óptimas para el adecuado desarrollo de las lombrices. Para ello, se utilizó un medidor profesional de humedad del suelo y una ficha de recolección de datos (ver Anexo 4) para registrar los valores de los parámetros. De igual forma, la evaluación de las condiciones ambientales se realizó diariamente en los dos sistemas durante todo el periodo de tratamiento.

- La implementación del sistema Tohá consideró la adquisición de un tanque de almacenamiento de capacidad de 150 L, el cual fue ubicado a una altura de 1,10 m, con

el fin de permitir que el agua descienda por acción de la gravedad hacia los dos sistemas Tohá (Figura 3).

- Se implementaron dos sistemas Tohá, cada uno con una capacidad de 25 L y dimensiones de 41 cm de alto por 32 cm de diámetro. Se instalaron tuberías para que el efluente residual descienda desde el tanque de almacenamiento (segundo nivel) hasta los sistemas Tohá (primer nivel). Se colocaron llaves de paso: una en el tanque de almacenamiento y dos en cada sistema, para distribuir equitativamente el agua residual. Además, en cada uno de los sistemas se instalaron tubos de ½ pulgada y 30 cm de longitud con agujeros, para facilitar el descenso del ARnD hacia los sustratos. Finalmente, en la parte inferior de los sistemas se colocó una llave de salida para recolectar las muestras de agua tratada (Figura 3).

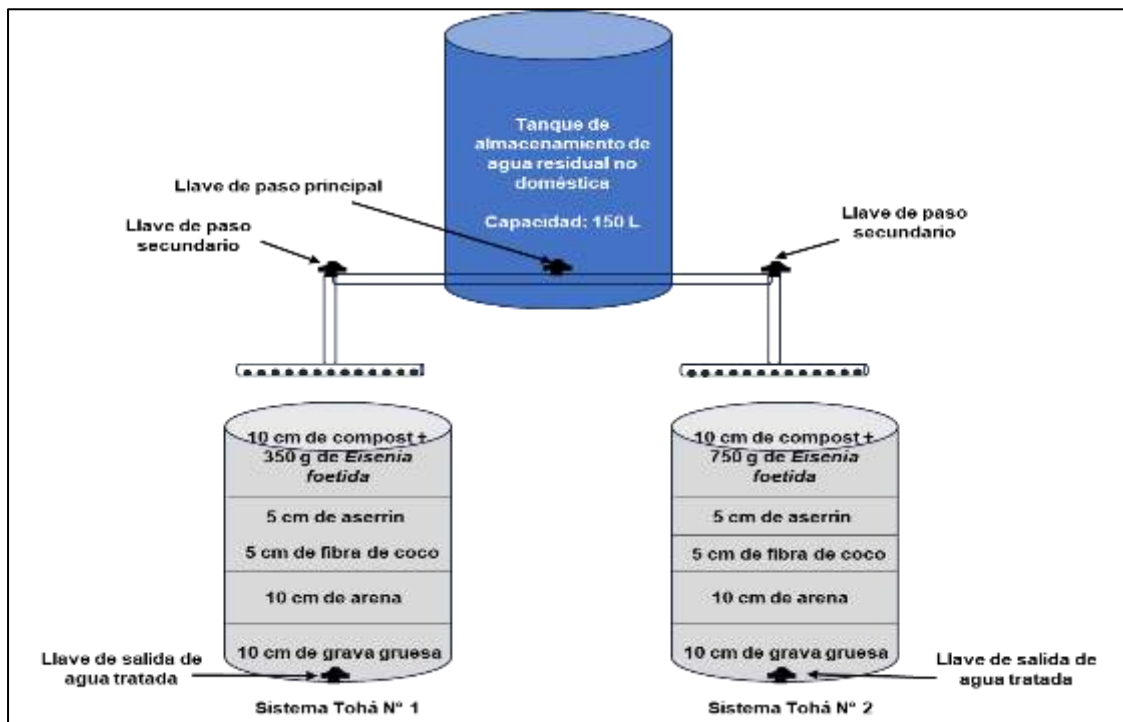


Figura 3
Diseño de los sistemas Tohá.

- El sistema Tohá N.º 1 (ST1) estuvo conformado por cinco capas dispuestas en el siguiente orden: 10 cm de grava gruesa, 10 cm de arena, 5 cm de fibra de coco, 5 cm de aserrín y 10 cm de compost, en cuya capa superior se incorporaron 350 g de *Eisenia foetida*. El sistema Tohá N.º 2 (ST2) también presentó cinco capas con los mismos estratos, pero la capa superior fue de 20 cm de compost con 750 g de *Eisenia foetida* (Figura 3). Cabe resaltar que ambos biofiltros fueron modificados utilizando sustratos disponibles en el entorno local, con el objetivo de evaluar una estructura innovadora y contextualizada a las condiciones del medio.

- La fibra de coco se obtuvo de forma artesanal. Primero, se secaron las cáscaras de los cocos y se extrajeron las fibras con una herramienta manual. Luego, las fibras se sumergieron en agua tibia durante unas horas, después se retiraron, se secaron al sol por 2 días y finalmente se separaron manualmente para su uso. En el caso del aserrín, se obtuvo de una carpintería local, la arena y la grava gruesa de un proveedor de agregados, y el compost del Centro de Investigación y Producción Agropecuaria “La Tipishca” del IESTP Alto Mayo.

b2. Muestreo y análisis en el efluente del sistema Tohá

- Se realizaron un total de 4 mediciones en los efluentes de cada sistema Tohá. La primera medición se ejecutó a los 5 días, la segunda a los 10 días, la tercera a los 15 días y la cuarta medición a los 20 días después de poner en funcionamiento el sistema Tohá. Las muestras se recolectaron de las llaves de salida de cada sistema. Se consideraron los mismos procedimientos que se tomaron en cuenta durante el muestreo del ARnD cruda en el tanque de almacenamiento. De igual forma, el análisis de las muestras de AyG lo realizó el balotario “NKAP Laboratorios Ambientales” y para el caso de DQO, DBO₅ y SST el análisis se realizó en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la FECOL de la UNSM. Los procedimientos se describen en la Tabla 7.

b3. Evaluación del cumplimiento de valores máximos admisibles (VMA)

- Con el objetivo de determinar si el agua tratada por los sistemas Tohá cumple los valores óptimos de vertimiento a la red de alcantarillado sanitario, se comparó los resultados obtenidos con los VMA establecidos en el anexo 1 del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (Tabla 2).

c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Estadística descriptiva (sumas, restas, promedios, desviación estándar y otros) en el programa Excel.

3.3.4. Evaluación de la eficiencia del sistema Tohá en la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

a. Actividades y tareas

- Determinación de la eficiencia.
- Desarrollo de la prueba estadística.
- Procesamiento y análisis de datos.

b. Descripción de los procedimientos

b1. Determinación de la eficiencia

- Se determinó la eficiencia de los sistemas Tohá considerando las concentraciones de los parámetros del afluente (C_i : concentración inicial) y del efluente (C_f : concentración final) (ecuación 3). La eficiencia se determinó en cada muestreo y para cada parámetro analizado.

$$E = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100 \dots (3)$$

Donde:

E = Eficiencia (%).

C_i = Concentración inicial.

C_f = Concentración final.

b2. Desarrollo de la prueba estadística

- Se analizó la normalidad con el estadístico Shapiro-Wilk para seleccionar la prueba estadística más adecuada que permita determinar si la implementación del sistema Tohá disminuye significativamente la carga contaminante en el ARnD del mercado central de Moyobamba. Para ello, se consideraron las concentraciones reducidas, obtenidas al restar los valores del parámetro inicial y final. Se determinó que, los valores de los parámetros AyG ($p = 0,029$) y SST ($p = 0,004$) no seguían una distribución normal ($p < 0,05$), mientras que los valores de DQO ($p = 0,140$) y DBO_5 ($p = 0,237$) si presentaron una distribución normal ($p > 0,05$) (Tabla 8). Estos resultados llevaron a seleccionar el estadístico de Wilcoxon (no paramétrico) para analizar AyG y SST, y la prueba T de muestras emparejadas (paramétrica) para DQO y DBO_5 .

Tabla 8

Prueba de normalidad para seleccionar el estadístico de muestras relacionadas

Parámetros	Estadístico	gl	Sig.
AyG	0,800	8	0,029
DQO	0,867	8	0,140
DBO_5	0,891	8	0,237
SST	0,721	8	0,004

- Asimismo, se analizó la normalidad utilizando el estadístico Shapiro-Wilk para seleccionar la prueba estadística más adecuada y determinar el sistema Tohá más eficiente en la disminución de carga contaminante en el ARnD del mercado central de Moyobamba. Para ello, se consideraron las eficiencias obtenidas con la ecuación 3. Los resultados mostraron que los valores de todos los parámetros estudiados presentaron

una distribución normal ($p > 0,05$) (Tabla 9), por lo que se eligió la prueba T de muestras independientes (paramétrica).

Tabla9

Prueba de normalidad para seleccionar el estadístico de muestras independientes

Parámetros	Estadístico	gl	Sig.
AyG	0,863	8	0,129
DQO	0,959	8	0,799
DBO ₅	0,945	8	0,656
SST	0,895	8	0,259

- Con el estadístico de Wilcoxon y la prueba T de muestras emparejadas se buscó contrastar la siguiente hipótesis:

H₀: La implementación de un sistema Tohá si disminuye significativamente la carga contaminante en agua residual no doméstica del mercado central de Moyobamba.

H₁: La implementación de un sistema Tohá no disminuye significativamente la carga contaminante en agua residual no doméstica del mercado central de Moyobamba.

- Por otro lado, con la prueba T de muestras independientes se buscó contrastar la siguiente hipótesis:

H₀: No hay diferencia significativa en la eficiencia de la disminución de la carga contaminante entre el sistema Tohá 1 y el sistema Tohá 2.

H₁: Si hay diferencia significativa en la eficiencia de la disminución de la carga contaminante entre el sistema Tohá 1 y el sistema Tohá 2.

1 - En ambos casos la decisión estadística se sustentó en rechazar H₀ si $p < 0,05$. Los procesos estadísticos se realizaron en el programa IBM SPSS Statistics 27.

1 c. Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

14 Estadística descriptiva para determinar eficiencias en la disminución de carga contaminante en el ARnD. Para determinar si la implementación del sistema Tohá disminuye significativamente la carga contaminante, se utilizaron pruebas estadísticas inferenciales: la prueba de Wilcoxon (para AyG y SST) y la prueba T de muestras emparejadas (para DQO y DBO₅). Asimismo, se desarrolló la prueba T de muestras independientes para identificar el sistema Tohá más eficiente en la disminución de la carga contaminante en el ARnD del mercado central de Moyobamba. El análisis inferencial se desarrolló con el programa IBM SPSS Statistics 27 y con un nivel de confianza del 95 %.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

Se analizó en cuatro muestreos la carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el ARnD proveniente del mercado central de la ciudad de Moyobamba. Las muestras se recolectaron del tanque de almacenamiento del sistema de tratamiento y los resultados fueron los siguientes:

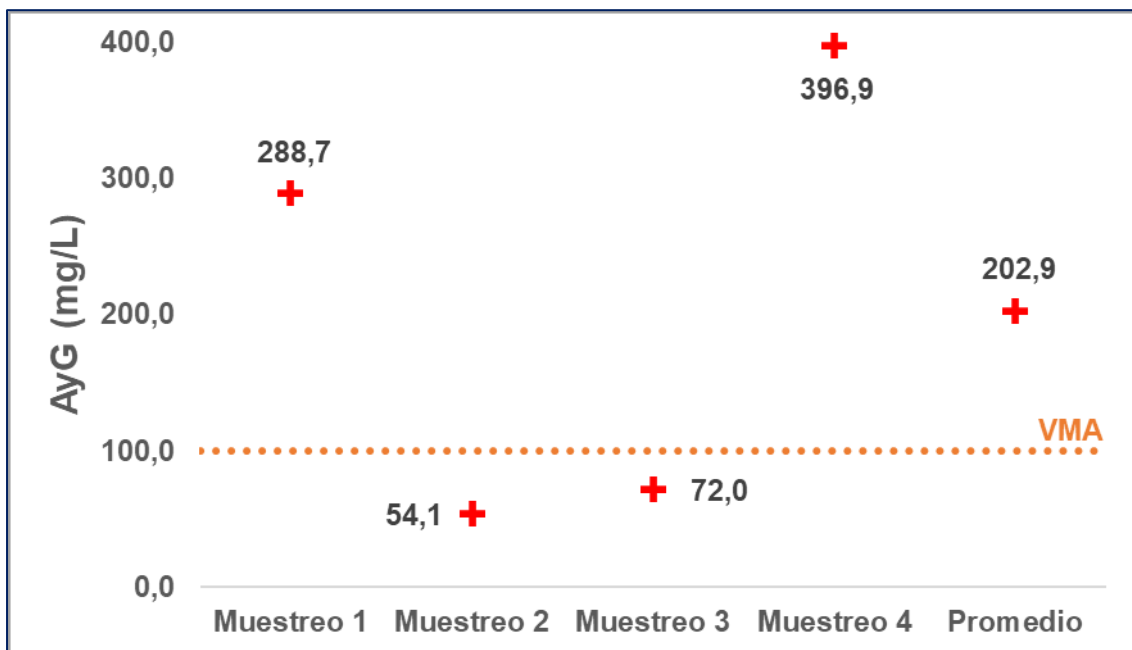


Figura 4

Concentraciones de AyG en el ARnD proveniente del mercado central

El ARnD proveniente del mercado central de Moyobamba en el afluente del sistema de tratamiento presentó concentraciones de aceites y grasas que variaron entre 54,1 y 396,9 mg/L. La concentración más baja que se registró fue 148,8 mg/L inferior al valor promedio (202,9 mg/L), mientras que el valor más alto encontrado fue 194,0 mg/L mayor en comparación a la media estimada (202,9 mg/L). Dos de los cuatro muestreos realizados y el valor promedio superaron en más de 100 mg/L al VMA para AyG (100,0 mg/L) establecido en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, solo dos concentraciones se encontraron por debajo del valor admisible.



Figura 5

Concentraciones de DQO en el ARnD proveniente del mercado central

El ARnD proveniente del mercado central de Moyobamba en el afluente del sistema de tratamiento presentó concentraciones de DQO que variaron entre 1 260,0 y 4 400,0 mg/L. La concentración más baja que se registró fue 1 220,0 mg/L inferior al valor promedio (2 480,0 mg/L), mientras que el valor más alto encontrado fue 1 920,0 mg/L mayor en comparación a la media estimada (2 480,0 mg/L). Las concentraciones de los cuatro muestreos realizados y el valor promedio superaron en más de 250 mg/L al VMA para DQO (1 000,0 mg/L) establecido en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.



Figura 6

Concentraciones de DBO₅ en el ARnD proveniente del mercado central

El ARnD proveniente del mercado central de Moyobamba en el afluente del sistema de tratamiento presentó concentraciones de DBO₅ que variaron entre 765,0 y 2 900,0 mg/L. La concentración más baja que se registró fue 830,8 mg/L inferior al valor promedio (1 595,8 mg/L), mientras que el valor más alto encontrado fue 1 304,3 mg/L mayor en comparación a la media estimada (1 595,8 mg/L). Las concentraciones de los cuatro muestreos realizados y el valor promedio superaron en más de 250 mg/L al VMA para DBO₅ (500,0 mg/L) establecido en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.

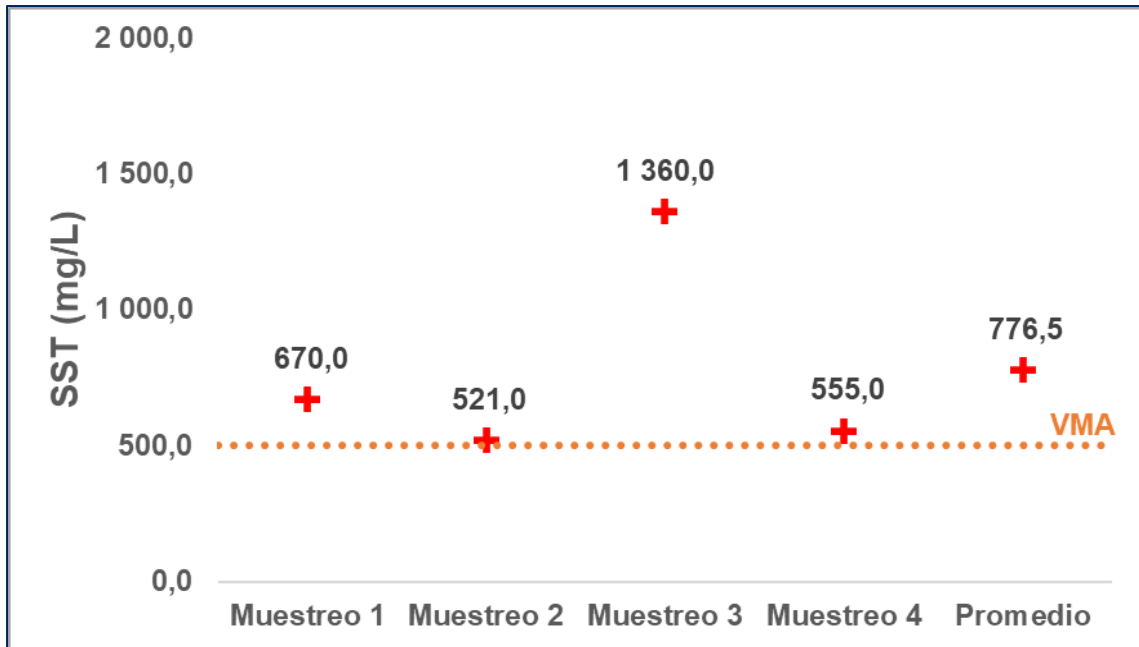


Figura 7
Concentraciones de SST en el ARnD proveniente del mercado central.

El ARnD proveniente del mercado central de Moyobamba en el afluente del sistema de tratamiento presentó concentraciones de SST que variaron entre 521,0 y 1 360,0 mg/L. La concentración más baja que se registró fue 255,5 mg/L inferior al valor promedio (776,5 mg/L), mientras que el valor más alto encontrado fue 583,5 mg/L mayor en comparación a la media estimada (776,5 mg/L). Las concentraciones de los cuatro muestreos realizados y el valor promedio superaron en más de 20 mg/L al VMA para DQO (500,0 mg/L) establecido en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA.

Los resultados revelaron que el ARnD del mercado de Moyobamba presentó concentraciones medias de 202,9 mg/L para AyG, 2 480,0 para DQO, 1 595,8 mg/L para DBO₅ y 776,5 mg/L para SST. Estos resultados se asemejan a los valores promedios reportados por Rosales-Ayala et al. (2019) en un mercado municipal y superaron los valores revelados por Carhuallanqui (2022), quién encontró que el agua residual de un mercado mayorista terminal pesquero presentaba niveles de 87,03 mg/L para AyG, 1

1 118,0 mg/L para DQO, 744 mg/L para DBO₅ y 345,0 mg/L para SST. La diferencia en los resultados podría explicarse por el hecho de que, en el mercado pesquero las aguas residuales provienen únicamente de los restos de pescado y limpieza, mientras que, en el mercado central se desarrollan diversas actividades, como la venta de pescado y carne, restaurantes, juguerías, entre otros, lo que contribuye a mayores concentraciones de los parámetros evaluados.

20 Los resultados también guardaron similitud con lo reportado por Rodrigo (2023), quien en la ciudad de Moyobamba encontró muestreos realizados en industrias del sector mercado, donde los parámetros excedieron notablemente los VMA del anexo 1 del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Rosales-Ayala et al. (2019) también reportaron que, el agua residual de un mercado presentó concentraciones que excedieron los límites establecidos en la normativa Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) en el Salvador. Estos hallazgos muestran que los mercados, además de verter grandes volúmenes de aguas residuales (Binti, 2017), también presentan elevadas concentraciones que exceden los límites permitidos. Según Uría (2021), esto puede tener un impacto negativo en las infraestructuras de alcantarillado sanitario, causando corrosión, formación de incrustaciones y obstrucciones, y la generación de gases y sustancias tóxicas.

37 El exceso de los VMA no solo afecta la infraestructura del sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento, altera la calidad del ambiente y representa un riesgo para la salud de la población expuesta, sino que también conlleva costos adicionales por las concentraciones elevadas, lo que implica un gasto económico que debe ser asumido por la autoridad municipal. Al respecto, Rodrigo (2023) encontró que, en Moyobamba, los mercados ocupan el segundo lugar entre las actividades industriales con mayor pago por exceso de VMA. Esto se podría explicar por el hecho de que, además de verter aguas residuales con altas concentraciones, los mercados consumen grandes volúmenes de agua potable, lo que incrementa tanto el pago por desagüe como los costos asociados a los valores admisibles. Esto resalta la necesidad de implementar en el mercado sistemas de tratamiento eficientes y, desarrollar medidas para controlar y mitigar los graves problemas que se generan.

4.2. Carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba tratada con el sistema Tohá

20 Se analizó las concentraciones de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el efluente a los 5, 10, 15 y 20 días después de poner en funcionamiento el sistema Tohá (ST). Asimismo, durante la adaptación de la lombriz y funcionamiento del sistema de tratamiento se

evaluó las condiciones ambientales de *Eisenia foetida* mediante la medición de los niveles de pH, temperatura y humedad. Los resultados fueron los siguientes:

4.2.1. Condiciones ambientales de *Eisenia foetida*

Tabla 10

Condiciones de pH, temperatura y humedad de la lombriz Eisenia foetida

Descriptivos	pH		
	Adaptación	Sistema 1	Sistema 2
N	7	20	20
Mínimo	6,9	6,8	6,8
Máximo	7,1	7,1	7,1
Rango	0,2	0,3	0,3
Desviación estándar	0,076	0,081	0,081
Promedio	7,0	6,9	6,9
Temperatura (°C)			
N	7	20	20
Mínimo	24,2	23,0	23,0
Máximo	25,5	25,0	25,0
Rango	0,2	2,0	2,0
Desviación estándar	0,479	0,455	0,409
Promedio	25,0	24,4	24,3
Humedad			
Condición	Húmedo+	Húmedo+	Húmedo+

Los resultados revelaron que, durante la fase de adaptación, los niveles de pH fluctuaron entre 6,9 a 7,1 con una media de 7,0 pH. En el funcionamiento del sistema de tratamiento, los valores variaron entre 6,8 a 7,1 con un promedio de 6,9 pH en ambos sistemas Tohá. No hubo mucha variación entre los valores reportados y durante la fase de adaptación el pH promedio alcanzó el valor ideal para el desarrollo de *Eisenia foetida*, mientras que durante el funcionamiento del sistema se mantuvo cercano al valor óptimo señalado por Restrepo et al. (2007).

Los niveles de temperatura durante la etapa de adaptación variaron entre 24,2 y 25,5 °C con un promedio de 25,0 °C. Durante el proceso de tratamiento los valores fluctuaron entre 23,0 y 25,0 °C en ambos sistemas, además, la media estimada en el sistema Tohá 1 (24,4 °C) superó en 0,1 °C a la media reportada en el sistema Tohá 2 (24,3 °C). De igual forma, no se observó mucha variación en los niveles de temperatura registrados que se encontraron dentro de los rangos ideales para el desarrollo de *Eisenia foetida*, según lo referido por Benavides et al. (2006) y Restrepo et al. (2007).

Finalmente, durante las etapas de adaptación y tratamiento, se observaron condiciones muy húmedas (húmedo+). Estas condiciones suelen fluctuar entre 60 a 80 %, por lo que este parámetro también cumplió el rango ideal para el desarrollo de *Eisenia foetida*, según lo indicado por Benavides et al. (2006) y Restrepo et al. (2007).

4.2.2. Carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el ARnD tratada con el sistema Tohá

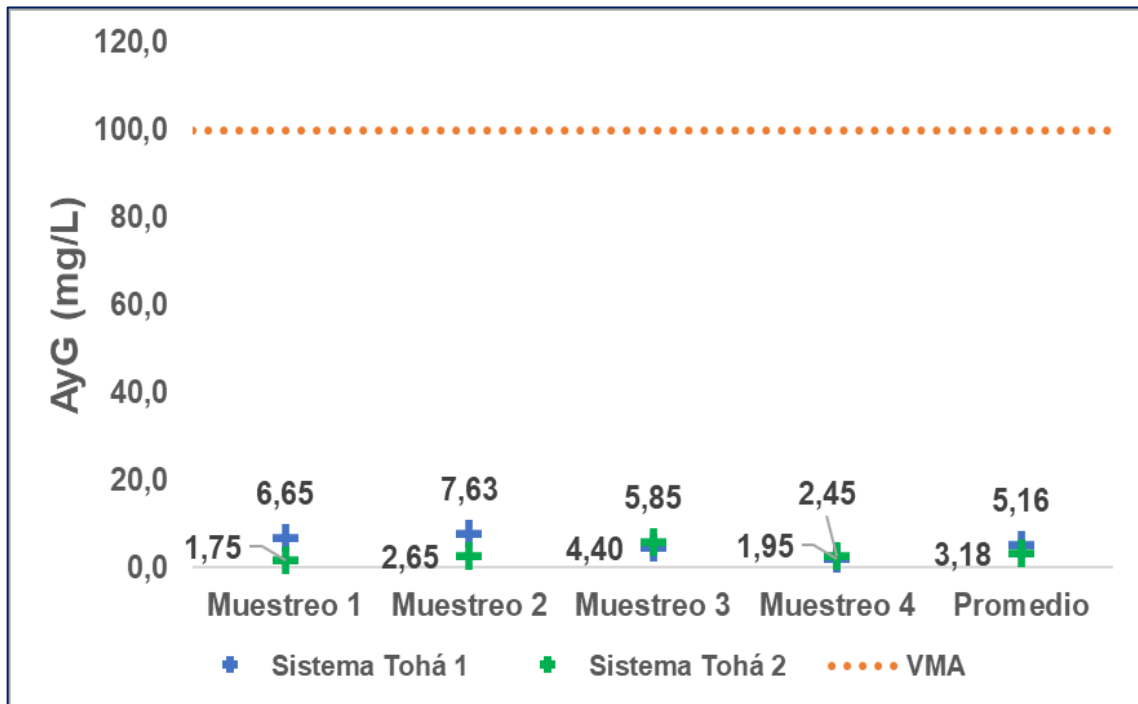


Figura 8

Concentraciones de AyG en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.

Los resultados revelaron que, con el ST 1, las concentraciones de AyG variaron entre 1,95 y 7,63 mg/L, con una media de 5,16 mg/L. En cambio, con el ST 2, las concentraciones fluctuaron entre 1,75 y 5,85 mg/L, con un valor promedio de 3,18 mg/L. Los valores más bajos se encontraron en los muestreos 1 y 2 con el ST 2, y en los muestreos 3 y 4 con el ST 1. Además, el segundo sistema presentó el valor promedio más bajo (3,18 mg/L). Todas las concentraciones, incluido los promedios, se encontraron muy por debajo del VMA establecido por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para AyG (100,0 mg/L).

En la Figura 9 se observa que, las concentraciones de DQO con el ST 1 variaron entre 510,0 y 1 950,0 mg/L, con una media de 1 145,0 mg/L. En cambio, con el ST 2, las concentraciones fluctuaron entre 370,0 y 740,0 mg/L, con un valor promedio de 562,5 mg/L. Los valores más bajos se encontraron con el ST 2 y los más altos con el ST 1. Además, el segundo sistema registró el promedio más bajo (562,5 mg/L) y todas las concentraciones reportadas, incluida la media, no excedieron el VMA establecido por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para DQO (1 000,0 mg/L).

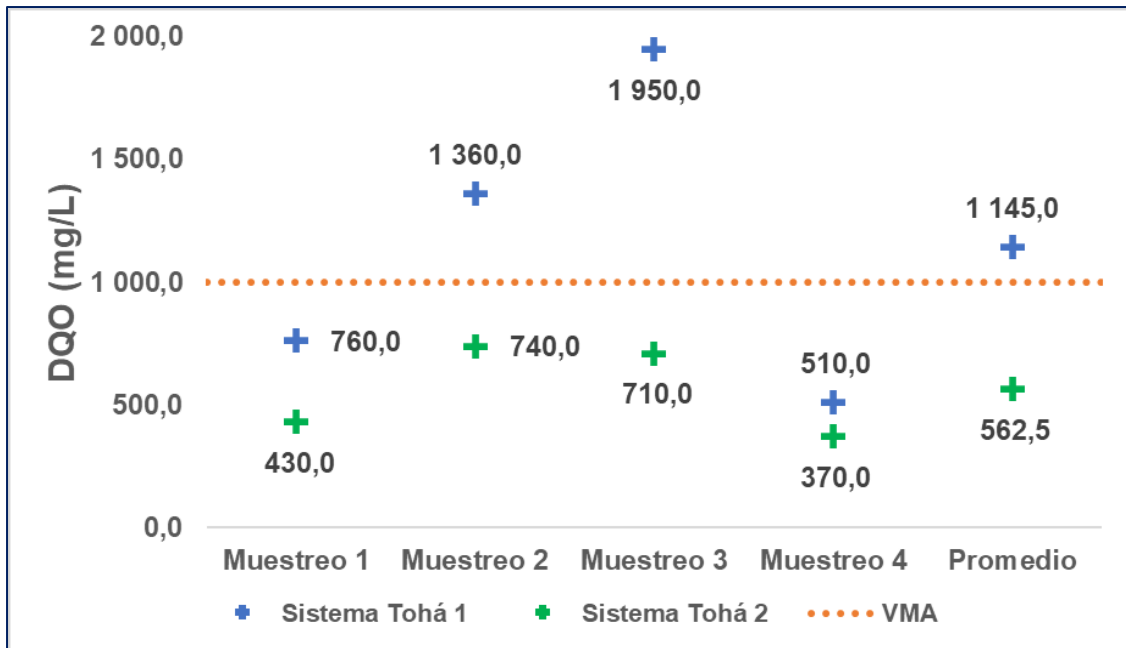


Figura 9
Concentraciones de DQO en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.

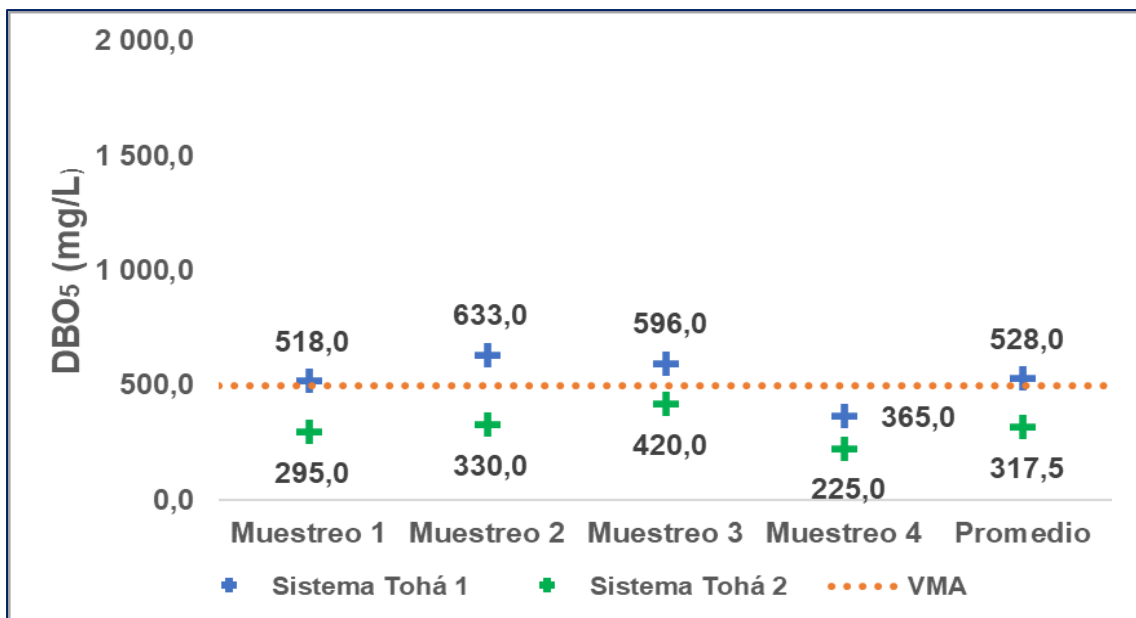


Figura 10
Concentraciones de DBO₅ en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.

Los resultados revelaron que, con el ST 1, las concentraciones de DBO₅ variaron entre 365,0 y 633,0 mg/L, con una media de 528,0 mg/L. En cambio, con el ST 2, las concentraciones fluctuaron entre 225,0 y 420,0 mg/L, con un valor promedio de 317,5 mg/L. Los valores más bajos se encontraron con el ST 2 y los más altos con el ST 1. Además, el segundo sistema registró el promedio más bajo (317,5 mg/L) y todas las concentraciones reportadas, incluida la media, no excedieron el VMA establecido por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para DBO₅ (500,0 mg/L).

3

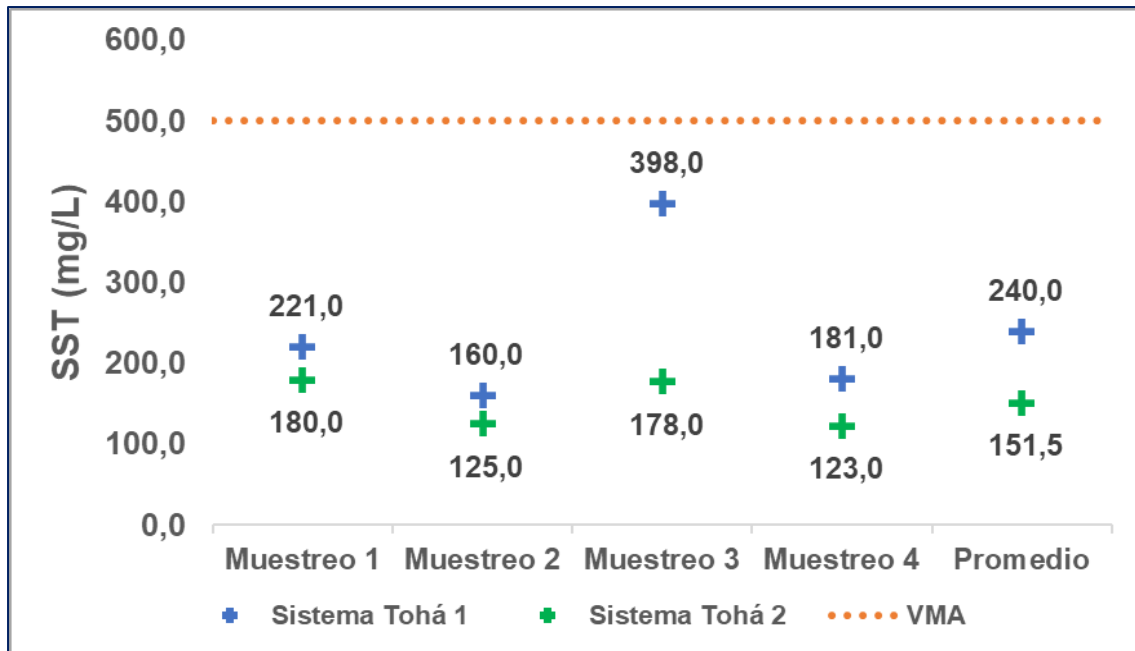


Figura 11

Concentraciones de SST en el ARnD del mercado central tratada con el sistema Tohá.

Los resultados revelaron que, con el ST 1, los niveles de SST variaron entre 181,0 y 398,0 mg/L, con una media de 240,0 mg/L. En cambio, con el ST 2, las concentraciones fluctuaron entre 123,0 y 180,0 mg/L, con un valor promedio de 151,5 mg/L. Los valores más bajos se encontraron con el ST 2 y los más altos con el ST 1. Además, el segundo sistema registró el promedio más bajo (151,5 mg/L) y todas las concentraciones reportadas, incluida la media y lo reportado con el primer sistema, no excedieron el VMA establecido por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para SST (500,0 mg/L).

Los resultados mostraron que, en relación con las concentraciones iniciales en el tanque de almacenamiento, el sistema Tohá 2 alcanzó las menores concentraciones promedio: 3,18 mg/L para AyG, 562,5 mg/L para DQO, 317,5 mg/L para DBO₅ y 151,5 mg/L para SST. En contraste, Carhuallanqui (2022) reportó concentraciones finales más bajas para DQO, DBO₅ y SST, mientras que la concentración más baja reportada para AyG fue superior a lo obtenido en el presente estudio. Estas diferencias pueden ser el resultado de diferentes factores operativos del sistema vermifiltro, así como a la concentración inicial y al tipo de agua residual tratada.

Ambos sistemas Tohá demostraron ser efectivos para tratar las aguas residuales del mercado municipal, disminuyendo la carga contaminante de AyG y SST hasta niveles que cumplen los VMA establecidos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Sin embargo, solo el sistema Tohá 2 con 750 g de *Eisenia foetida* alcanzó concentraciones y un nivel promedio de DQO y DBO₅ que cumplieron los valores admisibles para vertimientos al sistema de alcantarillado. Estos hallazgos confirman lo señalado por Ramón et al.

(2015), quienes sustentan que el sistema Tohá reduce contaminantes fisicoquímicos presentes en aguas residuales industriales.

4.3. Eficiencia del sistema Tohá en la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba

Se determinó las eficiencias en la disminución de carga contaminante en ARnD del mercado central de Moyobamba a través de la implementación del sistema Tohá, para ello se relacionó las concentraciones iniciales y finales obtenidas en laboratorio. Asimismo, mediante la estadística inferencial se determinó si el sistema Tohá disminuye significativamente las concentraciones de carga contaminante de AyG, DQO, DBO₅ y SST. Los resultados fueron los siguientes:

4.3.1. Eficiencia del sistema Tohá en la disminución de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el ARnD del Mercado Central de Moyobamba

Tabla 11

Eficiencias del sistema Tohá en la disminución de AyG, DQO, DBO₅ y SST en el ARnD del mercado central de Moyobamba

Parámetros	Sistemas de tratamiento Tohá	
	ST 1	ST 2
AyG	94,2 ± 6,0	96,4 ± 3,7
DQO	53,6 ± 5,3	74,6 ± 6,4
DBO ₅	57,1 ± 5,2	77,2 ± 6,7
SST	68,6 ± 1,7	78,5 ± 5,9

Nota. Los valores mostrados representan la media ± desviación estándar

Con respecto a AyG, el ST 2 mostró una eficiencia promedio más elevada (96,4 %) comparado al ST 1 (94,2 %), lo que indica que el sistema con mayor proporción de *Eisenia foetida* (750 g) fue ligeramente más efectivo en la disminución de aceites y grasas. Las eficiencias obtenidas con el ST 2 variaron en un rango de 96,4 ± 3,7 %, mientras que con el ST 1 oscilaron entre 94,2 ± 6,0 %. Además, el ST 2 presentó una desviación estándar más baja (± 3,7 %), lo que refiere una mayor consistencia y estabilidad en las eficiencias de disminución de AyG en el ARnD del mercado central.

En cuanto a la disminución de DQO, el ST 2 también reportó una eficiencia promedio más alta (74,6 %) comparado al ST 1 (53,6 %), lo que sugiere que una mayor proporción de *Eisenia foetida* (750 g) es ligeramente más efectiva en la disminución de DQO. Las eficiencias obtenidas con el ST 2 variaron en un rango de 74,6 ± 6,4 %, mientras que con el ST 1 oscilaron entre 53,6 ± 5,3 %. Aunque el segundo sistema fue más eficiente en promedio, sus resultados mostraron una mayor variabilidad (± 6,4 %) en la disminución de DQO en comparación con el primer sistema (± 5,3 %).

En lo que concierne a la disminución de DBO_5 , el ST 2 también reportó una eficiencia promedio más alta (77,2 %) comparado al ST 1 (57,1 %), lo que sugiere que una mayor proporción de *Eisenia foetida* (750 g) es ligeramente más efectiva en la disminución de DBO_5 . Las eficiencias obtenidas con el ST 2 variaron en un rango de $77,2 \pm 6,7$ %, mientras que con el ST 1 oscilaron entre $57,1 \pm 5,2$ %. Aunque el segundo sistema fue más eficiente en promedio, sus resultados mostraron una mayor variabilidad ($\pm 6,7$ %) en la disminución de DBO_5 en comparación con el primer sistema ($\pm 5,2$ %).

Finalmente, con respecto a la disminución de SST, el ST 2 también mostró una eficiencia promedio más alta (78,5 %) comparado al ST 1 (68,6 %), lo que sugiere que una mayor proporción de *Eisenia foetida* (750 g) es ligeramente más efectiva en la disminución de SST. Las eficiencias obtenidas con el ST 2 variaron en un rango de $78,5 \pm 5,9$ %, mientras que con el ST 1 oscilaron entre $68,6 \pm 1,7$ %. Aunque el segundo sistema fue más eficiente en promedio, sus resultados mostraron una mayor variabilidad ($\pm 5,9$ %) en la disminución de DBO_5 en comparación con el primer sistema ($\pm 1,7$ %).

El uso de *Eisenia fetida* en el sistema Tohá 2 mostró mayores eficiencias de remoción: $96,4 \pm 3,7$ % para AyG, $74,6 \pm 6,4$ % para DQO, $77,2 \pm 6,7$ % para DBO_5 y $78,5 \pm 5,9$ % para SST. En estudios internacionales, como el de Castillo y Chimbo (2021), se reportaron eficiencias de 66,74 % para SST y 52,25 % para DQO y DBO_5 ; Ghasemi et al. (2020) alcanzaron un 80 % para DQO; y, Namaldi y Azgin (2023) encontraron eficiencias de 95 % para SST y 80 % para DQO. A nivel nacional, Carhuallanqui (2022) reportó remociones de 87,29 % para AyG, 89,91 % para DQO, 89,91 % para DBO_5 y 95,60 % para SST; y, Gamarra (2021) reveló que las eficiencias más altas fueron: 86,5 % para DQO, 96,7 % para DBO_5 y 96,1 % para SST. En el ámbito regional, Garcia (2021) encontró que los porcentajes de remoción más altos fueron: 76,12 % para DQO, 84,21 % para DBO_5 y 20,79 % para SST. Las variaciones en los resultados podrían explicarse por factores como la cantidad de lombrices, la tasa de riego, el caudal de tratamiento, las condiciones operativas y de **diseño del sistema**, **tiempo de retención hidráulica**, tipo de agua tratada y tipo de **sustratos** utilizados en el vermifiltro y para mantener las lombrices.

Los resultados evidencian la alta eficiencia del sistema vermifiltro para disminuir la carga contaminante en ARnD provenientes del mercado central de Moyobamba, especialmente cuando se utiliza una mayor proporción de *Eisenia fétida*, como en el caso del sistema Tohá 2 (750 g). No obstante, Carhuallanqui (2022) reveló que una mayor cantidad de lombriz no siempre se traduce en mayores eficiencias, ya que reportó eficiencias más altas utilizando una menor proporción de lombriz. Estas diferencias

podrían explicarse por factores como el caudal de tratamiento, la tasa de riego, los sustratos utilizados y otras condiciones operativas del sistema.

4.3.2. Prueba de hipótesis general

Tabla 12

Resultados de la prueba de Wilcoxon para comparar concentraciones de AyG y SST antes y después del tratamiento con el sistema Tohá

	Ci de AyG – Cf de AyG en el ST	Ci de SST – Cf de SST en el ST
Z	-2,521 ^b	-2,521 ^b
Sig. asin. (bilateral)	0,012*	0,012*

Nota. Ci: Concentración inicial; Cf: Concentración final; ST: sistema Tohá; ^bSe basa en rangos negativos; *Significativo al 0,05

Se determinó que la implementación del sistema Tohá si disminuyó significativamente la carga contaminante de AyG y SST presente en el ARnD del mercado central de Moyobamba, ya que se reportó valores de significancia ($p = 0,012$) menores a 0,05 para ambos parámetros.

Tabla 13

Resultados de la prueba T de muestras emparejadas para comparar concentraciones de DQO y DBO₅ antes y después del tratamiento con el sistema Tohá

	t	tt	gl	Sig. (bilateral)
Ci de DQO – Cf de DQO en el ST	4,370	2,365	7	0,003*
Ci de DBO ₅ – Cf de DBO ₅ en el ST	4,374	2,365	7	0,003*

Nota. Ci: Concentración inicial; Cf: Concentración final; ST: sistema Tohá; *Significativo al 0,05

De igual forma, se determinó que la implementación del sistema Tohá redujo significativamente la carga contaminante de DQO y DBO₅ en el ARnD del mercado central de Moyobamba. Los resultados mostraron valores de significancia ($p = 0,003$) inferiores a 0,05 para ambos parámetros, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa. Además, todos los valores t calculados fueron mayores que el t tabulado, lo que refuerza la efectividad del sistema en la disminución de la carga contaminante.

Tabla 14

Resultados de la prueba T de muestras independientes para comparar la eficiencia de remoción entre dos sistemas Tohá

Parámetros	t	tt	gl	Sig. (bilateral)
Eficiencia de AyG	-0,624	-2,447	6	0,556
Eficiencia de DQO	-5,071	-2,447	6	0,002*
Eficiencia de DBO ₅	-4,739	-2,447	6	0,003*
Eficiencia de SST	-3,177	-2,447	6	0,019*

Nota. *Significativo al 0,05

Se encontró diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de la disminución de carga contaminante de DQO ($t = -5,071$; $p = 0,002$), DBO₅ ($t = -4,739$; $p = 0,003$) y SST ($t = -3,177$; $p = 0,019$) en el ARnD del mercado central de Moyobamba entre los

44 sistemas Tohá implementados. Las eficiencias del sistema Tohá 2 fueron significativamente mayores que las del sistema Tohá 1. No se observaron diferencias significativas en la disminución de AyG entre ambos sistemas de tratamiento.

Los resultados revelaron que el sistema Tohá es eficiente para reducir concentraciones de AyG, DQO, DBO₅ y SST presentes en aguas residuales no domésticas de un mercado municipal, cumpliendo de esta forma con la normativa de vertimientos industriales al sistema de alcantarillado. Estos hallazgos son consistentes y coinciden con estudios previos que respaldan la eficiencia de los sistemas Tohá con lombrices *Eseinia fétida* en el tratamiento de aguas residuales domésticas (Castillo y Chimbo, 2021; Gamarra, 2021; Gwebu y Mpala, 2022; Umasi, 2020) e industriales (Carhuallanqui, 2022; Namaldi y Azgin, 2023).

Por otro lado, se corroboró que el uso de una mayor proporción de *Eseinia fétida* en el sistema Tohá, mejora significativamente la eficiencia del tratamiento en comparación al uso de una menor cantidad de lombriz. Esto sugiere la necesidad de investigar más sobre diferentes proporciones de esta lombriz aguas residuales domésticas e industriales.

El presente proyecto propone un sistema Tohá modificado e innovado mediante la incorporación de nuevos sustratos, como una alternativa de tratamiento ideal para las aguas residuales del mercado municipal de Moyobamba, destacando por su rentabilidad y sostenibilidad ecológica, tal como lo señala Singh et al. (2017). No obstante, se recomienda adecuar el sistema con dimensiones y proporciones de sustratos apropiadas al caudal de vertimiento, a fin de facilitar su implementación en puntos estratégicos del mercado central. En caso esto no sea viable, se sugiere identificar usuarios potenciales para instalar prototipos de menor escala bajo los lavaderos de cada establecimiento, antes del vertimiento al sistema de desagüe del mercado.

3 Además, se sugiere realizar ajustes adicionales en el tipo y proporción de los sustratos empleados, con la finalidad de complementar el presente estudio. Asimismo, analizar otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la reducción de carga contaminante, como metales pesados, sólidos totales, turbidez, pH, coliformes fecales, coliformes termotolerantes, entre otros, considerando investigaciones previas que respaldan la eficiencia del sistema Tohá en la remoción de estos contaminantes no evaluados en el estudio.

CONCLUSIONES

El mercado central de Moyobamba descarga ARnD con concentraciones que varían entre 54,1 y 396,9 mg/L de AyG, 1 260,0 a 4 400,0 mg/L de DQO, 765,0 a 2 900,0 mg/L de DBO₅ y 521,0 a 1 360,0 mg/L de SST. Las concentraciones promedio de estos parámetros exceden los VMA establecidos en el anexo 1 del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, lo que representa un riesgo para el sistema de alcantarillado sanitario y la calidad ambiental.

Durante la etapa de adaptación y funcionamiento del sistema de tratamiento, la lombriz *Eisenia foetida* se desarrolla en condiciones óptimas de pH, temperatura y humedad. Las concentraciones de AyG, DQO, DBO₅ y SST, así como sus promedios, fueron más bajos con el sistema Tohá 2 en comparación con el primer sistema. Los valores de todos los parámetros, incluidos los promedios obtenidos con el segundo sistema, cumplieron los VMA establecidos en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. En cambio, con el primer sistema, solo las concentraciones y promedios de AyG y SST no excedieron los VMA.

El sistema Tohá modificado que incorpora sustratos y usa 750 g de *Eisenia foetida*, alcanza mayores eficiencias de remoción: 96,4 ± 3,7 % para AyG, 74,6 ± 6,4 % para DQO, 77,2 ± 6,7 % para DBO₅ y 78,5 ± 5,9 % para SST. Estos hallazgos muestran que una mayor cantidad de lombrices rojas californianas incrementa la eficiencia del tratamiento.

Respecto a la hipótesis planteada, se concluye que la implementación del sistema Tohá disminuye significativamente la carga contaminante en el agua residual no doméstica del mercado central de Moyobamba. Se reportan disminuciones significativas en AyG ($p = 0,012$), DQO ($p = 0,003$), DBO₅ ($p = 0,003$) y SST ($p = 0,012$), con valores de $p < 0,05$. Además, existe diferencias significativas en la eficiencia de disminución entre los dos sistemas, especialmente para DQO ($t = -5,071$; $p = 0,002$), DBO₅ ($t = -4,739$; $p = 0,003$) y SST ($t = -3,177$; $p = 0,019$), siendo sistema Tohá 2 el de mejor desempeño.

RECOMENDACIONES

A los responsables del mercado municipal y autoridades locales considerar los resultados del estudio para diseñar e implementar un sistema Tohá, basándose en el prototipo desarrollado y el caudal de diseño, con la finalidad de disminuir la carga contaminante del agua residual no doméstica hasta cumplir con los VMA.

Asimismo, se sugiere evaluar la viabilidad de este sistema como una inversión pública, adecuando las dimensiones y la proporción de sustratos de acuerdo al caudal de vertimiento y las condiciones específicas del lugar. En el caso de no optar por una implementación a escala total, se recomienda como alternativa la instalación de prototipos de menor tamaño en usuarios potenciales del mercado, ubicándolos después de los lavaderos.

A usuarios no domésticos (UND) como restaurantes, pollerías y otras industrias, evaluar la viabilidad de implementar sistemas Tohá para reducir la carga contaminante presente en el vertimiento de las aguas residuales, con la finalidad de evitar pagos por exceso de VMA, como también para prevenir daños a la red de alcantarillado y al ambiente.

A las autoridades encargadas de fiscalizar el vertimiento de ARnD, exigir a los UND el cumplimiento de la normativa peruana vigente. Esto incluye el desarrollo de monitoreos periódicos, la promoción de capacitaciones sobre sistemas de tratamiento y la fomentación de buenas prácticas para disminuir la carga contaminante de los efluentes no domésticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agurto, S. C. (2015). *La responsabilidad social de las empresas procesadoras de productos hidrobiológicos de la ciudad de Sullana* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/345>
- Alvarado, E. (2017). *Manual de medición de caudales*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Anaya, I., y Zegarra, C. R. (2015). *Análisis y propuestas al marco regulatorio de las descargas de aguas residuales no domésticas a las redes de alcantarillado* [Tesis de maestría, Universidad del Pacífico]. Repositorio institucional. <http://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/1632>
- Arias, Y. G., y Tiquillahuanca, Y. L. (2018). *Aplicación del sistema Tohá para el tratamiento de riles generados en la planta Agromar Industrial S.A. Sullana-2012* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5770>
- Arora, S., y Saraswat, S. (2021). Vermifiltration as a natural, sustainable and green technology for environmental remediation: A new paradigm for wastewater treatment process. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100061. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100061>
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezzaf, B., y Slassi, M. (2016). Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(4), 284–292. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2016.11.002>
- Bautista, P., y Pramparo, L. (2022). Use of native microorganisms as an alternative for biological removal of organic matter in wastewater from the pharmaceutical industry. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(2), 239–247. <https://doi.org/10.3311/PPch.18222>
- Benavides, J., Espitia, A., Bracho, L., y Benítez, N. (2006). *Manejo de la lombriz roja californiana (Eisenia foétida) para producir lombricompost en la Costa Atlántica*. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/18611/43600_55227.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Binti, S. N. (2017). *Wet market wastewater regulatory framework in Malaysia* [Tesis de maestría, Universiti Teknologi Malaysia].
<https://core.ac.uk/download/pdf/199242757.pdf>
- Campos, G., y Guzmán, G. (2014). *Producción de abono orgánico en pequeña escala con lombriz californiana (Eisenia foetida)*.
<https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10723.pdf>
- Carhuallanqui, M. N. (2022). *Aguas residuales de Mercado Mayorista Terminal Pesquero y su tratamiento con lombrifiltros de Eisenia foetida, Callao - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111529>
- Castillo, J. G., y Chimbo, J. E. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80–99.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Castro, E. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema Tohá (lombrifiltro) para el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Tinjacá- Boyacá* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional.
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22771>
- Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. (2019). *Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
- Díaz, E. (2002). *Guía de lombricultura*. <https://biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>
- Edokpayi, J. N., Odiyo, J. O., y Durowoju, O. S. (2017). Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: A case study of South Africa. *Water Quality*, 401–416. <https://doi.org/10.5772/66561>
- Ferreira, M. M., Fiore, F. A., Saron, A., y Da Silva, G. H. R. (2021). Systematic review of the last 20 years of research on decentralized domestic wastewater treatment in Brazil: state of the art and potentials. *Water Science and Technology: A Journal*

of the International Association on Water Pollution Research, 84(12), 3469–3488.
<https://doi.org/10.2166/WST.2021.487>

- Fuquene, D. (2011). *Sistema de tratamiento de aguas residuales, Modulo didáctico*.
- Gamarra, B. (2021). *Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional.
<http://repositoriodemo.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10204>
- Garcia, C. J. (2021). *Evaluación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en las aguas residuales domésticas, aplicando el sistema biológico Tohá a nivel de planta piloto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4394>
- Ghasemi, S., Mirzaie, M., Hasan-Zadeh, A., Ashrafnejad, M., Hashemian, S. J., y Shahnemati, S. R. (2020). Design, operation, performance evaluation and mathematical optimization of a vermifiltration pilot plan for domestic wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103587.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103587>
- Guadarrama, R. O., y Taboada, S. M. (2004). *La lombricultura, una propuesta al medio rural*.
- Gwebu, L., y Mpala, C. (2022). Application of vermifiltration for domestic sewage treatment. In *Wastewater treatment*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.103920>
- Hafeez, A., Shamair, Z., Shezad, N., Javed, F., Fazal, T., Rehman, S., Bazmi, A. A., y Rehman, F. (2021). Solar powered decentralized water systems: A cleaner solution of the industrial wastewater treatment and clean drinking water supply challenges. *Journal of Cleaner Production*, 289, 125717.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125717>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). *Anuario de estadísticas ambientales 2017*.
- Khwairakpam, M. (2020). Vermifiltration for rural wastewater treatment. In *Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes* (pp. 19–34). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-4522-1_2

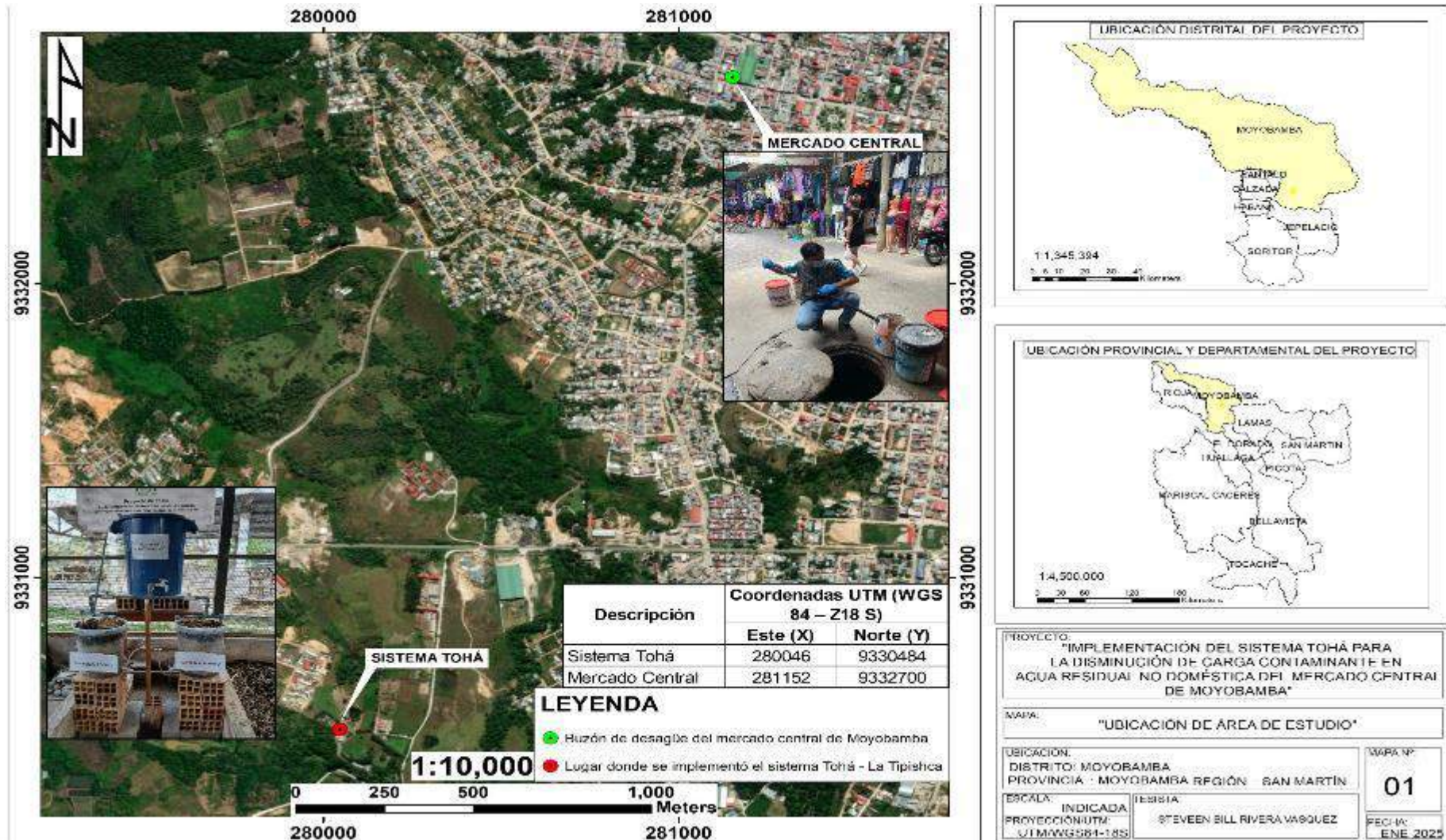
- Namaldi, O., y Azgin, S. T. (2023). Evaluation of the treatment performance and reuse potential in agriculture of organized industrial zone (OIZ) wastewater through an innovative vermifiltration approach. *Journal of Environmental Management*, 327, 116865. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116865>
- Qadir, M., Drechsel, P., Jiménez Cisneros, B., Kim, Y., Pramanik, A., Mehta, P., y Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Resources Forum*, 44(1), 40–51. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12187>
- Ramón, J. A., León, J. A., y 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*. *Revista Mutis*, 5(1), 46–54. <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018/1053>
- Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- Resolución de Consejo Directivo N.º 025-2011-SUNASS-CD. (2011). *Aprueban metodología para determinar pago adicional por exceso de concentración de los parámetros*. SUNASS. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/normas-legales/1312213-025-2011-sunass-cd>
- Restrepo, E. A., Orrego, C. E., y Cardona, C. A. (2007). *Lombricultura*. <https://digital.fontagro.org/wp-content/uploads/2018/10/Lombricultura.pdf>
- Revolledo, M. P. (2022). *Análisis de los valores máximos admisibles del vertimiento de efluentes no domésticos al sistema de alcantarillado sanitario en la provincia de Pisco, 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12236>
- Rodrigo, K. del R. (2023). *Evaluación de la descarga del agua residual no doméstica y alternativas para la reducción de concentraciones fisicoquímicas, Moyobamba - San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/5255>
- Rosales-Ayala, F., Rovira-Quezada, D., y Campos-Rodríguez, R. (2019). Calidad de las aguas residuales de tipo especial en la ciudad La Libertad, El Salvador. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(3), 135–145. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4504>
- Salazar, P. I. (2005). *Sistema Tohá: Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de

- Chile]. Repositorio institucional.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmficis161s/doc/bmficis161s.pdf>
- Sánchez, C., y Reyes, C. (2006). *Metodología y diseño en la investigación científica* (E. V. Universitaria, Ed.).
- Singh, K. P., Malik, A., y Sinha, S. (2005). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. *Analytica Chimica Acta*, 538(1–2), 355–374. <https://doi.org/10.1016/J.ACA.2005.02.006>
- Singh, R., Bhunia, P., y Dash, R. R. (2017). A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. *Journal of Environmental Management*, 197, 656–672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.042>
- Singh, U. K., y Kumar, B. (2017). Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. *Chemosphere*, 174, 183–199. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2017.01.103>
- Somarriba, R. J., y Guzmán, F. (2004). *Guía de lombricultura (Guía técnica N° 4)*. <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>
- Sosa, D. B., Viguera, J. M., y Holguín, E. J. (2014). La biofiltración: Una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales. *Vid supra Visión Científica*, 6(2), 56–60. <https://www.ciidirdurango.ipn.mx/assets/files/ciidirdurango/docs/VIDSUPRA/REVISTAS/VSV6N2.pdf>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass). (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf
- Tejada, A., Chura, E., y Apaza, H. (2018). Mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, modelo Rotoplas para familias del sector rural. *Revista Científica de Investigaciones Ambientales*, 1(1), 43–54.
- Umasi, E. I. (2020). *Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4739>

- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2023). *Industrial Wastewater*. United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/npdes/industrial-wastewater>
- Uría, M. del R. (2021). *La infraestructura de la calidad para el cumplimiento de la legislación de aguas residuales no domésticas en el Perú* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4999>
- Wang, Y., Liu, Y., Huang, J., Wu, T., y Huang, J. (2020). Analysis and prevention of urban river pollution. *Journal of Physics: Conference Series*, 1549. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1549/2/022056>
- Yang, D., Yang, Y., y Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del área de estudio



Anexo 2. Para hacer uso de las instalaciones del Centro de Investigación y Producción Agropecuaria "La Tipishca"



**INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICO PÚBLICO
"ALTO MAYO" - MOYOBAMBA**
Creado por R.M. N° 87-86-ED, del 20-12-1986
Revalidado por R.D. N° 127-2005-ED, del 31-03-2005
www.iestpam.edu.pe

Institución Líder en Formación Tecnológica

Solicitud de autorización para el uso de las instalaciones de la Tipishca

Sumilla

Sr. Director del I.E.S.T.P. "Alto Mayo" - Moyobamba

Rivera Vargas Steven Bill
Apellidos y Nombres del Usuario

61172113
D.N.I.

Jr. Apurimac 363 - Universidad
Domicilio del Usuario / Jr., Calle, Av.

1389011111
Distrito

MOYOBAMBA
Provincia

Ingeniería Sanitaria
Ciclo / Especialidad

1389011111
Año Ingreso/Egreso

925695356
Teléfono

Fundamentación del Pedido

Al haber sido admitido como universitario en la escuela profesional de Ingeniería Sanitaria, cuando el proceso de selección de la Tipishca, solicito el uso de las instalaciones para realizar en el centro de prácticas agropecuarias "La Tipishca", garantizando que se realicen coordinaciones con el personal encargado de las instalaciones para el uso de las mismas. Rucma agradece su atención y presente.

10/09/2024

Anexos:

Adjunto carnet universitario

PROGRAMA DE ESTUDIO QUE OFERTAMOS

- ✓ ARQUITECTURA DE PLATAFORMAS Y SERVICIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
- ✓ CONTABILIDAD
- ✓ ENFERMERÍA TÉCNICA
- ✓ PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

OTORGAMOS TÍTULO PROFESIONAL A NOMBRE DE LA NACIÓN, EN TAN SOLO TRES AÑOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL

INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICO PÚBLICO "ALTO MAYO" - Moyobamba, 10 de Septiembre del 2024

10 SEP 2024

MOYA

FIRMA

Firma

Local Institucional: Carretera Fernando Belaúnde Terry Km. 492 - Sector Indale - Teléfono: (042) 351154 - Correo: iestpam@iestpam.edu.pe
 Centro de Prácticas Agropecuarias (La Tipishca): Carretera Fernando Belaúnde Terry Km. 492 - Sector Indale

Anexo 3. Autorización para ingreso a laboratorio y, uso de equipos y materiales



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

Moyobamba, 12 de septiembre 2024

CARTA N° **021**-2024-SIV.UNSM/FE/RLIS

Señor Blga. M.Sc.
ASTRITH RUIZ RIOS
Decano de la Facultad de Ecología

Asunto: AUTORIZACIÓN PARA INGRESO AL LABORATORIO DE INGENIERÍA SANITARIA

Referencia: exp. N° 3706-2024-FECOL, prov. 2702.

Me dirijo a usted para saludarle cordialmente a su persona y a la vez; indicar que, según la referencia indicada el tesista **STEVEEN RIVERA VASQUEZ**, identificado con N° DNI **61172713**, estudiante del programa de estudios de Ingeniería Sanitaria; presenta solicitud para ingresar al laboratorio de Ingeniería Sanitaria, estando en la fase Experimental de la Tesis: **“Implementación del sistema Tohá para la disminución de carga contaminante en agua residual no doméstica del Mercado Central de Moyobamba”**; por lo que requiere el uso del laboratorio de Ingeniería Sanitaria, para los análisis respectivos.

Por lo indicado; como responsable del laboratorio de Ingeniería Sanitaria; expreso la respectiva **conformidad**; sugiriendo a su Decanatura informar al interesado el permiso de ingreso a los ambientes de la Facultad, en coordinación con Vigilancia.

Ing. M.Sc. Stanley Irigoin Vásquez
UNSM

Encargado laboratorio ingeniería sanitaria
Facultad de Ecología de la UNSM

Anexo 4. Ficha de recolección de datos para evaluar las condiciones ambientales de *Eisenia foetida*

Proceso	Día	Fecha	Hora	pH	Humedad	Temperatura (°C)
Adaptación antes del tratamiento	01					
	02					
	03					
	04					
	05					
	06					
	07					
Durante el tratamiento en el sistema Tohá N° 1	01					
	02					
	03					
	04					
	05					
	06					
	07					
	08					
	09					
	10					
	11					
	12					
	13					
Durante el tratamiento en el sistema Tohá N° 2	01					
	02					
	03					
	04					
	05					
	06					
	07					
	08					
	09					
	10					
	11					
	12					
	13					
Observaciones.						

Anexo 5. Reportes de laboratorio de análisis del parámetro aceites y grasas



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO No LE 026



INFORME DE ENSAYO

T-2290-J224-SBRV

Pág. 01 de 02

CLIENTE : STEVEEN BILL RIVERA VASQUEZ
MOYOBAMBA

REFERENCIA : LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS EN UN SISTEMA DE
PROYECTO DE TESIS PRE Y POST TRATAMIENTO

METODO DE ENSAYO : Químico

ITEM DE ENSAYO : Agua Residual

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : Envases de vidrio
Preservadas

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Trujillo, 15 de Octubre de 2024
Hora: 13:00

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Trujillo, 15 de Octubre de 2024

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección
Aceites y Grasas	EPA METHOD 1664 Rev. B 2010	1.75 HEM (mg/L)

Sello Fecha Emisión Jefe Administrativo Jefe del Laboratorio de Química

29/10/2024

Alexandra Aurazo Rodríguez

Enrique Lienque

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

> Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

> Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del ensayo analizado por un tiempo máximo de 5 días después de emitido el informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo requerimiento expreso del cliente

> Cuando el laboratorio no ha sido responsable de la etapa de muestreo (la muestra ha sido suministrada por el cliente), los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

> Informes de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

> El laboratorio no será responsable de la información que suministre el cliente para ser incluidos en el informe de ensayo, de ser el caso los datos suministrados por el cliente serán claramente identificados tales como: Código del cliente, items de ensayo, métodos solicitados, fecha y hora de muestreo.



INFORME DE ENSAYO

T-2290-J224-SBRV

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio		T-2290-01
Código de Cliente		Tanque de Almacenamiento
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		09/10/2024
Hora de Muestreo		09:36
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	288.7

Código de Laboratorio		T-2290-02
Código de Cliente		Sistema Tohá 1
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		11/10/2024
Hora de Muestreo		09:41
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	6.65

Código de Laboratorio		T-2290-03
Código de Cliente		Sistema Tohá 2
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		11/10/2024
Hora de Muestreo		09:46
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	<1.75



Mz C-10 Lote 8 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo



INFORME DE ENSAYO

T-2298-J224-RIVERA

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio		T-2298-01
Código de Cliente		Pre Tratamiento
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		14/10/2024
Hora de Muestreo		08:23
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	54.08

Código de Laboratorio		T-2298-02
Código de Cliente		Sistema Tohá 1
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		16/10/2024
Hora de Muestreo		08:26
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	7.625

Código de Laboratorio		T-2298-03
Código de Cliente		Sistema Tohá 2
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		16/10/2024
Hora de Muestreo		08:37
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	2.650



Mz C-10 Lote 8 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo



INFORME DE ENSAYO

T-2329-J224-RIVERA

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio		T-2329-01
Código de Cliente		Tanque Almacenamiento
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		19/10/2024
Hora de Muestreo		09:52
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	71.97

Código de Laboratorio		T-2329-02
Código de Cliente		Sistema Tohá 1
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		21/10/2024
Hora de Muestreo		09:55
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	4.40

Código de Laboratorio		T-2329-03
Código de Cliente		Sistema Tohá 2
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		21/10/2024
Hora de Muestreo		09:58
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	5.85



Mz C-10 Lote 8 Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo



INFORME DE ENSAYO

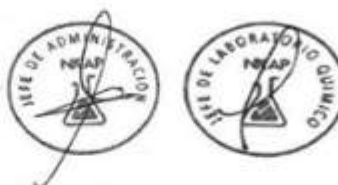
T-2538-K224-RIVERA

Pág. 02 de 02

Código de Laboratorio		T-2538-01
Código de Cliente		Tanque Almacenamiento
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		24/10/2024
Hora de Muestreo		10:21
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	396.9

Código de Laboratorio		T-2329-02
Código de Cliente		Sistema Tohá 1
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		26/10/2024
Hora de Muestreo		10:27
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	1.95

Código de Laboratorio		T-2329-03
Código de Cliente		Sistema Tohá 2
Item de Ensayo		Agua Residual
Fecha de Muestreo		26/10/2024
Hora de Muestreo		10:32
Parámetro	Unidad	
Aceites y Grasas	HEM (mg/L)	2.45



Mz C-10 Lote B Parque Industrial - La Esperanza - Trujillo

Anexo 6. Resultados de laboratorio de análisis de DQO, DBO₅ y SST, y niveles de eficiencia de los sistemas Tohá

Tabla 15

Concentraciones iniciales, finales y eficiencias para AyG, DQO, DBO₅ y SST

Parámetros	Concentración inicial (mg/L)	Concentración final (mg/L) ST 1	Concentración final (mg/L) ST 2	Eficiencia (%) ST 1	Eficiencia (%) ST 2
AyG	288,70	6,65	1,75	97,7	99,4
	54,08	7,63	2,65	85,9	95,1
	71,97	4,40	5,85	93,9	91,9
	396,90	1,95	2,45	99,5	99,4
DQO	1440,0	760,0	430,0	47,2	70,1
	2820,0	1360,0	740,0	51,8	73,8
	4400,0	1950,0	710,0	55,7	83,9
	1260,0	510,0	370,0	59,5	70,6
DBO ₅	1098,0	518,0	295,0	52,8	73,1
	1620,0	633,0	330,0	60,9	79,6
	2900,0	1096,0	420,0	62,2	85,5
	765,0	365,0	225,0	52,3	70,6
SST	670,0	221,0	180,0	67,0	73,1
	521,0	160,0	125,0	69,3	76,0
	1360,0	398,0	178,0	70,7	86,9
	555,0	181,0	123,0	67,4	77,8

Nota. ST: Sistema Tohá

Anexo 7. Pruebas estadísticas

Tabla 16

Prueba T de muestras emparejadas

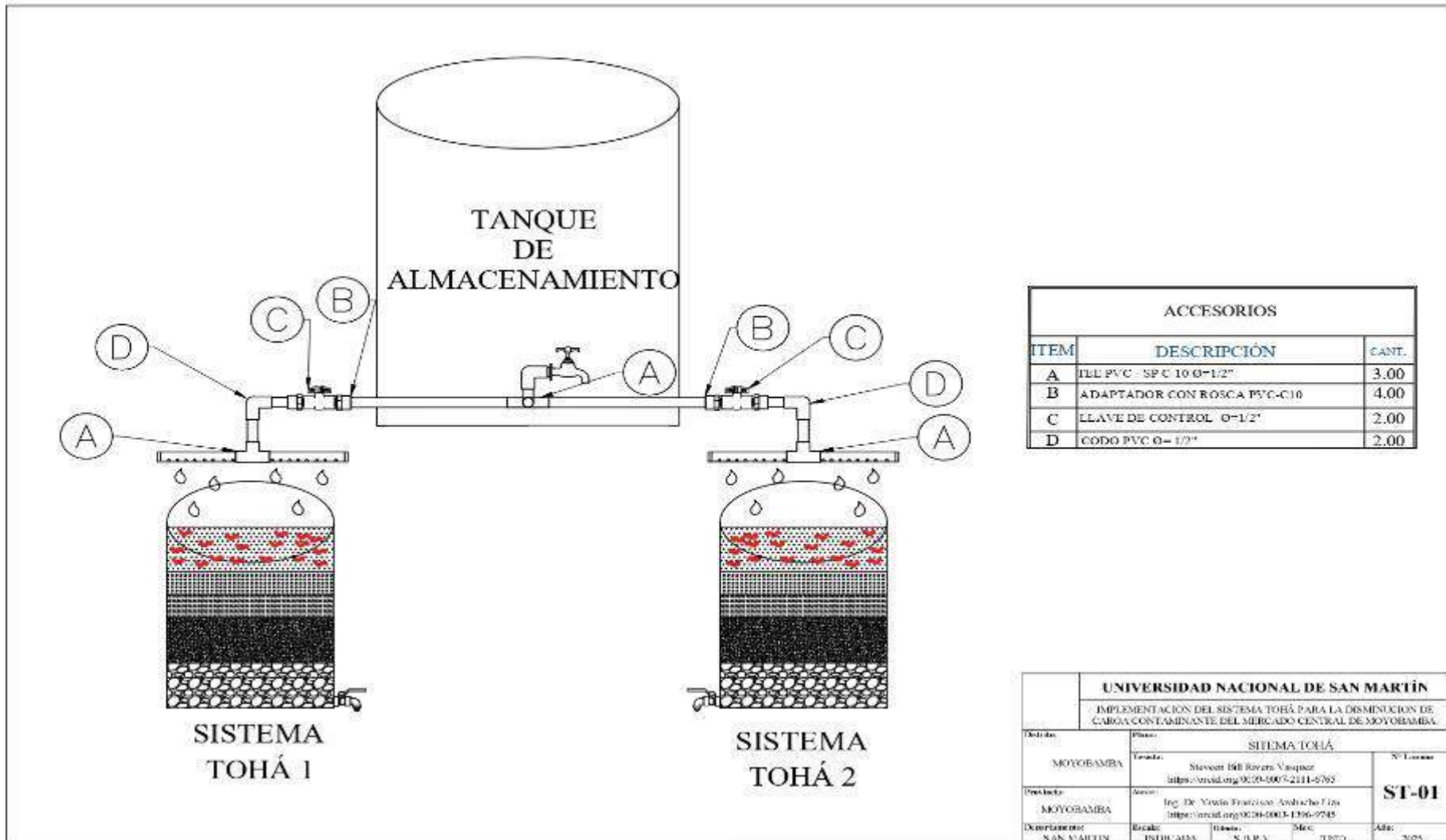
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Concentración inicial DQO – DQO	1 626,25	1 052,63	372,16	746,23	2 506,27	4,370	7	0,003
Concentración inicial DBO ₅ - DBO ₅	1 110,50	718,15	253,91	510,11	1 710,89	4,374	7	0,003

Tabla 17

Prueba T de muestras independientes

	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior
Eficiencia AyG	0,607	0,465	-0,624	6	0,556	-2,200	3,53	-10,83	6,43
Eficiencia DQO	0,079	0,788	-5,071	6	0,002	-21,05	4,15	-31,21	-10,89
Eficiencia DBO ₅	0,403	0,549	-4,739	6	0,003	-20,15	4,25	-30,56	-9,74
Eficiencia SST	2,652	0,155	-3,177	6	0,019	-9,85	3,10	-17,44	-2,26

Anexo 8. Plano del sistema Tohá



Anexo 9. Registro fotográfico



Fotografía 1. Acondicionamiento del área de ubicación del sistema Tohá.



Fotografía 2. Implementación del sistema Tohá.



Fotografía 3. Acondicionamiento de los sistemas Tohá según el diseño definido.



Fotografía 4. Prototipo de sistema Tohá implementado.



Fotografía 5. Recolección de las lombrices *Eisenia foetida*.



Fotografía 6. Adaptación de *Eisenia foetida* y medición de condiciones ambientales.



Fotografía 7. Recolección de muestras de ARnD del mercado central.



Fotografía 8. Llenado de tanque de almacenamiento con ARnD.



41 Fotografía 9. Toma de muestras de ARnD cruda en el tanque de almacenamiento.



Fotografía 10. Toma de muestra de ARnD tratada con el sistema Tohá.



Fotografía 11. Preservación de muestras de AyG.



Fotografía 12. Rotulado de muestras para su envío y/o traslado al laboratorio.



Fotografía 13. Desarrollo de procedimientos para análisis de muestras en laboratorio.



Fotografía 14. Desarrollo de procedimientos para análisis de muestras en laboratorio.



Fotografía 15. Medición de parámetros en laboratorio.