



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras distribuir, combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial y, a pesar que son nuevas obras deben siempre rendir crédito y ser no comerciales, no están obligadas a licenciar sus obras derivadas bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2025_FIAS-095

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

“Uso de Eisenia Foetida mediante el sistema vermifiltro para la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica”

Presentado por:

**RIVERA GARAYAR MAX JOHAN
DANIEL**

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 1%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20170425**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

17 de Diciembre del 2025.

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACION
[Firma]
Dr. Domingo Jesus Cabel Moscoso
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria



TESIS:

**Uso de Eisenia Foetida mediante el sistema vermifiltro para la
reducción de la carga orgánica en aguas residuales
domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

PRESENTADO POR:

BACH. RIVERA GARAYAR MAX JOHAN DANIEL

Ica – Perú

2026

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi Dios y a mis padres, por haberme guiado y brindado oportunidades para mi desarrollo a lo largo de mi vida

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, a mi asesor y a todos los que me apoyaron en el cumplimiento de esta meta.

.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRAC	x
I. INTRODUCCION	11
1.1 Situación problemática	12
1.2 Antecedentes de la Investigación.....	13
1.2.1 Antecedentes internacionales	13
1.2.2 Antecedentes nacionales	14
1.2.3 Antecedentes locales	15
1.3 Bases Teóricas.....	15
1.3.1 Aguas residuales.....	15
1.3.2 Aguas residuales domésticas.....	15
1.3.3 Agentes contaminantes	16
1.3.4 Carga orgánica en aguas residuales	16
1.3.5 Tratamiento de aguas residuales	16
1.3.6 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	17
1.3.7 Eisenia Foetida	17
1.3.8 Vermifiltro	18
1.3.9 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	18
1.3.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	18
1.3.11 Condiciones ambientales	19
1.4 Formulación del problema general	19
1.4.1 Problema general.....	19
1.4.2 Problemas específicos.....	19
1.5 Objetivos	19
1.5.1 Objetivo principal.....	19
1.5.2 Objetivos Específicos	19
1.6 Hipótesis y variables de la investigación	20
1.6.1 Hipótesis principal.....	20
1.6.2 Hipótesis Específica	20
1.7 Variables	20
1.7.1 Variable independiente	20
1.7.2 Variable dependiente	20

1.8	Justificación e Importancia de Investigación	22
1.8.1	Justificación	22
1.8.2	Importancia	22
1.9	Marco conceptual	22
1.9.1	Eisenia Foetida	22
1.9.2	Bacterias facultativas	22
1.10	Marco legal	23
1.10.1	Ley General del Ambiente–Ley N.º 28611	23
1.10.2	Ley General de Salud – Ley N.º 26842	23
1.10.3	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	23
II.	ESTRATEGIA METODOLÓGICA	24
2.1.	Área de estudio	24
2.2.	Tipo, nivel y diseño de investigación	29
2.3.	Población y muestra	30
2.4.	Técnicas de recolección de datos	31
2.5.	Instrumentos de recolección de datos	32
2.6.	Técnicas de procesamiento de datos	32
2.7.	Análisis e interpretación de datos	32
III.	RESULTADOS	34
3.1.	Evaluar la influencia del uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro y la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica.	34
3.1.1.	Prueba de Hipótesis	39
3.2.	Evaluar las condiciones ambientales en el desempeño de Eisenia foetida dentro del sistema vermifiltro, y la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica	41
3.2.1.	Prueba de Hipótesis	48
3.3.	Evaluar el uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro y la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica	50
3.3.1.	Prueba de Hipótesis	53
IV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	56
4.1.	Discusión de resultados de la influencia del uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro y la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica	56
4.2.	Discusión del resultado las condiciones ambientales en el desempeño de Eisenia foetida dentro del sistema vermifiltro, y la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica	57
4.3.	Discusión de resultados del uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro y la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica.	57
VI.	CONCLUSIONES	59
VII.	RECOMENDACIONES	61
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

ANEXOS68
ANEXO 1.....69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetros contaminantes más comunes en las aguas residuales domésticas	15
Tabla 2.	Operacionalización de variable	21
Tabla 3.	Ubicación de los puntos de monitoreo.....	29
Tabla 4.	Metodología empleada para los análisis de las muestras	31
Tabla 5.	Resultados del monitoreo del agua residual doméstica	34
Tabla 6.	Resultados del primer monitoreo de agua postratamiento	35
Tabla 7.	Resultados del segundo monitoreo de agua postratamiento.....	36
Tabla 8.	Resultados del tercer monitoreo de agua postratamiento.....	36
Tabla 9.	Resultados del cuarto monitoreo de agua postratamiento.....	37
Tabla 10.	Resultados del quinto monitoreo de agua postratamiento.....	38
Tabla 11.	Se estimó el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva).....	39
Tabla 12.	Temperatura Máxima Promedio Mensual.....	42
Tabla 13.	Temperatura Mínima Promedio Mensual	43
Tabla 14.	Temperatura Media Promedio Mensual.....	44
Tabla 15.	Precipitación.....	45
Tabla 16.	Humedad Relativa Promedio	46
Tabla 17.	Valores meteorológicos y de reducción de carga orgánica	47
Tabla 18.	Se estimó el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva).....	48
Tabla 19.	Se estimó el estadístico de prueba (Estadística Descriptiva).....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vermifiltro	24
Figura 2. Proceso de tratamiento de agua residual doméstica.....	25
Figura 3. Filtro de 25 mm	25
Figura 4. Filtro parabólico	26
Figura 5. Tanque ecualizador.....	26
Figura 6. Capas filtrantes de vermifiltro	27
Figura 7. Mapa de ubicación del proyecto.....	28
Figura 8. Ubicación de los puntos de monitoreo.....	28
Figura 9. Ubicación de la estación meteorológica.....	29
Figura 10. Distribución de t-Student para el monitoreo de la DBO5 del agua para la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas cae es zona de no rechazo, Alto Larán, Chíncha, Ica	40
Figura 11. Temperatura Máxima Promedio Mensual	43
Figura 12. Temperatura Mínima Promedio Mensual.....	44
Figura 13. Temperatura Media Promedio Mensual	45
Figura 14. Precipitación	46
Figura 15. Humedad Relativa Promedio Mensual	47
Figura 16. Distribución de t-Student para las condiciones ambientales como es la temperatura del efluente de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica	49
Figura 17. Distribución de t-Student para el monitoreo de la DBO5 del agua para la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.....	54

RESUMEN

El **objetivo** de esta investigación fue evaluar el uso de *Eisenia foetida* en un sistema de vermifiltración para reducir la carga orgánica en aguas residuales domésticas en Alto Larán, Chíncha, Ica. La **estrategia metodológica**: Se empleó un enfoque no experimental, utilizando un sistema de vermifiltración y realizando monitoreos en diferentes etapas y periodos de tiempo. Se analizaron variables ambientales (temperatura y humedad) y los parámetros fisicoquímicos del efluente tratado, comparando los resultados con la Norma de Calidad Ambiental (ECA-Agua, D.S. No. 004-2017-MINAM). El análisis estadístico se realizó mediante la prueba t de Student, con un nivel de significancia del 5%. Resultados: Los **resultados** mostraron que la DBO₅ promedio del efluente fue de 14,426 mg/L, con un valor t experimental (-0,4165) inferior al valor t crítico (-2,776) y un valor p (0,3492) > 0,05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa con respecto al límite reglamentario (15 mg/L). Esto demuestra la estabilidad del sistema y su eficacia en la eliminación de la carga orgánica. **Discusión de los resultados**: Los resultados indican que la acción combinada de *Eisenia foetida* y los microorganismos aerobios mantuvo una degradación constante de la materia orgánica, en consonancia con estudios que destacan la eficacia de la vermifiltración en la eliminación de contaminantes orgánicos. La falta de significación estadística se atribuye a la variabilidad natural del proceso y al tamaño de la muestra, sin afectar el cumplimiento de la normativa ni la funcionalidad del sistema. En **conclusión**, el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* es una tecnología ecológicamente viable, económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, que garantiza un efluente con baja carga orgánica apto para su reutilización agrícola. Se recomienda optimizar parámetros operativos como el tiempo de retención hidráulica, el contenido de humedad en el vermifiltro y la densidad de lombrices para mejorar su rendimiento en futuras aplicaciones.

Palabras clave: *Eisenia foetida*; vermifiltración; aguas residuales domésticas; carga orgánica; DBO₅; DQO; tratamiento biológico; sostenibilidad ambiental: eficiencia depurativa.

ABSTRAC

The **objective** of this research was to evaluate the use of *Eisenia foetida* in a vermifiltration system to reduce the organic load in domestic wastewater in Alto Larán, Chinchá, Ica.

Methodological strategy: A non-experimental approach was used, employing a vermifiltration system and conducting monitoring at different stages and time periods. Environmental variables (temperature and humidity) and the physicochemical parameters of the treated effluent were analyzed, comparing the results with the Environmental Quality Standards (ECA-Water, D.S. No. 004-2017-MINAM). Statistical analysis was performed using the Student's t-test, with a significance level of 5%. **Results:** The results showed that the average BOD₅ of the effluent was 14.426 mg/L, with an experimental t-value (-0.4165) lower than the critical t-value (-2.776) and a p-value (0.3492) > 0.05, indicating no statistically significant difference with respect to the regulatory limit (15 mg/L). This demonstrates the stability of the system and its effectiveness in removing the organic load.

Discussion of results: The results indicate that the combined action of *Eisenia foetida* and aerobic microorganisms maintained a constant degradation of organic matter, consistent with studies highlighting the efficiency of vermifiltration in the removal of organic pollutants. The lack of statistical significance is attributed to the natural variability of the process and the sample size, without affecting regulatory compliance or the functionality of the system. In **conclusion**, the vermifiltration system using *Eisenia foetida* is an ecologically viable, economical, and sustainable technology for treating domestic wastewater, ensuring an effluent with a low organic load suitable for agricultural reuse. It is recommended to optimize operating parameters such as hydraulic retention time, moisture content in the vermifilter, and worm density to enhance its performance in future applications

Keywords: *Eisenia foetida*; vermifiltration; domestic wastewater; organic load; BOD₅; COD; biological treatment; environmental sustainability; purification efficiency.

I. INTRODUCCION

La presente investigación busca determinar el grado de eficiencia del tratamiento aplicado a las aguas residuales domésticas de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD) que usa el sistema de vermifiltro, específicamente de los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), cuya importancia radica en que son indicadores de la presencia de contaminantes orgánicos y compuestos químicos que consumen oxígeno para llevar a cabo sus reacciones, causando contaminación en caso de ser vertidos en el suelo y eutrofización en los cuerpos de agua, afectando a la flora y fauna y población. El vermifiltro es un sistema innovador de bajo costo de implementación y mantenimiento para el tratamiento de aguas residuales domésticas; la eisenia foetida, más conocida como lombriz californiana, mediante el sistema vermifiltro, digiere la carga orgánica de las aguas residuales, reduciendo la DBO₅ y DQO, en este sistema no solo se trata el agua residual sino que como valor agregado, se genera humus, el cual puede ser aprovechado como mejorador de suelo para los cultivos, siendo así una tecnología sostenible, contribuyendo a la economía circular.

El tratamiento eficiente de las aguas residuales domésticas representa uno de los principales desafíos ambientales y sanitarios del Perú, debido a que una proporción significativa de los efluentes generados no recibe una depuración adecuada antes de su descarga o reutilización. Esta deficiencia impacta directamente en la calidad del agua, el suelo y los ecosistemas acuáticos, generando condiciones de riesgo para la salud humana y el ambiente. En la región Ica, particularmente en el distrito de Alto Larán, la infraestructura sanitaria disponible, “como las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD)”, presenta limitaciones en su operación, lo que reduce su capacidad para remover la materia orgánica, evidenciada en valores elevados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los efluentes finales.

Frente a este contexto, las tecnologías convencionales de tratamiento, aunque efectivas en entornos urbanos, resultan poco sostenibles en comunidades rurales por su alto consumo energético, requerimientos de mantenimiento especializado y generación de lodos residuales. En respuesta, la biotecnología ambiental ha desarrollado alternativas más sostenibles que aprovechan

los procesos naturales de degradación de la materia orgánica. Una de las propuestas más innovadoras es el sistema vermifiltro, el cual combina la acción biológica de lombrices y microorganismos en un medio filtrante para transformar compuestos orgánicos en sustancias más estables y menos contaminantes.

Entre las especies utilizadas, la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) ha demostrado un notable desempeño en la bioconversión de materia orgánica, gracias a su alta tasa de reproducción, su resistencia ambiental y su capacidad enzimática. Investigaciones desarrolladas en India, China y España [1], [2], [3], confirman que la actividad de *Eisenia foetida* favorece la aireación del sustrato, acelera los procesos de oxidación y logra reducciones significativas en los niveles de DBO₅ y DQO, superando, en algunos casos, el 80 % de eficiencia. Estas experiencias internacionales, junto con ensayos nacionales en Arequipa, Lambayeque y Cusco, evidencian que los sistemas de vermifiltración son una opción viable, económica y ecológicamente compatible con las condiciones del país.

En este sentido, la aplicación de un sistema vermifiltro busca optimizar el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas, reducir su carga orgánica y contribuir al cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM [4]. Esta alternativa se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, en especial el ODS 6: “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”[5], y con las políticas nacionales de saneamiento y gestión integrada de los recursos hídricos.

En consecuencia, la presente investigación tiene como finalidad evaluar el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro para la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, generando evidencia científica sobre la efectividad de esta tecnología biológica como alternativa sostenible y replicable para el tratamiento de efluentes domésticos en comunidades rurales del país.

1.1 Situación problemática

La región costera, especialmente la región Ica es caracterizada por la gran demanda y escasez del recurso hídrico, el cual es principalmente extraído mediante pozos subterráneos, los cuales con el transcurso del tiempo se “secan” debido a que el nivel de la napa freática disminuye por la explotación del acuífero de Ica para satisfacer las necesidades de empresas del sector agroindustrial, así como de comunidades que han crecido exponencialmente debido a la migración poblacional. Considerando que desde el año 2008 la Autoridad Nacional de Agua (ANA) declaró en zona de veda gran parte de la región Ica, lo cual limita el otorgamiento de derechos de uso de agua, incrementando de esta manera el [6].

La escasez del agua es tanto un problema actual como a futuro en el país, principalmente en la región costera, zona con estrés hídrico, por lo cual tanto el sector público como el privado deben implementar medidas para garantizar la sostenibilidad de este valioso recurso con el tiempo. Una de estas medidas es el reúso de aguas residuales domésticas mediante plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), con lo que se recupera el recurso hídrico y se evita la contaminación de los cuerpos receptores[7].

[8], Existen empresas y poblaciones que debido a su ubicación no cuentan con conexión para la descarga de sus aguas residuales al alcantarillado, generándose contaminación y pérdida de un recurso con potencial de reaprovechamiento debido a que si bien hay varios sistemas de tratamiento que se utilizan para tratar el agua residual doméstica, en la realidad muchas veces debido a la falta de conocimiento, diseño inefficiente o malas prácticas de uso, dichos sistemas terminan colapsando o siendo inviables debido al alto costo que supone su mantenimiento o expansión, tal es el caso de fosas sépticas, biorreactores, lagunas de oxidación, etc.

1.2 Antecedentes de la Investigación

1.2.1. Antecedentes internacionales

Diversos estudios han evaluado la eficiencia de la vermifiltración frente a sistemas convencionales bajo diferentes cargas hidráulicas superficiales. La evidencia muestra que la vermifiltración mantiene o incluso incrementa su eficiencia de remoción de contaminantes a cargas hidráulicas elevadas, mientras que los sistemas convencionales tienden a perder eficiencia bajo estas condiciones [9]. Se implementó un sistema de vermifiltración a escala de laboratorio para tratar aguas residuales sintéticas bajo diferentes cargas hidráulicas superficiales. Los resultados mostraron que, aunque el vermifiltro y el filtro convencional presentan una eficiencia similar en condiciones de alta carga, el sistema tradicional pierde efectividad cuando la carga hidráulica aumenta, mientras que el vermifiltro mejora su rendimiento. En condiciones de $27 \text{ L/m}^2 \cdot \text{día}$, el vermifiltro alcanzó eficiencias de remoción de DQO, DBO_5 y SST del 72 %, 71 % y 84 %, respectivamente, evidenciando su mayor capacidad de adaptación y depuración frente a variaciones en la carga hidráulica [10].

Diversos estudios han demostrado que los sistemas lombrifiltro, especialmente aquellos que emplean *Eisenia foetida* y estratos como aserrín, carbón activado, grava y piedras de río, logran altas eficiencias de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas y agroindustriales [11]. Se construyó un sistema experimental de lombrifiltración siguiendo la metodología Tohá, conformado por

estratos de aserrín con *Eisenia foetida*, carbón activado, grava y piedras de río. Los resultados demostraron que la mayor eficiencia de remoción de contaminantes se alcanzó con un flujo volumétrico de 1.8×10^{-2} L/s y un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 0.92 horas, logrando reducciones del 52.5 % en DBO₅ y DQO, 66.74 % en SST y 52.91 % en ST, evidenciando la efectividad del sistema biológico bajo dichas condiciones operativas [12].

1.2.2. Antecedentes nacionales

Se desarrolló un biodepurador experimental incorporando a la lombriz *Eisenia foetida* como agente biológico principal en el tratamiento de aguas residuales domésticas, con el propósito de evaluar su capacidad depurativa. El sistema alcanzó eficiencias notables de remoción en los parámetros analizados: 95 % en SST, 70 % en SSV, 90 % en DQO y 95 % en DBO₅, además de una disminución significativa de coliformes fecales, lo que confirma la eficacia del proceso biológico en la mejora de la calidad del efluente tratado [13].

Se implementó una planta piloto de tratamiento basada en la tecnología de vermifiltración con *Eisenia foetida*, ensayando tres caudales de operación: 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min. Se analizaron las características del afluente (agua residual sin tratar) y del efluente (agua tratada) para determinar la eficiencia del sistema. Los resultados evidenciaron una remoción constante del 96.7 % en DBO₅ en los tres tratamientos, mientras que la reducción de DQO fue de 86.5 % para 25 mL/min, 82.57 % para 50 mL/min y 79.95 % para 75 mL/min, confirmando que el vermifiltro mantiene alta eficacia depurativa incluso bajo variaciones de caudal y que su rendimiento óptimo se alcanza con flujos menores [14].

Se implementó un biofiltro experimental con *Eisenia foetida*, estructurado en capas de estiércol vacuno, malla ratchet, arena gruesa y agregados de 10–16 mm y 20 mm, junto con un biofiltro convencional compuesto solo por capas minerales (arena y agregados). Los resultados mostraron que el sistema con lombrices alcanzó mayores eficiencias de remoción, logrando entre 80.36 % y 89 % en turbidez, 40 % en SST, 45.95 % a 89.69 % en aceites y grasas (AyG), 94.17 % a 95.83 % en DBO₅ y hasta 99.99 % en coliformes termotolerantes, demostrando el efecto positivo de *Eisenia foetida* en la depuración biológica y la superioridad del sistema vermifiltro frente al filtro convencional.

1.2.3. Antecedentes locales

En la región de Ica no se registran investigaciones locales que aborden específicamente el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas. La revisión de repositorios académicos nacionales y regionales (RENATI, ALICIA-CONCYTEC y Scielo Perú) confirmó la ausencia de estudios previos en este ámbito, lo que evidencia una brecha de conocimiento científico y justifica la pertinencia de desarrollar esta investigación como un aporte original a la gestión ambiental sostenible en el contexto local.

1.3 Bases Teóricas

1.3.1 Aguas residuales

Las aguas cuyas características y parámetros han cambiado debido a actividades humanas, “como las domésticas, industriales, agrícolas y hospitalarias”, se consideran aguas residuales y requieren tratamiento antes de ser vertidas en cuerpos de agua naturales o reutilizadas, para evitar riesgos ambientales y de salud pública [15].

1.3.2 Aguas residuales domésticas

Aquellas que se originan en domicilios y comercios, contienen principalmente desechos fisiológicos humanos y de actividades propias de un hogar (aguas de inodoros, lavaderos, duchas)[16], [17].

Tabla 1. *Parámetros contaminantes más comunes en las aguas residuales domésticas*

Parámetro	Relevancia
Aceites y Grasas	Debido a las reacciones de oxidación que se originan, se consume rápidamente el oxígeno disuelto; también pueden obstruir tuberías y sistemas de tratamiento.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Representa la cantidad de oxígeno que demandan los organismos presentes en el agua para realizar sus actividades. Una elevada cantidad de DBO5 representa la presencia de contaminantes.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Representa la cantidad de oxígeno que demandan los compuestos presentes en el agua para realizar reacciones de oxidación, engloba la DBO5, una elevada cantidad es indicador de presencia de contaminantes
Oxígeno Disuelto	Primordial para la supervivencia de la flora y fauna acuática

Parámetro	Relevancia
pH	Indica la acidez, neutralidad o alcalinidad del agua.
Temperatura	Afecta procesos químicos, físicos y biológicos
Coliformes Termotolerantes	Indicador de contaminación fecal en el agua.
Escherichia Coli	Indicador de contaminación fecal en el agua.
Huevos de helmintos	Indicador de contaminación fecal en el agua.

1.3.3 Agentes contaminantes

La Ley General del Medio Ambiente N° 28611 del Perú define los contaminantes como sustancias presentes en concentraciones capaces de causar daño a los seres vivos (humanos, plantas o animales), cuando superan los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) o Límites Máximos Permisibles (LMP). Esta definición es fundamental para la gestión ambiental y la protección de la salud y los ecosistemas [18].

1.3.4 Carga orgánica en aguas residuales

Se refiere a la materia orgánica presente en las aguas residuales, teniendo diversos orígenes, tales como fuentes naturales (plantas, residuos animales, microorganismos, etc.) o fuentes antropogénicas (actividades poblacionales e industriales), teniendo como indicadores de la presencia de esta la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

1.3.5 Tratamiento de aguas residuales

Aplicación de sistemas y tecnologías para disminuir o erradicar contaminantes presentes en el agua; el tratamiento dependerá del tipo de agua residual, así como de los parámetros presentes en esta; dependiendo de esto, se requerirán tratamientos más o menos complejos.

Normalmente los sistemas de tratamiento de aguas residuales constan de tres fases:

- ✓ **Fase primaria:** donde se retienen partículas de gran tamaño mediante la filtración y sedimentación.
- ✓ **Fase secundaria:** donde se realiza el proceso de remoción de materia orgánica.
- ✓ **Fase terciaria:** donde se realiza la remoción de organismos patógenos mediante cloración o tratamientos fisicoquímicos.
- ✓

1.3.6 **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)**

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales [19]. Existen diversos tipos de PTAR, cada una usa diferentes tecnologías y procesos para tratar problemas específicos; de manera general, se pueden encontrar dos tipos:

- ✓ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD)- cumple la función de depurar contaminantes presentes en el agua residual que provienen del uso que la población le da al recurso hídrico para desarrollar sus actividades diarias, tales como aseo, necesidades fisiológicas, preparación de alimentos, entre otros.
- ✓ Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI)- en este tipo de plantas es donde se presentan una gran cantidad de tecnologías y procesos debido a que dependiendo del tipo de industria cambiarán los contaminantes presentes en el agua residual, como metales en la industria minera, y diversos compuestos químicos en los sectores de agricultura, producción, etc.

1.3.7 **Eisenia Foetida**

La especie *Eisenia foetida*, conocida comúnmente como lombriz roja californiana o lombriz tigre, es un anélido empleado extensamente en procesos de vermicompostaje y estudios de biodepuración ambiental debido a su alta capacidad de descomposición de materia orgánica. En su fase adulta alcanza longitudes cercanas a 8 cm y diámetros de alrededor de 5 mm, presentando un cuerpo segmentado con anillos de tonalidad amarillenta que le confieren su característico aspecto listado. Este organismo respira a través de la piel y carece de órganos visuales, aunque posee células fotosensibles que lo hacen reaccionar a la luz, razón por la cual habita en ambientes oscuros y húmedos. Prefiere sustratos ricos en materia orgánica, como estiércol y residuos vegetales en descomposición, donde su actividad biológica favorece la mineralización y estabilización del material orgánico, contribuyendo a la formación de suelos fértiles y a la reducción de contaminantes en medios acuosos o sólidos [20], [21]. La *eisenia foetida* no cuenta con dientes; la ingestión del alimento se realiza a través de la boca, localizada en el primer segmento corporal. En la faringe, glándulas especializadas secretan enzimas proteolíticas que humedecen y comienzan la descomposición del material ingerido”. “Al alcanzar el estómago, otras glándulas liberan carbonato de calcio, cuya función es neutralizar la acidez de los compuestos presentes en el alimento”. “Tras completar el tránsito por el

tracto digestivo, los residuos no digeridos son eliminados a través del ano, situado en el último segmento del cuerpo” [22]. Dicha excreta es el humus, el cual se utiliza como mejorador de suelo para las plantas.

Investigaciones han demostrado que la *Eisenia foetida* se desarrolla mejor en condiciones de temperatura con rangos de entre 20-29°C, disminuyendo gradualmente la población en temperaturas menores o mayores a estas, respecto a la humedad, el desarrollo óptimo de la *E. foetida* se da en el rango 70-85%, muriendo las lombrices en porcentajes menores y mayores a estos [23].

1.3.8 Vermifiltro

Los vermifiltros, también conocidos como lombrifiltros o biofiltros, son sistemas ecológicos y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Su eficacia depende de la interacción entre lombrices y microorganismos, así como del diseño de las capas filtrantes y el control de temperatura y humedad. El vermifiltro utiliza lombrices (comúnmente *Eisenia fetida* o *Eudrilus eugeniae*) que, junto con microorganismos, degradan la materia orgánica presente en el agua residual. El sistema se compone de varias capas: materiales como grava, arena, aserrín, viruta, estiércol, vermicompost y fibras naturales, que proporcionan soporte físico y hábitat para las lombrices y la biopelícula microbiana [24], [6].

1.3.9 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Representa la cantidad de oxígeno expresada en mg/L que demandan los organismos presentes en el agua para realizar sus actividades metabólicas.

Debido al inicio del proceso de nitrificación, se implementa el muestreo mediante la medición del oxígeno disuelto durante cinco (05) días a una temperatura de 20 °C; a dicho proceso se le denomina DBO₅.

Una DBO₅ elevada sugiere una alta presencia de materia orgánica biodegradable, lo que puede indicar contaminación y un posible impacto negativo en el ambiente. Por ello, este parámetro es fundamental para determinar la eficacia de los tratamientos de aguas residuales y para controlar los vertidos industriales [25].

1.3.10 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es una medida del oxígeno equivalente de la materia orgánica contenida en una muestra que es susceptible de ser oxidada mediante un oxidante químico fuerte, siendo la demanda de oxígeno determinada al medir la cantidad del oxidante consumido, obteniendo resultados entre 1 y 3 horas, en comparación con la DBO₅ que toma 5 días [26].

Es importante mencionar que la DQO engloba a la DBO, debido a que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar tanto la materia biodegradable como la no biodegradable, siendo el valor de la DQO siempre mayor que el de la DBO₅ (DQO>DBO₅).

1.3.11 Condiciones ambientales

Conjunto de parámetros que comprenden el clima, tales como: temperatura, precipitación, humedad, dirección y velocidad del viento, radiación, entre otros.

1.4 Formulación del problema general

1.4.1 Problema general

¿De qué manera el uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro influye en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica?

1.4.2 Problemas específicos

PE1: ¿De qué manera las condiciones ambientales en el desempeño de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro influyen en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica?

PE2: ¿De qué manera el uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro influye en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo principal

Evaluar el uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro que influye en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

1.5.2 Objetivos Específicos

O.E.1: Evaluar las condiciones ambientales en el desempeño de Eisenia foetida dentro del sistema vermifiltro, que influyen en la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

O...E2: Evaluar el uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro que influye en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

1.6 Hipótesis y variables de la investigación

1.6.1 Hipótesis principal

El uso de *Eisenia foetida* en un sistema de vermifiltro influye en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

1.6.2 Hipótesis Específica

H.E.1: Las condiciones ambientales en el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro influyen en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

H.E.2: El uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro influye en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

1.7 Variables

1.7.1 Variable independiente

Uso de Eisenia foetida en el sistema de vermifiltro.

1.7.2 Variable dependiente

Reducción de la carga orgánica en agua residual doméstica.

Tabla 2. Operacionalización de variable

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida	Estrategia metodológica
VI: Uso de Eisenia foetida en el sistema de vermifiltro	Uso de Eisenia foetida en el sistema de vermifiltro” “El uso de Eisenia foetida se refiere a la aplicación de lombrices rojas californianas (Eisenia foetida) en procesos de tratamiento biológico de residuos, particularmente en la degradación y transformación de materia orgánica”. “Esta especie de lombriz es conocida por su capacidad para digerir y descomponer desechos orgánicos mediante un proceso denominado vermicompostaje.	D_{I,1}: Condiciones ambientales	I_{I,1,1}: Temperatura I_{I,1,2}: Humedad I_{I,1,3}: pH del afluente I_{I,1,4}: Tiempo de retención hidráulica I_{I,1,5}: Densidad de lombriz	°C % h gr biomasa/L de lecho	✓ Observación ✓ Excel - T-student
Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medidas	Estrategia metodológica
VD: Reducción de la carga orgánica en agua residual doméstica	Proceso de disminución de contaminantes específicos en el agua residual mediante tratamientos que eliminan materia orgánica, mejorando así la calidad del agua	D_{D,1}: “Efectividad del tratamiento de aguas residuales”	I_{D,1,1}: DBO ₅ I_{D,1,2}: DQO I_{D,1,3}: Eficiencia de remoción	mg/L mg/L %	✓ Observación ✓ Excel t-student

1.8 Justificación e Importancia de Investigación

1.8.1 Justificación

La investigación se justifica porque en Alto Larán, Chíncha, no existen estudios previos sobre el uso de *Eisenia foetida* en sistemas vermifiltros para tratar aguas residuales domésticas, a pesar de la necesidad de alternativas sostenibles ante las limitaciones de las plantas locales. Este estudio propone una tecnología biológica de bajo costo y alta eficiencia, capaz de reducir la carga orgánica (DBO₅ y DQO) mediante la acción combinada de lombrices y microorganismos, contribuyendo al cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua) y al Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 6, orientado a garantizar agua limpia y saneamiento en zonas rurales de la región Ica.

1.8.2 Importancia

La importancia de la investigación radica en que propone una alternativa biotecnológica sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales como Alto Larán, Chíncha, donde los sistemas convencionales presentan limitaciones técnicas y económicas. El uso de *Eisenia foetida* en un sistema vermifiltro permite aprovechar procesos naturales de degradación para reducir la carga orgánica (DBO₅, y DQO), mejorando la calidad del efluente y contribuyendo a la protección de los ecosistemas acuáticos y a la salud pública. Además, fortalece la gestión ambiental local y apoya el cumplimiento del ODS 6: Agua limpia y saneamiento, generando conocimiento aplicable a otras comunidades y empresas de la región Ica.

1.9 Marco conceptual

1.9.1 Eisenia Foetida

Anélido también conocido como “lombriz californiana” que digiere materia orgánica, resultando en sus excretas en humus.

1.9.2 Bacterias facultativas

Las bacterias facultativas engloban a las bacterias aeróbicas y anaeróbicas, las cuales tienen como función principal descomponer la carga orgánica presente en las aguas residuales.

Entre las principales bacterias facultativas presentes en el vermifiltro se encuentran [27]:

- ✓ *Achromobacter*
- ✓ *Flavobacterium*
- ✓ *Pseudomonas*
- ✓ *Alcaligenes*

- ✓ Nitrosomas
- ✓ Nitrobacter

1.10 Marco legal

1.10.1 Ley General del Ambiente–Ley N.º 28611

Esta norma constituye el marco legal principal para la gestión ambiental. Establece que toda persona natural o jurídica, pública o privada, debe asumir el costo de los riesgos o daños que genere sobre el ambiente [28].

1.10.2 Ley General de Salud – Ley N.º 26842

La Ley General de Salud establece la prohibición de realizar descargas en los componentes agua, suelo o aire sin haber realizado un tratamiento previo [29].

1.10.3 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua – Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Normativa en la que se establecen valores para los parámetros para medir la calidad del agua que será usada para diversos fines, como uso poblacional, recreacional, para riego, entre otros; variando estos valores según el uso [30].

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en el distrito de Alto Larán, perteneciente a la provincia de Chincha, en la región Ica, Perú. Esta zona presenta un clima árido subtropical, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 16 °C y 28 °C.



Figura 1. Vermifiltro

Los puntos de monitoreo se ubican dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD) de una empresa agroindustrial, donde se seleccionaron puntos estratégicos a lo largo del sistema de flujo:

- ✓ **Punto 1 (Afluente):** ingreso del agua residual doméstica cruda proveniente del sistema de alcantarillado de la empresa, donde se determina la carga orgánica inicial.
- ✓ **Punto 2 (Efluente):** salida del agua tratada, utilizada para evaluar la eficiencia del sistema mediante la reducción de DBO₅ y DQO.

La ubicación geográfica aproximada del área de estudio corresponde a las coordenadas Este: 387335.00 y Norte: 8512277.00, situada a una altitud promedio de 190 m. s. n. m. [31]. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas analizada en el presente estudio fue diseñada para tratar un caudal máximo de 320 m³/día y cumplir con los parámetros establecidos en el D.S. N°004-2017-MINAM, que establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría 3-D1 Riego de vegetales.

El proceso está compuesto de la siguiente manera:

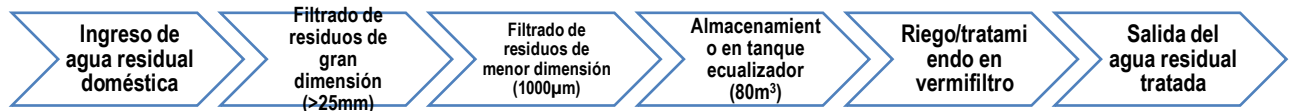


Figura 2. Proceso de tratamiento de agua residual doméstica

- **Ingreso del afluente:** El agua residual proviene de los baños de las áreas administrativas y de campo, comedores y vestuarios ubicados en la empresa, la cual es conducida mediante ductos e hidrojets hacia la PTARD.
- **Filtrado de residuos de gran dimensión (>25mm):** los residuos de gran dimensión que llegan al agua residual son filtrados.



Figura 3. Filtro de 25mm

- **Filtrado de residuos de menor dimensión (1000µm):** posterior al filtrado de residuos de gran dimensión, se pasa por la criba o filtro parabólico, el cual filtra los residuos de menor dimensión como plásticos, ramas pequeñas, entre otros.



Figura 4. Filtro parabólico

- **Ecualización (80m³)**- Posterior al filtrado, el agua residual es almacenada en el tanque ecualizador, donde los niveles de contaminantes se homogenizan y posteriormente son regados en el vermifiltro por medio de bombas y aspersores. El riego se realiza automáticamente mediante sensores en lapsos establecidos, siendo la configuración de:
 - ✓ Riego: 7 minutos
 - ✓ Descanso: 10 minutos



Figura 5. Tanque ecualizador

- **Riego/Tratamiento en vermifiltro-** posterior a la ecualización el agua residual es distribuida uniformemente mediante el sistema de riego (bombas, tuberías y aspersores) al vermifiltro, donde la carga orgánica será reducida mediante la acción de las lombrices californianas y la comunidad bacteriana presente.

El vermifiltro cuenta con un área de 640 m² (64m X 10m) y una altura de 1.5m, estando el vermifiltro dividido por capas, las cuales son:

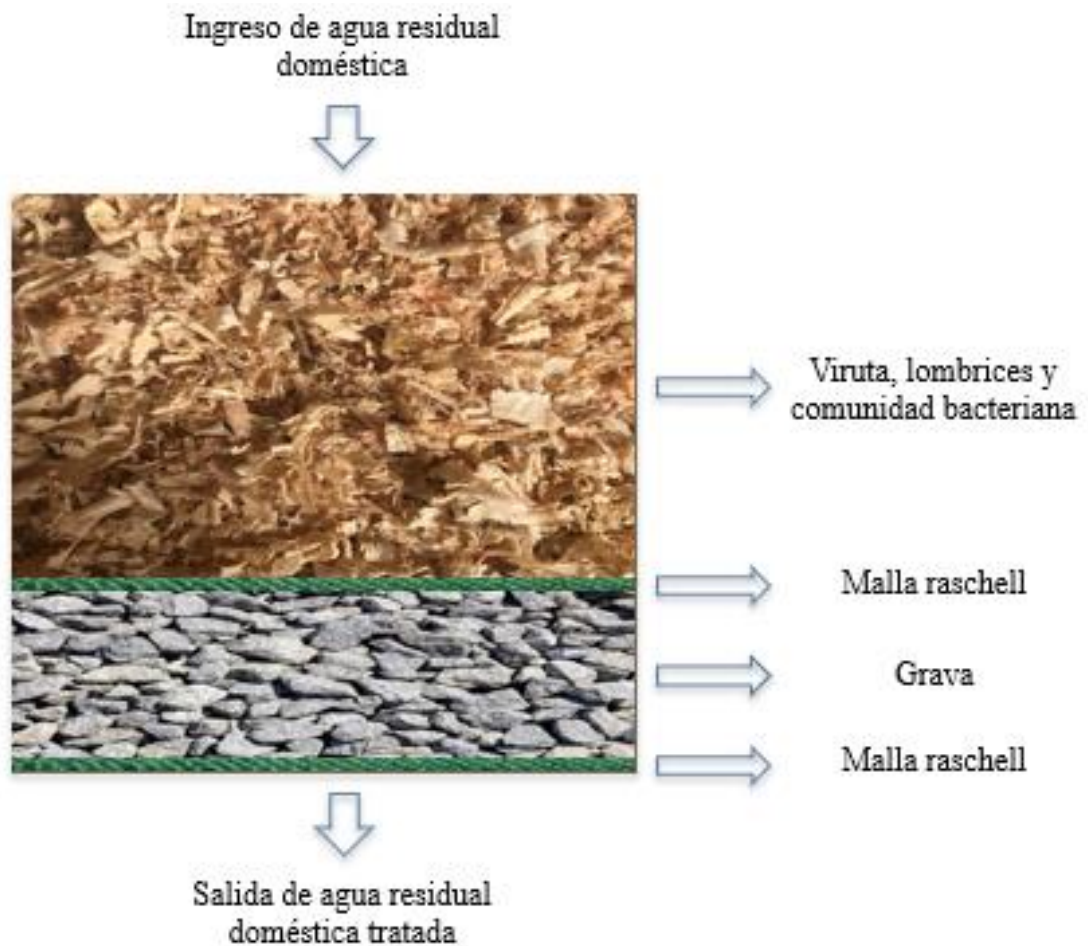


Figura 6. Capas filtrantes del vermifiltro

- **Salida del agua tratada.-** Este escenario permite evaluar la viabilidad del sistema vermifiltro con *Eisenia foetida* como alternativa sostenible para mejorar la calidad del efluente tratado, contribuyendo a la gestión ambiental y al cumplimiento de los estándares nacionales establecidos por el D.S. N.º 004-2017-MINAM [30].

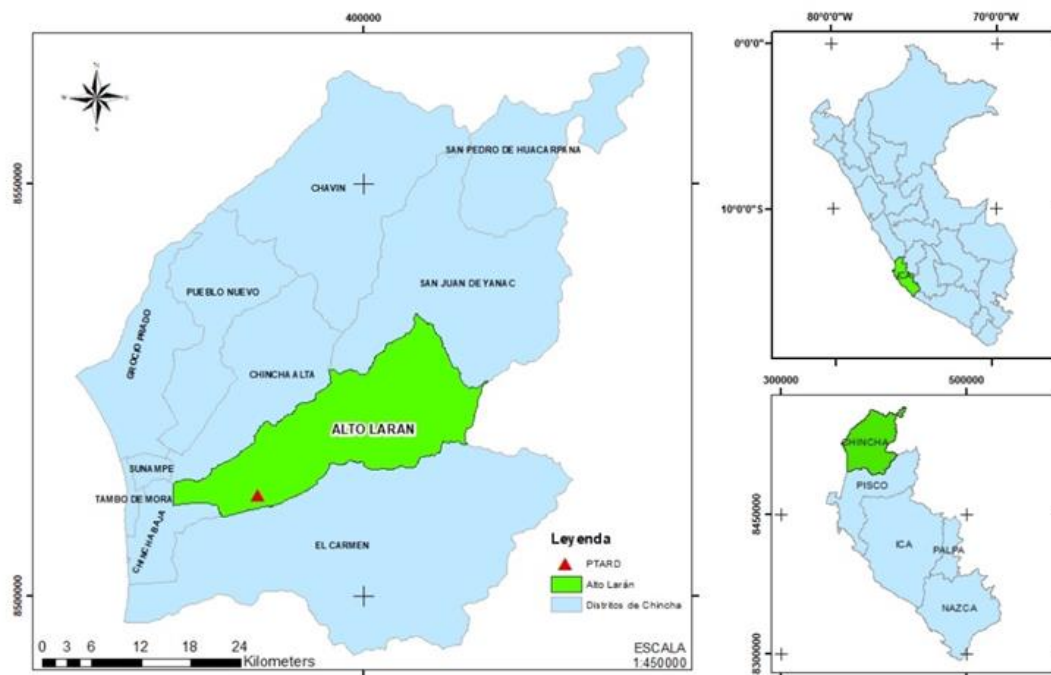


Figura 7. Mapa de ubicación del proyecto



Figura 8. Ubicación de los puntos de monitoreo

Tabla 3. Ubicación de los puntos de monitoreo

Puntos de Monitoreo	Coordenadas UTM (WGS 84 18 L)		Descripción
	Este	Norte	
ARI-1A	387376.00	8512296.00	Entrada del agua residual
ART-1A	387266.00	8512286.00	Salida del agua tratada

Condiciones ambientales del área de estudio

Se extrajo información de la estación meteorológica convencional FONAGRO (CHINCHA) del SENAMHI, cuyas coordenadas UTM WGS 1984 18L son Este: 377222.00 y Norte: 8511953.00, la cual se eligió por su cercanía y representatividad, cuyos datos extraídos se presentan a continuación.

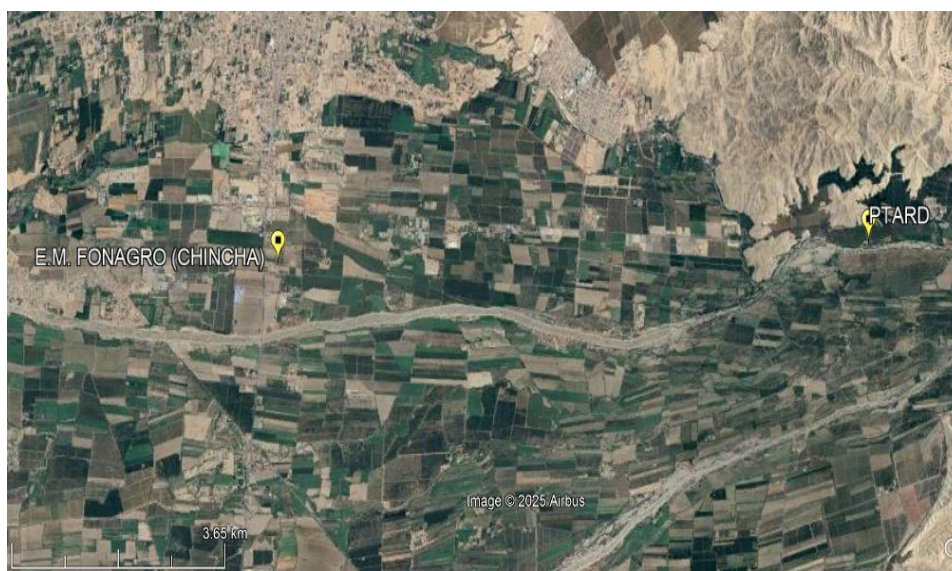


Figura 9. Ubicación de la estación meteorológica

2.2. Tipo, nivel y diseño de investigación

Tipo de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada de tipo observacional-prospectiva-longitudinal, pues busca comprobar la eficacia del uso de *Eisenia foetida* para reducir la carga orgánica (DBO_5 y DQO) en aguas residuales domésticas tratadas en la PTARD. Es aplicada porque se orienta a resolver un problema ambiental concreto mediante la implementación de una tecnología sostenible; y es experimental porque implica la manipulación controlada de la variable independiente “uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro” para observar su efecto sobre la variable dependiente, que es la reducción de la carga orgánica en el agua residual doméstica [32], [33].

Nivel de investigación

El nivel de la investigación es explicativo, ya que busca identificar y demostrar la relación causal entre el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro (variable independiente) y la reducción de la carga orgánica en las aguas residuales domésticas (variable dependiente). Este nivel permite no solo describir el fenómeno observado, sino también explicar el efecto biológico y operativo que produce la acción de las lombrices sobre los parámetros fisicoquímicos (DBO₅ y DQO), validando así la eficacia del tratamiento [34].

“Diseño de la investigación”

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, ya que se trabajó con muestras controladas de aguas residuales domésticas en condiciones de campo de la PTARD, sin manipular totalmente todas las variables externas. Este diseño permitió comparar los valores iniciales (afluente) y finales (efluente) tras la aplicación del sistema vermifiltro con *Eisenia foetida*, determinando su efecto en la reducción de la carga orgánica.

El estudio se desarrolló bajo un diseño longitudinal de tipo pretest–posttest, donde se midieron los parámetros fisicoquímicos (DBO y DQO) antes y después del tratamiento, manteniendo constantes las condiciones ambientales, el tiempo de retención y la densidad de lombrices. Este enfoque permitió evaluar la variación temporal y la eficacia del proceso biológico, estableciendo la relación causal entre las variables en estudio con base en evidencias empíricas y comparaciones estadísticas [34], [35].

2.3. Población y muestra

Población

La población de estudio está conformada por las aguas residuales domésticas que ingresan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD) de una empresa agroindustrial, ubicada en el distrito de Alto Larán, provincia de Chincha, región Ica. Estas aguas proceden principalmente de las descargas de los baños, comedores y vestidores, que incluyen efluentes de uso sanitario, actividades como aseo personal y preparación de alimentos. En conjunto, constituyen una mezcla principalmente de alta carga orgánica (como lo indican la DBO) y microorganismos patógenos, así como, en menor medida, grasas y otros compuestos.

Muestra

La muestra está constituida por los efluentes domésticos seleccionados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD), que representan el caudal promedio diario de las descargas. Para garantizar la representatividad de los resultados, las muestras se tomaron en diferentes puntos del sistema “afluente y efluente” y en distintos periodos del proceso de tratamiento (antes y después del tratamiento). Cada muestra fue

recolectada bajo condiciones controladas, utilizando recipientes estériles y siguiendo los protocolos establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP ISO 5667-10:2019, referida al muestreo de aguas residuales.

El volumen de agua analizado en cada ensayo experimental fue determinado en función de lo indicado según los protocolos del laboratorio que analiza la muestra. Las muestras se caracterizaron antes y después del tratamiento, determinándose parámetros fisicoquímicos como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), a fin de cuantificar la eficacia del proceso biológico.

De este modo, la muestra seleccionada permite establecer con precisión la capacidad del sistema de vermifiltración para reducir la carga orgánica de las aguas residuales domésticas tratadas en la PTARD, asegurando la validez científica de los resultados y su aplicabilidad en contextos similares de la región de Ica.

2.4. Técnicas de recolección de datos

La técnica empleada fue el muestreo directo de aguas residuales domésticas en la Planta de Tratamiento, aplicando un procedimiento controlado para evaluar la eficiencia del sistema vermifiltro con *Eisenia foetida*. Las muestras se recolectaron en puntos representativos del afluente y efluente, asegurando condiciones de homogeneidad y representatividad del caudal.

El instrumento de recolección consistió en recipientes de polietileno estériles, previamente enjuagados con la misma agua a analizar, siguiendo las recomendaciones de la NTP ISO 5667-10:2019 y de lo indicado según el protocolo del laboratorio que realizó el análisis de las muestras. Cada muestra fue debidamente rotulada, preservada en frío y trasladada al laboratorio para su análisis.

Posteriormente, se determinaron los parámetros DBO₅ y DQO mediante métodos aprobados según la normativa peruana (APHA, AWWA, WEF, 2017, entre otros), asegurando la validez técnica y reproducibilidad de los resultados. Esta metodología permitió obtener datos precisos sobre la variación de la carga orgánica y la eficiencia del tratamiento biológico con *Eisenia foetida* [36].

Tabla 4. Metodología empleada para los análisis de las muestras

Parámetro	Método de análisis empleado
DBO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 6210 B, 24th.Ed. 2023
	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th.Ed. 2023
DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 6220 D, 23rd.Ed. 2017
	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th.Ed. 2023

2.5. Instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de información confiable y verificable se emplearon instrumentos de medición y registro físico-químico, diseñados conforme a los lineamientos técnicos establecidos por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2017) y la NTP ISO 5667-10:2019. Los principales instrumentos utilizados fueron:

- ✓ **Botellas de muestreo estériles de polietileno (1 L)**, destinadas a la recolección de muestras de afluente y efluente en los puntos de monitoreo definidos dentro de la PTARD.
- ✓ **Hojas de control de campo y fichas técnicas**, elaboradas para el registro sistemático de las muestras y datos observados.
- ✓ **Data de estaciones SENAMHI**, utilizados para obtener data de la temperatura y humedad durante las fechas de muestreo

Estos instrumentos permitieron obtener datos precisos, trazables y reproducibles, necesarios para evaluar la eficiencia del sistema vermifiltro en la reducción de la carga orgánica, analizando principalmente la reducción de la DBO y teniendo como referencia a la DQO[37].

2.6. Técnicas de procesamiento de datos

El análisis se efectuó utilizando los programas Microsoft Excel y el estadístico t-student, que permitieron generar tablas, gráficos y análisis de tendencia. Los resultados fueron interpretados en función de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, establecidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, asegurando la validez científica y ambiental de los resultados.

2.7. Análisis e interpretación de datos

El análisis de los datos se realizó con el propósito de evaluar la eficiencia del sistema vermifiltro con *Eisenia foetida* en la remoción de carga orgánica presente en las aguas residuales domésticas de la PTARD en Alto Larán, Chíncha. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo, considerando los valores de DBO y DQO obtenidos en los puntos de monitoreo del afluente y efluente.

En primera instancia, los valores fueron organizados en tablas y representados mediante gráficos de barras y líneas, lo que permitió visualizar las variaciones de los parámetros antes y después del tratamiento. Luego, se calcularon los porcentajes de remoción de cada contaminante, interpretando los resultados en relación con la actividad biológica de *Eisenia foetida* y las condiciones operativas del sistema.

Posteriormente, se aplicó la prueba t de Student para determinar si las diferencias observadas entre los valores iniciales y finales eran estadísticamente significativas ($p <$

0,05), confirmando la eficacia del tratamiento biológico. Los resultados obtenidos se contrastaron con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos por el D.S. N.º 004-2017-MINAM, con el fin de verificar el cumplimiento de los límites normados.

Finalmente, la interpretación de los datos permitió establecer la relación entre el uso de *Eisenia foetida* y la reducción efectiva de la carga orgánica, demostrando que este sistema constituye una alternativa sostenible, de bajo costo y con alto potencial de aplicación en el tratamiento de aguas residuales domésticas en empresas que contemplan realizar el tratamiento de sus aguas residuales mediante sistemas como el vermifiltro, así como en comunidades rurales [38], [39].

III. RESULTADOS

3.1. Evaluar la influencia del uso de *Eisenia foetida* en un sistema de vermifiltro y la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica.

Este objetivo se sustenta en los principios de la biotecnología ambiental, que emplea organismos vivos para el tratamiento y recuperación de ecosistemas contaminados. La especie *Eisenia foetida*, ampliamente utilizada en sistemas de vermifiltración, actúa en conjunto con microorganismos aeróbicos para degradar materia orgánica, mejorar la oxigenación del sustrato y reducir los niveles de DBO₅ y DQO. Los estudios demuestran que la interacción lombriz-microbiota acelera los procesos de oxidación y mineralización, logrando eficiencias superiores al 80 % en la eliminación de contaminantes orgánicos. Por ello, evaluar la influencia de *Eisenia foetida* en un sistema de vermifiltro permite comprobar su efectividad como tecnología ecológica y de bajo costo, adecuada para mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas en contextos rurales como Alto Larán, Chíncha, Ica.

Monitoreo del agua residual pretratamiento

Para analizar la influencia del uso de la *Eisenia Foetida* mediante el sistema vermifiltro en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas se realizó el muestreo del afluente al ingreso del sistema (antes de pasar por el vermifiltro), el cual será usado como referencia para compararlo con los resultados posttratamiento siendo los resultados:

Tabla 5. Resultados del monitoreo del agua residual doméstica

Parámetro	Resultado (mg/L)	ECA Agua - Categoría 3-D1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	228.8	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	447.4	40

Al comparar los valores obtenidos del agua residual que ingresa al vermifiltro frente a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, se observa que los parámetros

analizados, “principalmente DBO₅ y DQO”, superan los límites permitidos por la normativa. Esto sirve como caracterización de línea base de la carga de contaminantes orgánicos que ingresan a ser tratados en el vermifiltro para posterior comparación con el efluente tratado de salida.

Monitoreo del agua postratamiento

Primer monitoreo

Los resultados del primer monitoreo fueron:

Tabla 6. Resultados del primer monitoreo de agua postratamiento

Parámetro	Resultado (mg/L)	ECA Agua - Categoría 3-D1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	14.6	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	38.7	40

- El valor obtenido de DBO₅ se encuentra dentro de los límites establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, lo que evidencia que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una depuración efectiva de la materia orgánica biodegradable. Este cumplimiento normativo demuestra que el proceso biológico desarrolló una oxidación adecuada de los compuestos orgánicos, reduciendo la demanda de oxígeno en el efluente tratado. En términos ambientales, esto significa que el agua obtenida presenta menor potencial de contaminación y puede ser reutilizada de forma segura en actividades agrícolas en lo que respecta al parámetro DBO₅, contribuyendo a la sostenibilidad y protección de los recursos hídricos en Alto Larán, Chíncha, Ica.
- El parámetro DQO se encuentra dentro de los valores permitidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, lo que demuestra que el sistema vermifiltro con *Eisenia foetida* logró una oxidación eficiente de la materia orgánica total presente en el agua residual. Este resultado evidencia que el proceso biológico favoreció la degradación tanto de compuestos biodegradables como de compuestos parcialmente resistentes, reduciendo la carga contaminante y mejorando la calidad del efluente. En consecuencia, el agua tratada cumple con las condiciones exigidas para su reutilización agrícola segura en lo que respecta al parámetro DQO, contribuyendo a la protección del suelo y la salud ambiental en Alto Larán, Chíncha, Ica.

Segundo monitoreo

Los resultados del segundo monitoreo fueron:

Tabla 7. Resultados del segundo monitoreo de agua postratamiento

Parámetro	Resultado (mg/L)	ECA Agua - Categoría 3-D1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	14.43	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	52.40	40

- El valor obtenido de DBO₅ (14.43 mg/L) se encuentra por debajo del límite máximo de 15 mg/L establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, lo que indica que el agua tratada cumple con los estándares de calidad ambiental. Este resultado demuestra que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una degradación eficiente de la materia orgánica biodegradable, reduciendo la demanda de oxígeno en el efluente y garantizando una calidad adecuada para su uso en riego agrícola en lo que respecta al parámetro DBO₅, sin riesgo significativo para el suelo ni para los cultivos.
- El valor registrado de DQO (52.4 mg/L) supera el límite máximo permitido de 40 mg/L según el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, por lo que no cumple con los estándares de calidad ambiental establecidos para el reúso agrícola. Este resultado indica que, aunque el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una reducción significativa de la materia orgánica, persisten compuestos parcialmente oxidados o de difícil degradación, los cuales incrementan la demanda química de oxígeno. Por ello, se recomienda optimizar el tratamiento mediante la constante verificación del estado del vermifiltro, verificando factores como la compactación de la viruta y humedad, debido a que un exceso de estos favorece un ambiente hostil para la *Eisenia foetida*, disminuyendo la población de esta.

Tercer monitoreo

Los resultados del tercer monitoreo fueron:

Tabla 8. Resultados del tercer monitoreo de agua postratamiento

Parámetro	Resultado (mg/L)	ECA Agua - Categoría 3-D1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	15.7	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	19.5	40

- El valor obtenido de DBO₅ (15.7 mg/L) supera ligeramente el límite máximo de 15 mg/L establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, lo que indica un cumplimiento parcial de la normativa. Este pequeño exceso sugiere que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una alta eficiencia de depuración, aunque no suficiente para alcanzar completamente el estándar ambiental. La diferencia puede atribuirse a variaciones en el tiempo de retención hidráulica o en la carga orgánica del afluente, factores que influyen directamente en la oxidación biológica de la materia orgánica. Por tanto, se recomienda ajustar las condiciones operativas para asegurar que el efluente tratado cumpla plenamente con los requisitos del ECA-Agua para riego agrícola.
- El valor obtenido de DQO (19.5 mg/L) se encuentra por debajo del límite máximo de 40 mg/L establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, lo que confirma que el efluente tratado cumple con los estándares de calidad ambiental para su reutilización agrícola. Este resultado evidencia que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* favoreció una oxidación efectiva de la materia orgánica y de los compuestos químicos presentes en el agua residual, reduciendo significativamente la carga contaminante. En consecuencia, el agua postratada presenta una calidad adecuada para riego, contribuyendo a la sostenibilidad del recurso hídrico y a la protección del entorno agrícola en Alto Larán, Chíncha.

Cuarto monitoreo

Los resultados del cuarto monitoreo fueron:

Tabla 9. Resultados del cuarto monitoreo de agua postratamiento

Parámetro	Resultado (mg/L)	ECA Agua - Categoría 3-D1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	17.9	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	43.6	40

- El valor obtenido de DBO₅ (17.9 mg/L) supera el límite máximo de 15 mg/L establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, por lo que el efluente no cumple con el estándar de calidad ambiental exigido para este tipo de uso. Este resultado indica que, si bien el sistema vermifiltro con *Eisenia foetida* logró una reducción considerable de la materia orgánica biodegradable, se recomienda optimizar el tratamiento mediante la verificación constante del estado del vermifiltro, verificando factores como la compactación de la

viruta y la humedad, debido a que un exceso de estos favorece un ambiente hostil para la *Eisenia foetida*, disminuyendo la población de esta.

- El valor obtenido de DQO (43.6 mg/L) excede el límite máximo de 40 mg/L establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, por lo que el efluente no cumple con la normativa ambiental vigente. Este resultado refleja que el proceso de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una disminución apreciable de la carga orgánica, aunque persisten compuestos parcialmente oxidados o de difícil degradación química. La ligera superación del valor permitido sugiere la necesidad de optimizar el tiempo de retención hidráulica o la aireación del sistema, a fin de mejorar la eficiencia del tratamiento y asegurar la calidad del agua requerida para su uso en riego agrícola.

Quinto monitoreo

Los resultados del quinto monitoreo fueron:

Tabla 10. Resultados del quinto monitoreo de agua postratamiento

Parámetro	Resultado (mg/L)	ECA Agua - Categoría 3-D1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	9.5	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	26.5	40

- El valor obtenido de DBO₅ (9.5 mg/L) se encuentra por debajo del límite máximo de 15 mg/L establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, por lo que el efluente tratado cumple con los estándares de calidad ambiental. Este resultado confirma que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una oxidación eficiente de la materia orgánica biodegradable, reduciendo de forma significativa la demanda de oxígeno y garantizando que el agua tratada sea apta para su reutilización en riego agrícola en lo que respecta al parámetro DBO₅, sin representar riesgos para el suelo ni para los cultivos.
- El valor obtenido de DQO (26.5 mg/L) se encuentra por debajo del límite máximo de 40 mg/L establecido en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, Categoría 3, subcategoría D1: Riego de vegetales, lo que confirma que el efluente tratado cumple con los parámetros exigidos por la normativa ambiental vigente. Este resultado evidencia que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró una oxidación química eficiente de la materia orgánica, reduciendo significativamente la carga contaminante del agua residual. En consecuencia, el efluente obtenido presenta una calidad adecuada para su uso en riego agrícola en lo que respecta al parámetro DQO, contribuyendo al

aprovechamiento sostenible del recurso hídrico y al control de la contaminación en Alto Larán, Chíncha.

Fundamentación de la zona intermedia de la campana de Gauss

En esta región, el valor del estadístico calculado **no es lo suficientemente extremo** como para evidenciar una diferencia significativa respecto al valor esperado bajo H_0 . Por tanto, **no se rechaza la hipótesis nula**, ya que la diferencia observada puede atribuirse al **azar o a variaciones muestrales**.

Cuando el estadístico cae **en el área central de la distribución normal**, se denomina **zona de aceptación o no rechazo**, indicando que **no hay evidencia estadísticamente significativa** para rechazar la hipótesis nula.

3.1.1. Prueba de Hipótesis

H_0 : $\mu \geq 15$ mg/L (El uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro NO INFLUYE en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica).

H_a : $\mu < 15$ mg/L (El uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro INFLUYE en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica).

Se consideró el nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 11. Se estimó el estadístico de prueba (estadística descriptiva)

Numero aleatorios		Columna 1
14.60	Media	14.4260
14.43	Error típico	1.378178508
15.70	Mediana	14.6
17.90	Desviación estándar	3.0817
9.50	Varianza de la muestra	9.49688
	Curtosis	2.215871969
	Coeficiente de asimetría	-1.075347476
	Rango	8.4
	Mínimo	9.5
	Máximo	17.9
	Suma	72.13

Cuenta	5
Nivel de confianza (95.0%)	3.826436973

Se estableció la regla de decisión

$\mu =$	15
$\alpha =$	0.05
$n =$	5
$gl =$	4

Se resuelve el t-Student experimental

$$t_{\text{Experimental}} = -0.4165$$

La distribución del $t_{\text{Teórico}} = -2.1320$ (ANEXO I: Distribución t de Student, $gl = 4$ y $\alpha = 0.05$). Siendo su p valor (0.34921)

Entonces,

Si $t_{\text{Experimental}} (-0.4165) > t_{\text{Teórico}} (-2.1320)$ entonces SE ACEPTA H_0

H_0 : El uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro NO INFLUYE en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica.

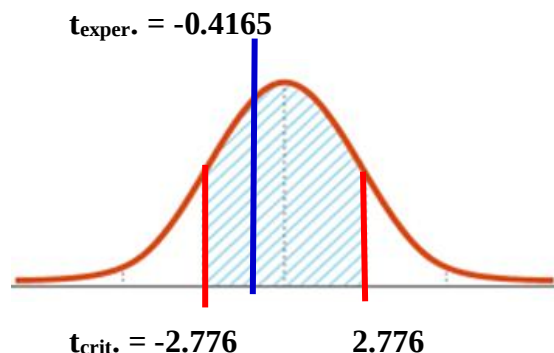


Figura 10. Distribución de t-Student para el monitoreo de la DBO5 del agua para la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas cae es zona de no rechazo, Alto Larán, Chincha, Ica

Se afirma que:

El valor t experimental (-0.4165) se encuentra dentro de la región de no rechazo (mayor que -2.776), y el p-valor (0.3492) excede el nivel de significancia de 0.05. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que no hay evidencia estadística suficiente para afirmar que la media de la DBO₅ del efluente sea significativamente menor que 15 mg/L. Aunque el promedio observado (14.426 mg/L) está ligeramente por debajo del valor de referencia, esta diferencia puede deberse a la

variabilidad natural del proceso y al tamaño limitado de la muestra, sin representar un cambio real desde el punto de vista estadístico.

Desde una perspectiva ambiental, el resultado sugiere que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* mantiene la DBO₅ dentro de los límites aceptables establecidos por la normativa (≤ 15 mg/L), evidenciando un buen desempeño operativo, aunque sin diferencia significativa respecto al estándar. Este comportamiento indica una estabilidad del sistema y un nivel de tratamiento eficiente, pero también plantea la necesidad de optimizar las condiciones de operación (tiempo de retención hidráulica, densidad de lombrices o composición del lecho filtrante) para lograr una reducción estadísticamente más marcada en futuros ensayos.

Desde la perspectiva ambiental

En términos prácticos, los resultados indican que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró mantener la DBO₅ dentro del valor permitido por la normativa (≤ 15 mg/L), mostrando un comportamiento estable y aceptable, aunque sin diferencia estadísticamente significativa respecto al estándar. Esto sugiere que el sistema cumple con los requisitos de calidad ambiental, pero que su eficiencia podría incrementarse mediante ajustes operativos (por ejemplo, aumentando el tiempo de retención hidráulica u optimizando la densidad de lombrices) para obtener una reducción más marcada y estadísticamente comprobable.

3.2. Evaluar las condiciones ambientales en el desempeño de *Eisenia foetida* dentro del sistema vermifiltro, y la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica

Se basa en que el desempeño de *Eisenia foetida* dentro del sistema vermifiltro está directamente influenciado por las condiciones ambientales, tales como la temperatura, humedad, pH y aireación del medio filtrante, las cuales determinan la actividad metabólica de las lombrices y de los microorganismos asociados. Bajo condiciones óptimas, la *Eisenia foetida* acelera la degradación biológica de la materia orgánica, promoviendo la reducción de los valores de DBO₅ y DQO. La sinergia entre la biota del vermifiltro y los factores ambientales favorece procesos de oxidación y mineralización que transforman compuestos complejos en formas más simples, mejorando la calidad del efluente. En consecuencia, evaluar estas condiciones permite establecer la eficiencia real y estabilidad del sistema, garantizando su eficacia en la depuración de aguas residuales domésticas y su sostenibilidad en el contexto climático de Alto Larán, Chíncha, Ica.

- **Temperatura**

Temperatura Máxima Promedio Mensual

La temperatura máxima promedio anual (TMAPA) del año 2023 fue de 25.60 °C y para el año 2024 fue de 23.85 °C.

Tabla 12. Temperatura Máxima Promedio Mensual

Año/Mes	2023	2024	Máximo	Promedio	Mínimo
ENE	26.10	28.31	28.31	27.21	26.10
FEB	28.59	30.29	30.29	29.44	28.59
MAR	29.46	28.54	29.46	29.00	28.54
ABR	29.41	26.62	29.41	28.02	26.62
MAY	25.62	21.64	25.62	23.63	21.64
JUN	24.01	19.41	24.01	21.71	19.41
JUL	23.70	19.81	23.70	21.75	19.81
AGO	23.31	19.96	23.31	21.64	19.96
SEP	23.45	19.89	23.45	21.67	19.89
OCT	23.77	21.84	23.77	22.81	21.84
NOV	24.17	24.21	24.21	24.19	24.17
DIC	25.63	25.66	25.66	25.65	25.63
*TMAPA	25.60	23.85			

La temperatura máxima promedio mensual máxima se da en el rango de meses enero-abril, siendo febrero el mes pico.

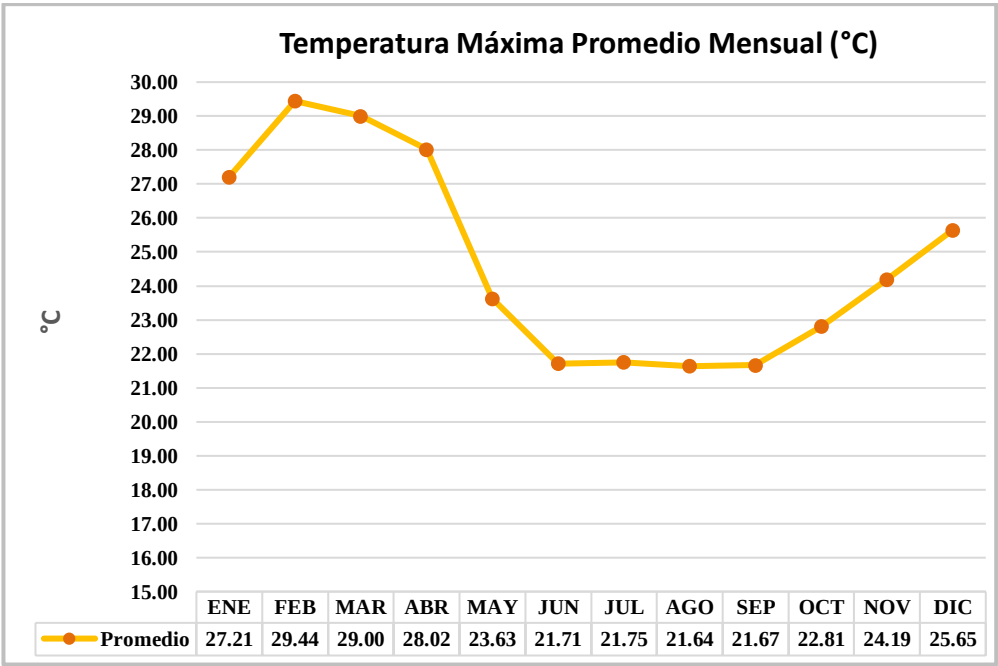


Figura 11. Temperatura Máxima Promedio Mensual

Temperatura Mínima Promedio Mensual

La temperatura mínima promedio anual (TMIPA) del año 2023 fue de 17.58 °C y para el año 2024 fue de 16.57 °C.

Tabla 13. Temperatura Mínima Promedio Mensual

Año/Mes	2023	2024	Máximo	Promedio	Mínimo
ENE	17.64	20.37	20.37	19.00	17.64
FEB	20.41	21.40	21.40	20.91	20.41
MAR	21.23	20.97	21.23	21.10	20.97
ABR	20.35	19.13	20.35	19.74	19.13
MAY	16.57	16.03	16.57	16.30	16.03
JUN	15.86	14.13	15.86	15.00	14.13
JUL	15.73	13.44	15.73	14.58	13.44
AGO	16.25	12.66	16.25	14.45	12.66
SEP	15.37	13.51	15.37	14.44	13.51
OCT	16.52	14.77	16.52	15.65	14.77
NOV	16.75	15.26	16.75	16.00	15.26
DIC	18.23	17.13	18.23	17.68	17.13
*TMIPA	17.58	16.57			

La temperatura mínima promedio mensual mínima se da en el rango de meses junio-septiembre, siendo septiembre el mes con el pico mínimo.

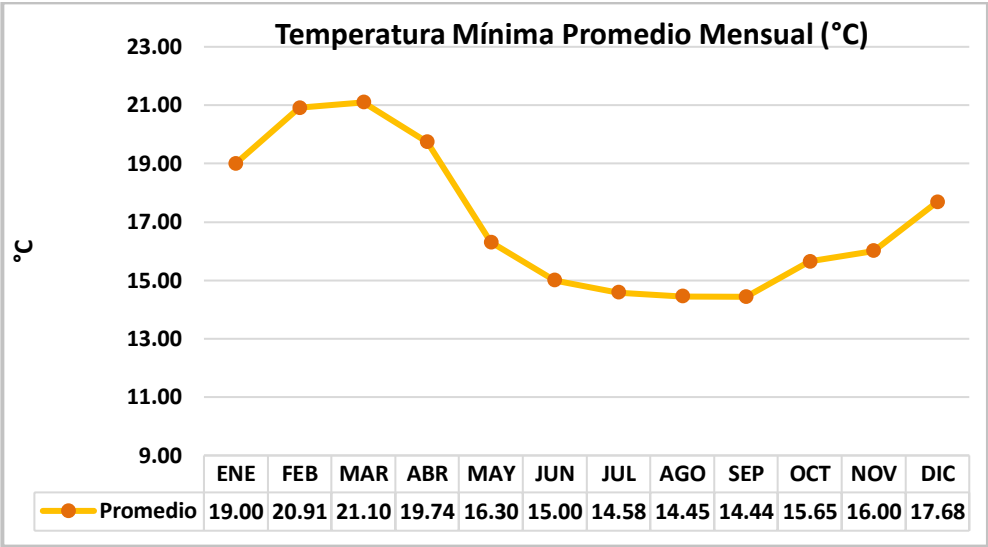


Figura 12. Temperatura Mínima Promedio Mensual

Temperatura Media Promedio Mensual

La temperatura media promedio anual (TMPA) del año 2023 fue de 21.59 °C y para el año 2024 fue de 20.21 °C.

Tabla 14. Temperatura Media Promedio Mensual

Año/Mes	2023	2024	Máximo	Promedio	Mínimo
ENE	21.87	24.34	24.34	23.10	21.87
FEB	24.50	25.84	25.84	25.17	24.50
MAR	25.34	24.75	25.34	25.05	24.75
ABR	24.88	22.87	24.88	23.88	22.87
MAY	21.09	18.84	21.09	19.96	18.84
JUN	19.94	16.77	19.94	18.36	16.77
JUL	19.71	16.62	19.71	18.17	16.62
AGO	19.78	16.31	19.78	18.05	16.31
SEP	19.41	16.70	19.41	18.05	16.70
OCT	20.15	18.31	20.15	19.23	18.31
NOV	20.46	19.73	20.46	20.10	19.73
DIC	21.93	21.39	21.93	21.66	21.39
*TMPA	21.59	20.21			

La temperatura media promedio mensual máxima se da en el rango de meses febrero-marzo y la mínima en el rango de meses junio-septiembre.

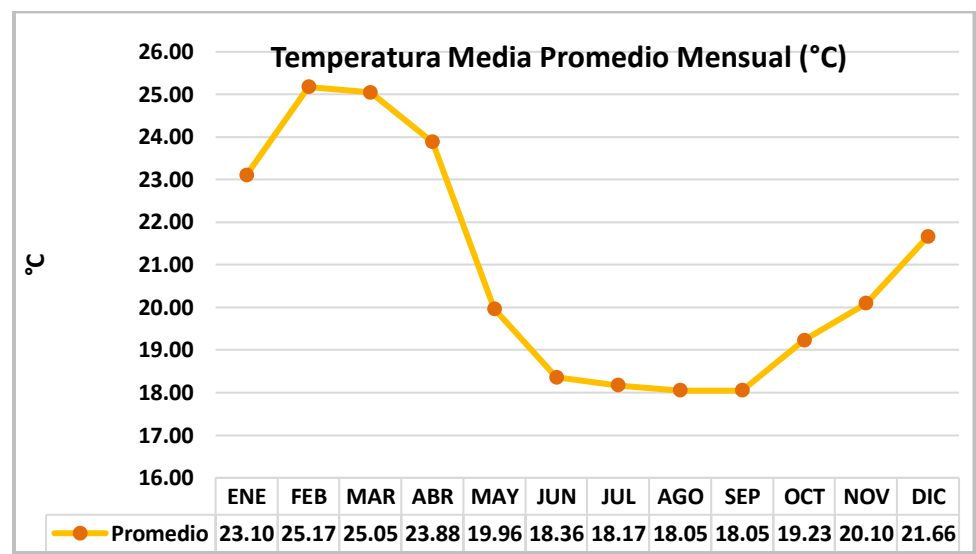


Figura 13. Temperatura Media Promedio Mensual

▪ **Precipitación**

La precipitación total anual (PTA) del año 2023 fue de 0.39 mm y para el año 2024 fue de 0.20 mm

Tabla 15. Precipitación

Año/Mes	2023	2024	Máximo	Promedio	Mínimo
ENE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FEB	0.20	1.60	1.60	0.90	0.20
MAR	4.50	0.00	4.50	2.25	0.00
ABR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
JUN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
JUL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AGO	0.00	0.80	0.80	0.40	0.00
SEP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OCT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NOV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
*PTA	0.39	0.20			

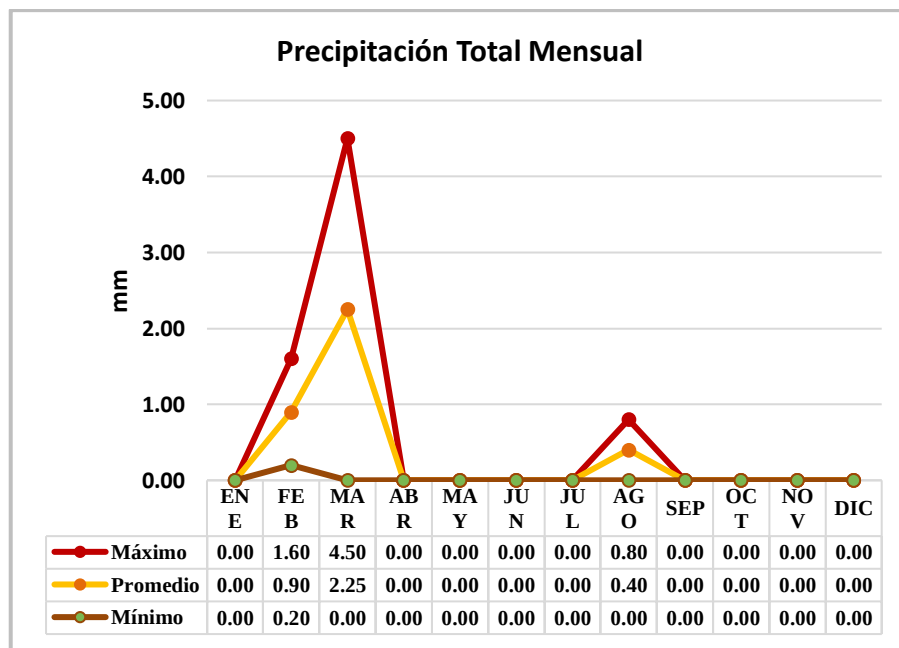


Figura 14. Precipitación

▪ **Humedad Relativa Promedio**

La *Humedad Relativa Promedio Anual (HRPA)* del año 2023 fue de 84.54 %, y para el año 2024 fue de 84.27 %.

Tabla 16. Humedad Relativa Promedio

Año/Mes	2023	2024	Máximo	Promedio	Mínimo
ENE	85.15	78.00	85.15	81.58	78.00
FEB	85.93	79.01	85.93	82.47	79.01
MAR	84.60	84.93	84.93	84.76	84.60
ABR	85.05	84.97	85.05	85.01	84.97
MAY	87.37	88.77	88.77	88.07	87.37
JUN	87.86	88.83	88.83	88.34	87.86
JUL	85.62	88.88	88.88	87.25	85.62
AGO	83.71	86.12	86.12	84.91	83.71
SEP	84.22	85.89	85.89	85.06	84.22
OCT	81.99	82.72	82.72	82.35	81.99
NOV	82.16	82.03	82.16	82.10	82.03
DIC	80.79	81.09	81.09	80.94	80.79
*HRPA	84.54	84.27			

Como se observa en el gráfico, los máximos niveles de humedad se dan entre el rango de meses mayo-julio.

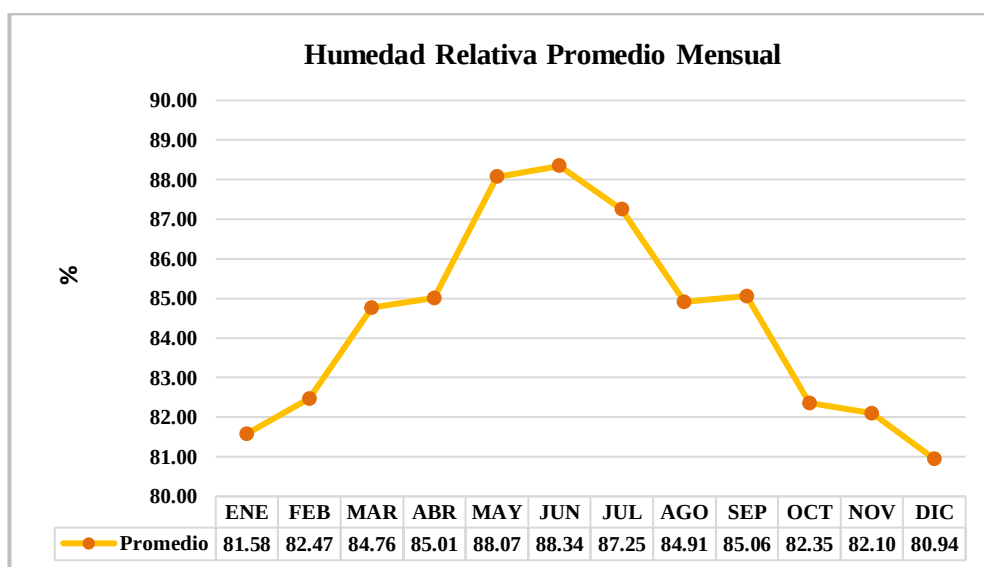


Figura 15. Humedad Relativa Promedio Mensual

Se efectuó el análisis de los porcentajes de reducción de DBO₅ y DQO, complementado con la información meteorológica registrada por la estación FONAGRO (Chincha) del SENAMHI, con el propósito de correlacionar las condiciones ambientales con la eficiencia del sistema de tratamiento. Los valores obtenidos se presentan en la tabla siguiente, donde se reflejan las variaciones de temperatura, humedad y otros factores climáticos que influyeron en el comportamiento y desempeño del vermifiltro con *Eisenia foetida* durante el proceso de depuración de las aguas residuales domésticas:

Tabla 17. Valores meteorológicos y de reducción de carga orgánica

Parámetro/Monitoreo	Primer monitoreo (01/06/2023)	Segundo monitoreo (30/03/2024)	Tercer monitoreo (18/04/2024)	Cuarto monitoreo (6/08/2024)	Quinto monitoreo (30/10/2024)
Reducción de DBO (%)	93.62%	93.69%	93.14%	92.18%	95.85%
Reducción de DQO (%)	91.35%	88.29%	95.64%	90.25%	94.08%
Temperatura media (°C)	19.94	24.75	22.87	16.31	18.31
Precipitación (mm)	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00
Humedad (%)	87.86	84.93	88.77	86.12	82.72

Fundamentación técnica

- Por debajo de **15 °C**, el metabolismo y la reproducción de *Eisenia foetida* disminuyen significativamente, reduciendo la velocidad de degradación de la materia orgánica.
- Entre **16 °C y 25 °C**, las lombrices presentan su **mayor tasa de consumo y respiración**, lo que potencia la acción microbiana y favorece la reducción de **DBO_s y DQO**.
- Por encima de **30 °C**, se incrementa el riesgo de **estrés térmico y mortalidad**, especialmente si la humedad no se mantiene constante.

3.2.1. Prueba de Hipótesis

H₀: $\mu \leq 16$ °C (Las condiciones ambientales en el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro NO INFLUYEN en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica).

H_a: $\mu > 16$ °C (Las condiciones ambientales en el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro INFLUYEN en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica).

Se consideró el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 18. Se estimó el estadístico de prueba (estadística descriptiva)

Numero aleatorios	Columna 1	
19.94	Media	20.4360
24.75	Error típico	1.521918526
22.87	Mediana	19.94
16.31	Desviación estándar	3.4031
18.31	Varianza de la muestra	11.58118
	Curtosis	-1.553019724
	Coefficiente de asimetría	0.155770828
	Rango	8.44
	Mínimo	16.31
	Máximo	24.75
	Suma	102.18
	Cuenta	5
	Nivel de confianza (95.0%)	4.22552324222136

Se estableció la regla de decisión

$\mu =$	85
$\alpha =$	0.05
$n =$	5
$gl =$	4

Se resuelve el t-Student experimental

$$t_{\text{Experimental}} = 2.9147$$

La distribución del $t_{\text{Teórico}} = 2.1320$ (ANEXO I: Distribución t de Student, $gl = 4$ y $\alpha = 0.05$). **Con un p valor de 0.02174**

Entonces,

Si $t_{\text{Experimental}} (2.9147) > t_{\text{Teórico}} (2.1320)$ entonces SE RECHAZA H_0

H_a : Las condiciones ambientales en el uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro INFLUYEN en la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica ($\mu > 16^\circ\text{C}$).

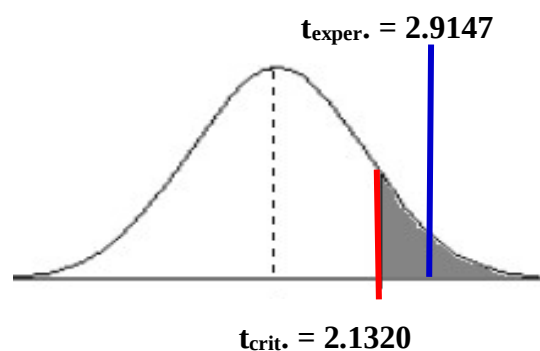


Figura 16. Distribución de t-Student para las condiciones ambientales como es la temperatura del efluente de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica

Se afirma que:

Con $t_{\text{experimental}} = 2.9147$ y $t_{\text{crítica}} = 2.1320$, al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, el estadístico cae en la región de rechazo, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Esto indica que la temperatura media (20.436°C) es significativamente mayor que 16°C , lo que refleja un entorno óptimo para la actividad biológica dentro del sistema de vermifiltración con Eisenia foetida.

Desde el punto de vista bioprocesal, una temperatura cercana a 20–21 °C se encuentra dentro del rango óptimo ($\approx 16\text{--}25$ °C) para la actividad de *Eisenia foetida* y de la microbiota aeróbica asociada. En ese intervalo aumenta la tasa metabólica, mejora la oxigenación del lecho y se aceleran las rutas de oxidación y mineralización de la materia orgánica, lo que se traduce en mayores reducciones de DBO₅ y DQO. En síntesis, la evidencia estadística y el fundamento biológico convergen: la condición ambiental observada favorece la eficacia del vermifiltro.

Dado que el p-valor obtenido (0.02174) es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), existe evidencia estadísticamente suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1). Esto indica que la temperatura media ambiental (20.436 °C) es mayor que 16 °C, confirmando que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* opera dentro de un rango térmico óptimo (16–25 °C) que favorece la actividad biológica y microbiana. En consecuencia, se demuestra que las condiciones ambientales contribuyen directamente a la eficiencia del proceso de depuración, optimizando la reducción de la carga orgánica y consolidando la efectividad del tratamiento en las aguas residuales domésticas.

3.3. Evaluar el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro y la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica

El fundamento científico de este objetivo radica en demostrar la efectividad del sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* como alternativa biotecnológica para el tratamiento sostenible de aguas residuales domésticas en contextos rurales. Este tipo de sistema aprovecha la acción conjunta de las lombrices y los microorganismos presentes en el sustrato para transformar la materia orgánica en compuestos más estables, reduciendo de manera significativa los valores de DBO₅ y DQO, que representan la carga contaminante del agua. Investigaciones previas evidencian que la actividad biológica de *Eisenia foetida* mejora la aireación, la filtración y la degradación de compuestos orgánicos, logrando resultados comparables con sistemas convencionales, pero con menor costo energético y mantenimiento. Evaluar su uso en Alto Larán, Chíncha permite validar científicamente su eficiencia en la depuración del efluente y su viabilidad ambiental como tecnología apropiada para mejorar la calidad del agua y cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua, D.S. N.º 004-2017-MINAM), contribuyendo así a la sostenibilidad del saneamiento rural.

Primer monitoreo de agua tratada

De los resultados proporcionados por el laboratorio se observa:

- *Una reducción del 93.62% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).*

La reducción del 93.62 % en la DBO₅ evidencia una alta eficiencia biológica del sistema vermifiltro con *Eisenia foetida*. Este resultado demuestra que las lombrices, junto con los microorganismos del sustrato, lograron degradar la materia orgánica biodegradable de manera efectiva, reduciendo el consumo de oxígeno necesario para su descomposición. Este nivel de remoción indica que el proceso alcanzó un equilibrio aeróbico óptimo y que el agua tratada presenta baja carga orgánica residual, cumpliendo con estándares de calidad ambiental para reúso agrícola

- *Una reducción del 91.35% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).*

La disminución del 91.35 % en la DQO confirma que el sistema permitió una oxidación química eficiente de los compuestos orgánicos y parcialmente biodegradables. Este resultado refleja la capacidad del vermifiltro para retener, descomponer y mineralizar sustancias orgánicas mediante procesos combinados de filtración física y actividad biológica. El alto porcentaje de reducción evidencia la efectividad global del tratamiento en la eliminación de contaminantes y la mejora sustancial de la calidad del efluente.

Segundo monitoreo de agua tratada

De los resultados proporcionados por el laboratorio se observa:

- *Una reducción del 93.69% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).*

La reducción del 93.69 % en la DBO₅ refleja la consistencia y estabilidad del sistema vermifiltro con *Eisenia foetida* en la degradación de la materia orgánica biodegradable. Este resultado confirma que la comunidad microbiana y las lombrices mantuvieron una actividad metabólica constante, favoreciendo la aireación del medio y la oxidación de compuestos orgánicos. La alta eficiencia indica que el proceso biológico logró mantener un efluente con baja carga orgánica, adecuado para reúso agrícola según los valores de referencia establecidos por la normativa ambiental peruana

- *Una reducción del 88.29% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).*

La disminución del 88.29 % en la DQO evidencia una oxidación efectiva de la materia orgánica total, incluyendo compuestos parcialmente biodegradables. Este comportamiento demuestra que el sistema no solo depura la fracción biológicamente degradable, sino que también reduce los contaminantes más resistentes mediante filtración y bioadsorción. En conjunto, estos resultados confirman la eficiencia sostenida del vermifiltro, aunque se sugieren mejoras en la operación del vermifiltro para aumentar la reducción de la carga orgánica.

Tercer monitoreo de agua tratada

De los resultados proporcionados por el laboratorio se observa:

- *Una reducción del 93.14% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).*

La reducción del 93.14 % en la DBO₅ confirma que el vermifiltro con *Eisenia foetida* mantuvo una alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica biodegradable. Este resultado demuestra la continuidad del proceso biológico y la estabilidad del sistema, evidenciando una actividad microbiana sostenida y una buena oxigenación del medio filtrante, lo que permitió obtener un efluente con bajo contenido orgánico.

- *Una reducción del 95.64% de la demanda química de oxígeno (DQO).*

La disminución del 95.64 % en la DQO refleja una oxidación muy efectiva de los compuestos orgánicos totales, incluyendo aquellos de difícil degradación. Este alto porcentaje de remoción indica que el sistema logró una depuración avanzada del efluente, integrando procesos de biofiltración, adsorción y degradación aeróbica, lo que confirma su efectividad ambiental y tecnológica para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Cuarto monitoreo de agua tratada

De los resultados proporcionados por el laboratorio se observa:

- *Una reducción del 92.18% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).*

La reducción del 92.18 % en la DBO₅ evidencia que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* mantiene una alta capacidad de depuración biológica, logrando una degradación estable de la materia orgánica biodegradable. Este comportamiento refleja la eficiencia del proceso aeróbico y la actividad conjunta de lombrices y microorganismos, garantizando un efluente con baja carga orgánica.

- *Una reducción del 90.25% de la demanda química de oxígeno (DQO).*

La disminución del 90.25 % en la DQO demuestra una oxidación efectiva de la materia orgánica total, incluyendo compuestos menos biodegradables. Este resultado confirma la eficiencia integral del sistema, donde la filtración física, la bioadsorción y la degradación aeróbica actúan de manera complementaria, consolidando al vermifiltro como una tecnología sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Alto Larán, Chíncha.

Quinto monitoreo de agua tratada

De los resultados proporcionados por el laboratorio se observa:

- *Una reducción del 95.85% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).*

La reducción del 95.85 % en la DBO₅ confirma la máxima eficiencia del sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* en la eliminación de materia orgánica biodegradable. Este alto porcentaje demuestra que el proceso biológico alcanzó una estabilidad operativa óptima, producto de la sinergia entre lombrices y microorganismos aeróbicos, que favorecen la oxidación y mineralización de compuestos orgánicos, obteniéndose un efluente de excelente calidad ambiental.

- Una reducción del 94.08% de la demanda química de oxígeno (DQO).

La reducción del 94.08 % en la DQO refleja una depuración integral de la carga orgánica total, incluyendo sustancias difíciles de oxidar. Este resultado evidencia que el vermifiltro no solo actúa por degradación biológica, sino también mediante procesos combinados de filtración, adsorción y aireación, que permiten la remoción de compuestos persistentes. En conjunto, estos valores demuestran la efectividad sostenida y confiable del sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Alto Larán, Chíncha, cumpliendo los estándares exigidos por la normativa ambiental peruana.

3.3.1. Prueba de Hipótesis

H₀: $\mu \leq 85 \%$ (El uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro NO INFLUYE en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica).

H_a: $\mu > 85 \%$ (El uso de Eisenia foetida mediante el sistema vermifiltro INFLUYE en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica).

Se consideró el nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 19. Se estimó el estadístico de prueba (estadística descriptiva)

Numero aleatorios	Columna 1	
93.62	Media	93.6960
93.69	Error típico	0.602200963
93.14	Mediana	93.62
92.18	Desviación estándar	1.3466
95.85	Varianza de la muestra	1.81323
	Curtosis	2.228921624
	Coficiente de asimetría	1.081497603
	Rango	3.67
	Mínimo	92.18
	Máximo	95.85
	Suma	468.48
	Cuenta	5
	Nivel de confianza (95.0%)	1.6719779164399

Se estableció la regla de decisión

$\mu =$	85
$\alpha =$	0.05
$n =$	5
$gl =$	4

Se resuelve el t-Student experimental

$$t_{\text{Experimental}} = 14.4404$$

La distribución del $t_{\text{Teórico}} = 2.1320$ (ANEXO I: Distribución t de Student, $gl = 4$ y $\alpha = 0.05$). **Con un p valor de 0.00007**

Entonces,

Si $t_{\text{Experimental}} (14.4404) > t_{\text{Teórico}} (2.132)$ entonces SE RECHAZA H_0

H_a : El uso de Eisenia foetida en un sistema de vermifiltro **SÍ INFLUYE** en la reducción de la carga orgánica en las aguas residuales domésticas en Alto Larán, Chincha, Ica ($\mu > 85 \%$).

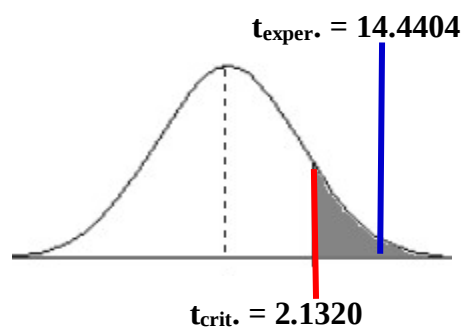


Figura 17. Distribución de t-Student para el monitoreo de la DBO5 del agua para la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chincha, Ica

Se afirma que:

El valor t experimental (14.4404) obtenido en la prueba de hipótesis supera el valor crítico t (2.9200), lo que implica que existe evidencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1). Esto demuestra

que el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro influye de manera significativa en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas en Alto Larán, Chinchá, Ica.

Asimismo, el promedio de reducción de DBO₅ del 93.6960 %, siendo superior al umbral de referencia del 85 %, confirma que el sistema alcanzó niveles de eficiencia sobresalientes en la eliminación de la materia orgánica biodegradable. Este resultado refleja la acción sinérgica entre lombrices y microorganismos, que promueve una aireación adecuada del lecho filtrante y una degradación biológica efectiva.

En conjunto, los resultados estadísticos y experimentales permiten afirmar que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* presenta un rendimiento significativamente superior al esperado, consolidándose como una tecnología biológica eficiente, sostenible y confiable para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales.

Dado que el valor calculado de t experimental ($t_{\text{experimental}} = 14.4404$) es mayor que el valor crítico ($t_{\text{teórico}} = 2.9200$) y el nivel de significancia es $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1). Esto confirma que el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro influye significativamente en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas de la empresa ubicada en Alto Larán, Chinchá, Ica. Asimismo, el promedio de reducción de DBO₅ (93.6960 %), superior al umbral de 85 %, evidencia que el sistema presenta alta eficiencia biológica en la degradación de materia orgánica, demostrando su viabilidad técnica y ambiental como alternativa sostenible para la gestión del saneamiento rural.

Dado que el p -valor obtenido (0.00007) es menor que el nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), se confirma que existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1). Esto indica que el uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro influye significativamente en la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas en Alto Larán, Chinchá, Ica. Asimismo, el promedio de reducción de la DBO₅ del 93.6960 %, siendo mayor que el 85 % esperado, demuestra que el sistema presenta alta eficiencia biológica y estabilidad operativa, confirmando su viabilidad técnica y ambiental como tecnología de tratamiento sostenible.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión de resultados de la influencia del uso de *Eisenia foetida* en un sistema de vermifiltro y la reducción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chíncha, Ica

Los resultados obtenidos en la prueba t-Student para el parámetro DBO₅ indican que el valor t experimental (-0.4165) se encuentra dentro de la zona de no rechazo, mientras que el p-valor (0.3492) es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), lo que conlleva no rechazar la hipótesis nula (H_0). Esto demuestra que la media observada (14.426 mg/L) no difiere significativamente del valor normativo (15 mg/L), lo cual sugiere que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* logró mantener una reducción estable de la carga orgánica biodegradable, en su mayoría dentro de los límites aceptables para el uso agrícola del efluente tratado conforme al D.S. N.º 004-2017-MINAM.

Este comportamiento refleja una operación eficiente y controlada, en la que el equilibrio biológico del lecho filtrante y las condiciones ambientales favorecen la depuración del agua residual sin fluctuaciones notorias en el rendimiento.

Por otro lado, la diferencia no significativa entre la DBO₅ media y el valor de referencia puede atribuirse a la variabilidad natural del sistema y al tamaño de muestra, lo cual es coherente con estudios internacionales que evidencian fases iniciales de estabilización en vermifiltros nuevos o en procesos con baja carga orgánica [40], [41]. Investigaciones [42], [43], destacan que, en condiciones óptimas de humedad y temperatura, *Eisenia foetida* promueve una oxidación sostenida de la materia orgánica mediante la sinergia entre lombrices y microorganismos aeróbicos, alcanzando reducciones de DBO₅ superiores al 90 % en sistemas consolidados.

En ese sentido, los resultados obtenidos, confirman que el sistema es ambientalmente eficiente, aunque se recomienda ajustar variables operativas “como el tiempo de retención hidráulica o la densidad de lombrices” para potenciar su rendimiento en etapas posteriores del tratamiento.

4.2. Discusión del resultado las condiciones ambientales en el desempeño de *Eisenia foetida* dentro del sistema vermifiltro, y la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chinchá, Ica

La discusión de resultados del análisis térmico en el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* evidencia que la temperatura ambiental promedio (20.436 °C) se mantiene dentro del rango óptimo de funcionamiento biológico, lo cual coincide con los valores reportados [3], quienes destacan que esta especie presenta su mayor actividad metabólica entre 16 °C y 25 °C. En este rango, las lombrices y los microorganismos aeróbicos logran una sinergia que potencia la degradación de la materia orgánica, promoviendo la aireación del lecho y el incremento de la tasa de oxidación. Por tanto, la estabilidad térmica registrada en el ambiente sugiere que las condiciones en Alto Larán son adecuadas para sostener la eficiencia del proceso de remoción de DBO₅ y DQO.

Asimismo, la evidencia estadística ($p = 0.02174 < 0.05$) respalda que las condiciones ambientales influyen significativamente en la reducción de la carga orgánica, en concordancia con lo señalado por [44], [45], quienes demostraron que temperaturas dentro de este rango aumentan la respiración microbiana y la velocidad de mineralización de compuestos orgánicos. Los resultados obtenidos confirman que el sistema de vermifiltración evaluado logra una interacción térmica favorable que optimiza la actividad biológica y mejora la calidad del efluente tratado, constituyéndose en una alternativa ecológica y eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas en regiones de clima templado como la provincia de Chinchá.

4.3. Discusión de resultados del uso de *Eisenia foetida* mediante el sistema vermifiltro y la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas, Alto Larán, Chinchá, Ica.

Los elevados porcentajes de remoción de DBO₅ alcanzados (por encima del 85 %) confirman que el vermifiltro evaluado presenta un desempeño comparable a los reportados internacionalmente para tecnologías de lombriz aplicadas a efluentes domésticos. Investigaciones previas señalan que este tipo de sistemas pueden lograr eficiencias de remoción entre el 85 % y el 96 % cuando están bien operados y dimensionados adecuadamente [46], [47]. En este sentido, los resultados obtenidos en Alto Larán manifiestan que la combinación de lombrices y medio filtrante permite una degradación biológica robusta de la materia orgánica biodegradable, lo cual es un hallazgo significativo para contextos rurales con limitaciones de infraestructura.

El hecho de que la DQO₅ haya sido reducida en un rango alto (superior al 90 % en algunos monitoreos) indica que el sistema no sólo elimina la fracción biodegradable, sino que también actúa eficientemente sobre compuestos más persistentes y parcialmente oxidables.

Estudios [48] como en un vermifiltro a escala real, observaron reducciones de COD (análogas a DQO) de alrededor del 77 % junto con otros nutrientes, lo que apoya la capacidad del sistema evaluado para superar incluso esas referencias. La consistencia entre estos resultados y la literatura refuerza la viabilidad técnica y ambiental del vermifiltro con *Eisenia foetida* como alternativa adecuada para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la región de Ica.

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados del análisis estadístico y experimental permiten concluir que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* mantuvo mayormente a la DBO₅ del efluente dentro de los límites normativos (≤ 15 mg/L), sin evidenciar diferencias estadísticamente significativas respecto al valor de referencia, lo que confirma un funcionamiento biológico estable y eficiente. La ligera diferencia observada entre el promedio (14.426 mg/L) y el estándar puede atribuirse a la variabilidad del proceso y al tamaño muestral, sin afectar la eficiencia del tratamiento. En consecuencia, se demuestra que el uso de *Eisenia foetida* constituye una alternativa ecológica viable para la depuración de aguas residuales domésticas, garantizando un efluente de calidad ambientalmente segura, y que, con la optimización de parámetros operativos como el tiempo de retención hidráulica, humedad del vermifiltro o la densidad de lombrices, podría alcanzarse una reducción aún más significativa de la carga orgánica.
2. Se concluye que las condiciones ambientales se mantuvieron dentro del rango óptimo para la actividad biológica de *Eisenia foetida*, favoreciendo la degradación de la materia orgánica y la eficiencia global del tratamiento. La temperatura promedio de 20.436 °C evidencia un entorno estable y adecuado para la respiración aeróbica y la acción microbiana, factores esenciales para la reducción de la carga orgánica. En consecuencia, se confirma que las condiciones ambientales del sistema influyen directamente en su desempeño depurativo, validando la efectividad técnica y ambiental del vermifiltro como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
3. Se concluye que los diferentes monitoreos demuestran que el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* alcanzó eficiencias superiores al 90 % en la reducción de DBO₅ y DQO, evidenciando su alta capacidad depuradora y su estabilidad operativa a lo largo del proceso. Estos hallazgos coinciden con investigaciones internacionales que destacan la efectividad de esta especie en la degradación de materia orgánica y la mejora de la calidad del efluente. En consecuencia, se confirma que el sistema evaluado representa una alternativa biotecnológica viable, económica y ambientalmente sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas en contextos rurales, contribuyendo al cumplimiento de los

Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua, D.S. N.º 004-2017-MINAM) y al aprovechamiento seguro del agua tratada para fines agrícolas.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda mantener el monitoreo constante de los parámetros ambientales del sistema de vermifiltración “especialmente temperatura y humedad”, dado que influyen directamente en la actividad biológica de *Eisenia foetida* y, por tanto, en la eficiencia del proceso de depuración. Asimismo, es aconsejable incrementar el tiempo de retención hidráulica y optimizar la densidad de lombrices para mejorar la remoción de materia orgánica, buscando lograr diferencias estadísticamente significativas respecto al valor normativo de DBO₅. Además, se sugiere replicar el sistema en distintas condiciones climáticas dentro de la región de Ica, a fin de evaluar su estabilidad y adaptabilidad. Finalmente, se recomienda implementar capacitaciones técnicas a los operadores, promoviendo el uso de esta tecnología ecológica, económica y sostenible como alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales.
2. Se recomienda mantener un control constante de las condiciones internas del sistema de vermifiltración, principalmente la temperatura y humedad, ya que influyen directamente en el metabolismo y la actividad microbiana de *Eisenia foetida*. Es conveniente instalar sensores simples de monitoreo térmico e hídrico para asegurar que el sistema opere dentro del rango óptimo (16–25 °C y 60–80 % de humedad), garantizando su estabilidad y eficiencia. Asimismo, se sugiere replicar el sistema a escala piloto o comunitaria en otras zonas rurales de la provincia de Chincha, a fin de validar su comportamiento en diferentes condiciones climáticas. Finalmente, se recomienda capacitar a los operadores en la gestión y mantenimiento del vermifiltro, promoviendo su sostenibilidad y su aplicación como una tecnología ecológica de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales domésticas.
3. Se recomienda mantener y optimizar el sistema de vermifiltración con *Eisenia foetida* como alternativa biotecnológica sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales. Es conveniente monitorear periódicamente los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO) a fin de garantizar la estabilidad del proceso y su cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua). Asimismo, se sugiere ajustar variables operativas como el tiempo de retención hidráulica, la densidad de lombrices y la humedad del sustrato, para maximizar la eficiencia depurativa. Finalmente, se recomienda replicar esta tecnología a escala piloto o comunitaria, promoviendo su adopción en otras localidades

de la provincia de Chincha como una solución económica, ecológica y de bajo mantenimiento para la gestión del saneamiento y la reutilización segura del agua tratada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Yang and X. Wang, “Interactions Between Microcystis Aeruginosa and Coexisting Bisphenol A at Different Nitrogen Levels,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 369, no. February, pp. 132–141, 2019, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.02.030.
- [2] M. Xing, X. Li, and J. Yang, “Treatment Performance of Small-scale Vermifilter for Domestic Wastewater and its Relationship to Earthworm Growth, Reproduction and Enzymatic Activity,” *African J. Biotechnol.*, vol. 9, no. 44, pp. 7513–7520, 2010, doi: 10.5897/ajb10.811.
- [3] J. Dominguez and C. A. Edwards, “Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting,” in *Earthworm ecology*, 3rd ed., E. C. A., Ed., CRC Press/Taylor & Francis, 2011, ch. Chapter 3, pp. 27–40. doi: 10.1201/b10453.
- [4] D.S. N°004-2017-MINAM, “Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias,” 2017, *Peruano, Lima-Peru*.
- [5] A. E. López-Carrión and M. Martí-Sánchez, “Análisis de la cobertura y del discurso de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030 en la prensa digital española (2015-2022),” *Rev. Lat. Comun. Soc.*, no. 82, pp. 1–21, 2023, doi: 10.4185/rlcs-2024-2057.
- [6] S. S. Sidesse, H. A. Andrianisa, M. Zorom, L. A. Mounirou, H. A. A. Kouassi, and M. S. Ahossouhe, “New developments on vermifiltration as a bio-ecological wastewater treatment technology: Mechanism, application, performance, modelling, optimization, and sustainability,” *Heliyon*, vol. 10, no. 4, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25795.
- [7] P. Greve *et al.*, “Global assessment of water challenges under uncertainty in water scarcity projections,” *Nat. Sustain.*, vol. 1, no. 9, pp. 486–494, 2018, doi: 10.1038/s41893-018-0134-9.
- [8] J. A. Silva, “Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review,” *Sustain.*, vol. 15, no. 14, 2023, doi: 10.3390/su151410940.
- [9] C. Chicaiza, L. Huaraca, C. E. Almeida-Naranjo, V. H. Guerrero, and C. A. Villamar, “Improvement of Organic Matter and Nutrient Removal from Domestic Wastewater by

- Using Intermittent Hydraulic Rates on Earthworm-microorganism biofilters,” *Water Sci. Technol.*, vol. 82, no. 2, pp. 281–291, 2020, doi: 10.2166/wst.2020.139.
- [10] A. Acosta, “Evaluación del Potencial de un Sistema de Vermifiltración Mediante el Uso de Lombrices de Tierra (*Eisenia fétida*) para el Tratamiento de Aguas Residuales a Escala de Laboratorio,” Universidad Nacional de Colombia, 2017. [Online]. Available: <https://bfrpositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/0ca969b5-677c-4d6f-bc17-8c716ff433e5/content>
- [11] A. T. Adugna, H. A. Andrianisa, Y. Konate, and A. H. Maiga, “Fate of filter Materials and Microbial Communities During Vermifiltration Process,” *J. Environ. Manage.*, vol. 242, no. March 2018, pp. 98–105, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.04.076.
- [12] K. Rivera and B. Pernía, “Determinación de los Niveles de Plomo en Sangre en trabajadores de Fábricas de Baterías Ubicadas en Guayaquil-Ecuador,” *Enfoque UTE*, vol. 12, no. 2, pp. 1–18, 2021, doi: 10.29019/enfoqueute.727.
- [13] C. Culqui, “Eficiencia Del *Eisenia Foetida* Como Biodepurador En La Remocion De Coliformes Fecales En Aguas Residuales Domésticas,” Universidad Nacional Federico Villareal, 2023. [Online]. Available: <https://secure.orkund.com/old/view/138835429-240054-143729#DcIxCoAwDAXQu2T+SJM0sfEq4iBFpYNdOop318d76B60rCxgBQcEILDoP0MDlmAMczhmFMQGGu3q7Wx17/WgJU1JWEp29jDLakX0/QA=>
- [14] B. Gamarra Silva, “Eficiencia del Sistema de Vermifiltro en la Depuración de Contaminantes Críticos de Aguas Residuales Domésticas de la Comunidad La Punta - Sapallanga,” Universidad Continental, 2021. [Online]. Available: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10204/1/IV_FIN_107_TE_Gamarra_Silva_2021.pdf
- [15] J. A. Silva, “Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review,” *Sustain.*, vol. 15, no. 14, 2023, doi: 10.3390/su151410940.
- [16] S. Kato and Y. Kansha, “Comprehensive Review of Industrial Wastewater Treatment Techniques,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, p. 34, 2024, doi: 10.1007/s11356-024-34584-0.
- [17] Ministerio del Ambiente, “La Fiscalizacion Ambiental en el Peru (2011-2015), Fortaleciendo los cimientos del derecho a un ambiente sano,” 2015, *Lima - Perú*.
- [18] Congreso de la República del Perú, “Ley N° 28611 de 2005. Ley General del Ambiente,” 2005, *Diario Oficial El Peruano, Lima - Perú*. [Online]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>
- [19] MVCS and SENCICO, “Reglamento Nacional De Edificaciones. Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda,” 2006, *Ministerio de Vivienmda, Comunicación y Saneamiento, Lima*

- Perú. [Online]. Available: <https://sst.regionpiura.gob.pe/documentos/phpjEhxru.pdf>
- [20] G. E. Gates, “Regeneration in the Earthworm, *Eisenia Foetida*, Savigny, 1826; Posterior Regeneration.,” *Biol. Bull.*, vol. 98, no. 1, pp. 36–45, 1950, doi: 10.2307/1538597.
- [21] E. A. Pérez-Godínez, J. Lagunes-Zarate, J. Corona-Hernández, and M. Barajas-Aceves, “Growth and Reproductive Potential of *Eisenia Foetida* (Sav) on various zoo animal Dungs after two Methods of pre-composting Followed by Vermicomposting,” *Waste Manag.*, vol. 64, pp. 67–78, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.03.036.
- [22] M. Atalaya, “Eficiencia de un Biofiltro Tipo Tohá de Flujo Vertical en Función del Espesor De Sus Lechos Filtrantes Para el Tratamiento Del Efluente de la Industria Láctea Fe y Alegría 57 – Cefop Celendín, Cajamarca 2023,” Universidad Nacional de Cajamarca, 2023. [Online]. Available: Tesis Para Optar el Título de Ingeniero Sanitario
- [23] D. L. Kaplan, R. Hartenstein, E. F. Neuhauser, and M. R. Malecki, “Physicochemical Requirements in the Environment of the Earthworm *Eisenia Foetida*,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 12, no. 4, pp. 347–352, 1980, doi: 10.1016/0038-0717(80)90008-5.
- [24] S. S. Y. Saapi, H. A. Andrianisa, M. Zorom, L. A. Mounirou, S. Semiyaga, and N. Tindouré, “Optimization of a Vermifiltration Process for the Treatment of High Strength Domestic Greywater in hot Climate area: A Response Surface Methodology Approach,” *Water Res.*, vol. 270, no. August 2024, p. 14, 2025, doi: 10.1016/j.watres.2024.122803.
- [25] M. Viquez and L. Dbo, “Determinación de OD, DBO5 y DQO,” *Documento*, pp. 1–9, 2014, [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/246019701/Determinacion-de-DQO-y-DBO>
- [26] W. Boyles, *The Science of Chemical Oxygen Demand*. Printed in U.S.A., 1997. doi: 10.5070/p539260979.
- [27] P. Arteaga, P. Contreras, M. Ferreyra, A. Vásquez, and H. Wu, “Biofiltros,” 2019. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/presentation/413093500/biofiltro>
- [28] N. 28611 Ley General del Ambiente, *LEY N° 28611. Ley General del Ambiente*. 2005, p. 45 Pag. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [29] C. de la República, “Ley N° 26842 – Ley General de Salud,” 2016, *Presidente del Congreso de la República, Lima - Perú*. [Online]. Available: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Educacao_PereiraAS_1.pdf%0Ahttp://www.anpocs.org.br/portal/publicacoes/rbcs_00_11/rbcs11_01.htm%0Ahttp://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7845/1/td_2306.pdf%0Ahttps://direitofma2010.files.wordpress.com/2010/
- [30] Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, “Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias,” 2017, *Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú*. [Online]. Available: <http://www.minam.gob.pe/wp->

content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

- [31] INEI, *Ica Compendio Estadístico 2024*. Ica-Peru: Oficina Departamental de Estadística e Informática de Ica, 2024. [Online]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/CompDptal2024/Ica2024.pdf
- [32] M. Ardilla, L. Farias, and M. Mora, *Fundamentos Investigativos*. tNJA - Boyaca, 2018.
- [33] R. Bisquerra *et al.*, *Metodología de la Investigación Educativa*, 6ta edició. Madrid - España, 2019. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/672124055/Metodologia-de-Investigacion-Educativa>
- [34] R. Hernández-Sampieri and C. P. Mendoza Torres, *Metodologia de la Investigacion. Las rutas cuantitativa y mixta*. Mexico: McGraw-Hill Education, 2018.
- [35] E. Lara Muñoz, *Fundamentos de Investigación*, 1a Edicion. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, 2011. [Online]. Available: https://www.academia.edu/38297884/Fundamentos_de_Investigacion_lara
- [36] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Twentieth., vol. 49, no. 12. Denver: Joint Editorial Board and Committee Members, 2012. doi: 10.5860/choice.49-6910.
- [37] G. Baena Paz, *Metodologia de la Investigacion. Serie integral por competencias*, 3a edicion. Mexico: Grupo Editorial Patria, 2017.
- [38] A. Quispe, M. Calla, J. Yangali, J. Rodriguez, and I. Pumacayo, *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica*. 2019. [Online]. Available: <https://www.editorialeidec.com/wp-content/uploads/2020/01/Estadística-no-paramétrica-aplicada.pdf>
- [39] M. A. M. Alonso, “INFERENCIA, ESTIMACIÓN Y CONTRASTE DE HIPÓTESIS,” in *ESTADISTICA II*.
- [40] M. Manyuchi, “Vermifiltration of sewage wastewater for Potential use in Irrigation Purposes Using Eisenia Fetida Earthworms Situational Analysis for the briquettes technology in Zimbabwe View project Oxygen Transfer in alkane bioprocesses View project,” *Eng. Technol.*, vol. 78, no. February 2018, pp. 538–542, 2013, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/312454084>
- [41] V. Gutiérrez, N. Monsalves, G. Gómez, and G. Vidal, “Performance of a Full-Scale Vermifilter for Sewage Treatment in Removing Organic Matter, Nutrients, and Antibiotic-Resistant Bacteria,” *Sustain.*, vol. 15, no. 8, p. 18, 2023, doi: 10.3390/su15086842.
- [42] S. S. Sidesse, H. A. Andrianisa, M. Zorom, L. A. Mounirou, H. A. A. Kouassi, and M. S. Ahossouhe, “New Developments on Vermifiltration as a bio-Ecological Wastewater Treatment Technology: Mechanism, Application, Performance, Modelling, Optimization,

- and Sustainability,” *Heliyon*, vol. 10, no. 4, p. 20, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25795.
- [43] S. W. Przemieniecki *et al.*, “Ecology, Biology and Enzymatic Activity of the Rhizosphere Planted with *Larix Decidua* Seedlings after Addition of Vermicompost,” *Appl. Soil Ecol.*, vol. 168, no. September 2020, p. 6, 2021, doi: 10.1016/j.apsoil.2021.104101.
- [44] K. Singh and N. Fatima, “Vermifiltration As a Viable and Sustainable Wastewater Treatment Process: a Novel Biofilter Technology,” *Int. J. Biol. Innov.*, vol. 04, no. 01, pp. 213–220, 2022, doi: 10.46505/ijbi.2022.4123.
- [45] R. Singh, K. Samal, R. R. Dash, and P. Bhunia, “Vermifiltration as a Sustainable natural Treatment Technology for the Treatment and Reuse of Wastewater: A review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 247, no. June, p. 12, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.06.075.
- [46] S. Arora and S. Saraswat, “Vermifiltration as a Natural, Sustainable and green Technology for Environmental Remediation: A new Paradigm for Wastewater Treatment Process,” *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 4, no. December 2020, p. 6, 2021, doi: 10.1016/j.crgsc.2021.100061.
- [47] M. Manyuchi, “Vermifiltration of Sewage Wastewater for Potential use in Irrigation Purposes Using *Eisenia Ffetida* Earthworms Situational analysis for the Briquettes Technology in Zimbabwe View Project Oxygen Transfer in Alkane bioprocesses View Project,” no. February 2018, 2018, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/312454084>
- [48] G. Miito and E. Basika, “Advances in Vermifiltration: A Comprehensive Review of Recent Developments and Applications,” *Environ. Challenges*, vol. 20, no. July, p. 13, 2025, doi: 10.1016/j.envc.2025.101233.

ANEXOS

ANEXO I

Tabla I. Tabla de distribución t, acumulativa para α 1 cola.

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 031



INSPECTORATE

Regimen #14 - (B)

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° AG-248592

Pág. 1 / 2

Organismo acreditado : INSPECTORATE SERVICES PERU S.A.C.
Registro de Acreditación : N° LE - 031
Producto : -M1- AGUA
Número de Muestras : 1 muestras x 1 l
Presentación : Frasco (ps) de vidrio / Frasco (ps) de plástico
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el Cliente
Información proporcionada por el cliente (b) : M1

Fecha de recepción de las muestras : 01/06/2023
Fecha de inicio de análisis : 02/06/2023
Hora de inicio de análisis : 10:00PM
Fecha de término de análisis : 08/06/2023
Orden de Trabajo (OT) : 12621-23

Fecha Muestra : 01/06/2023
Otros : Hora muestra: 14:00

M1				
Parámetro	Resultado	L.C.	L.D.	Unidad
Demanda bioquímica de oxígeno	228.9	2.0	1.0	mg/L O2
Demanda química de oxígeno	417.4	2.0	1.0	mg/L O2

Método

Demanda bioquímica de oxígeno : SMO544P-HAWWA-WBF Part 5718 B 218 Ed. 2023 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 Day BOD Test
Demanda química de oxígeno : SMO544P-HAWWA-WBF Part 5225 C 218 Ed. 2023 Chemical Oxygen Demand: Closed Reflux, Titrimetric Method

Las muestras que ingresaron al laboratorio en condiciones idóneas para la realización de los análisis solicitados, se emiten acreditadas según alcance ante INACAL-DA.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Peru S.A.C.
Se declara que los resultados de laboratorio emitidos con los datos presentados a cargo, provienen de laboratorio acreditado en caso el laboratorio sea
Los resultados se aplican a la muestra o muestra que se recibió en el laboratorio y no se responsabiliza de la etapa de muestreo
"L.C." significa Límite de cuantificación
"L.D." significa Límite de detección
A excepción de los productos perecheros los tiempos de custodia dependen del laboratorio que recibe el análisis. Excepciones varían desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON
REGISTRO N° LE - 031



INSPECTORATE

Regimen #14 - (B)

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL N° AG-248593

Pág. 1 / 2

Organismo acreditado : INSPECTORATE SERVICES PERU S.A.C.
Registro de Acreditación : N° LE - 031
Producto : -M2- AGUA
Número de Muestras : 1 muestras x 1 l
Presentación : Frasco (ps) de vidrio / Frasco (ps) de plástico
Procedencia de la muestra : Muestra proporcionada por el Cliente
Información proporcionada por el cliente (b) : M2

Fecha de recepción de las muestras : 01/06/2023
Fecha de inicio de análisis : 02/06/2023
Hora de inicio de análisis : 10:00PM
Fecha de término de análisis : 08/06/2023
Orden de Trabajo (OT) : 12621-23

Fecha Muestra : 01/06/2023
Otros : Hora muestra: 14:00

M2				
Parámetro	Resultado	L.C.	L.D.	Unidad
Demanda bioquímica de oxígeno	14.8	2.0	1.0	mg/L O2
Demanda química de oxígeno	30.7	2.0	1.0	mg/L O2

Método

Demanda bioquímica de oxígeno : SMO544P-HAWWA-WBF Part 5718 B 218 Ed. 2023 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 Day BOD Test
Demanda química de oxígeno : SMO544P-HAWWA-WBF Part 5225 C 218 Ed. 2023 Chemical Oxygen Demand: Closed Reflux, Titrimetric Method

Las muestras que ingresaron al laboratorio en condiciones idóneas para la realización de los análisis solicitados, se emiten acreditadas según alcance ante INACAL-DA.

"L.C." significa Límite de cuantificación.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Peru S.A.C.
Se declara que los resultados de laboratorio emitidos con los datos presentados a cargo, provienen de laboratorio acreditado en caso el laboratorio sea
Los resultados se aplican a la muestra o muestra que se recibió en el laboratorio y no se responsabiliza de la etapa de muestreo
"L.C." significa Límite de cuantificación
"L.D." significa Límite de detección
A excepción de los productos perecheros los tiempos de custodia dependen del laboratorio que recibe el análisis. Excepciones varían desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 distrito del Callao, Provincia Constitucional del Callao - Perú
Central : 51 (1) 3195100 Anexo 8055 / www.bureauveritas.com





LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNACIONAL ACREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-451



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 1801960-2024 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL
DOMICILIO LEGAL
SOLICITADO POR
REFERENCIA
PROCEDENCIA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA
FECHA(S) DE ANÁLISIS
FECHA(S) DE MONITOREO
MUESTREADO POR

MONITORES DE CALIDAD DE AGUA RESCUELA TAYTAY.
CALLE LIMA - COMERCIO S.A.
2024-03-20
2024-03-20 AL 2024-03-21
2024-03-20
SUSANITA ANA TELLO PULGAR

1. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
pH (medido en campo)	AP 914.2900 (APHA 914.2900) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456)	no aplica	Unid. pH
Asimetría y conductividad (PPT)	25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456)	no aplica	mg/L
Conductividad eléctrica (PPT)	25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456)	no aplica	mg/L
Conductividad eléctrica (PPT)	25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456)	no aplica	mg/L
Conductividad eléctrica (PPT)	25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456) / 25.1000 (ISO 10456)	no aplica	mg/L

1. El informe es una copia.
(1) Valor de resultado de acuerdo a plan de muestreo N° 1801960 y procedimiento TL-451.
(2) Límite de detección del método para cada metodología por ser acordados.
(3) Límite de detección del método.

ISO 15189:2013 (en vigor) 3017-1:2020



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNACIONAL ACREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-451



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 1801960-2024 CON VALOR OFICIAL

11. RESULTADOS

Producto declarado	Agua residual
Medio de muestra	Agua residual
Fecha de muestreo	2024-03-20
Hora de inicio de muestreo (H)	08:37:24
Coordenadas UTM WGS 84 (N)	8 387 248
Altitud (m)	137
Descripción del punto de muestreo	EFLUENTE DE AGUA TRATADA BIOFILTRO
Condiciones de la muestra	Refrigerada / Preservada
Código del Cliente	EFUENTE
Código del Laboratorio	24032075
Ensayo	Ensayo de conductividad eléctrica (PPT)
Unidades	Unidades
Resultado	7.40
Conductividad eléctrica (PPT)	7.40
Conductividad eléctrica (PPT)	7.40
Conductividad eléctrica (PPT)	7.40
Conductividad eléctrica (PPT)	7.40

Código del Cliente	Duplicado	Blanco de campo	Blanco blanco
Código del Laboratorio	24032075	24032075	24032075
Ensayo	Conductividad eléctrica (PPT)	Conductividad eléctrica (PPT)	Conductividad eléctrica (PPT)
Unidades	Unidades	Unidades	Unidades
Resultado	7.40	7.40	7.40

Medición de pH realizada a 25°C.
(1) Medida de pH realizada a 25°C.
(2) Medida de pH realizada a 25°C.

ISO 15189:2013 (en vigor) 3017-1:2020

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNACIONAL ACREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-451



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 047



Página 1 de 5

PRUEBAS REVISOR				
Solididad de Ensayo:	ZINCOS	Cantidad Muestras:	1	
			20-04-2024	
Categoría:	AGUA	Análisis de Recipiente:		
Sub-categoría:	AGUA SUPERFICIAL	Fecha de Ensayo:	24-04-2024	
			Fecha de Emisión:	
Procedencia:	MUESTRA RECIBIDA		27-04-2024	
Preparado por:	MUESTRA RECONSTRUIDA POR EL CLIENTE			
Preparación de Muestra:	PRASGO DE PLASTICO			
Notas:	PRASGO 48 CILINDROS			
	FECHA DE MUESTREO:	28-04-2024		
HORAS: 2:30 PM				

Hassan Ali Basha, PhD / hassan@hassanali.com / www.hassanali.com

Page 3 of 5

Identificación de Fuente		ADQUISICIÓN DEL EQUIPAMIENTO	
	E.E.	I.E.	ES 09 2014-1660
Donante Inocencia de Delgado (mg/L)	5.0	2.6	15.7
Donante Gabriela de Salazar (mg/L)	5.8	0.5	19.9

Manuscript received May 2005; accepted October 2005.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-22108

N° AL: 9000121771

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 3.- PROYECTO : MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL - PTAR BIO FILTRO
4.- PROCEDENCIA : CHIBCHA
6.- PRODUCTO : AGUA RESIDUAL

II.- DATOS DEL SERVICIO

- 2.- PLAN DE MUESTREO : PM003947/2024
3.- PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: P-OPE-1 MUESTREO
4.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2024-08-17

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- 1.- MUESTREO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
2.- NÚMERO DE MUESTRAS : 2
3.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2024-08-07
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : En buen estado de conservación y preservación
5.- PERIODO DE ENSAYO : 2024-08-07 al 2024-08-17

Erika Aliaga Ibarra
Erika Aliaga Ibarra
Jefe de Laboratorio
CIP N° 100391

Mariela V. Jovera Castronorte
Mariela V. Jovera Castronorte
Supervisora de Laboratorio de
Microbiología e Hidrobiología
CIP N° 16039



Los resultados contenidos en el presente documento solo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia. Pág. 1 de 5

● SEDE PRINCIPAL Av. Dársena Chusquea N° 1971, Barranco - Lima Tel: (+51) 117 7380 Cel: 977 518 128	● SEDE ZARUMILLA Provinciana Zarumilla 80, 129 Zarumilla - Callao Tel: (+51) 713 3008 Cel: 982 111 379	● SEDE AREQUIPA C/DOF. ANDRÉS B. S. 11, 9, Arequipa Tel: (+51) 84 812 843 Cel: 982 381 841	● SEDE PIURA C/DOF. ANDRÉS B. S. 11, 11, Piura Tel: (+51) 774 3008 Cel: 982 817 789	● SEDE TILLO C/DOF. ANDRÉS B. S. 11, 11, Tillo Tel: (+51) 774 3008 Cel: 982 788 828
---	--	--	---	---

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-22108

N° AL: 9000121771

V.- RESULTADOS

ITEM	2			
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-24-06405			
CÓDIGO CLIENTE (*)	JEF-1A			
COORDENADAS - UTM WGS 84	E 6367286 N 8512288			
PRODUCTO	Agua Residual			
SUB PRODUCTO	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO		LOPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL		
FECHA Y HORA DE MUESTREO		08-08-2024 11:30		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Demanda Bioquímica de Oxígeno (°)	mg/L	0,4	2,0	1,9
Demanda Química de Oxígeno (°)	mg/L	2,0	5,0	43,6

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

° Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M. Límite de cuantificación del método, %> Menor que el L.C.M.

L.D.M. Límite de detección del método, %> Menor que el L.D.M.

N/A. No Aplica

Pág. 4 de 5

● SEDE PRINCIPAL Av. Dársena Chusquea N° 1971, Barranco - Lima Tel: (+51) 117 7380 Cel: 977 518 128	● SEDE ZARUMILLA Provinciana Zarumilla 80, 129 Zarumilla - Callao Tel: (+51) 713 3008 Cel: 982 111 379	● SEDE AREQUIPA C/DOF. ANDRÉS B. S. 11, 9, Arequipa Tel: (+51) 84 812 843 Cel: 982 381 841	● SEDE PIURA C/DOF. ANDRÉS B. S. 11, 11, Piura Tel: (+51) 774 3008 Cel: 982 817 789	● SEDE TILLO C/DOF. ANDRÉS B. S. 11, 11, Tillo Tel: (+51) 774 3008 Cel: 982 788 828
---	--	--	---	---

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-32605

N° Id.: 000132768

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

- 3.- PROYECTO : MONITOREO CALIDAD DE LA AGUA RESIDUAL
4.- PROCEDENCIA : PTARD - BIOFILTRO
6.- PRODUCTO : Agua Residual

II.- DATOS DEL SERVICIO

2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2024-11-12

III.- DATOS DEL ÍTEM DE ENSAYO

- 1.- MUESTREO POR : MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2.- NÚMERO DE MUESTRAS : 2
3.- FECHA DE RECEPCIÓN : 2024-10-31
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN : En buen estado de conservación y preservación
5.- PERÍODO DE ENSAYO : 2024-10-31 al 2024-11-12

Los resultados contenidos en el presente documento solo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory. Los resultados de los ensayos 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.
Su autorización o su uso indebido constituyen delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

Pág. 1 de 3

Sede Principal Av. Cometa Comercio N° 1877 Barranca, Callao Tel: (051) 122 2268 / 122 2269 Cel: 977 024 125 / 051 122 2272 983 960 171	Sede Arequipa Calle Comercio 28, Av. P.O. 3 Arequipa Tel: (051) 024 304 503 Cel: 983 261 942	Sede Piura Av. San Isidro 8, Plaza M. D.L.L. 02 Calle 29 de Tel: (051) 542 335	Sede Trujillo Av. Santa Teresita 34, P.O. 75 Ave. Comercio 75, 80 Tel: (051) 122 2268 Cel: 983 748 828
--	---	---	---

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-32605

N° Id.: 000132768

V.- RESULTADOS

ITEM		1		2	
CÓDIGO DE LABORATORIO		M.24.58842		M.24.58843	
CÓDIGO CLIENTE**		AR-61		AR-143	
COORDENADAS - UTM WGS 84**		E: 0387375 N: 8512426		E: 0387463 N: 8512426	
PRODUCTO**		Agua Residual		Agua Residual	
SUB PRODUCTO**		Agua Residual Industrial		Agua Residual Industrial	
FECHA y HORA DE MUESTRO**		30-10-2024 14:30		30-10-2024 14:30	
ENSAYO		UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)		mg/L	0,4	2,0	148,8 9,6
Demanda Química de Oxígeno (*)		mg/L	2,0	5,0	327,3 26,5

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL-DA.

2 Ensayo acreditado por el IAS.

L.C.M. Límite de cuantificación del método, "o", Menor que el L.C.M.

L.D.M. Límite de detección del método, "o", Mayor que el L.D.M.

NA No Aplica

(*) Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Pág. 3 de 3

Sede Principal Av. Cometa Comercio N° 1877 Barranca, Callao Tel: (051) 122 2268 / 122 2269 Cel: 977 024 125 / 051 122 2272 983 960 171	Sede Arequipa Calle Comercio 28, Av. P.O. 3 Arequipa Tel: (051) 024 304 503 Cel: 983 261 942	Sede Piura Av. San Isidro 8, Plaza M. D.L.L. 02 Calle 29 de Tel: (051) 542 335	Sede Trujillo Av. Santa Teresita 34, P.O. 75 Ave. Comercio 75, 80 Tel: (051) 122 2268 Cel: 983 748 828
--	---	---	---

www.alab.com.pe