



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“Tratamiento de las aguas residuales empleando el Sistema Tohá en el distrito
de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023”

Línea de investigación:

Gestión ambiental y desarrollo sostenible

Presentado por:

Jose Eduardo Mendoza Gibaja

015300621e@uandina.edu.pe

Holguer Sebastian Villa Siccos

015301013i@uandina.edu.pe

Para optar el Título Profesional de Ingeniero
Ambiental

Asesor:

Mgt.Ing. Gorki López Pacheco

gpacheco@uandina.edu.pe

CUSCO - PERÚ

2023



Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA
Número de documento de identidad	78116129
URL de Orcid	015300621e@uandina.edu.pe
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	GORKI LÓPEZ PACHECO
Número de documento de identidad	23930108
URL de Orcid	gpacheco@uandina.edu.pe
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	FELIO CALDERON LA TORRE
Número de documento de identidad	25310696
Jurado 2	
Nombres y apellidos	VIOLETA EUGENIA ZAMALLOA ACURIO
Número de documento de identidad	23867865
Jurado 3	
Nombres y apellidos	JUAN JOSE ZUÑIGA NEGRON
Número de documento de identidad	23989604
Jurado 4	
Nombres y apellidos	LIW CANALES SIERRA
Número de documento de identidad	23963936
Datos de la investigación	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	Gestión ambiental y desarrollo sostenible



TESIS

por JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA

Fecha de entrega: 13-feb-2024 11:41p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2294463463

Nombre del archivo: HOLGUER_EDUARDO_24_10_2024.docx (10.54M)

Total de palabras: 25714

Total de caracteres: 141551



Ing° Gorki López Pacheco
CIP. 63282



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“Tratamiento de las aguas residuales empleando el Sistema Tohá en el distrito
de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023”

Línea de investigación:

Gestión ambiental y desarrollo sostenible

Presentado por:

Jose Eduardo Mendoza Gibaja

015300621e@uandina.edu.pe

Holguer Sebastian Villa Siccos

015301013i@uandina.edu.pe

Para optar el Título Profesional de Ingeniero

Ambiental

Asesor:

Mgt.Ing. Gorki López Pacheco

gpacheco@uandina.edu.pe

CUSCO - PERÚ

2023

Ing° Gorki López Pacheco
CIP. 63282



INFORME DE ORIGINALIDAD

8 %

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net
Fuente de Internet

2%

2

[Submitted to Universidad Andina del Cusco](#)
Trabajo del estudiante

1%

3

repositorio.uandina.edu.pe
Fuente de Internet

1%

4

www.uandina.edu.pe
Fuente de Internet

1%

5

pt.scribd.com
Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.ucv.edu.pe
Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.ug.edu.ec
Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.udh.edu.pe
Fuente de Internet

<1%

9

WALSHPERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "EIA para el

<1%

Ing° Gorki López Pacheco
CIP. 63282

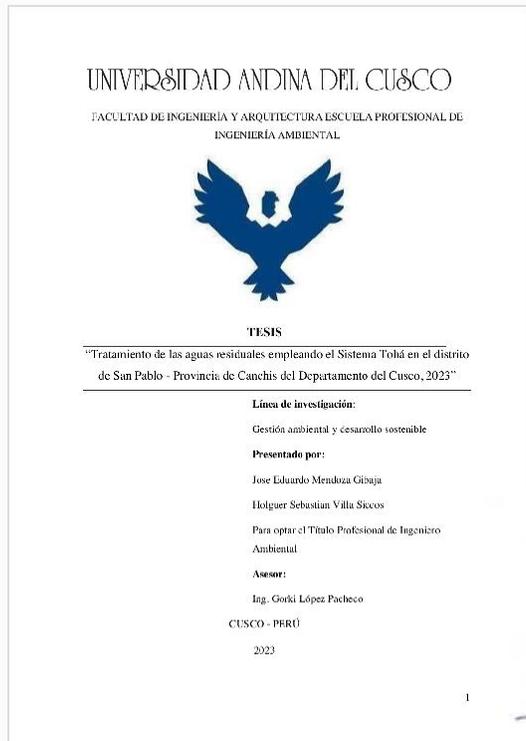


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA
Título del ejercicio: TESIS
Título de la entrega: TESIS
Nombre del archivo: HOLGUER_EDUARDO_24_10_2024.docx
Tamaño del archivo: 10.54M
Total páginas: 147
Total de palabras: 25,714
Total de caracteres: 141,551
Fecha de entrega: 13-feb.-2024 11:41p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 2294463463



Ing° Gorki López Pacheco
CIP. 63282



AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a Dios en primer lugar por ser la fuente de inspiración y dedicación en esta tesis, a nuestras familias quienes fueron el motor para la culminación satisfactoria en este proceso. también agradecer a nuestro asesor quien fue un pilar muy importante para la realización de nuestra tesis, es una alegría inmensa la que nos toca vivir en esta linda etapa de nuestras vidas.

A todas aquellas personas que directa e indirectamente estuvieron involucradas en la elaboración de esta tesis. Dejo un gran agradecimiento muy especial por sus aportes brindados al Doctor, Gorki Lopez Pacheco y asesores de los alcances importantes que lleva este ejemplar.



DEDICATORIA

Quiero dedicar con mucha fe esta tesis a Dios por bendecirme, a familia que siempre creyó en mí, especialmente a mi madre Virginia Gibaja Cabrera quien me dio las fuerzas a Yrineo Mendoza, a mi hermano Alexander, a mis dos hermosos bebés Lua y Maylo, y a mi fuente de inspiración, mi novia y compañera de vida Geraldine por ser mi motivación para cada día para llegar más lejos en la vida y en mi carrera profesional. a mis amigos por permitirme siempre ser constante ante mis logros que son resultado de la ayuda de todos ellos.

“A Dios por sobre todas las cosas. A mis padres por su comprensión y apoyo incondicional. Al respaldo de mis padres engrandece mi corazón, porque ellos son la promesa de alcanzar a ser un profesional”



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	2
DEDICATORIA	3
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	15
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación del problema	20
1.2.1. Problema General	20
1.2.2. Problema Específicos	20
1.3. Justificación de la investigación	20
1.3.1. Conveniencia	22
1.3.2. Relevancia Social	23
1.3.3. Implicancia práctica	23
1.3.4. Valor teórico	24
1.3.5. Utilidad metodológica	24
1.4. Objetivos de la investigación	25
1.4.1. Objetivo General	25



1.4.2. Objetivos Específicos.....	25
1.5. Delimitación del estudio	25
1.5.1. Delimitación espacial	25
1.5.2. Delimitación Temporal	27
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	28
2.1. Antecedentes del estudio	28
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	28
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	31
2.1.3. Antecedentes Locales	34
2.2. Bases Teóricas.....	36
2.2.1. Aguas residuales industriales	36
2.2.3. Características de las aguas residuales	38
2.2.4. Sistema tohá	52
2.2.5. Normatividad.....	57
2.3. Hipótesis 59	
2.3.1. Hipótesis General.....	59
2.3.2. Hipótesis Específicos.....	59
2.4. Variables 60	
2.4.1. Identificación de variables	60
2.4.2. Operacionalización de variables	60
CAPÍTULO III MÉTODO	63
3.1. Alcance de estudio	63



3.2	Diseño de la investigación.....	63
3.2.1.	Construcción del Sistema Tohá.....	65
3.2.2.	Evaluación del Caudal	68
3.2.3.	Evaluación de la temperatura y humedad.....	71
3.2.4.	Análisis de las Muestras en Laboratorio.....	72
3.2.5.	Tratamiento de los Datos	72
3.2.5.	Determinación del Porcentaje de Remoción	73
3.3	Población	73
3.4	Muestra	73
3.5	Técnicas de recolección de datos	74
3.6	Validez y confiabilidad de instrumentos	74
3.7	Plan de análisis de datos	75
CAPÍTULO IV RESULTADOS		76
4.1.	Resultados respecto al objetivo general	76
4.1.1.	Evaluación del Sistema Tohá para el mejoramiento de las aguas residuales en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023... ..	76
4.1.2.	Prueba de hipótesis general	95
4.2.	Resultados respecto a los objetivos específicos.....	101
4.2.1.	Resultados OE1: Determinación del porcentaje de remoción de los parámetros DBO5, DQO empleando el sistema Tohá	101
4.2.2.	Resultados OE2: Determinación del porcentaje de remoción de aceites y grasas, pH, SST empleando el sistema Tohá.....	102



4.2.3. Resultado OE3: Determinación del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes empleando el sistema Tohá.....	103
4.2.4. Resultados OE4: Evaluación de la influencia de la temperatura y humedad en la remoción de la DBO5 y DQO en el tratamiento de las aguas residuales.....	104
CAPÍTULO V DISCUSIÓN	110
5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos	110
5.2. Limitaciones del estudio	111
5.3. Comparación crítica con la literatura existente	112
5.4. Implicancias del estudio	113
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	116
APÉNDICES	123
A. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	123
B. PANEL FOTOGRÁFICO	125
B. PANEL FOTOGRAFICO	110



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> <i>Coordenadas UTM de la zona de estudio</i>	26
<i>Tabla 2</i> <i>Características promedio de un residual municipal</i>	37
<i>Tabla 3</i> <i>Comparativa Biofiltro vs. Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Servidas</i>	57
<i>Tabla 4</i> <i>Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR</i>	59
<i>Tabla 5</i> <i>Operacionalización de la variable</i>	61
<i>Tabla 6</i> <i>Materiales y componentes del Sistema Tohá</i>	66
<i>Tabla 7</i> <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la Muestra Inicial de las aguas residuales domésticas sin tratamiento</i>	76
<i>Tabla 8</i> <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-1 de las aguas residuales domésticas con tratamiento</i>	78
<i>Tabla 9</i> <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-2 de las aguas residuales domésticas con tratamiento</i>	80
<i>Tabla 10</i> <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-3 de las aguas residuales domésticas con tratamiento</i>	82
<i>Tabla 11</i> <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-4 de las aguas residuales domésticas sin tratamiento</i>	85
<i>Tabla 12</i> <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la muestra de las aguas residuales domésticas con tratamiento</i>	87
<i>Tabla 13</i> <i>Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y primer tratamiento</i>	96
<i>Tabla 14</i> <i>Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y segundo tratamiento</i>	97
<i>Tabla 15</i> <i>Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y tercer tratamiento</i>	98



<i>Tabla 16 Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y cuarto tratamiento.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 17 Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y quinto tratamiento.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 18 Porcentaje de remoción en DBO5 y DQO empleando el sistema tohá.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 19 Porcentaje de remoción en aceites y grasas, pH, sst empleando el sistema tohá.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 20 Porcentaje de remoción en coliformes termotolerantes empleando el sistema tohá.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 21 Cuadro de resultados de temperatura y humedad de la DBO5 y DQO</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 22 Cuadro de resultados de monitoreo de temperatura.....</i>	<i>103</i>
<i>Tabla 23 Cuadro de resultados de monitoreo de humedad</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 24 Cuadro de resultados de la influencia de la temperatura y humedad de la DBO5 y DQO</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 25 Matriz de consistencia</i>	<i>123</i>



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Plano de ubicación y localización de la PTAR de San Pablo</i>	27
Figura 2 <i>Escala de acidez y basicidad del pH de una sustancia</i>	43
Figura 3 <i>Estabilización de la materia orgánica (DBO) con formación de células nuevas y productos finales</i>	44
Figura 4 <i>Organismos filamentosos observados en plantas de tratamiento de aguas residuales</i>	47
Figura 5 <i>Protozoos observados en fangos activados. a) Flagelados) amebas) ciliados nadadores libres y d) ciliados fijos</i>	49
Figura 6 <i>Operatividad del sistema Tohá</i>	53
Figura 8 <i>Dimensiones del reactor en el Sistema Tohá</i>	65
Figura 10 <i>Parámetros de control</i>	72
Figura 12 <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos sin tratamiento</i>	77
Figura 13 <i>Resultado del análisis del parámetro bacteriológico sin tratamiento</i>	78
Figura 14 <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento</i>	79
Figura 15 <i>Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento</i>	80
Figura 16 <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento</i>	81
Figura 17 <i>Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento</i>	82
Figura 18 <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento</i>	83
Figura 19 <i>Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento</i>	84
Figura 20 <i>Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento</i>	86
Figura 21 <i>Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento</i>	86



Figura 22 Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento	88
Figura 23 Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento	89
Figura 24 Comparación del parámetro DBO5 durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá	90
Figura 25 Comparación del parámetro DQO durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.	91
Figura 26 Comparación del parámetro Aceites y grasa durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.....	92
Figura 27 Comparación del parámetro Aceites y grasa durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.....	93
Figura 28 Comparación del parámetro pH durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá	94
Figura 29 Comparación del parámetro coliformes termotolerantes durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.....	95
Figura 30 Dimensiones del reactor en el Sistema Tohá.....	103



ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial Hidrógeno
SST	Sólidos Totales en Suspensión
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
LMP	Límites máximos permisibles
MINAM	Ministerio del Ambiente
D.S.	Decreto Supremo
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
UTM	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
ADN	Ácido desoxirribonucleico
L	Litros
%	Porcentaje
°C	Grado Celsius
mg/L	Miligramos por litro



RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo, evaluar si el Sistema Tohá influye de manera significativa en el mejoramiento de las aguas residuales en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023. Para ello, se realizó un diseño de construcción del sistema tohá, el cual consistió en instalar una red de tuberías que sirvieron para el traslado de las aguas residuales a un tanque de almacenamiento, luego las aguas residuales teniendo un caudal constante pasaron por un proceso de goteo a la primera capa del filtro el cual es el vermicompost que está compuesta por lombrices, humos y compost, su función principal de esta capa es retener el material orgánico y descomponer los contaminantes presentes en las aguas residuales. Posteriormente pasaron a capas de: aserrín, gravilla y grava y finalmente el agua residual fue desembocada a un depósito que funciona como depósito para las aguas residuales tratadas para poder distribuir en cinco envases a diferentes caudales para tomar diversas evaluaciones que serán tomadas con el criterio que lo establece y serán destinadas a un laboratorio para el análisis físicos, químicos y biológicos. Obteniendo como resultados que todos los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos se sitúan por debajo de los límites definidos en el DS N°003-2010-MINAM. La efectividad en la depuración de contaminantes presentes en las aguas residuales mediante el Sistema tohá, se traduce en un 43% de reducción en la DBO5 y un 47% en la DQO. En cuanto a los aceites y grasas, se logra una remoción del 83%, mientras que el pH se ajusta al 100%. Por último, en lo que respecta a los coliformes termotolerantes, la reducción alcanza el 8%. También se ha observado que las variaciones en las temperaturas diurnas y nocturnas, así como los niveles de humedad, no ejercen un impacto relevante en el proceso de eliminación “de la DBO5 y la DQO de las aguas residuales domésticas.

Palabras claves: sistema Tohá, DBO5, DQO, coliformes termotolerantes, pH, aceites y grasas, solidos suspendidos



ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate whether the Tohá System significantly influences the improvement of wastewater in the district of San Pablo, province of Canchis, department of Cusco, 2023. For this, a construction design of the tohá system, which consisted of installing a network of pipes that served to transfer the wastewater to a storage tank, then the wastewater having a constant flow went through a drip process to the first layer of the filter which is vermicompost, which is composed of worms, fumes and compost, the main function of this layer is to retain organic material and decompose the contaminants present in wastewater. Subsequently, they went on to layers of: sawdust, gravel and gravel and finally the wastewater was discharged into a tank that functions as a tank for the treated wastewater to be distributed in five containers at different flow rates to take various evaluations that will be taken with the criteria that establishes it and they will be destined to a laboratory for physical, chemical and biological analysis. Obtaining as results that all the physical, chemical and bacteriological parameters are below the limits defined in the "DS N°003-2010-MINAM." The effectiveness in purifying contaminants present in wastewater through the Tohá System translates into a 43% reduction in BOD5 and a 47% reduction in COD. Regarding oils and fats, a removal of 83% is achieved, while the pH is adjusted to 100%. Finally, with regard to thermotolerant coliforms, the reduction reaches 8%. It has also been observed that variations in daytime and nighttime temperatures, as well as humidity levels, do not have a relevant impact on the process of eliminating BOD5 and COD from domestic wastewater.

Keywords: Tohá system, BOD5, COD, thermotolerant coliforms, pH, oils and fats, suspended solids.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La conservación del entorno global requiere una administración sostenible de los recursos naturales. Esto implica la urgencia de una determinación política para llevar a cabo esta administración y de sociedades que reconozcan las serias repercusiones de la contaminación en el medio ambiente en su totalidad. A través del tiempo, ha sido común ver la liberación de aguas residuales en cuerpos de agua sin someterlas a cualquier método de tratamiento, provocando la deterioración de estos entornos y generando consecuencias negativas tanto en los recursos naturales como en las comunidades circundantes. “La distribución de los ciudadanos de zonas urbanas y rurales muestra una creciente inclinación hacia la urbanización en todo el mundo, y América Latina no” escapa a esta tendencia, la disponibilidad de agua potable y la correcta gestión del saneamiento en áreas urbanas se vuelven factores esenciales para la continuidad de las ciudades, ya que contribuyen a establecer (Larios & Gonzáles, 2015).

La conservación del entorno global requiere una administración sostenible de los recursos naturales. Esto implica la urgencia de una determinación política para llevar a cabo esta administración y de sociedades que reconozcan las serias repercusiones de la contaminación en el medio ambiente en su totalidad. A lo largo de la evolución temporal, se ha observado la descarga de aguas residuales en cuerpos acuáticos sin someterse a cualquier método de tratamiento, lo que ha conducido a la degradación de estos cuerpos y ha tenido efectos adversos en los recursos naturales y en las comunidades. La distribución de la población entre zonas urbanas y rurales muestra una creciente inclinación hacia la urbanización en todo el mundo, y América Latina no escapa a esta tendencia, la disponibilidad de agua potable y la correcta gestión del saneamiento en áreas urbanas se vuelven factores esenciales para la continuidad de las ciudades (Larios & Gonzáles, 2015).



El tratamiento de las aguas residuales se vuelve fundamental en todas las regiones con presencia de comunidades humanas. A pesar de esto, los sistemas para tratar estas aguas resultan costosos de establecer y conservar, y en algunas ocasiones, la gestión de los residuos sólidos generados puede presentar desafíos para su disposición final. Por consiguiente, se están examinando diversas opciones que puedan ofrecer ventajas y satisfacer los estándares exigidos por las regulaciones correspondientes (Montés & Menéndez , 2010).

El Sistema tohá representa una tecnología respuesta para tratar aguas residuales, incluyendo aquellas provenientes de hogares y agroindustrias. “A diferencia de los métodos tradicionales de lombricultura, en el Sistema tohá,” los elementos esenciales están presentes de manera natural en las “aguas residuales domésticas que pasan a través de un proceso de filtración, donde las lombrices son abundantes” (Arias & Tiquillahuanca, 2018)

El propósito de implementar el Sistema tohá en el área de San Pablo para el año 2023 es contribuir a la purificación de las aguas residuales que son descargadas en el río Vilcanota. Y esto resolviendo la problemática actual que tiene San Pablo en su tratamiento de aguas residuales.

1.1. Planteamiento del problema

La AGNU ha reconocido el derecho universal de todas las personas a tener acceso a una cantidad adecuada de agua potable y segura, aceptable, económicamente viable y físicamente alcanzable para sus necesidades personales y hogareñas. La conservación del agua es un tema fundamental y de gran relevancia en la producción de energía y alimentos, dado que sufre las consecuencias de la contaminación generada por desechos, fertilizantes y diversos productos químicos (INCYTU, 2019). Conforme a lo indicado por el MINAM (2022), los sistemas de tratamiento de aguas residuales comprenden una variedad de técnicas y procesos que engloban operaciones químicas, biológicas y físicas. Se emplean con el fin de limpiar las aguas residuales



hasta alcanzar un nivel de calidad apropiado para su liberación o su posible uso posterior. Estos sistemas emplean una diversidad de métodos con el fin de lograr una efectiva depuración de las aguas residuales.

A **nivel mundial** según Incytu (2019) las consecuencias ambientales son graves y a menudo difíciles de revertir en un corto período de tiempo. En China, se calcula que el 80% de sus cursos de agua se encuentran en tal estado de contaminación que ya no resultan aptos para satisfacer las necesidades humanas. En EE.UU., según Usa et al. (2021) se ha observado que las aguas residuales sin tratar generan incrementos en las cantidades de nutrientes, patógenos, sustancias disruptoras endocrinas, metales pesados y fármacos en los sistemas naturales. Esto evidencia el efecto adverso de la falta de proceso de purificación de las aguas de vertido en los ecosistemas. Mientras que, en India, Rajwinder et al. (2021) indica que el crecimiento de las áreas urbanas y de los ciudadanos han ampliado la demanda de agua, lo que origina una considerable cantidad de aguas residuales procedentes de una variedad de fuentes, incluyendo áreas residenciales, industriales y públicas. Conforme a la información suministrada por Reynolds en 2022, en promedio, únicamente el 10% de las aguas servidas recogidas a través de la sistema de alcantarillado son sometidas a algún tipo de tratamiento.

En términos generales, en América Latina, solo alrededor del 10% de las aguas residuales recolectadas con el sistema de canalización se someten a algún tipo de proceso de purificación (Reynolds, 2022).

A **nivel nacional**, la SUNASS (MED) realizó la supervisión de 204 instalaciones de tratamiento de efluentes residuales (PTAR) en Perú hasta el año 2013. De estas PTAR, 163 estaban en funcionamiento, 32 estaban en proceso de construcción y 9 se encontraban inactivas. Se ha notado que, en la nación, la tecnología que se usa con mayor frecuencia para llevar a cabo el tratamiento secundario. se basa en la utilización de lagunas facultativas (Losse, 2015).



En Lambayeque, se enfrentan dificultades para mejorar, corregir y regenerar la calidad del agua residual vertida por la empresa Ecomphisa, por lo que se optó por implementar el Lombrifiltro como solución (Maza, 2017). En Huancavelica, la carencia de infraestructura apropiada y la administración ineficiente del tratamiento de aguas residuales representan un riesgo considerable. Hasta el momento, no se ha logrado establecer un control eficaz sobre la liberación de aguas residuales. Por este motivo, se ha introducido una estación de saneamiento de aguas contaminadas en Huaylacucho, que emplea el lombrifiltro, el cual ha demostrado ser altamente eficiente en la eliminación de ciertos elementos durante el proceso de purificación de aguas servidas domésticas. (Huiza & Ordoñez , 2018).

A **nivel regional**, según el estudio de Mamani y Roque (2020), las estaciones depuradoras de aguas residuales liberan constantemente aromas que afectan desfavorablemente el entorno ambiental y, como resultado, en el bienestar psicológico de las personas que viven en las proximidades de estas instalaciones. Con base en el informe de Arana (2022), el plan de saneamiento regional para el período 2021-2025 en la región de Cusco indica que, en las áreas rurales de la provincia de Cusco, un porcentaje mayor al 70% de los líquidos de desecho doméstico se eliminan sin someterlas a un tratamiento inicial adecuado antes de ser desechadas definitivamente. mientras que solo el 30% atraviesa sistemas de tratamiento que están en un estado de colapso. Con el propósito de elevar la calidad de vida de la población, tal como indican Mamani y Roque (2020), se implementó el Lombrifiltro, el cual ha evidenciado generar un efecto beneficioso para el mejoramiento de la calidad del efluente de aguas de vertido de acuerdo con las evaluaciones realizadas. En el área poblada por la comunidad del distrito de San Jerónimo, Cusco, se encuentra la infraestructura de purificación de aguas cloacales, lo que tiene consecuencias adversas para la salud y la rutina diaria de los residentes. En consecuencia, es imperativo y apremiante aplicar enfoques que minimicen los efectos originados por la planta de tratamiento en el menor lapso de tiempo.



En la localidad de San Pablo, se presenta un inconveniente asociado con la eliminación final de las aguas residuales, dado que carece de una gestión apropiada y existe un riesgo significativo de contaminación. Además, no cuenta con una instalación de tratamiento de efluentes y falta conocimiento sobre prácticas de higiene adecuadas entre la población. Esto ha llevado a la propagación de enfermedades gastrointestinales y de la piel. Además, las personas desechan sus excrementos y aguas residuales en áreas abiertas, lo que se convierte en otro factor contaminante que afecta no solo al distrito, sino también a toda la región de Cusco. Por este motivo, es crucial colaborar con las autoridades locales y regionales con el fin de establecer políticas y normativas que fomenten y exijan el tratamiento adecuado de las aguas residuales. Esto puede implicar la asignación de fondos y recursos para la instalación de sistemas de tratamiento como el sistema Tohá. Fomentar prácticas adecuadas de eliminación de excrementos y aguas residuales, incluyendo la construcción de sanitarios seguros y sistemas de alcantarillado en hogares y establecimientos industriales. Trabajar en conjunto con otros distritos y con la región de Cusco para abordar el problema de manera integrada, compartiendo recursos, conocimientos y estrategias. Establecer la infraestructura requerida para la captación y tratamiento de las aguas residuales, abarcando la construcción de lechos de filtración y estaciones de tratamiento que utilicen la tecnología del sistema Tohá.

Dado este contexto, el estudio de investigación propone abordar el tratamiento de las aguas residuales mediante la implementación del Sistema Tohá, el cual constituye un enfoque que involucra la utilización de lombrices y un sistema de infiltración.



1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de origen doméstico empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?

1.2.2. Problema Específicos

- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) en el tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?
- ¿Cuál es la temperatura y humedad durante el tratamiento durante el tratamiento de las aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de aceites y grasas, sólidos totales en suspensión y pH empleando el sistema tohá en el tratamiento aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de coliformes totales y termotolerantes, empleando el sistema tohá en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?

1.3. Justificación de la investigación

La fase de tratamiento de las aguas servidas se vuelve fundamental debido a las amenazas que plantean en términos de salud pública y contaminación ambiental. En el contexto específico del distrito de San Pablo, ubicado en la zona anteriormente mencionada, se hace imperativo establecer criterios y adoptar medidas preventivas para gestionar y reutilizar de



manera adecuada estas aguas residuales. Una estrategia eficaz podría involucrar la introducción de un proceso biológico mejorado que facilite la remoción o reducción de los contaminantes, de modo que no constituyan una amenaza ni para la salud humana ni para el medio ambiente.

La eficacia en el tratamiento de aguas residuales es esencial para posibilitar su posterior reutilización. El propósito central de este estudio consiste en analizar el sistema Tohá como una alternativa viable en lugar de las tecnologías tradicionales de tratamiento. Esto generará un efecto favorable en la evolución positiva del sistema de tratamiento y ayudará a resolver los problemas existentes. De esta manera, se evitarán posibles perjuicios al mecanismo de riego y se reducirán los costos de conservación, lo que promoverá la durabilidad, prosperidad del proyecto.

Principalmente las tecnologías tradicionales de depuración no proporcionan una solución integral para enfrentar el problema de los contaminantes presentes en los efluentes. Además de su capacidad para eliminar estos contaminantes, también generan subproductos en forma de lodos y residuos semisólidos que concentran dichos contaminantes, y su gestión resulta ser complicada y costosa, requiriendo recursos tecnológicos, maquinaria especializada y personal altamente capacitado. En contraste, el procedimiento del sistema Tohá no origina estos lodos inestables, sino que produce humus de lombriz en su lugar, un valioso abono orgánico que puede utilizarse de manera efectiva en jardinería y agricultura.

El enfoque de tratamiento biológico mediante el uso del sistema Tohá podría representar una opción más apropiada para la purificación de aguas residuales domésticas, tanto en áreas urbanas como rurales en el contexto de Perú. Estos modelos resultan rentables, ya que su construcción es económica y su demanda energética es reducida. Además, son de manejo sencillo y no requieren de personal altamente especializado, lo que simplifica las labores de mantenimiento.



En la actualidad las aguas residuales del distrito de San Pablo se encuentran en un estado de eutrofización donde su tratamiento no es tan eficiente. Por lo cual nosotros optamos en utilizar la tecnología denominada Sistema Tohá para su tratamiento de sus aguas residuales y así estas aguas sean vertidas con menor contaminación al río Vilcanota. Y se puede verificar los resultados en la tabla 7 y así verificamos que la aguas estas contaminadas.

1.3.1. Conveniencia

Este estudio demuestra la eficiencia que tiene el sistema tohá frente a las aguas servidas derivadas de todo el distrito de San Pablo. La tecnología planteada resuelve la contaminación de aguas residuales provenientes de la zona domiciliaria.

La relevancia de esta investigación es notablemente alta, considerando que se tiene un conjunto completo de datos críticos que son fundamentales para la ejecución y el éxito del proyecto investigativo. La posibilidad de tener un acceso directo y sin intermediarios al distrito de San Pablo en Canchis, Cusco, es una ventaja distintiva que enriquece notablemente la investigación, permitiendo una inmersión completa en el contexto y la dinámica local, lo cual es esencial para la autenticidad y la aplicabilidad de los hallazgos.

Además, el hecho de disponer de los recursos adecuados y de un marco temporal óptimo no es solo una cuestión de conveniencia sino una condición privilegiada que eleva la calidad del proceso investigativo. Estos recursos y el tiempo asignado permiten una metodología rigurosa y detallada, asegurando que cada fase de los análisis y la recolección de muestras se lleve a cabo con la mayor precisión y profundidad posibles.

Por lo tanto, esta investigación no solo es conveniente, sino que es una oportunidad excepcional para generar conocimiento significativo con implicaciones directas para el bienestar y el desarrollo sostenible de la región de Cusco. La capacidad de realizar una indagación tan completa y bien fundamentada sienta las bases para intervenciones efectivas y



políticas informadas que puedan tener un impacto positivo duradero en la comunidad y en el entorno. Es por ello que es necesario trabajar con las autoridades locales y regionales para desarrollar políticas y regulaciones que promuevan y requieran el tratamiento adecuado de las aguas residuales. Esto puede implicar la asignación de fondos y recursos para la instalación de sistemas de tratamiento como el sistema Tohá.

1.3.2. Relevancia Social

Este estudio reviste una notable relevancia a nivel comunitario, al estar centrado en los habitantes del distrito de San Pablo. El propósito primordial de esta investigación radica en elevar la pureza del agua residual, lo cual conllevará beneficios notorios para la salud de la comunidad, reduciendo las enfermedades causadas por los microorganismos presentes en el agua de desecho.

Adicionalmente, esta investigación tiene como objetivo el mejoramiento de una actividad esencial en la vida cotidiana de la comunidad, que es la cría de ganado. Al atender la cuestión de las aguas residuales, se busca minimizar las consecuencias adversas que podrían surgir en relación con esta actividad.

Cada uno de los elementos previamente expuestos se plantea como una iniciativa destinada a abordar la problemática mencionada, con la finalidad de aportar beneficios a toda la sociedad en su totalidad.

1.3.3. Implicancia práctica

En el presente estudio los resultados tendrán un valor significativo, ya que, al comprender y aplicar el Sistema Tohá, se podrán mejorar la calidad del agua y demostrar su carácter ecológico al no utilizar sustancias químicas. Este sistema también se destaca por su eficiencia al lograr altos niveles de descontaminación, y su bajo consumo de energía lo hace económicamente viable.



La expectativa es que esta tecnología se incorpore de manera fundamental en las Plantas de Tratamiento. Esto permitiría la eliminación de una mayor cantidad de aguas residuales en un período de tiempo más corto. En consecuencia, se convertiría en una estrategia económica y eficiente.

1.3.4. Valor teórico

Es relevante teóricamente porque es respaldado por autores experimentados, logra un aporte a las bases científicas del tratamiento y el Sistema con conocimientos que aclaren sobre las mencionadas variables de estudio, y en la zona localizada en Cusco servirá como referente para futuros estudios que con llevaran a mejorar el nivel de calidad de agua y los beneficios en la salud, en lo económico y ambiental.

1.3.5. Utilidad metodológica

La metodología aplicada busca promover la adopción de esta tecnología en diversas comunidades y distritos, ya que se ha comprobado que esta técnica es sencilla, de fácil operación y económico. Estos resultados se considerarán como antecedentes para futuras investigaciones.

El estudio realizado contribuirá a la disminución de las sustancias contaminantes y puedan cumplir con los límites máximos permitidos, en las aguas parcialmente tratadas en las lagunas de oxidación ya que con el sistema Tohá se cumple con la normativa vigente para su vertido en el río Vilcanota. Esto tiene como propósito principal lograr una vida saludable para los habitantes de la zona, así como para la flora y fauna local. Además, se generará información valiosa en la búsqueda de la mejora en la calidad de vida y la preservación del entorno ambiental.



1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) en el tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
- Determinar el porcentaje de la temperatura y humedad en la remoción de la DBO5 y DQO en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
- Determinar el porcentaje de remoción de aceites y grasas, sólidos totales en suspensión y pH en el tratamiento de aguas residuales empleando el sistema tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
- Determinar el porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes, en el tratamiento de las aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

1.5. Delimitación del estudio

1.5.1. Delimitación espacial

San Pablo es un distrito situado en la provincia de Canchis, en el departamento de Cusco, y está bajo la autoridad del Gobierno Regional de Cusco. Que tiene por límite por el norte con Checacupe, al sur con Sicuani, al este con Nuñoa y al oeste con San Pedro, Combapata y Yanaoca.



Teniendo una altitud de 3,466 metros, y tiene una superficie de 524.06 km². Según el censo de 2007, cuenta con una población de 4,979 habitantes.

Se proporciona la localización de la zona objeto de estudio.

Tabla 1

Coordenadas UTM de la zona de estudio

Coordenadas UTM			
Este	Norte	Zona	Altitud
249467.80	8429032.00	19L	3484msnm.

Nota. Obtenido de (Google Earth, 2021)

- Lugar: Capital del Distrito de San Pablo
- Distrito: San Pablo
- Provincia: Canchis
- Departamento: Cusco
- Región: Cusco
- Región Geográfica: Sierra

Figura 1

Plano de ubicación y localización de la PTAR de San Pablo



Nota. Plano de ubicación y localización PTAR San Pablo. Elaboración propia

1.5.2. Delimitación Temporal

La investigación presente se realizó desde marzo hasta agosto del 2023, la temporada deseada se conoce como inicios de estío, esto para tener una recolección de data optima siendo fundamental para la investigación.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Gutiérrez et al. (2023) en el artículo “Análisis Crítico del Tratamiento de Aguas Residuales con Lombrifiltros: Parámetros de Operación, Calidad de las Aguas Residuales y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero”, Chile, tuvo como objetivo, realizar una revisión crítica del proceso de depuración de aguas servidas con el fin de eliminar componentes orgánicos, nutrientes y patógenos mediante lombrifiltros. Los principales resultados indican que los sistemas de lombrifiltración deben utilizar densidades (ED) entre 3000-6000 lombrices/m³, afluentes con índices de carga hidráulica (HLR) por debajo de 2,5 m³/m²d, índices de carga orgánica (OLR) no superiores a 0,4 kgCOD/m²d, y filtros materiales (FM) que incluyen astillas de madera para contrarrestar el aumento de NO₃ y concentraciones de TP generados por nitrificación y mineralización. En cuanto a la generación de gases de efecto invernadero (GEI), se requiere más investigación en el área, ya que, mientras que el HLR y OLR pueden afectar el proceso, no se ha aclarado claramente si la actividad de las lombrices puede generar sumideros de carbono o fuentes de GEI definido, concluyendo que HLR inferiores a 2,5 m³ /m²d y OLR entre 0,20 y 0,4 kgCOD/m²d generan condiciones favorables para el desarrollo del consorcio lombriz-microorganismo en la capa activa sin producir colmatación por exceso de materia orgánica.

Lubelihle & Canisius (2022) en su libro “Aplicación de la Vermifiltración para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”, Zimbabue. El propósito principal fue implementar y describir un sistema de lombrifiltración destinado al tratamiento de aguas residuales domésticas en la Universidad Estatal de Lupane (LSU). Se utilizó la lombrifiltración como método de tratamiento de las fosas sépticas de las casas. El diseño incluyó un período de



retención hidráulica de 1 hora y 40 minutos, junto con una tasa de carga hidráulica de 163 litros por metro cuadrado por hora. Como resultado, se obtuvieron que el sistema Tohá diseñado y los biofiltros de control se mostraron eficaces. El análisis estadístico indicó que tanto el lombrifiltro como el filtro de control tuvieron un impacto altamente significativo en la modificación de las propiedades químicas de las aguas residuales tratadas, con un valor de $p < 0.01$. En contraste con las aguas residuales que no han sido tratadas, se encontraron diferencias significativas en todos los niveles de los parámetros químicos evaluados, incluyendo pH, DBO, NO₃, PO₄ y cloruros, en los efluentes líquidos tratados con ambos tipos de filtros. Esto demuestra la efectividad de estos sistemas.

Cabrera et al. (2022) en el artículo “Análisis de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria de Embutidos”. El objetivo central de este estudio fue desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales para una planta de procesamiento de embutidos. Este proceso incluyó la implementación de un interceptor de grasas y aceites, un sistema de flotación por aire y un biofiltro o lombrifiltro. El propósito principal era asegurar que las descargas de la planta cumplieran con los requisitos establecidos en las regulaciones de la ciudad de Quito, específicamente la Resolución N002-SA-2014 que rige las descargas líquidas al sistema de alcantarillado. Durante la fase de diseño, se consideraron condiciones operativas óptimas, como un tiempo de residencia de 5.2 minutos en la trampa de grasas. El análisis del agua residual generado por la planta de procesamiento de embutidos reveló niveles significativamente elevados de grasas y aceites (2159 mg/L), DBO₅ (2314 mg/L), DQO (3056 mg/L) y sólidos suspendidos (3136 mg/L). Estos valores excedieron los límites establecidos por la Resolución N°2-SA-2014 en un 2984.3%, 1261.3%, 772.7% y 3030.5%, respectivamente. En consecuencia, se llegó a la conclusión de que los niveles de contaminantes en el efluente industrial de embutidos superaban ampliamente los límites permitidos según la



normativa de la ciudad de Quito, lo que hizo necesario implementar un método de tratamiento apropiado para satisfacer las normas previamente definidas.

Rajwinder et al. (2021) en el estudio “Application of vermifiltration technique to treat wastewater: An experimental study”- India, tuvo por objetivo la evaluación de la calidad de las aguas residuales recolectados del establo de vacas en el lombrifiltro usando desechos de jardín como medio de relleno con carga hidráulica fija de 1,5 m³/m²/día. El rendimiento del proceso de lombrifiltración. fue examinado investigando los parámetros de calidad tales como pH, BOD (Demanda Biológica de Oxígeno), COD (Químico Oxígeno Demanda) y TSS (Sólidos Suspendidos Totales). El tratamiento eficiencia del proceso de Vermifiltración de DBO, DQO y SST se observó que estaba por encima del 94%, 89% y 85%, respectivamente, concluyéndose que:

- La aplicación de la lombrifiltración ha conducido a un proceso de tratamiento altamente eficiente, permitiendo que las aguas residuales tratadas sean idóneas para su empleo en la irrigación.
- La eficiencia de reducción de DBO, DQO y SST en HLR de 1,5 m³/m² /día a través de esta instalación es más del 85%, que es más que cualquier convencional instalación de tratamiento.

Ramos (2015) en el informe “Lombrifiltros, alternativa ecológica, no convencional, para el Tratamiento de Aguas Residuales en Comunidades Non-Prasa de Puerto Rico”. El propósito fundamental radicaba en establecer el lombrifiltro como una alternativa respetuosa con el medio ambiente y económicamente viable para monitorear la liberación de Sustancias contaminantes presentes en cuerpos de agua naturales, al mismo tiempo que se fomentaba su reutilización. El diseño del lombrifiltro se basó en un análisis minucioso que abordó diversos aspectos, como la cantidad óptima de lombrices por unidad de superficie, la capacidad de



descomposición de materia orgánica por parte de las lombrices y la máxima tasa de riego que el lecho podía soportar sin comprometer el suministro de oxígeno ni poner en riesgo la vida de las lombrices. Se concluye lo siguiente:

- El lombrifiltro representa una alternativa viable para estas comunidades, ya que ha demostrado resultados positivos tanto para el medio ambiente como para la salud humana.
- Al implementar este sistema, también se fomenta la conciencia sobre la importancia de nuestros recursos hídricos, los cuales se vuelven cada vez más escasos y esenciales para el desarrollo de los seres vivos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Saboya (2020) en su estudio “Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas”. Se realizó un estudio con la finalidad de examinar la eficacia de dos variedades de lombrices, *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida*, en la purificación de aguas residuales en el Distrito de Chachapoyas, ubicado en Perú. Para llevar a cabo este propósito, ambas lombrices fueron adaptadas durante un período de 7 días y luego se colocaron en un ensamblaje de lombrifiltro que comprendía dos construcciones de madera compuestas por 4 niveles, conectados a un depósito con flujo constante. Los hallazgos indicaron que la eficacia de la especie *Eisenia foetida* en la remoción de contaminantes de los efluentes domésticos fueron superiores, alcanzando un promedio del 87%, mientras que la especie *Lumbricus terrestris* obtuvo un 85% de eliminación en comparación. Ambos porcentajes estuvieron en conformidad con los estándares establecidos por el DS N° 004-2017-MINAM. Las conclusiones obtenidas son las siguientes:



- La utilización del lombrifiltro con las variedades *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* mostró ser exitosa en la purificación de sustancias físico-químicas y microbianas contenidas en las aguas residuales provenientes de viviendas.
- El estudio reveló que el lombrifiltro fue altamente eficaz en la eliminación de varios parámetros en las aguas residuales. *Eisenia foetida* alcanzó una eficiencia del 92%, mientras que *Lumbricus terrestris* logró un 91% en la eliminación de la demanda biológica de oxígeno (DBO5). Para la DQO, *Eisenia foetida* obtuvo un 86% de eficiencia, y *Lumbricus terrestris* un 84%. En términos de nitrógeno total, se eliminó el 78% con *Eisenia foetida* y el 77% con *Lumbricus terrestris*. La turbidez se redujo en un 84.4% con *Eisenia foetida* y un 83% con *Lumbricus terrestris*. En cuanto a los coliformes termotolerantes, ambos alcanzaron eficiencias del 84% y 80%, respectivamente. Además, ambas especies mantuvieron un pH neutro de 6.7 y 6.68, con una eficiencia del 93% en ambos casos. En resumen, el lombrifiltro demostró ser una solución efectiva en la eliminación de contaminantes en las aguas residuales evaluadas.

Gallegos (2019) en su tesis “Evaluación del Lombrifiltro como Tratamiento Primario del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Proyecto Manchay Verde”. El objetivo central de este estudio fue analizar los avances alcanzados en la eliminación de las aguas servidas provenientes de viviendas en el Instituto Juan Pablo II, centrándose principalmente en el empleo del lombrifiltro para eliminar sustancias contaminantes. La metodología de investigación adoptada se considera preexperimental, ya que involucró la evaluación de un conjunto de individuos previamente y posteriormente de llevar a cabo el procedimiento. Este trabajo se caracteriza como investigación aplicada, ya que su enfoque se centra en la aplicación práctica de conocimientos, y su nivel de investigación se categoriza como exploratorio debido a la naturaleza del tema de estudio y los objetivos establecidos. Como resultado, se llegaron a las siguientes conclusiones:



- El análisis demostró de manera clara y convincente que el uso del lombrifiltro representa una solución sumamente eficaz y una opción óptima para el tratamiento inicial de las aguas residuales en el Instituto Juan Pablo II.
- También se descubrió un valor adicional del lombrifiltro, que se refleja en la recolección periódica de vermicompost, un abono natural que puede ser aplicado en las zonas de cultivo del proyecto Manchay Verde.

Maza (2017) en su tesis: “Lombrifiltro para mejorar la Calidad de Las Aguas Residuales”, de la Universidad Cesar Vallejo, Lima. El objetivo de esta investigación consistió en implementar una tecnología ecológica con el fin de mejorar y restaurar las propiedades de la calidad del agua residual liberada por la compañía Ecomphisa. El enfoque de investigación adoptado fue de tipo longitudinal, no experimental, y se realizó la recopilación de muestras cada tres días a lo largo del proceso de tratamiento. Se utilizó una muestra de 100 litros de agua residual procedente de los vertidos de la empresa Ecomphisa, la cual se almacenó en un recipiente de 100 litros de capacidad. Se realizó un muestreo básico para evaluar los aspectos físicoquímicos de la calidad del agua, que comprendieron la turbidez, la temperatura, los SST, el pH, la DQO y la DBO. Concluyéndose que:

- El lombrifiltro demostró una gran eficacia en el crecimiento de los indicadores de calidad del agua residual. En términos de reducción de la carga contaminante, logró una disminución del 94.19% en la turbidez, un 87.21% en la DBO y un 85.78% en la DQO.
- Además, el pH promedio registrado fue de 7.61, lo cual se encuentra dentro de los parámetros aceptables para el vertido de efluentes.

Paico (2017) en la pesquisa: “¿La aplicación del Sistema Tohá, disminuirá los agentes contaminantes de las aguas residuales de la universidad Cesar Vallejo en el año 2015?”; El propósito principal consistió en la reducción de los elementos contaminantes presentes en las



aguas polucionadas del campus Chiclayo de la Universidad César Vallejo mediante la implementación del sistema Tohá. La investigación requirió obtener una muestra de 50 litros de agua en cada fase del tratamiento, y esta se sustituyó cada 4 horas, resultando en un volumen total de 200 litros empleados diariamente en el proceso de tratamiento. Al crear el diseño del lombrifiltro, se tomó en cuenta un volumen de 50 litros de agua residual, en concordancia con las previsiones establecidas en este estudio. Como conclusiones se tiene que:

- Se ha generado resultados positivos, logrando reducciones notables en la DBO5 en un 25.10%, DQO en un 22.68%, los SST en un 44.74%, además de disminuir el pH en 0.9 unidades y la temperatura en 4.6 unidades.
- En plantas de tratamiento de aguas residuales de tamaño pequeño y mediano, el Sistema Tohá ha demostrado ser eficiente y funcional en su funcionamiento.

2.1.3. Antecedentes Locales

Arana (2022) en su estudio “Influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de las aguas residuales domésticas para zonas rurales de la provincia de Cusco, departamento Cusco”. Tuvo por objetivo de investigación consistía en analizar cómo el lombrifiltro influía en la reducción de muestras fisicoquímicas en las aguas toxicas de uso doméstico en las áreas campesinas de la provincia de Cusco. Se utilizó un diseño experimental que involucró dos variables, el caudal y la temperatura, y se aplicaron cuatro tratamientos diferentes. Los resultados revelaron que a un caudal de 50 mL/min, el lombrifiltro logró una mayor reducción de las características físicoquímicas en comparación con un caudal de 150 mL/min. Además, la variación de temperatura entre el día y la noche no influyó de manera significativa en la eliminación de estos parámetros. Específicamente, cuando el caudal se mantuvo en 50 mL/min y la temperatura diurna fue de 21°C, se obtuvo el porcentaje más alto de reducción de DBO5 y DQO. Por lo tanto, se llegó a la conclusión de que:



- El caudal más influyente en la eliminación de contaminantes fue de 50 mL/min.
- La variación de temperatura entre el día y la noche no tuvo un impacto significativo en la remoción de contaminantes.
- En los análisis de laboratorio, el lombrifiltro demostró una eliminación significativa.

Riveros (2021) en su estudio “Eficiencia del sistema TOHÁ y Canal de Fitodepuración en la reducción de la DBO5, DQO y SST de aguas residuales provenientes del Camal Municipal de la Provincia de Calca – Cusco 2021”. El objetivo del estudio consistió en analizar la efectividad de la integración del Sistema Tohá y un Canal de Fitodepuración en la disminución de DBO5, la DQO y los SST en las aguas viciadas provenientes del Camal Municipal. La combinación abarcó un canal de Fitodepuración con un sustrato compuesto por un 60% de turba orgánica, un 30% de arena y un 10% de grava. Además, se plantaron 50 ejemplares de totora (*Schoenoplectus californicus*). Junto a este canal, se implementó el sistema TOHÁ, que constaba de 4 lechos filtrantes que incluían lombrices de tierra (*Eisenia Fóetida*), piedra de río, grava y antracita, grava. Se llevaron a cabo un total de 4 repeticiones y se realizaron evaluaciones de los parámetros de DQO, DBO5 y SST. Los resultados arrojaron lo siguiente:

- La efectividad del Sistema Tohá en la disminución fue superior al 77%, 79% y 86% respectivamente. Cuando se unió al Canal de Fitodepuración, se observaron incrementos notables en los porcentajes de reducción, alcanzando un 94% en DBO5, un 93% en DQO y un 91% en SST.
- La combinación de estos dos sistemas resultó en una mejora significativa en la reducción de muestras físico, químicas, logrando porcentajes aún más elevados de eliminación de estos contaminantes.

Umasi (2020) en la investigación “Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco”.



El propósito central de esta investigación consistió en examinar la eficiencia de un prototipo de biofiltro con 3 estratos en el proceso de purificación de las aguas servidas provenientes del área residencial. El proceso incluyó la aclimatación de las lombrices durante siete días, seguida de su transferencia al sistema de lombrifiltro. Durante el tratamiento, se aplicó un período de retención hidráulica de 8 horas y un caudal de flujo de 0.77 litros por minuto. Se realizaron evaluaciones de los valores iniciales de los parámetros que incluyeron la DBO5, la DQO y los SST. Hallándose que la *Eisenia foetida* logró una reducción del 88% en DBO5, un 86% en DQO, un 95% en los SST y una eliminación del 99% de *Escherichia coli*.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aguas residuales industriales

Se refieren a las que se generan como consecuencia de la realización de un proceso de producción, abarcando las originadas en sectores como la minería, la agricultura, la energía y la agroindustria, entre otros (OEFA, 2014)

En cada sector industrial, se emplea agua de suministro, la cual, en gran medida, se convierte posteriormente en aguas residuales. Estas aguas residuales pueden clasificarse en diversas categorías, como aguas de limpieza, de proceso, que se asemejan a las domésticas, aguas de refrigeración y calefacción. Todas y cada una de las categorías de aguas servidas citadas va a incorporar una contaminación diferente. De manera general, se afirma que las aguas residuales se distinguen por su diversidad y por la fluctuación en sus propiedades. (Berzunza Paredes, Vivas Peres, & Rios Medina). Conforme a lo indicado por Lazcano Carreño en 2016, las diversas empresas tienen la responsabilidad de someter sus efluentes a un proceso de tratamiento antes de liberarlos en los sistemas de alcantarillado, siguiendo las regulaciones establecidas para descargas industriales. Estas regulaciones se centran principalmente en aspectos como la CO, la presencia de aceites y grasas, la temperatura, el nivel de pH, y la existencia de sustancias persistentes o ajenas al entorno (xenobióticas).



2.2.2.2. Aguas residuales domesticas

Se refieren a las aguas residuales que provienen de hogares y negocios, y que incluyen residuos biológicos y otros desechos generados por la actividad humana. Estas aguas deben ser gestionadas de manera apropiada y eliminadas adecuadamente (OEFA, 2014).

Las personas expulsan diariamente de cien a quinientos gramos de heces y de uno a tres litros de orina, lo que representa a 5 días de DBO entre veinte y 45 gramos al día. Las aguas residuales de origen doméstico están conformadas en un 99.9% por agua, mientras que apenas representan un 0.1% por residuos sólidos, los cuales pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos. Esta pequeña fracción de materia sólida es la responsable de los problemas relacionados con su procesamiento y eliminación. (Lazcano, 2016).

2.2.2.3. Aguas residuales municipales

Aluden a las aguas que derivan de usos domésticos y pueden estar mezcladas con aguas pluviales o, en algunos casos, con aguas industriales que han pasado por un proceso de tratamiento previo. Esta combinación se autoriza para su liberación en Sistemas de alcantarillado de naturaleza combinada (OEFA, 2014). Están compuestas por materia orgánica en diferentes estados, incluyendo partículas en suspensión, coloides y sustancias disueltas. La cantidad de contaminantes presentes en estas aguas puede calcularse en relación con la aportación por persona. Los valores de DBO, la cantidad de sólidos y el consumo de agua por persona que generalmente se mencionan en la literatura científica pueden diferir significativamente entre países, regiones y con el tiempo en un mismo lugar. Estas variaciones se deben a factores como los patrones de alimentación, las prácticas culturales y las condiciones de saneamiento e higiene de la población en cuestión. (Menendez & Perez, 2007)

Tabla 2

Características promedio de un residual municipal



Propiedad	Máximo	Promedio	Mínimo
pH	7.5	7.2	6.8
Solidos totales(mgL ⁻¹)	640	453	322
Solidos totales volátiles (mgL ⁻¹)	503	340	225
Solidos suspendidos (mgL ⁻¹)	258	145	83
Solidos suspendidos volátiles (mgL ⁻¹)	208	120	62
DQO (mgL ⁻¹)	436	288	159
DBO (mgL ⁻¹)	276	158	75
Cloruros (mgL ⁻¹)	45	35	25

Nota. Obtenido de Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales, de Menendez y Perez, 2007.

2.2.2.4. Eisenia foetida

La lombriz es un anélido alargado, segmentado, simetría bilateral de color rojo oscuro. Y su adaptación de estas lombrices se debe a factores como la humedad, pH, temperatura. En nuestra investigación se realizó en el distrito de San Pablo donde las condiciones climáticas eran favorables para la adaptación de las lombrices y así cumplir con su rol primordial de degradar la materia orgánica y así poder descontaminar las aguas residuales.

2.2.3. Características de las aguas residuales

En concordancia con Marin & Osés (2013), el aspecto predominantemente turbio es una característica distintiva de las aguas residuales, de color gris en su mayoría, y poseen un olor que no es especialmente desagradable. Al examinarlas, se pueden observar sólidos flotantes de diversos tamaños, como materia fecal, papel, residuos de cocina, entre otros. Cuando estos sólidos son de menor tamaño, tienden a desintegrarse.



La presencia de partículas sólidas extremadamente pequeñas en suspensión coloidal es responsable de la turbidez del agua.

2.2.3.1. Características Físicas

2.2.3.1.1. Temperatura

Tiene habitualmente una temperatura más alta en comparación con el agua potable, a causa del empleo de agua caliente en labores de limpieza y quehaceres domésticos. Su temperatura varía entre 10 °C y 21 °C, con un promedio aproximado de alrededor de 15 °C. La elevación de la temperatura tiene un impacto negativo en los cuerpos de agua receptores, con el potencial de alterar la vida vegetal y animal en ellos. Esto puede dar lugar al crecimiento no deseado de organismos como algas y hongos. Además, el aumento de la temperatura puede ser perjudicial para la concentración de oxígeno disuelto en el agua, ya que la capacidad del agua para retener oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura (Espigares, 2015).

Las bacterias funcionan de manera ideal en un intervalo de temperaturas que va desde los 25°C hasta los 35°C. No obstante, a 50°C, tanto la digestión aerobia como la nitrificación cesan. Cuando la temperatura ronda los 15°C, las bacterias que generan metano detienen su actividad, y las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de operar cuando la T° se acerca a los 5°C. Incluso las bacterias quimio heterótrofas, que descomponen la materia carbonosa, pierden eficacia a temperaturas cercanas a los 2°C (Metzalf, 1995).

2.2.3.1.2. Humedad

Es una característica que detalla la cantidad de vapor de agua presente en un gas, y esta propiedad se puede manifestar mediante diversas medidas. Algunas de estas medidas pueden ser directamente cuantificadas, mientras que otras pueden calcularse en función de magnitudes observadas. La elección de la medida de humedad adecuada depende de la aplicación específica. En meteorología, por ejemplo, se utiliza la temperatura de bulbo húmedo para expresar la humedad, mientras que en un cilindro de gas se emplea la temperatura de punto de



rocío para indicar el contenido de humedad. En otros contextos, como en cámaras de humedad o en salas limpias, se utiliza la humedad relativa (Martines, 2007).

La humedad es un factor crucial en la planificación y diseño, ya que, en combinación con la temperatura y la circulación del aire, puede tener un impacto directo en las condiciones de comodidad y, en particular, en la percepción de la temperatura. Esto significa que la humedad es fundamental tanto en la consideración inicial como en la implementación de medidas correctivas (Casas, 2017).

2.2.3.1.2. Caudal

La evaluación de la cantidad de aguas residuales que deben ser evacuadas de una comunidad desempeña un papel fundamental en la planificación de sistemas de recolección, bombeo y tratamiento. Es esencial contar con información exacta tanto sobre las cantidades de aguas residuales presentes en la actualidad como sobre las proyecciones para la población que se espera en el futuro. (Orellana, 2005)

Para llevar a cabo la eliminación de aguas residuales y aguas pluviales, se utilizan 3 tipos diferentes de sistemas de alcantarillado: sistemas de alcantarillado sanitario, sistemas de alcantarillado pluvial y sistemas de alcantarillado unitario. En situaciones donde se gestionan las aguas residuales y pluviales por separado (mediante sistemas de alcantarillado sanitario para aguas residuales y sistemas de alcantarillado pluvial para aguas pluviales), los flujos de aguas residuales están compuestos por tres elementos: (1) aguas residuales domésticas, (2) aguas residuales industriales y (3) infiltración y contribuciones no controladas. En ambos escenarios, la distribución porcentual de cada componente varía según las características específicas de la zona y la estación del año.

En áreas que cuentan con sistemas de alcantarillado, generalmente se calculan los flujos de agua mediante el uso de registros históricos o información recopilada a través de mediciones



directas. En el caso de redes de alcantarillado recién construidas, los caudales correspondientes se determinan mediante el análisis de datos demográficos, las proyecciones de suministro de agua y estimaciones basadas en los caudales de aguas vertidas per cápita observados en comunidades similares. (Metzalf, 1995)

2.2.3.1.1.3. Turbidez

La disminución en la producción primaria en los cuerpos de agua receptores se debe a la existencia de partículas suspendidas en los efluentes líquidos, como materia orgánica, sedimentos y microorganismos. Asimismo, dificulta la entrada de luz, lo que resulta en una reducción de la producción de materia orgánica a través del proceso de fotosíntesis. (Espigares, 2015).

Se emplea para la valoración de la excelencia de las aguas liberadas o de las aguas naturales en relación con la existencia de sustancias coloidales y partículas en suspensión en ellas. (Marin & Osés, 2013). La turbidez se evalúa comparando la dispersión de luz en una muestra de agua con la de una suspensión de referencia bajo condiciones iguales. La materia coloidal en la muestra dispersa o absorbe la luz, lo que dificulta su paso por el agua. Sin embargo, no se puede afirmar directamente que haya una correlación entre la turbidez y los sólidos en suspensión en aguas sin tratar. No obstante, esta relación es generalmente válida para los efluentes de procesos de fangos activados después de la decantación secundaria. (Metzalf, 1995).

2.2.3.1.1.4. Color

Usualmente presenta un tono gris o pardo, aunque bajo influencia de procesos biológicos anóxicos, su color puede transformarse en negro (Espigares, 2015). Puede indicar la duración en la que ha estado presente el agua residual, y esto se evalúa de manera cualitativa mediante la observación de su tonalidad y aroma (Marin & Osés, 2013).



El tono de las aguas residuales proviene principalmente de las partículas que contiene. Se distingue entre el color que se percibe debido a la presencia de sólidos en suspensión, denominado color aparente, y el color generado por las sustancias coloidales y disueltas, conocido como color verdadero. El color verdadero puede medirse en unidades de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6), en donde una unidad de color corresponde al originado por 1 mg de platino (Lazcano, 2016).

2.2.3.1.1.5. Sólidos

Se refiere a la materia sólida que se encuentra en el agua, ya sea en forma de partículas disueltas o suspendidas. Estos sólidos pueden estar compuestos por sustancias orgánicas, arena, arcilla, coloides, entre otros (Marin & Osés, 2013)

Según Espigares (2015) pueden categorizarse de la siguiente manera:

- **Sólidos Totales:** son los residuos que permanecen después de que la muestra se ha evaporado y secado a una temperatura de 130 °C durante un período de 60 minutos.
- **Sólidos Fijos:** hacen referencia a los restos que permanecen después de que la muestra se evapora y se somete a una carbonización a 600 °C durante un periodo específico.
- **Sólidos Volátiles:** corresponden a la diferencia entre los sólidos totales y fijos.

2.2.3.2. Características químicas

2.2.3.2.1. pH

De acuerdo con el estudio de Quispe et al. (2020), se señala que el pH, que indica el nivel de acidez o alcalinidad (basicidad) de las sustancias, se encuentra en un rango que va desde cero hasta catorce. Tanto las aguas con pH ácido como las que tienen un pH alcalino pueden representar riesgos para la salud. El pH se utiliza comúnmente como indicador para determinar si el agua es adecuada para el consumo. Si el pH es ácido, se neutraliza con una



sustancia alcalina, y si es alcalino, se ajusta utilizando una sustancia ácida. A continuación, se proporciona una tabla con valores de pH indicativos.

Figura 2

Escala de acidez y basicidad del pH de una sustancia



Nota. Obtenido de concepto, Editorial Etecé, 2021

De acuerdo con la información proporcionada por Trapote (2020), en la situación de aguas contaminadas urbanas que no contengan descargas industriales, su pH generalmente se encuentra en un rango entre 6.5 y 8.5. Estos valores no suelen generar complicaciones en los pasos de tratamiento de líquidos viciados. Sin embargo, cuando las aguas contienen vertidos industriales, es importante mantener un control más estricto del pH. Por esta razón, en áreas donde se reciban vertidos industriales en el sistema de saneamiento, se recomienda instalar un medidor de pH en la entrada de la planta de tratamiento, para poder realizar ajustes si fuera necesario.

2.2.3.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

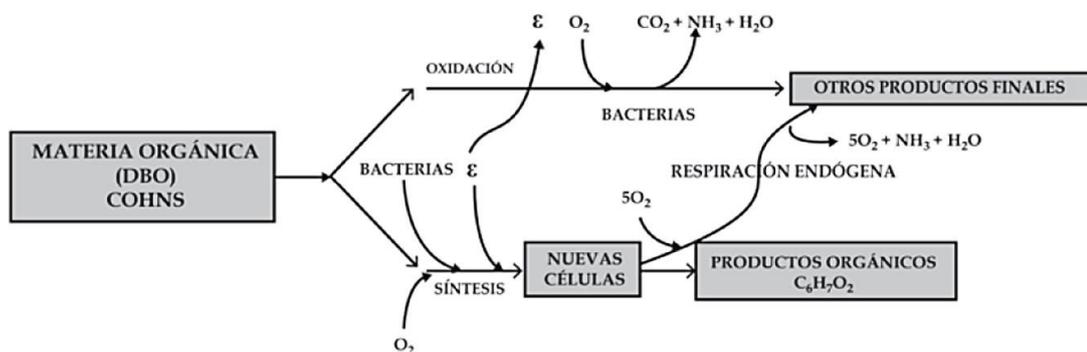
Conocida también como DBO o DBO5, representa la cuantificación del oxígeno necesitado por los microorganismos para descomponer la sustancia orgánica en el agua. Esta valoración se efectúa durante un lapso de 5 días, Manteniendo la temperatura constante a 20 °C. (Espigares, 2015).

Cuando se descargan aguas con una elevada DBO en un cuerpo de agua, los microorganismos como las bacterias, encuentran una abundante fuente de alimento, lo que les permite reproducirse rápidamente. A medida que la población bacteriana crece, consume el oxígeno presente en el agua. Cuando la DBO en el efluente es extremadamente alta o el cuerpo de agua receptor no puede diluirla lo adecuado para llegar a niveles seguros, la concentración de oxígeno disuelto se reduce drásticamente, lo que provoca la muerte de peces y otros organismos acuáticos debido a la falta de oxígeno. Valores por encima de 30 (mg O₂/l) pueden indicar contaminación en cuerpos de agua dulce, aunque las aguas residuales pueden tener una DBO de miles de mg O₂ por litro (Marin & Osés, 2013).

En la figura se aprecia el acoplamiento de las reacciones e óxido-reducción que ocurren en la biodegradación de la materia orgánica por los microorganismos:

Figura 3

Estabilización de la materia orgánica (DBO) con formación de células nuevas y productos finales



Nota. Obtenido de Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales, por Lazcano Carreño, 2016.

2.2.3.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

La valoración implica la cuantificación de la materia orgánica presente en el agua utilizando oxígeno proporcionado por una sustancia química oxidante, como el permanganato



potásico o el dicromato potásico, en lugar de depender del oxígeno atmosférico para llevar a cabo la oxidación (Espigares, 2015).

Según Menendez et al. (2007) el método más eficaz para calcular la DQO es aquel que proporciona resultados similares. Este proceso implica utilizar una solución que contiene dicromato de potasio con una concentración molar de 0.25 y un 50% de ácido sulfúrico. Al agregar sulfato de plata como catalizador en tales circunstancias, la mayoría de las sustancias experimentan una oxidación que oscila entre el 90% y el 100%. El límite permitido para vertidos en sistemas de alcantarillado no debe ser superior a 75 mg/l. (Marin & Osés, 2013).

La relación entre la DQO y la DBO es:

$$DQO/DBO \geq 5 \text{ (No biodegradable)}$$

$$DQO/DBO \leq 1,7 \text{ (Muy biodegradable)}$$

(Lozano, 2012)

2.2.3.2.4. Carbono orgánico total (COT)

Hace referencia a la cantidad de carbono orgánico existente en una muestra específica; se calcula a través de la oxidación de la materia orgánica utilizando calor, oxígeno y agentes oxidantes químicos, seguido de la medición del CO₂ liberado utilizando un analizador de infrarrojos (Lazcano, 2016).

La determinación implica colocar una cantidad precisa de la muestra en un horno a temperaturas elevadas. Durante este procedimiento, la materia orgánica de carbono se somete a una oxidación que la convierte en dióxido de carbono (CO₂) en la presencia de un catalizador, y luego se cuantifica utilizando un dispositivo de análisis de infrarrojos. Sin embargo, dado que no todos los componentes orgánicos se oxidan por completo, los valores obtenidos para el



Carbono Orgánico Total (COT) proporcionan una estimación del contenido de carbono orgánico que tiende a ser menor que la cantidad real presente (Espigares, 2015).

2.2.3.2.5. Metales pesados

Con frecuencia, en el transcurso de diversas actividades comerciales e industriales, se incorporan metales pesados al agua residual, y es posible que sea indispensable eliminarlos si se tiene la intención de reciclar esa agua residual (Metzalf, 1995)

En el agua residual, es posible encontrar ciertos elementos que pueden conferirle propiedades tóxicas.

Estos elementos, como el selenio, plomo, cobre, arsénico cromo, plata, boro, antimonio, flúor y bario, pueden tener efectos adversos en la salud y el medio ambiente. Cada uno de ellos está asociado con diferentes problemas, como la intoxicación por plomo, la argiria, la carcinogenicidad, impactos en el corazón y los nervios, la fluorosis y riesgos de cáncer y caries (Espigares, 2015).

Los procedimientos utilizados para medir las concentraciones de estas sustancias difieren según la presencia potencial de sustancias que puedan interferir. Además, es posible detectar cantidades muy pequeñas de muchos de estos metales utilizando técnicas instrumentales como la polarografía y la espectroscopia de absorción atómica (Metzalf, 1995).

2.2.3.3. Características biológicas

2.2.3.3.1. Bacterias

Los microorganismos desempeñan un papel esencial en descomponer y estabilizar la materia orgánica presente en aguas con alta concentración de contaminantes. Su óptimo desarrollo se produce en un rango de pH que va desde 6.5 hasta 7.5 (Lozano, 2012). Estas bacterias pueden tener origen fecal o estar implicadas en procesos de degradación biológica,

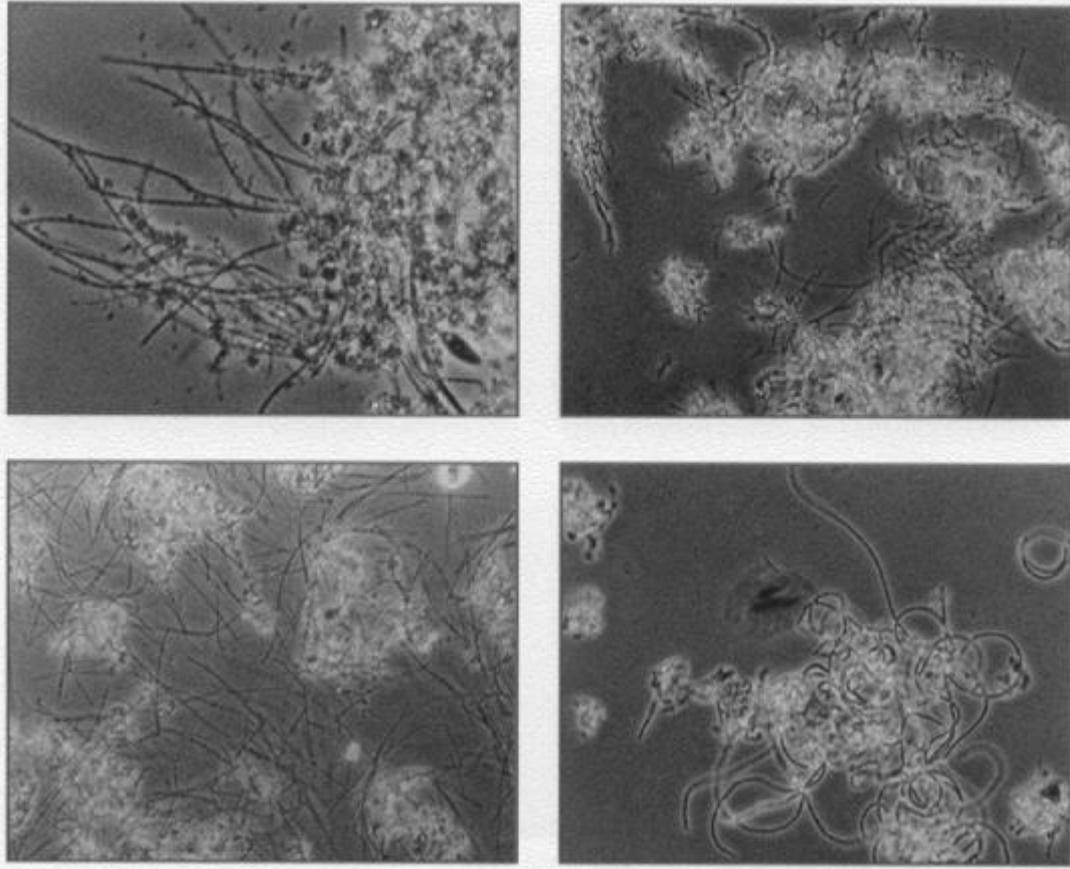


ya sea en entornos naturales o en instalaciones de tratamiento de aguas. Su actividad resulta crucial para el procesamiento eficiente de las aguas residuales (Espigares, 2015).

En el proceso de fangos activados las bacterias constituyen normalmente el 95% de la biomasa. Las bacterias aisladas tienen un tamaño muy pequeño (0.5 – 1.0 μm) por lo que sería imposible separarlas del agua tratada. Sin embargo, bajo condiciones adecuadas, las bacterias en el proceso de fangos activados crecen formando agregados que alcanzan tamaños entre 0.05 y 1.0 mm. Las bacterias responsables de la formación de los bio- flóculos son las denominadas formadoras de flóculos. Hay otro tipo de bacterias problemáticas que provocan la aparición de grandes cantidades de espumas en el reactor biológico y en el decantador. Aproximadamente son 20 los organismos filamentosos diferentes que aparecen con frecuencia en los procesos de fangos activados (Ferrer et al. 2018).

Figura 4

Organismos filamentosos observados en plantas de tratamiento de aguas residuales



Nota. Obtenido de Tratamientos biológicos de aguas residuales. 3ª edición, Ferrer Polo, Seco Torrecillas, & Robles Martínez, 2018

2.2.3.3.2. Algas

Son organismos fotosintéticos muchos de ellos unicelulares, y que cuando son pluricelulares no forman verdaderos tejidos. La proliferación de estos microorganismos es promovida por la existencia de diversas variedades de nitrógeno y fósforo, junto con carbono y trazas de elementos como cobalto y hierro, en las aguas residuales. Esto conduce a la proliferación de procesos de eutrofización. Esta situación se debe principalmente a la actividad de algas de géneros (Espigares, 2015).

Un desafío fundamental en la ingeniería sanitaria es determinar el método de tratamiento adecuado para aguas residuales de distintos orígenes, con el objetivo de evitar el estímulo al crecimiento de algas y otras plantas acuáticas en los efluentes tratados. Para abordar este desafío, es esencial considerar la eliminación de carbono, diversas formas de nitrógeno y



fósforo, así como elementos presentes en concentraciones mínimas en el agua. La gestión efectiva de la calidad del agua implica encontrar soluciones específicas para cada tipo de agua residual (Metzalf, 1995).

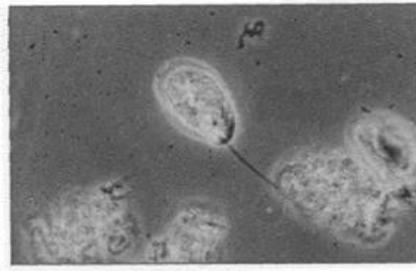
2.2.3.3.3. Protozoos

Los microorganismos más comunes en efluentes líquidos, como flagelados, amebas y ciliados, tienen una presencia significativa ya sea en forma libre o adheridos a superficies. Estos microorganismos desempeñan un papel crítico en sistemas como los filtros percoladores y los fangos activados. El propósito principal de estos microorganismos es deteriorar las bacterias que están suspendidas en el agua, que de otro modo no se sedimentarían por sí solas, contribuyendo así a evitar la generación de desechos con una alta opacidad del agua (Espigares, 2015). Concretamente, los ciliados desempeñan un papel importante al consumir bacterias y materia orgánica, lo que conlleva a una mejora en la calidad microbiológica de los efluentes tratados en las PTAR (Lozano, 2012).

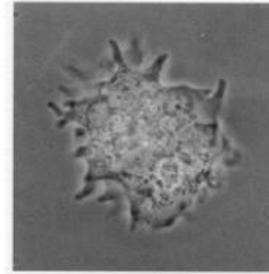
Los protozoos representan alrededor del 5% de la biomasa presente en los fangos activados, y se han identificado alrededor de 200 especies. Estos organismos desempeñan un papel esencial en los fangos activados al contribuir, por un lado, a la eliminación de coliformes y patógenos, así como a la clarificación del efluente. Además, participan en la formación de floculación de la biomasa, aunque su influencia es menos significativa en comparación con las bacterias que forman flóculos. En sistemas de cultivo fijo, donde se encuentran en mayor proporción, los protozoos también desempeñan un papel importante. Su contribución al proceso es similar a la de los cultivos en suspensión (Ferrer et al., 2018).

Figura 5

Protozoos observados en fangos activados. a) Flagelados) amebas) ciliados nadadores libres y d) ciliados fijos.



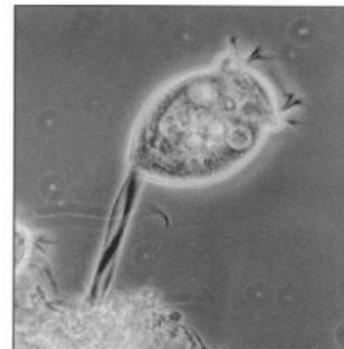
(a)



(b)



(c)



(d)

Nota. Obtenido de Tratamientos biológicos de aguas residuales. 3ª edición, Ferrer Polo, Seco Torrecillas, & Robles Martínez, 2018

2.2.3.3.4. Hongos

Los hongos son organismos protistas eucariotas que requieren oxígeno, tienen múltiples células y no realizan fotosíntesis. Estos organismos son quimioheterótrofos, lo que significa que obtienen su nutrición al descomponer materia orgánica en descomposición. Trabajando en conjunto con las bacterias, los hongos tienen un rol fundamental en el transcurso de descomposición del carbono en la biosfera (Metzalf, 1995).

La mayoría de ellos requieren oxígeno para sobrevivir, son capaces de resistir niveles de acidez moderadamente bajos y tienen necesidades reducidas de nitrógeno. Estas características los convierten en actores fundamentales en la purificación de aguas residuales industriales (Espigares, 2015).



Aunque tienen la capacidad de aprovechar la materia orgánica que está en solución, rara vez compiten con las bacterias que desempeñan un papel crucial en los sistemas de cultivo en suspensión. Sin embargo, en condiciones específicas, como bajos niveles de pH o deficiencia de nitrógeno, pueden multiplicarse, lo que resulta en la formación de lodos con propiedades deficientes para sedimentarse. Son más comunes en los sistemas de cultivo fijo, donde representan una parte significativa de la biomasa (Ferrer et al., 2018).

2.2.3.3.5. *Coliformes termotolerantes*

Conocidos por sus siglas CTE son un grupo de microorganismos que pueden resistir temperaturas de hasta 45 °C, y este grupo es bastante limitado en número. Son empleados como marcadores de calidad debido a su origen específico, siendo principalmente constituidos por *E. coli*, aunque en ocasiones se pueden identificar especies menos comunes como *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* dentro de los coliformes termotolerantes. Estas últimas especies forman parte de este grupo, pero normalmente provienen de fuentes ambientales como cuerpos de agua, vegetación y suelos, y solo ocasionalmente se encuentran en el microbiota normal. Por esta razón, algunos expertos proponen reemplazar el término "coliformes fecales", que se utiliza comúnmente, por "coliformes termotolerantes". Los coliformes termotolerantes son parte del grupo de coliformes totales, pero se distinguen de estos últimos debido a que son positivos en la prueba de indol, tienen un amplio rango de temperatura óptima para su crecimiento que abarca hasta los 45 °C, y constituyen mejores señales de la higiene en alimentos y agua. La detección de estos microorganismos sugiere la existencia de contaminación procedente de seres humanos o animales con materia fecal, ya que los coliformes termotolerantes se hallan en las heces, formando parte de la microbiota intestinal. La especie más representativa en este grupo es *E. coli*, que puede constituir entre el 90% y el 100% de estos microorganismos (Larrea et al., 2013).



2.2.4. Sistema tohá

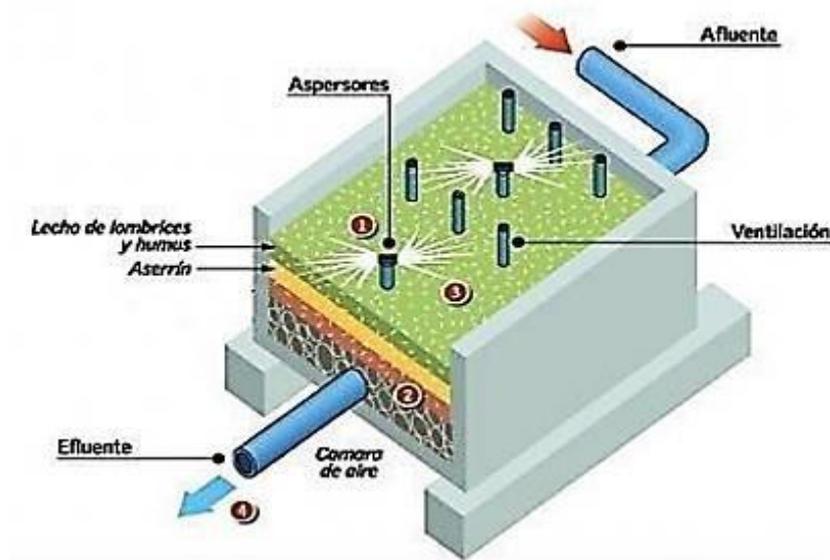
El sistema tohá es un filtro percolador, lo que significa que se desarrolla una microbiología en los lechos filtrantes. En términos generales, dentro de los sistemas de tratamiento de aguas servidas tenemos tres módulos: 1) pretratamiento, 2) secundario o biológico y 3) tratamiento avanzado.

En 1947, el investigador José Tohá, perteneciente a la Universidad de Chile, realizó el descubrimiento. A partir de ese momento, el sistema Tohá ha sido objeto de detalladas investigaciones en la estación de Cexas, ubicada en Melipilla, donde se encuentra la primera implementación replicada del tratamiento de aguas residuales.

El pretratamiento es la separación de sólidos con filtros parabólicos o rotatorios que separan lo grueso. En el tratamiento biológico tenemos un abanico de alternativas: En nuestro sistema están las lombrices, otros trabajan con lodo activado, con plantas etc. Finalmente, en el tratamiento avanzado se elimina la parte microbiológica de las fecas etc. usando cloro, luz UV u ozono, todas alternativas desinfectantes. Compartimos muchos puntos con tecnologías similares en el primer y último paso, nuestra diferencia está en el paso medio donde usamos las lombrices dentro de un filtro (Sieber, 2021).

Figura 6

Operatividad del sistema tohá



Nota. Obtenido de Sistema tohá: Herramienta sustentable y eficiente para el tratamiento de aguas residuales, simfruit, 2020

- Parámetros de diseño.

Se determinan mediante un proceso que implica realizar un balance de masas. Este balance tiene en cuenta varios factores, como la densidad de lombrices que puede albergar en una unidad de área específica, la capacidad de procesamiento de materia orgánica por parte de estas lombrices y la máxima tasa de irrigación que el lecho puede tolerar sin que las lombrices perezcan por la insuficiencia de oxígeno. Esta tasa máxima de irrigación se fija en 1 metro cúbico por metro cuadrado por día. Estos elementos se consideran en el diseño del sistema de lombricultura.

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

Una vez que se conoce el caudal de diseño y se establece una tasa de riego, es posible calcular el área necesaria para llevar a cabo el tratamiento.

- Eficiencia del Tratamiento.



Los datos recopilados como el Sistema tohá, indican que se logra una eliminación de contaminantes en los siguientes niveles: (Salazar Miranda , 2005)

- La DBO, en un 95%.
- Los Sólidos Totales, en un 95%.
- Los Sólidos Suspendidos Volátiles, en un 93%.
- Los Aceites y Grasas, en un 80%.
- El Nitrógeno Total, entre el 60% y el 80%
- El Fósforo Total, entre el 60% y el 70%.
- Los coliformes fecales, en un 99%.

2.2.4.1. Características del Sistema tohá

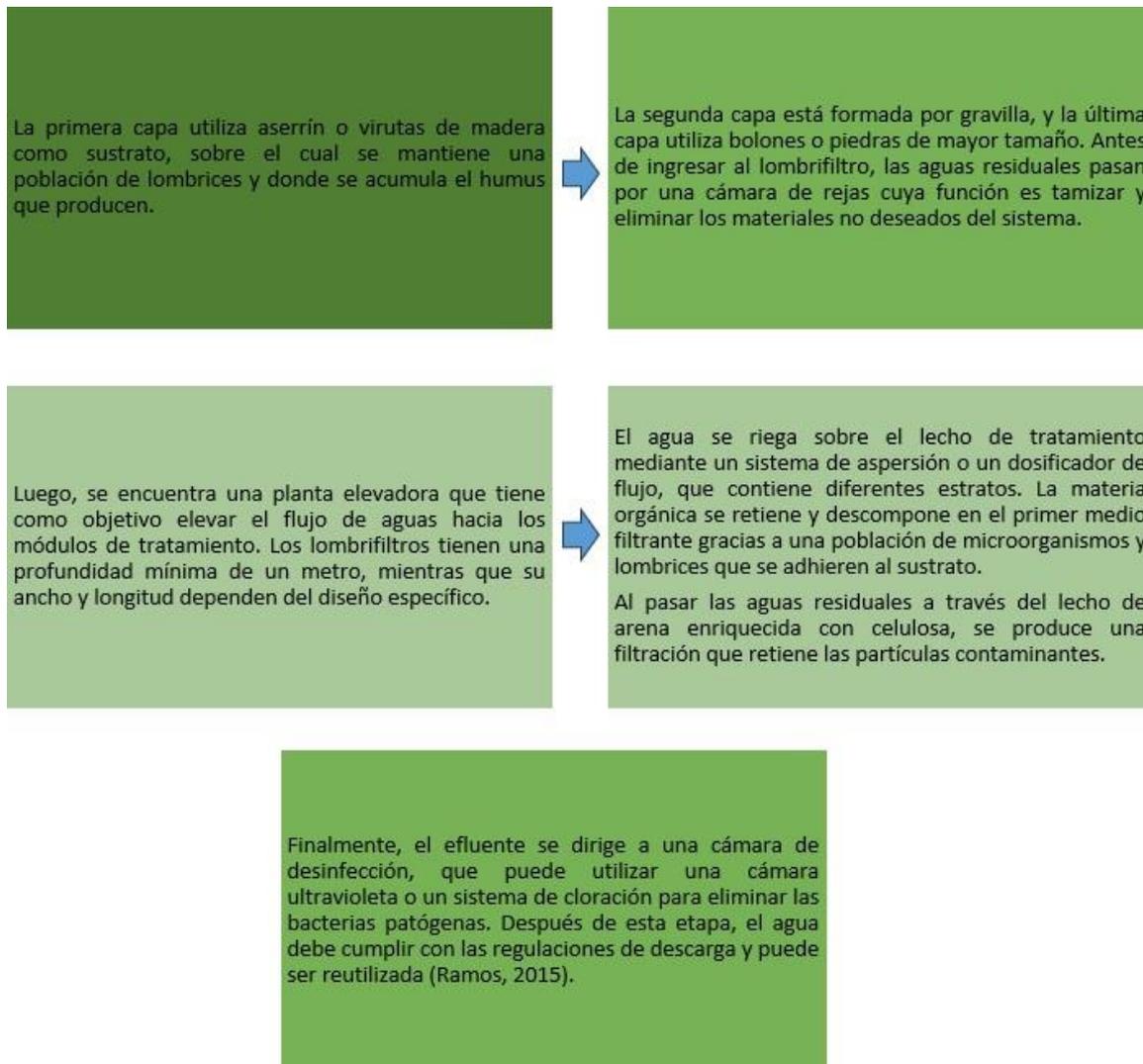
Este sistema presenta algunas características importantes. Una de ellas es su capacidad de absorción, que se debe a los movimientos giratorios de las lombrices. Estos movimientos evitan la generación de olores desagradables y, por lo tanto, Evitan la reproducción de vectores como moscas y otros organismos. Así mismo, es destacable que este sistema tiene la ventaja de ser económico tanto en términos de inversión inicial como de operación. Para implementarlo, solo se requieren algunas estructuras básicas, como excavaciones, estanques, muros y canales de hormigón. Además, tiene un bajo consumo de energía, ya que solo necesita energía para activar las bombas de elevación y los sistemas de desinfección. Además, genera humus como subproducto, lo que puede generar ingresos adicionales que contribuyen a cubrir los costos de mantenimiento. Este método se caracteriza por su sencillez en el procedimiento de purificación, su capacidad para funcionar sin necesitar tratamientos previos, y la falta de requerimiento de nutrientes, coagulantes u otros elementos adicionales (Ramos, 2015).

2.2.4.2. Esquema general

Este sistema se compone principalmente de tres capas.

Figura 7

Esquema general



2.2.4.3. Ventajas y desventajas del Sistema tohá

Entre las ventajas del Sistema tohá, según lo descrito por Ramos (2015), se encuentran las siguientes:

- Es un sistema ecológico que posibilita la reutilización de las aguas tratadas.
- Genera biomasa y fertilizantes naturales que son beneficiosos para la agricultura.
- Ofrece una alta eficiencia en el tratamiento de sólidos y líquidos orgánicos.



- Los costos de operación, mantenimiento y limpieza son bajos.
- No requiere suministro de oxígeno, ya que el diseño incorpora un proceso de aireación natural.
- No se necesita personal altamente especializado para su manejo, ya que el mantenimiento y la limpieza son simples y manuales.
- El sistema no se obstruye, gracias a la acción constante de las lombrices, lo que garantiza la alta permeabilidad del filtro.

Entre las desventajas del Sistema Tohá, incluyen:

- Requiere la disposición de reactores de gran capacidad para su instalación.
- No puede funcionar de manera continua sin un suministro constante de nutrientes.
- Exige un período de adaptación para su óptimo rendimiento.
- No es adecuado para manejar fluctuaciones significativas en la carga o el caudal.
- No se recomienda para el tratamiento de grandes volúmenes de efluentes.

2.2.4.4. Comparación entre Sistema Convencional y Sistema Tohá

En la siguiente tabla se pretende comparar el sistema convencional de lodos activados y el sistema Tohá



Tabla 3

Comparativa Biofiltro vs. Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Servidas

Características	Lodos Activados	Lombrifiltro
Superficie	Requiere menor superficie que lagunas de estabilización, pero mayores que el biofiltro.	Requiere muy poca superficie dado que el agua es tratada en minutos.
Equipos de control	Complejos dado que inyecta aire u oxígeno a presión.	Sencillos, ya que el sistema funciona a nivel de terreno
Costos de Operación y Mantenimiento	Para cumplir las normas de calidad y evitar la producción de malos olores utilizan elementos químicos (cloro).	No utiliza elementos químicos que dañen el medio ambiente. Su gasto energético es mínimo: costo operacional de los equipos de bombeo y Tiene un gasto energético importante. cámara de desinfección.
Eficiencia del tratamiento	Es posible alcanzar la norma de agua apta para riego.	Muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. Cumple con la norma de agua apta para riego y descarga a cursos de aguas.

Nota. Obtenido de (Ramos, 2015)

2.2.5. Normatividad

2.2.5.1. Gestión de aguas residuales

El agua regenerada es un producto derivado del tratamiento de aguas residuales que abarca efluentes procedentes tanto de actividades industriales como domésticas. El tratamiento de aguas residuales es una técnica empleada para gestionar las aguas usadas, con la finalidad de remover sustancias que contaminan y 0puedan representar una amenaza para el entorno ambiental. Este proceso se basa en una combinación de métodos químicos, biológicos y físicos que permiten eliminar los contaminantes del agua. Se lleva a cabo mediante sistemas como la infiltración, filtros percoladores, lagunas de estabilización de aguas deterioradas y fosas



sépticas. Dentro de los resultados del tratamiento se obtiene agua regenerada, así como lodos que se depositan en el ambiente. Las soluciones convencionales suelen ser costosas, requieren mantenimiento constante, son centralizadas y carecen de la capacidad de recuperar agua regenerada. No obstante, en algunos países, se ha adoptado la vermifiltración como un enfoque alternativo para el tratamiento de lo antes mencionado (Gwebu & Mpala, 2022).

Un programa para desarrollar un proyecto de tratamiento de aguas residuales se compone de varias etapas: (1) anteproyecto; (2) proyecto; (3) optimización económica; (4) construcción; y (5) puesta en marcha y operación. En la mayoría de los proyectos de gran envergadura, que tienen un costo superior a los 10 millones de dólares, se siguen todas estas etapas de manera rigurosa. En el caso de proyectos más pequeños, es posible que se omita la fase de optimización económica, aunque se recomienda encarecidamente llevarla a cabo, aunque sea de manera simplificada (Metzalf, 1995).

2.2.5.2. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), detallados en la Tabla 3, no se aplicarán a las PTAR que cuenten con un tratamiento preliminar avanzado o un tratamiento primario con disposición final mediante un emisario submarino. Los responsables de las PTAR tienen la obligación de llevar a cabo la supervisión de los efluentes siguiendo las directrices de un programa respaldado por el MVCS. Este programa establecerá la ubicación de los puntos de control, los métodos y técnicas adecuados, parámetros y frecuencia de muestreo. En situaciones en las que haya razones fundadas de peligro para la salud de la población o el contexto ambiental, el MVCS puede ordenar la supervisión de otros parámetros que no estén regulados en este Decreto Supremo. La supervisión de la conformidad con los estándares de calidad



de los efluentes y otras disposiciones aprobadas en este decreto estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización correspondiente. (Ministerio del Ambiente, 2010)

Tabla 4

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 – MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	20
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	10000
DBO5	(mg/L)	100
DQO	(mg/L)	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Solidos suspendidos	(mg/L)	150
Temperatura	°C	< 35

Nota. Obtenido del MINAM (2010).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General

La eficiencia del tratamiento de las aguas residuales mejora empleando el sistema tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

2.3.2. Hipótesis Específicos

- El tratamiento de aguas residuales empleando el sistema tohá permitió mejorar el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
- El tratamiento de las aguas residuales permitió mejorar el porcentaje de la temperatura y humedad en la remoción de la DBO5 y DQO en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.



- El tratamiento de aguas residuales empleando el sistema tohá permitió mejorar el porcentaje de remoción de aceites y grasas, solidos totales en suspensión y pH en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
- El tratamiento de las aguas residuales empleando el sistema tohá permitió mejorar el porcentaje de remoción de coliformes totales y coliformes termotolerantes en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

2.4. Variables

2.4.1. Identificación de variables

2.4.1.1. Variable Independiente

X: Sistema Tohá

2.4.1.2. Variable Dependiente

Y: Tratamiento de aguas residuales

2.4.2. Operacionalización de variables



Tabla 5

Operacionalización de la variable

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES		DEFINICIÓN	UNIDADES
Variable Independiente Sistema Tohá o lombrifiltro	“El Sistema Tohá o lombrifiltración es un método de tratamiento de aguas residuales que” incorpora el uso de lombrices y el sistema de infiltración. Las lombrices actúan como biofiltros y son capaces de degradar, digerir y descomponer los desechos orgánicos. (Lubelihle & Canisius , 2022). Es una técnica eficiente, económica, que no requiere mucha mano de obra, requiere poca experiencia, puede descentralizarse y es respetuosa con el medio ambiente. Uno de los productos es agua recuperada que se puede utilizar para riego, paisajismo, protección contra incendios, enjuague y compost.” (Lubelihle & Canisius , 2022).	El sistema Tohá se relaciona principalmente con cuatro indicadores., estas son: Caudal, temperatura, pH, humedad,	DEMANDAS FÍSICAS	Caudal	Es el lapso que toma en llenar un recipiente de un volumen específico, y la medida posible es en litros/segundo o mililitros/segundo. (ONU, 1979)	litros/segundo
				Temperatura	Es la medida del grado de calor o frío presente en el entorno atmosférico y en los objetos, fluctuando entre dos extremos que se designan como caliente y frío. Además, puede ser descrito como la unidad que mide el movimiento molecular o el nivel de calor o frío de una sustancia. (Fraume, 2007)	°C
				Sólidos totales en suspensión	Se refiere a las sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas, que pueden disolverse en agua y no quedan atrapadas en el material de filtración. (Marin & Osés, 2013)	mg/l
				Humedad	La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas. (Martines, 2007)	%
Variable Dependiente	Los sistemas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo al MINAM (2022) se trata de un conjunto coordinado de procedimientos y actividades que abarcan aspectos físicos, químicos	El sistema de tratamiento de aguas residuales se relaciona principalmente con la DBO5, DQO, Coliformes termotolerantes, aceites y	DEMANDAS QUÍMICAS	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	La técnica de DBO5, se trata de un ensayo experimental empleado para evaluar los requerimientos de oxígeno en aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas. “Esta prueba cuantifica la cantidad de oxígeno molecular consumido durante un período de incubación	mg/l



Tratamiento de aguas residuales	y biológicos. Su objetivo es purificar las aguas residuales hasta alcanzar los estándares necesarios para su eliminación final o su reutilización.	grasas, solidos totales en suspensión.			específico para la descomposición bioquímica de la materia orgánica (demanda química de oxígeno), así como el oxígeno utilizado para oxidar materiales inorgánicos como sulfuros y hierro ferroso. (IDEAM, 2017)	
				Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Corresponde al volumen de oxígeno necesario para llevar a cabo la oxidación de la parte orgánica de una muestra que es propensa a la oxidación mediante dicromato o permanganato en un entorno ácido. (Rmirez & Dominguez, 2008)	mg/l
				pH	El pH es una magnitud de mucha importancia en un sin número de procesos biotecnológicos, como por ejemplo en la neutralización de alimentos. También ha cobrado gran relevancia en la minería y en el control de la contaminación, como es el caso de la neutralización de tratamiento de aguas residuales. El control de esta variable es en general difícil de realizar. (Hernando, 2005)	Adimensional
			DEMANDAS BIOLÓGICAS	Coliformes termotolerantes	Estas bacterias pertenecen al grupo de coliformes, son bacilos Gram (-) negativos que no forman esporas y tienen la capacidad de fermentar la lactosa, generando ácido y gas a una temperatura de 44.5 ± 0.2 °C en un período de 24 ± 2 horas. La especie predominante en el conjunto de coliformes termotolerantes es la Escherichia coli (Vargas 2000).	UFC



CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Alcance de estudio

El enfoque de este estudio es cuantitativo, con un alcance descriptivo explicativo, esto explicado por la manipulación de las variables de estudio, específicamente los parámetros del agua residual. Su enfoque se dirige a responder preguntas sobre las causas de los eventos y fenómenos, tanto en el ámbito físico como en el social. En otras palabras, su objetivo principal es proporcionar como se relaciona o vincula las características, variables o conceptos de un fenómeno y bajo qué condiciones se manifiesta, o se busca comprender la razón subyacente de la relación entre dos o más variables (Hernández & Mendoza, 2018).

Este estudio se centra en la investigación aplicada, con el propósito de abordar los problemas de contaminación del agua causados por actividades humanas. Se clasifica como investigación aplicada porque, basándose en investigaciones fundamentales, se plantean problemas e hipótesis destinados a abordar los desafíos generados por la actividad productiva en la sociedad. El objetivo principal de este tipo de investigación es responder a la necesidad de mejorar la calidad del agua residual doméstica en el centro poblado de San Pablo.

3.2 Diseño de la investigación

Este estudio adopta un diseño experimental, del tipo cuasi-experimental siguiendo una metodología secuencial que implica una serie de pasos interconectados para alcanzar los objetivos. Además, esta investigación tiene un carácter probatorio, ya que requiere análisis para verificar la validez de los resultados obtenidos. La obtención de información se fundamenta en la evaluación de características físicas, químicas y microbiológicas, utilizando métodos establecidos y normalizados (Sampieri et al., 2010).



El diseño emplea un rol fundamental en la planificación y ejecución del Sistema Tohá, ya que nos proporciona la información necesaria para determinar las dimensiones del reactor, su capacidad de tratamiento y los materiales requeridos para su construcción. La Figura 8 proporciona una representación gráfica de las dimensiones del Sistema Tohá en el diseño.

El Sistema Tohá está constituido por un prototipo a escala, el cual esta tiene una red de tuberías que hace la función de traslado de las aguas residuales unidas a un tanque de almacenamiento , luego las aguas residuales teniendo un caudal continuo pasan por un proceso de goteo a la primera capa del filtro el cual es el vermicompost está compuesta por lombrices, humos y compost su función principal de esta capa es retener el material orgánico y degradar los contaminantes de las aguas residuales.

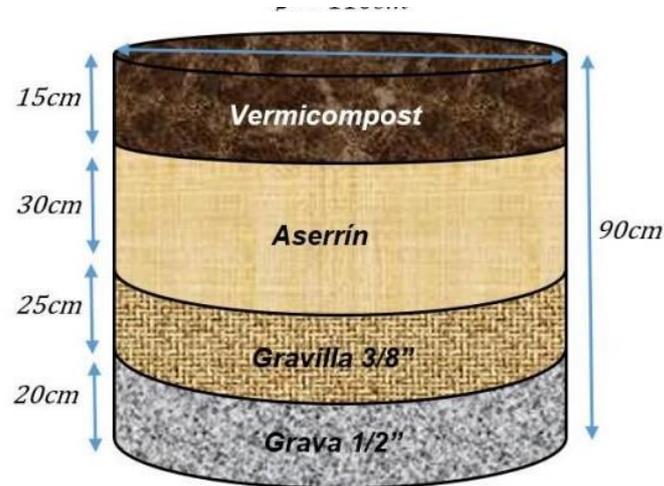
Posteriormente pasan a capas (Aserrín: Este material sirve de medio filtrante el cual tiene la característica de retener el material orgánico; Gravilla y Grava: Tienen una doble función al actuar como sostén para el medio filtrante con el fin de evitar su pérdida durante el proceso de filtración. y de hacer que se distribuya homogéneamente, en la pared de la grava se puede capturar partículas en el camino y proporcionar agua más limpia.

Las alturas de las capas filtrantes varían en dimensiones, y para establecer estas medidas, se ha tomado como punto de referencia la investigación de Salazar (2005) titulada "Sistema Tohá: Una opción respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales"

Luego de pasar las aguas residuales por el medio filtrante son desembocadas a un depósito que sirve de almacenamiento de las aguas residuales tratadas, para poder distribuir en cinco envases a diferentes caudales para tomar diversas evaluaciones que serán tomadas con el criterio que lo establece y serán destinadas a un laboratorio para el respectivo análisis siendo esto físicos, químicos y microbiológicos.

Figura 8

Dimensiones del reactor en el Sistema Tohá



Nota. Obtenido de (Gallegos, 2019)

Dimensiones del reactor en el Sistema Tohá:

- Volumen del reactor (VR): $VR = \pi \times r^2 \times h = 0.85529m^3 \approx 0.9m^3$
- Área superficial (As): $As = \pi \times r^2 = 0.95033m^2 \approx 1m^2$

3.2.1. Construcción del Sistema Tohá

Para la edificación, se eligió emplear materiales disponibles, comprobados en términos de eficacia y calidad en los resultados, y que también fueran económicamente asequibles. La primera fase involucró la recopilación y el inventario de los materiales requeridos para su posterior montaje.



3.2.1.1. Recolección de los materiales y componentes del Sistema Tohá

Tabla 6

Materiales y componentes del Sistema Tohá

ESPECIFICACIONES	UNIDAD	CANTIDAD
Recipiente de 100 litros	N°	1
Vidrio con espesor de 5 mm	mm	1
Lombrices	Kg	200 - 300
Humus	Kg	3 - 4
Composta	Kg	4
Aserrín	Kg	5
Grava pequeña 3/8"	m ³	0.3
Grava mediana 1/2"	m ³	0.2
Pileta de agua	N°	1
Tubo 1/2"	m	5
Unión simple y universal	N°	5
Llave de paso 1/2"	N°	8
Silicona	N°	1
Pegamento y Teflón	N°	2 - 6
Fierro tipo ángulo	m	10
Baldes grandes	N°	3
Envase 50 litros	N°	1
Termómetro ambiental	N°	1
Jarras	N°	1
Barbijos	N°	100
Guantes quirúrgicos desechables	N°	100
Colador	N°	1
Baldes pequeños	N°	5

Nota Elaboración propia

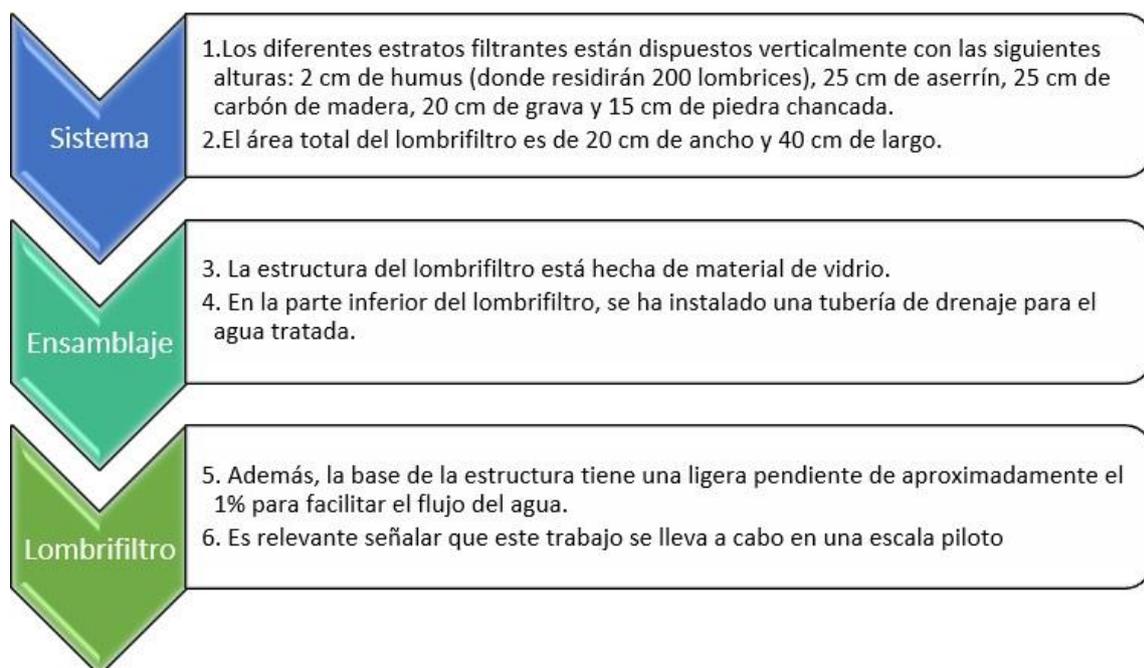
Las aguas residuales domésticas, a partir del tanque de almacenamiento de 100 litros, serán conducidas a través de una tubería de ½ pulgada hacia el Sistema Tohá, inicia con el desembogue de un caudal constante que pasa por la tubería antes mencionada, posterior a esto una pileta que se encuentra al inicio ayuda a tener el caudal deseado siguiendo este flujo se distribuye por dos conexiones que tienen llaves de control pudiendo controlar el goteo que abastecen al filtro del sistema Tohá.

Ya teniendo parte de las aguas residuales tratadas son almacenadas en un envase de capacidad de 50 litros, el cual nos ayudara a tener una distribución para obtener cinco muestras y que serán evaluadas.

En la siguiente figura se muestra a más detalle el mecanismo que constituye por tres componentes (sistema, ensamblaje y lombifiltro).

Figura 9

Mecanismo de ensamblaje





3.2.2. Evaluación del Caudal

El caudal ha sido medido de forma manual por el método de goteo siendo tomado en un envase el cual nos permitió ejecutar la fórmula del caudal que es volumen del agua sobre el tiempo.

La medida del caudal que necesitábamos en la parte experimental se tomó de la siguiente manera:

- Teniendo 100 litros de aguas residuales para ser evaluadas mediante el sistema Tohá se determinó que será dividirá en 5 muestras y estas serán evaluadas en un laboratorio y así obtener los resultados para nuestra investigación, cada muestra que será enviada para su análisis correspondiente consta de un total de 20 litros. Para las muestras que fueron enviadas se determinó EV1=5 días, EV2=12días, EV3=19días, EV4=26días, EV5=40días.
- En la primera evaluación se llegó a calcular un caudal de 4 lts/día este resultado saliendo de la división de Q1: 20lts/5días.
- En la segunda evaluación se llegó a calcular un caudal de 1.6 lts/día este resultado saliendo de la división de Q2: 20lts/12días.
- En la tercera evaluación se llegó a calcular un caudal de 1.05 lts/día este resultado saliendo de la división de Q3: 20lts/19días.
- En la cuarta evaluación se llegó a calcular un caudal de 0.76 lts/día este resultado saliendo de la división de Q4: 20lts/26días.
- En la quinta evaluación se llegó a calcular un caudal de 0.5 lts/día este resultado saliendo de la división de Q5: 20lts/40días.

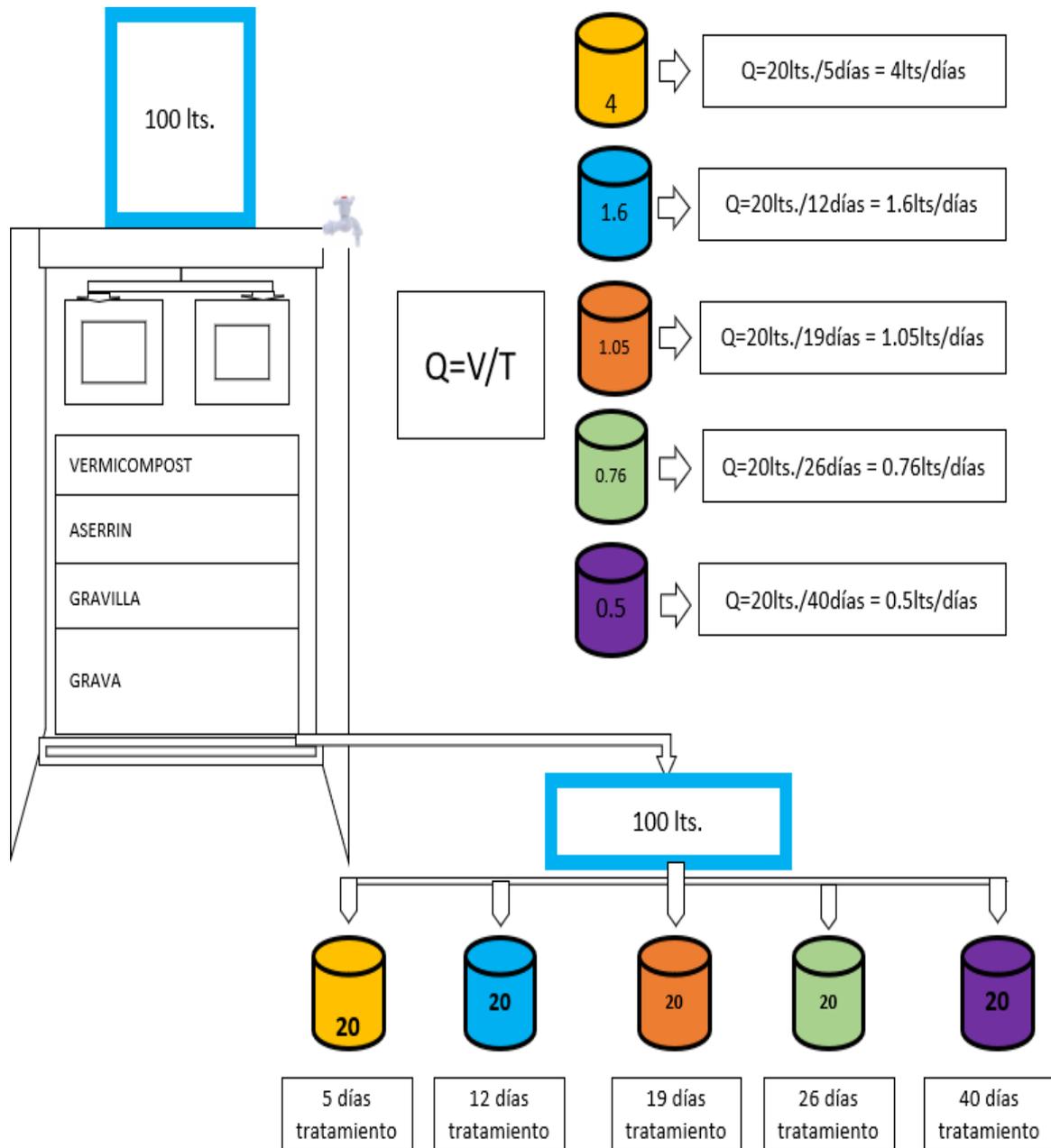


- La fuente principal de abastecimiento necesita un caudal general el cual será la sumatoria de los 5 caudales de las evaluaciones este siendo de 8 litros/día, el tiempo presente de este caudal será por 5 días hasta que el caudal 1 sea anulado
- La fuente principal de abastecimiento necesita un caudal general el cual será la sumatoria de los 4 caudales de las evaluaciones este siendo de 4 litros/día, el tiempo presente de este caudal será por 7 días hasta que el caudal 2 sea anulado.
- La fuente principal de abastecimiento necesita un caudal general el cual será la sumatoria de los 3 caudales de las evaluaciones este siendo de 2.5 litros/día, el tiempo presente de este caudal será por 7 días hasta que el caudal 3 sea anulado.
- La fuente principal de abastecimiento necesita un caudal general el cual será la sumatoria de los 2 caudales de las evaluaciones este siendo de 1.5 litros/día, el tiempo presente de este caudal será por 7 días hasta que el caudal 4 sea anulado.
- La fuente principal de abastecimiento necesita un caudal general el caudal restante este siendo de 0.5 litros/día, el tiempo presente de este caudal será por 14 días hasta que el caudal 5 sea anulado.



Figura 10

Prototipo del Sistema Tohá



Nota. Elaboración propia



3.2.3. *Evaluación de la temperatura y humedad*

A continuación, se detallan los métodos utilizados para analizar cómo las temperaturas y la humedad de las aguas residuales domésticas afectan el rendimiento del sistema Tohá en el distrito de San Pablo, Provincia de Canchis:

1. Las mediciones de temperatura comenzaron desde el momento en que las lombrices entraron en la fase de adaptación.
2. Se instaló un termómetro ambiental en la ubicación del sistema Tohá piloto para registrar las temperaturas a las 8:00 a.m. y las 8:00 p.m. todos los días de forma manual.
3. La elección de estos horarios se basó en la observación de las variaciones diurnas y nocturnas de temperatura durante una semana, ya que las temperaturas eran óptimas para tener mejores resultados estables.
4. Los datos de la temperatura se tomaron mediante la fórmula de la media aritmética, está siendo tomada estadísticamente para poder tener un promedio y así saber si tendrá influencia en la remoción de las aguas residuales empleado por el sistema Tohá.
5. Los datos de humedad máxima y mínima se obtuvieron utilizando información de la estación meteorológica de SENAMHI (Sicuani MET EAMA), que se encuentra en el distrito de Sicuani, en la provincia de Canchis, del departamento de Cusco.
6. Los datos de la humedad se tomaron mediante la fórmula de la media aritmética, está siendo tomada estadísticamente para poder tener un promedio y así saber si tendrá influencia en la remoción de las aguas residuales empleado por el sistema Tohá.



3.2.4. Análisis de las Muestras en Laboratorio

Las muestras se remitirán de inmediato al laboratorio con el fin de que sean procesadas adecuadamente y así obtener resultados de manera más precisa.

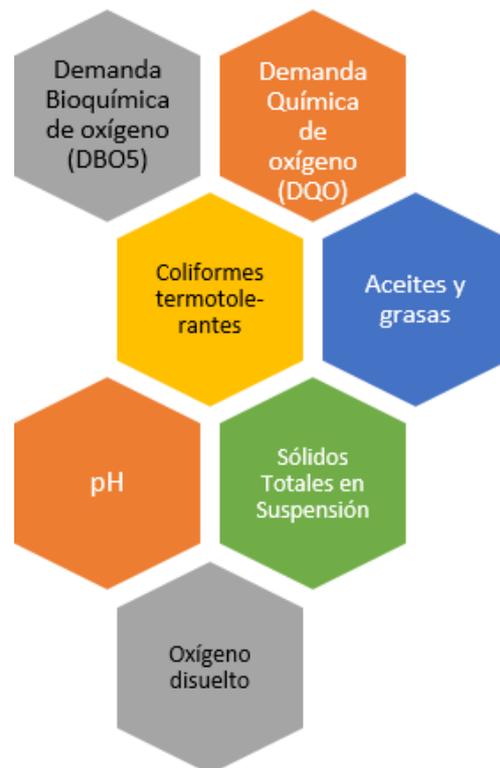
El laboratorio que realice el análisis de todas las muestras de aguas residuales es: Laboratorio clínico Microlab – Cusco en la Urb. Mariscal Gamarra D1.

3.2.5. Tratamiento de los Datos

Se llevará a cabo la evaluación del tratamiento del Sistema Tohá mediante el análisis de los siguientes parámetros de control físicos, químicos y biológicos:

Figura 11

Parámetros de control





3.2.5. Determinación del Porcentaje de Remoción

Para determinar el porcentaje de eliminación de DBO5, DQO, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, pH y sólidos totales en suspensión en las aguas residuales mediante el empleo del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo, ubicado en la Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, en el año 2023, se llevó a cabo una evaluación que implicó comparar los resultados de la muestra inicial (M-I) con los resultados obtenidos de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Posteriormente, mediante la aplicación de la fórmula matemática correspondiente, se determinó el porcentaje de remoción.

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ Inicial} \times 100$$

3.3 Población

De acuerdo a Condori (2020), la población se define como los elementos que pueden ser alcanzados o las unidades de estudio que forman parte del área específica en la que se lleva a cabo la investigación. La población objeto de estudio es el agua residual producida por el Distrito de San Pablo, ubicado en la provincia de Canchis, departamento de Cusco.

3.4 Muestra

Siguiendo la afirmación de Condori (2020), la muestra constituye una porción que refleja de manera adecuada a la población, compartiendo características generales similares a las de la población en su conjunto. Se tomará 100 litros del volumen total del efluente de aguas



residuales del Distrito de San Pablo, de la provincia de Canchis, departamento de Cusco, los cuales serán tomados en un prototipo de experimentación.

3.5 Técnicas de recolección de datos

En este estudio, se utilizó la técnica de medición y registro de datos. Además, se siguió el "procedimiento de vigilancia de la calidad de los vertidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales" proporcionado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento como un marco de referencia y orientación.

El registro de datos sobre la temperatura fue tomado manualmente con la ayuda de un termómetro ambiental estas siendo medidas en dos horarios diurna y nocturna de forma diaria en el tiempo que se llevó a cabo la parte experimental de la tesis.

La data de humedad fue obtenida de la Estación Meteorológica del Senamhi (Sicuani MET EAMA), teniendo que tomar la humedad máxima y mínima de forma diaria y el resultado fue registrado en un cuadro Excel el cual podemos observar en la tabla 10.

Cada una de las evaluaciones fueron tomadas de la misma forma para poder ser destinadas al laboratorio Microlab, el cual nos proporcionara los resultados de los parámetros que serán evaluados.

3.6 Validez y confiabilidad de instrumentos

En el presente estudio, se utilizaron varios instrumentos para el recaudo de datos. Se empleó un termómetro ambiental para registrar las temperaturas diurnas y nocturnas durante la fase de adaptación y experimentación. También se usaron frascos de vidrio de 500 ml y un cooler de 20 litros para tomar muestras de aguas residuales de la planta de tratamiento del distrito de San Pablo, las cuales se almacenaron en un recipiente de 100 litros cada día. Estas herramientas se utilizaron tanto para el muestreo del agua de entrada al sistema Tohá como para las aguas residuales. Además, se utilizaron una cámara de celular, una laptop y fichas de



registro de campo para documentar la investigación. Para el registro y procesamiento de los datos, se empleó el programa Microsoft Office (Excel 2016).

3.7 Plan de análisis de datos

Para llevar a cabo el procesamiento de la información se utilizaron una computadora; el sistema de información geográfica de Google Earth, el programa mencionado fue de utilidad para poder delimitar el área de estudio trabajando de la mano con un GPS; los resultados obtenidos por laboratorio, se ingresó a una hoja de datos de Excel y con este programa se hallará los datos estadísticos y gráficos, haciendo uso de la estadística descriptiva, para responder a los objetivos de la investigación.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados respecto al objetivo general

4.1.1. Evaluación del Sistema Tohá para el mejoramiento de las aguas residuales en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023

4.1.1.1. Comparación de parámetros antes del tratamiento

La tabla 7 presenta los valores máximos permitidos según las regulaciones del Ministerio del Ambiente, establecidos en el DS N°003-2010-MINAM, junto con los resultados de los análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos de la muestra de aguas residuales domésticas sin tratar, es decir, tomada antes de que ingresara al Sistema Tohá. Se nota que la muestra identificada como M-I excede los límites máximos permitidos.

Tabla 7

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la Muestra Inicial de las aguas residuales domésticas sin tratamiento.

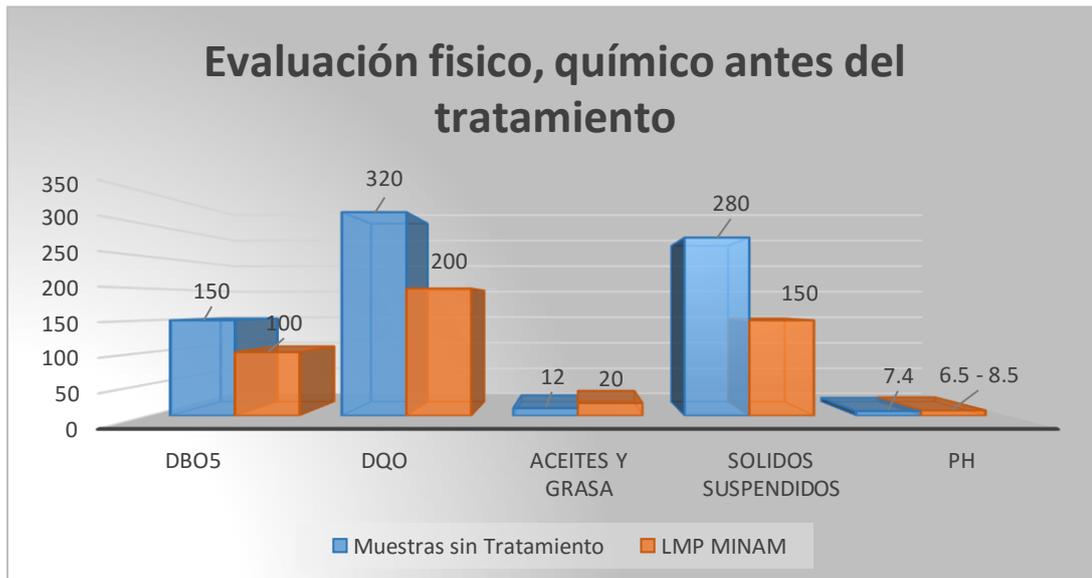
Parámetro	Unidad	Muestra Inicial sin tratamiento M-I	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 - MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	12	20
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	33X10 ⁷	10000
DBO5	(mg/L)	150	100
DQO	(mg/L)	320	200
pH	unidad	7.4	6.5 - 8.5
Sólidos suspendidos	(mg/L)	280	150

En la figura 12 se puede observar los resultados sin tratamiento de los diferentes análisis físicos, químicos examinados en laboratorio, como son: DBO5, DQO, Aceites y grasas, sólidos suspendidos, pH. Cabe mencionar que estos datos corresponden al día 21/06/2023 de las aguas residuales obtenidas en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del

Cusco, 2023, el cual es comparado con los LMP establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que superan los LMP establecidos.

Figura 12

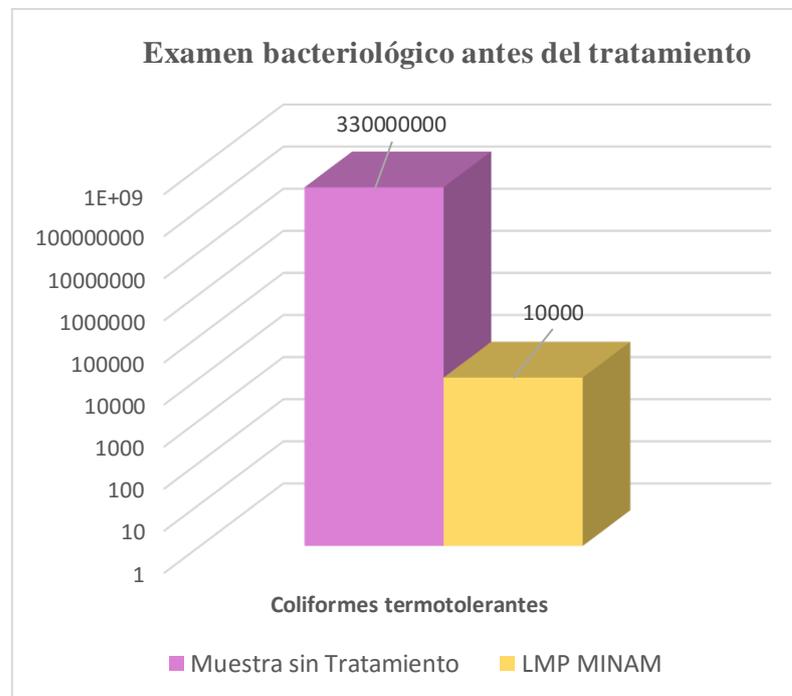
Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos sin tratamiento.



En la figura 13 se muestra los resultados sin tratamiento del análisis bacteriológico examinados en laboratorio, para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes. Es importante destacar que estos datos corresponden al día 21/06/2023 de las aguas residuales en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los LMP establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 13

Resultado del análisis del parámetro bacteriológico sin tratamiento.



4.1.1.2. Comparación de parámetros después del tratamiento.

La tabla 8, presenta los valores máximos permitidos según las regulaciones del Ministerio del Ambiente, establecidos en el DS N°003-2010-MINAM, junto con los resultados de los análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos de la muestra de aguas residuales domésticas con tratamiento en la fecha 21/06/2023, es decir, tomada después de que ingresara al Sistema Tohá. Se nota que la muestra identificada como M-I excede los límites máximos permitidos.

Tabla 8

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-1 de las aguas residuales domésticas con tratamiento.

Parámetro	Unidad	Muestra con tratamiento M-1	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 - MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	4	20
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	34×10^6	10000
DBO5	(mg/L)	136	100
DQO	(mg/L)	280	200
pH	unidad	6.9	6.5 - 8.5

Sólidos suspendidos	(mg/L)	260	150
---------------------	--------	-----	-----

En la figura 14, se visualiza los resultados con tratamiento de los diferentes análisis físicos, químicos examinados en laboratorio, como son: DBO5, DQO, Aceites y grasas, sólidos suspendidos, pH. Conviene resaltar que estos datos corresponden al día 21/06/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los límites máximos permisibles establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 14

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento

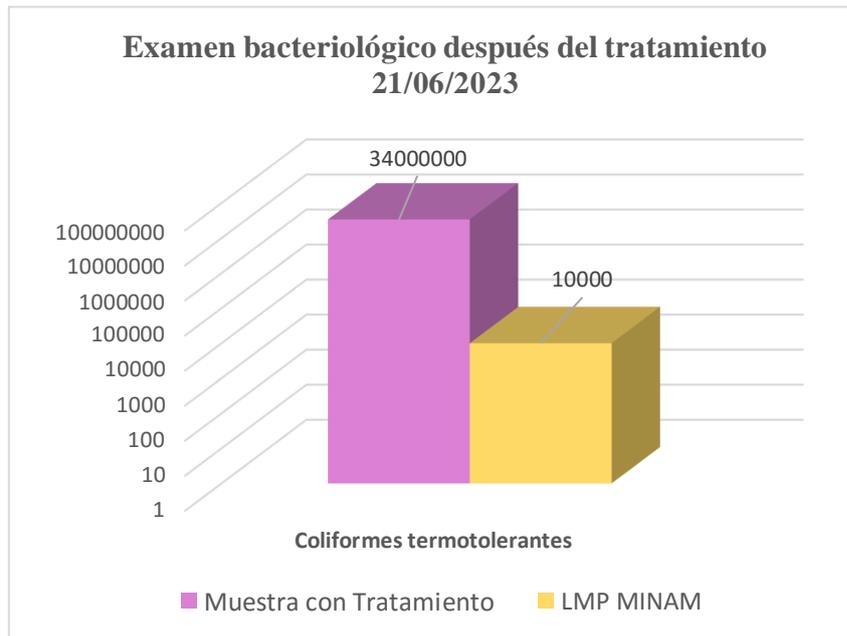


En la figura 15, se visualiza gráficamente los resultados con tratamiento del análisis bacteriológico examinado en laboratorio, para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes. Es relevante mencionar que estos datos corresponden al día 21/06/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los límites máximos permisibles

establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 15

Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento



La tabla 9 presenta los valores máximos permitidos según las regulaciones del Ministerio del Ambiente, establecidos en el DS N°003-2010-MINAM , junto con los resultados de los análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos de la muestra de aguas residuales domésticas con tratamiento en la fecha 28/06/2023, es decir, tomada después de que ingresara al Sistema Tohá. Se nota que la muestra identificada como M-2 excede los límites máximos permitidos.

Tabla 9

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-2 de las aguas residuales domésticas con tratamiento.

Parámetro	Unidad	Muestra con tratamiento M-2	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 - MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	3	20

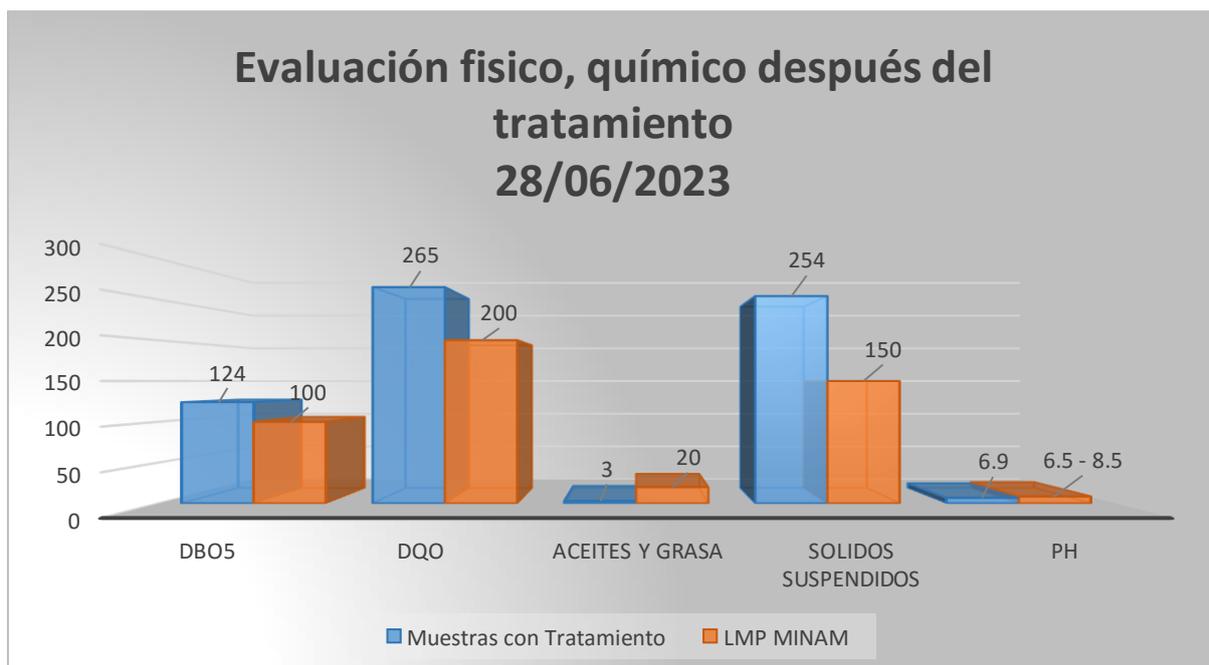


Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	23×10^6	10000
DBO5	(mg/L)	124	100
DQO	(mg/L)	265	200
pH	unidad	6.9	6.5 - 8.5
Solidos suspendidos	(mg/L)	254	150

En la figura 16, se visualiza los resultados con tratamiento de los diferentes análisis físicos, químicos examinados en laboratorio, como son: DBO5, DQO, Aceites y grasas, sólidos suspendidos, pH. Es oportuno recordar que estos datos corresponden al día 28/06/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023; el cual es comparado con los límites máximos permisibles establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 16

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento

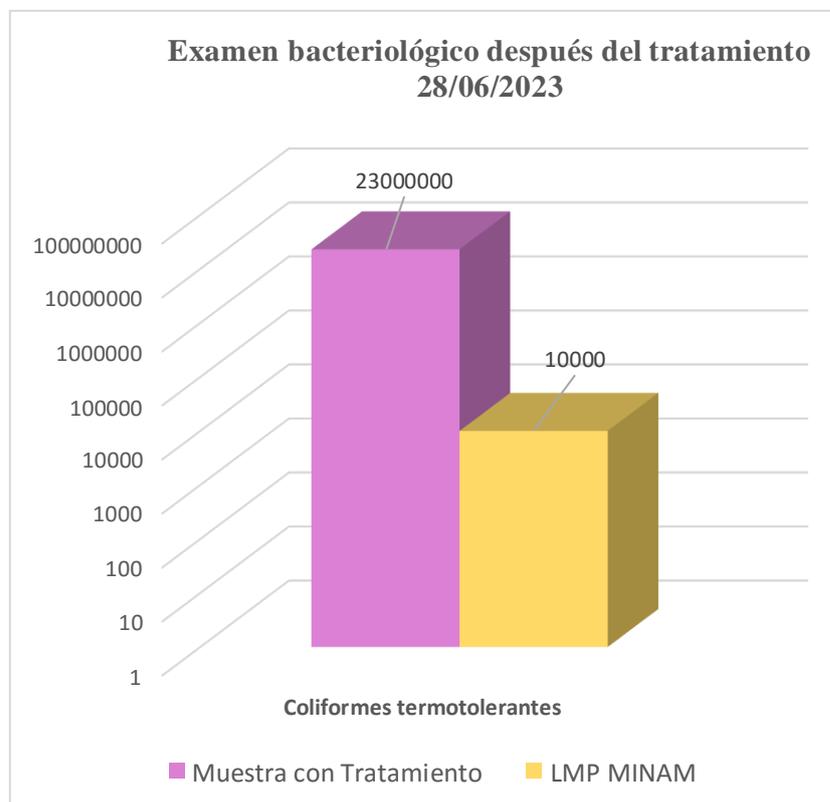


En la figura 17 se presenta los resultados con tratamiento del análisis bacteriológico examinado en laboratorio, para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes. Es

conveniente subrayar que estos datos corresponden al día 28/06/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los LMP estipulados según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 17

Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento



La tabla 10 presenta los valores máximos permitidos según las regulaciones del Ministerio del Ambiente, establecidos en el DS N°003-2010-MINAM, junto con los resultados de los análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos de la muestra de aguas residuales domésticas con tratamiento en la fecha 05/07/2023, es decir, tomada después de que ingresara al Sistema Tohá. Se nota que la muestra identificada como M-3 excede los límites máximos permitidos.



Tabla 10

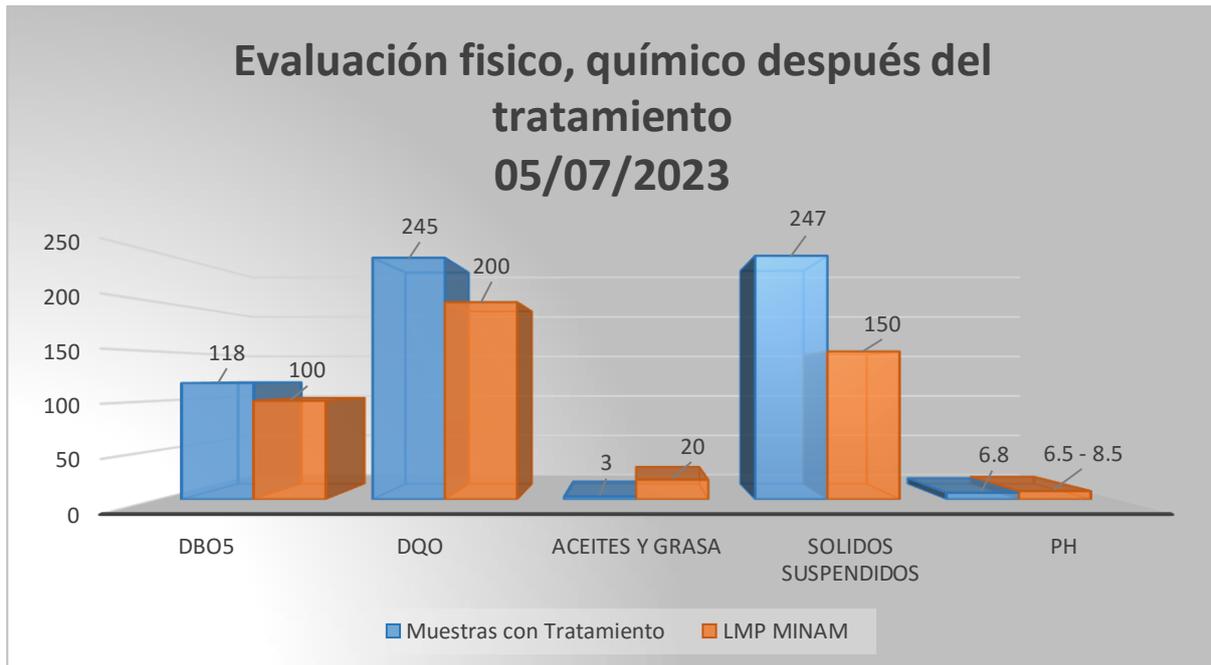
Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-3 de las aguas residuales domésticas con tratamiento.

Parámetro	Unidad	Muestra con tratamiento M-3	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 - MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	3	20
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	21X10 ⁶	10000
DBO5	(mg/L)	118	100
DQO	(mg/L)	245	200
pH	unidad	6.8	6.5 - 8.5
Sólidos suspendidos	(mg/L)	247	150

En la figura 18 se visualiza los resultados con tratamiento de los diferentes análisis físicos, químicos examinados en laboratorio, como son: DBO5, DQO, Aceites y grasas, sólidos suspendidos, pH. Es pertinente recordar que estos datos corresponden al día 05/07/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los límites máximos permisibles establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 18

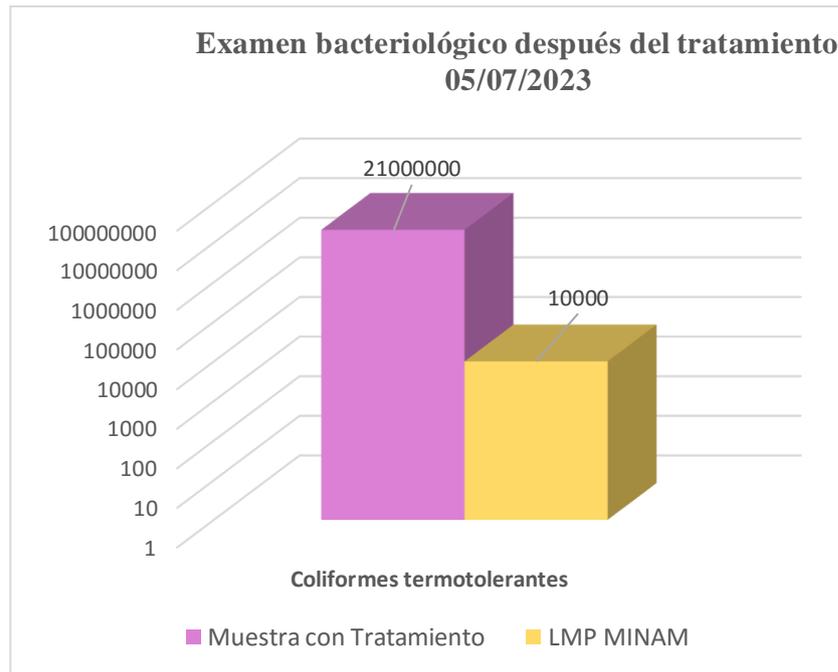
Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento



En la figura 19, se ilustra los resultados con tratamiento del análisis bacteriológico examinado en laboratorio, para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes. Es necesario resaltar que estos datos corresponden al día 05/07/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los LMP estipulados según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 19

Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento



La tabla 11, se visualizan los valores máximos permitidos según las regulaciones del Ministerio del Ambiente, establecidos en el DS N°003-2010-MINAM, junto con los resultados de los análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos de la muestra de aguas residuales domésticas con tratamiento en la fecha 12/07/2023, es decir, tomada después de que ingresara al Sistema Tohá. Se nota que la muestra identificada como M-4 excede los límites máximos permitidos.

Tabla 11

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la M-4 de las aguas residuales domésticas con tratamiento.

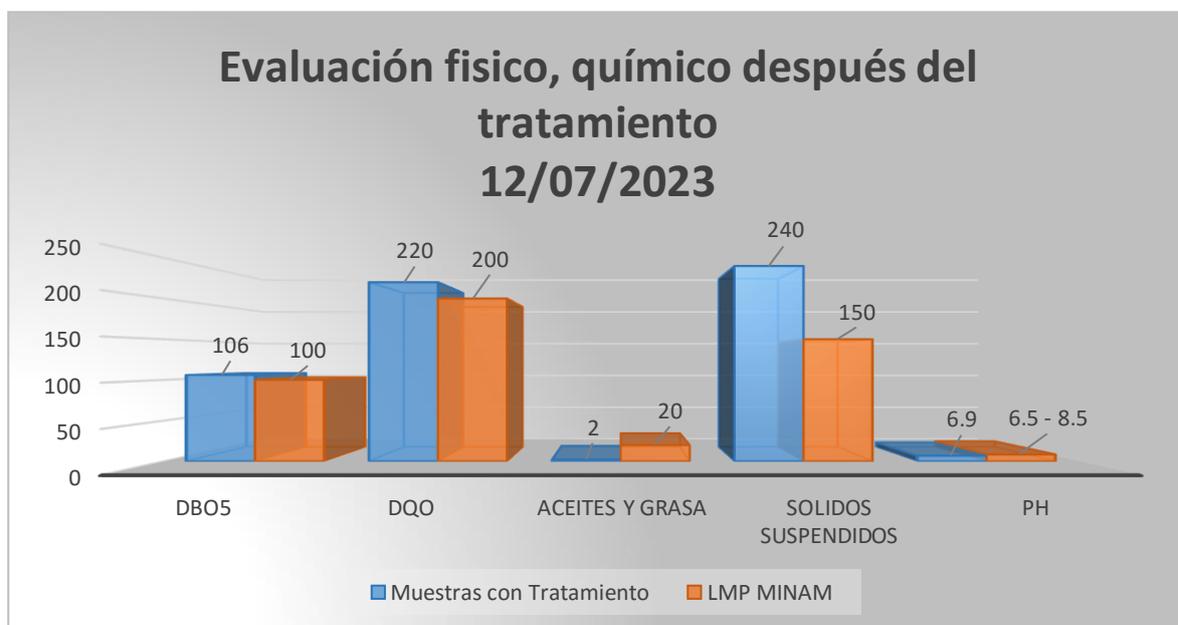
Parámetro	Unidad	Muestra con tratamiento M-4	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 - MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	2	20
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	14X10 ⁶	10000
DBO5	(mg/L)	106	100
DQO	(mg/L)	220	200
pH	unidad	6.9	6.5 - 8.5
Sólidos suspendidos	(mg/L)	240	150

En la figura 20 se evidencia los resultados con tratamiento de los diferentes análisis físicos, químicos examinados en laboratorio, como son: DBO5, DQO, Aceites y grasas, sólidos

suspendidos, pH. Es relevante mencionar que estos datos corresponden al día 12/07/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los límites máximos permisibles establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 20

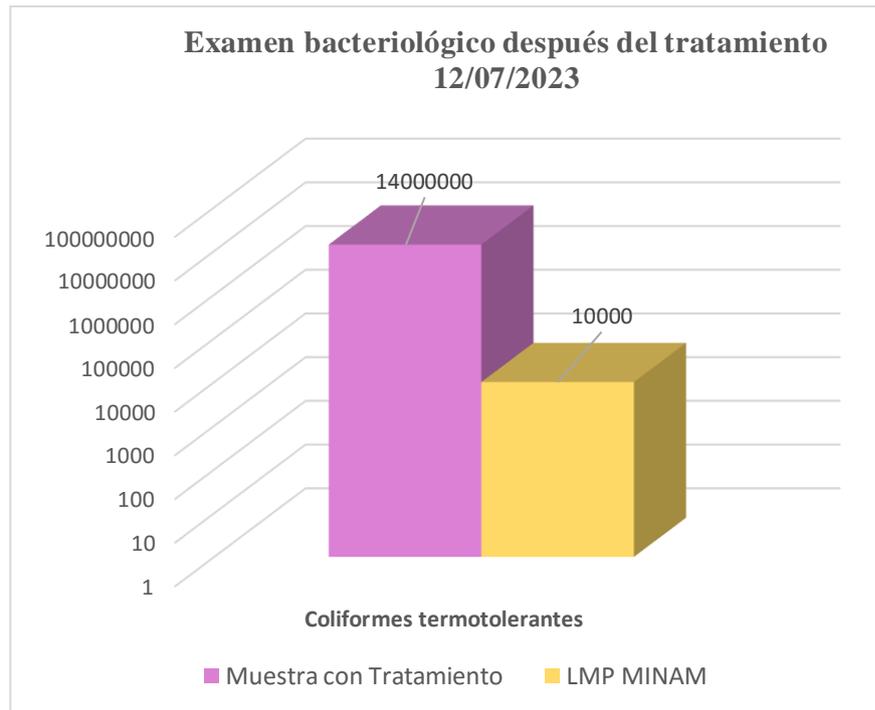
Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos sin tratamiento



En la figura 21 se expone los resultados con tratamiento del análisis bacteriológico examinado en laboratorio, para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes. Es importante destacar que estos datos corresponden al día 12/07/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los límites máximos permisibles establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que supera los LMP establecidos.

Figura 21

Resultado del análisis del parámetro bacteriológico sin tratamiento



La tabla 12, se visualiza los valores máximos permitidos según las regulaciones del Ministerio del Ambiente, establecidos en el DS N°003-2010-MINAM, junto con los resultados de los análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológicos de la muestra de aguas residuales domésticas con tratamiento en la fecha 26/07/2023, es decir, tomada después de que ingresara al Sistema Tohá. Se nota que la muestra identificada como M-5 no excede los límites máximos permitidos.

Tabla 12

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos y bacteriológico de la muestra de las aguas residuales domésticas con tratamiento.

Parámetro	Unidad	Muestra con tratamiento M-5	LMP - Decreto Supremo N°003-2010 - MINAM
Aceites y grasas	(mg/L)	4	20
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 mL)	9000	10000
DBO5	(mg/L)	85	100
DQO	(mg/L)	170	200
pH	unidad	7.6	6.5 - 8.5
Solidos suspendidos	(mg/L)	150	150

En la figura 22 se visualizan los resultados con tratamiento de los diferentes análisis físicos, químicos examinados en laboratorio, como son: DBO5, DQO, Aceites y grasas, sólidos suspendidos, pH. Cabe mencionar que estos datos corresponden al día 26/07/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los LMP estipulados según DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, y se muestra que no supera los LMP establecidos.

Figura 22

Resultado del análisis de los parámetros físico, químicos con tratamiento

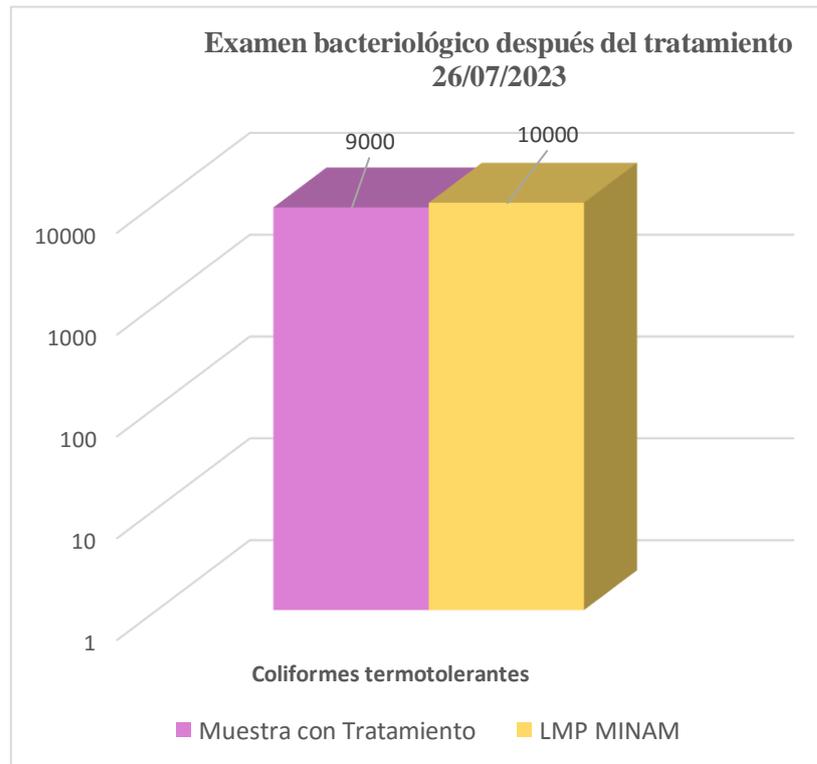


En la figura 23 se pone en manifiesto los resultados con tratamiento del análisis bacteriológico examinado en laboratorio, para determinar la cantidad de coliformes termotolerantes. No debe pasarse por alto que estos datos corresponden al día 26/07/2023 de las aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo - Provincia de Canchis del Departamento del Cusco, 2023, el cual es comparado con los límites máximos

permisibles establecidos según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, y se muestra que no supera los LMP establecidos.

Figura 23

Resultado del análisis del parámetro bacteriológico con tratamiento



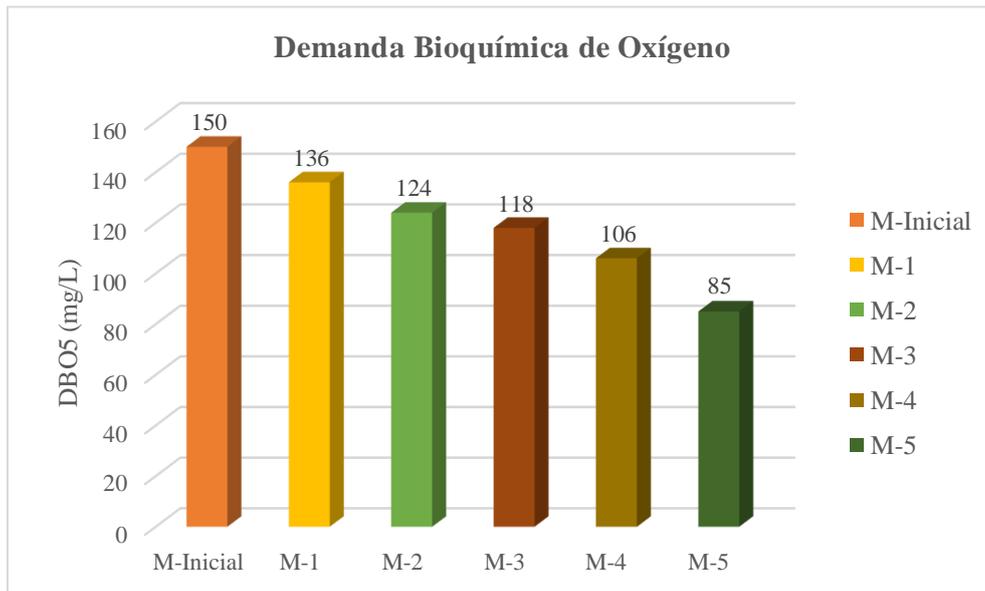
4.1.1.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

La figura 24 proporciona una representación gráfica de la disminución de la DBO5 en las aguas residuales domésticas debido al Sistema Tohá. La figura incluye los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Inicialmente, la concentración de DBO5 en el agua residual doméstica es de 150 mg/L. En el primer análisis, la DBO5 se redujo a 136 mg/L, en el segundo análisis se obtuvo un valor de 124 mg/L, el tercer análisis resultó en 118 mg/L, el cuarto análisis dio como resultado 106 mg/L y finalmente, en el quinto análisis, la DBO5 se redujo a 85 mg/L. Estos datos muestran una disminución significativa con respecto a la concentración inicial. La disminución se atribuye principalmente a la colaboración simbiótica entre las lombrices y los microorganismos aerobios, quienes aceleran y mejoran el proceso de descomposición de la

materia orgánica. Las lombrices funcionan como catalizadores biológicos en las reacciones bioquímicas. (Saboya, 2020).

Figura 24

Comparación del parámetro DBO5 durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.



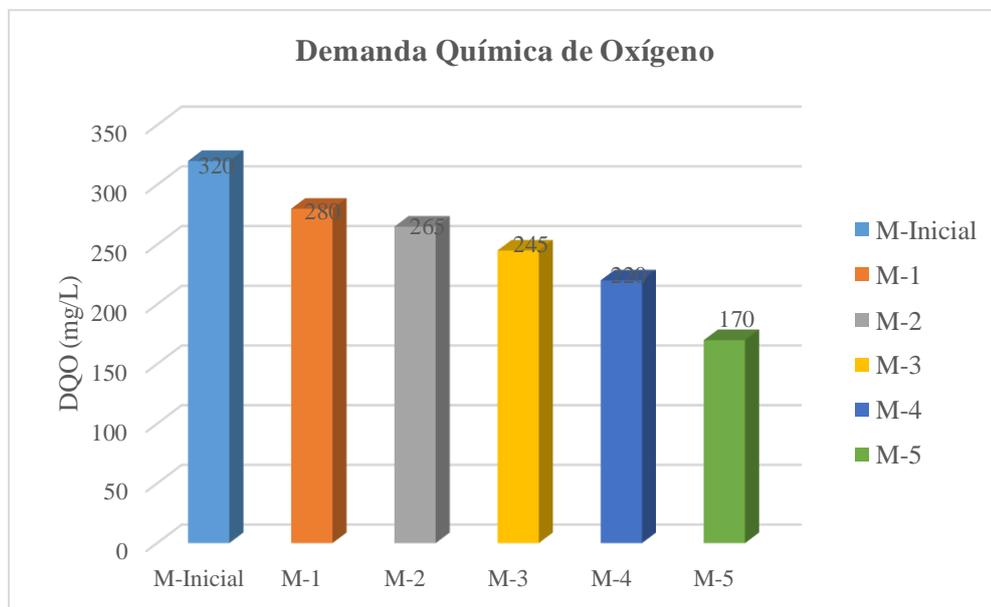
4.1.1.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La figura 25 ilustra gráficamente la reducción de la DQO en las aguas residuales domésticas gracias al Sistema Tohá. La figura muestra los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Inicialmente, la concentración de DQO en el agua residual doméstica es de 320 mg/L. En el primer análisis, la DQO se redujo a 280 mg/L, en el segundo análisis se obtuvo un valor de 265 mg/L, el tercer análisis resultó en 245 mg/L, el cuarto análisis dio como resultado 220 mg/L y finalmente, en el quinto análisis, la DQO se redujo a 170 mg/L. Estos datos muestran una disminución significativa con respecto a la concentración inicial, “La disminución se atribuye principalmente a la colaboración simbiótica entre las lombrices y los microorganismos aerobios, los cuales aceleran y mejoran el proceso de descomposición de la materia orgánica. Las lombrices desempeñan el papel de catalizadores biológicos en las reacciones bioquímicas” (Saboya, 2020).



Figura 25

Comparación del parámetro DQO durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.



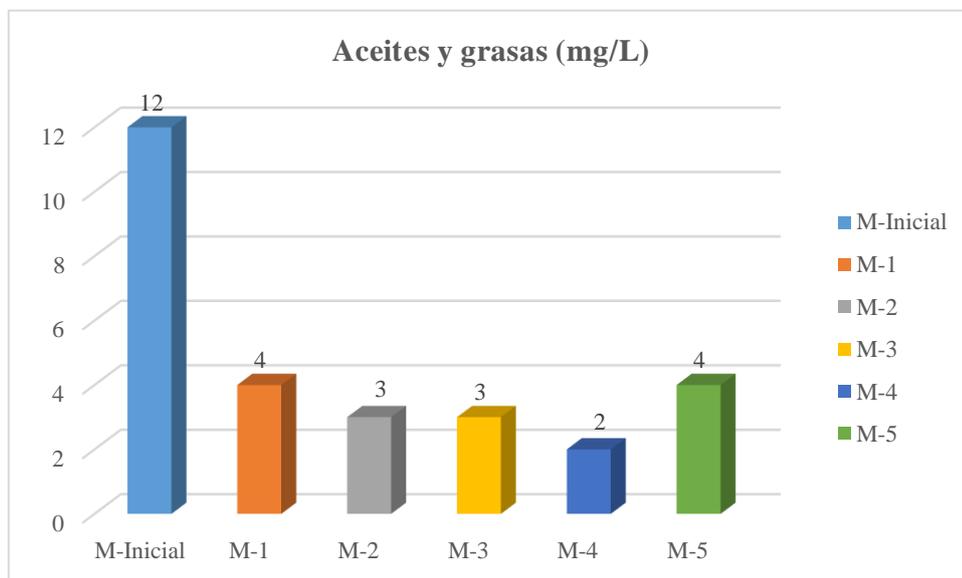
4.1.1.2.3. Aceites y grasas

La figura 26 presenta una representación gráfica de la remoción de aceites y grasas en las aguas residuales domésticas a través del Sistema Tohá. La figura incluye los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Inicialmente, la concentración de aceites y grasas en el agua residual doméstica es de 12 mg/L. En el primer análisis, la concentración de aceites y grasas se redujo a 4 mg/L, en el segundo análisis se obtuvo un valor de 3 mg/L, el tercer análisis resultó en 3 mg/L, el cuarto análisis dio como resultado 2 mg/L y finalmente, en el quinto análisis, la concentración de aceites y grasas fue de 4 mg/L. Estos datos indican una disminución significativa con respecto a la concentración inicial, “la reducción se debe

principalmente a la actividad simbiótica de las lombrices y los microorganismos aerobios, que aceleran y mejoran la descomposición de la materia orgánica. Las lombrices actúan como catalizadores biológicos en las reacciones bioquímicas” (Saboya, 2020).

Figura 26

Comparación del parámetro Aceites y grasa durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.



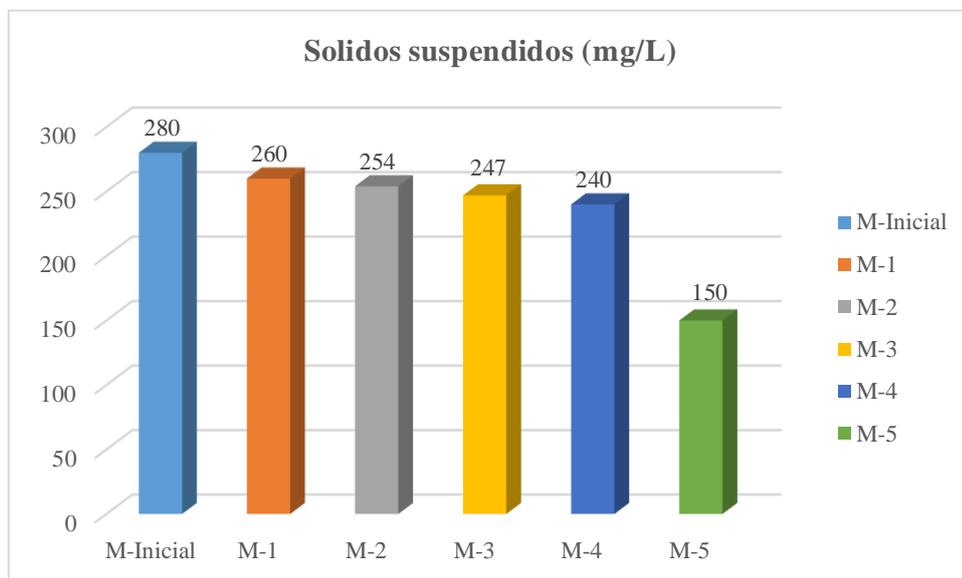
4.2.1.2.4. Sólidos suspendidos

En la figura 27, se visualiza de manera gráfica la eliminación de sólidos suspendidos en las aguas residuales domésticas a través del Sistema Tohá. La figura detalla los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Inicialmente, la concentración de sólidos suspendidos en el agua residual doméstica es de 280 mg/L. En el primer análisis, la concentración de sólidos suspendidos se redujo a 260 mg/L, en el segundo análisis se obtuvo un valor de 254 mg/L, el tercer análisis resultó en 247 mg/L, el cuarto análisis dio como resultado 240 mg/L y finalmente, en el quinto análisis, la concentración de sólidos suspendidos fue de 150 mg/L. Estos datos muestran una disminución significativa en comparación con la concentración inicial, “la reducción se debe principalmente a la actividad simbiótica de las lombrices y los

microorganismos aerobios, que aceleran y mejoran la descomposición de la materia orgánica. Las lombrices funcionan como catalizadores biológicos en las reacciones bioquímicas” (Saboya, 2020).

Figura 27

Comparación del parámetro Aceites y grasa durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.

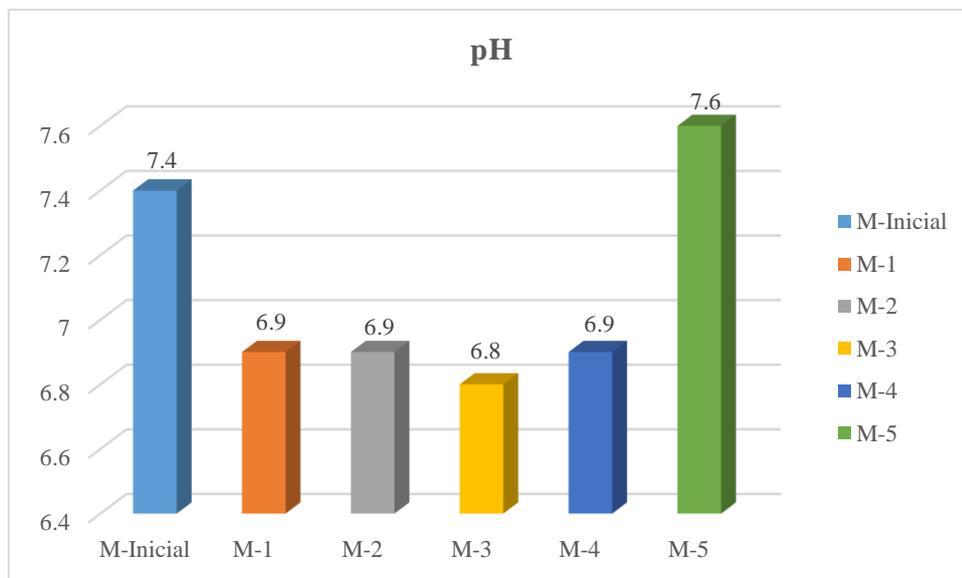


4.1.1.2.5. pH

La figura 28 ilustra gráficamente la variación del pH en las aguas residuales domésticas después de pasar por el Sistema Tohá. La figura presenta los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Inicialmente, el pH del agua residual doméstica es de 7.4. En el primer análisis de pH, disminuyó a 6.9, en el segundo análisis se mantuvo en 6.9, en el tercer análisis descendió a 6.8 y en el cuarto análisis se mantuvo en 6.9. Sin embargo, en el quinto análisis, el pH aumentó a 7.6, pero aún se encuentra dentro de los LMP según las regulaciones del MINAM, "La reducción inicial se atribuye principalmente a la acción simbiótica de las lombrices y los microorganismos aerobios, los cuales aceleran y mejoran el proceso de descomposición de la materia orgánica mediante reacciones bioquímicas." (Saboya, 2020).

Figura 28

Comparación del parámetro pH durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá

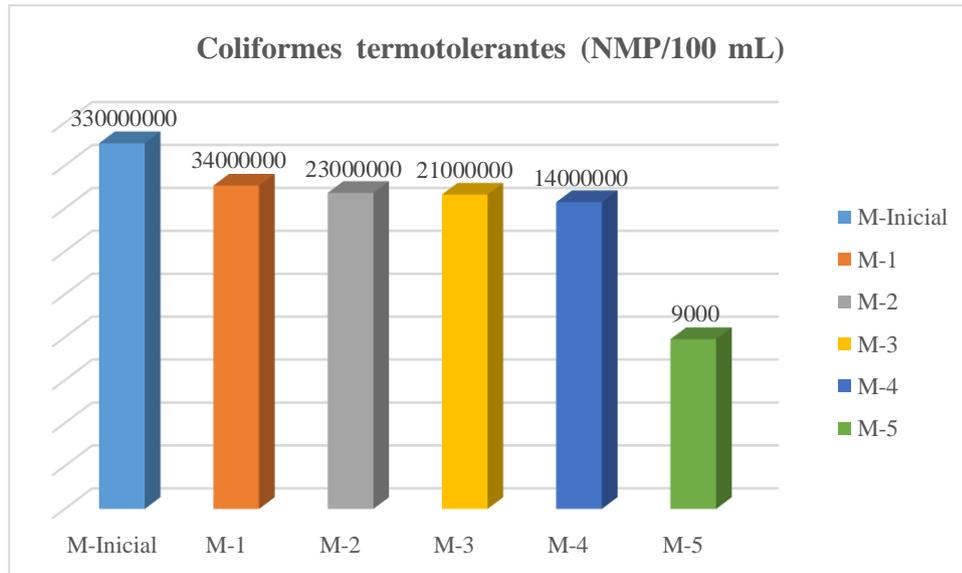


4.1.1.2.6. Coliformes termotolerantes

La figura 29 presenta de manera gráfica la remoción de coliformes termotolerantes en las aguas residuales domésticas después de pasar por el Sistema Tohá. La figura muestra los resultados de las muestras M1, M2, M3, M4 y M5. Inicialmente, la concentración de coliformes termotolerantes en el agua residual doméstica es de 33×10^7 (NMP/100 mL). En el primer análisis, esta concentración se redujo a 34×10^6 (NMP/100 mL), en el segundo análisis se obtuvo un valor de 24×10^6 (NMP/100 mL), en el tercer análisis se registró un valor de 21×10^6 (NMP/100 mL), en el cuarto análisis se obtuvo un valor de 14×10^6 (NMP/100 mL) y, finalmente, en el quinto análisis, la concentración de coliformes termotolerantes se redujo a 9000 (NMP/100 mL). Estos resultados muestran una notable disminución en comparación con la concentración inicial, “la reducción se debe principalmente a la actividad simbiótica de las lombrices y los microorganismos aerobios, que aceleran y mejoran la descomposición de la materia orgánica a través de reacciones bioquímicas” (Saboya, 2020).

Figura 29

Comparación del parámetro coliformes termotolerantes durante el tratamiento mediante el Sistema Tohá.



4.1.2. Prueba de hipótesis general

Para demostrar la hipótesis

H1: El tratamiento de las aguas residuales mejora empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

H1: El tratamiento de las aguas residuales no mejora empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

Como se detalló, se realizó 5 tratamientos de los cuales se realiza la comparación de medias utilizando la Prueba de t-Student como se detalla continuación:

4.1.2.1. Comparación entre muestras sin tratamiento y primer tratamiento

H0: No existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y primer tratamiento con el Sistema Tohá.



H1: Existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y primer tratamiento con el Sistema Tohá.

Tabla 13

Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y primer tratamiento

	Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Sin tratamiento	Sin tratamiento	7	95714395,629	163488675,0851	61792910,9215
	M1	7	9571535,571	16348801,9327	6179266,3068

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior		
Sin tratamiento	Se asumen varianzas iguales	21,350	,001	1,387	12	,191	86142860,0571	62101104,4366	-49163823,0258	221449543,1401	
	No se asumen varianzas iguales			1,387	6,120	,214	86142860,0571	62101104,4366	-65093812,8163	237379532,9306	

La tabla 13 presenta el análisis estadístico de comparación entre la muestra sin tratamiento y el primer tratamiento utilizando el sistema Tohá. Los resultados muestran que la prueba de Levene (F), que evalúa la homogeneidad de varianza, arroja un valor de 21,350. Dado que este valor es mayor que 0,05, se acepta la hipótesis de igualdad de varianza, indicando que no hay diferencias significativas entre los grupos de muestra sin tratamiento y el primer tratamiento. De igual manera, en la tabla se observa que tanto la probabilidad asociada al estadístico de Levene (Sig.) es 0,01, y el nivel crítico bilateral es 0,191, siendo este último mayor a 0,05. Estos valores permiten rechazar la hipótesis nula de igualdad de promedios poblacionales, concluyendo que hay diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y el segundo tratamiento.



4.1.2.2. Comparación entre muestras sin tratamiento y segundo tratamiento

H0: No existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y segundo tratamiento con el Sistema Tohá.

H1: Existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y segundo tratamiento con el Sistema Tohá.

Tabla 14

Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y segundo tratamiento

		Estadísticas de grupo				
	Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Resultados de laboratorio	Sin tratamiento	7	95714395,629	163488675,0851	61792910,9215	
	M2	7	8142959,286	14264440,0442	5391451,5641	

		Prueba de muestras independientes								
	Prueba de Levene de igualdad de varianzas					prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultados de laboratorio	Se asumen varianzas iguales	22,080	,001	1,412	12	,183	87571436,3429	62027667,9404	-47575242,3600	222718115,0457
	No se asumen varianzas iguales			1,412	6,091	,207	87571436,3429	62027667,9404	-63654783,9552	238797656,6409

De manera similar en la tabla 14, se visualiza el análisis estadístico de comparación entre la muestra sin tratamiento y el segundo tratamiento con el sistema Tohá. Los resultados indican que la prueba de Levene (F), relacionada con la homogeneidad de varianza, arroja un valor de 22,080. Dado que esta cifra es superior a 0,05, se confirma la hipótesis de igualdad de varianza, concluyendo que no hay diferencias significativas entre los grupos de muestra sin tratamiento y el segundo tratamiento. En la tabla, tanto la probabilidad asociada al estadístico de Levene (Sig.), que es de 0,01, como el nivel crítico bilateral, que también es de 0,183 (siendo mayor que 0,05), permiten rechazar la hipótesis nula de igualdad de promedios poblacionales.



En resumen, se establece la presencia de diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y el segundo tratamiento.

4.1.2.3. Comparación entre muestras sin tratamiento y tercer tratamiento

H0: No existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y tercer tratamiento con el Sistema Tohá.

H1: Existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y tercer tratamiento con el Sistema Tohá.

Tabla 15

Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y tercer tratamiento

Estadísticas de grupo					
	Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Resultados de laboratorio	Sin tratamiento	7	95714395,629	163488675,0851	61792910,9215
	M3	7	5428668,714	9342616,4436	3531177,1006

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Resultados de laboratorio	Se asumen varianzas iguales	23,605	,000	1,459	12	,170	90285726,9143	61893723,8488	-44569112,6833	225140566,5119
	No se asumen varianzas iguales			1,459	6,039	,195	90285726,9143	61893723,8488	-60924866,9974	241496320,8260

En la tabla 15, se visualizan los resultados del análisis estadístico de comparación entre la muestra sin tratamiento y el tercer tratamiento con el sistema Tohá. Se destaca que el valor de la prueba de Levene (F) para la homogeneidad de varianza es de 23,605, y al ser este mayor a 0,05, respalda la hipótesis de igualdad de varianza entre ambos grupos de muestra y el tercer tratamiento. En consecuencia, se concluye que no hay diferencias significativas entre ambos grupos. Además, se evidencian en la tabla la probabilidad asociada al estadístico de Levene (Sig.), que es de 0,000, y el nivel crítico bilateral, que también es de 0,170. Este último es



superior a 0,05, lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula de igualdad de promedios poblacionales. En resumen, se confirma la presencia de diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y el tercer tratamiento.

4.1.2.4. Comparación entre muestras sin tratamiento y cuarto tratamiento

H0: No existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y cuarto tratamiento con el Sistema Tohá.

H1: Existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y cuarto tratamiento con el Sistema Tohá.

Tabla 16

Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y cuarto tratamiento

Estadísticas de grupo					
	Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Resultados de laboratorio	Sin tratamiento	7	95714395,629	163488675,0851	61792910,9215
	M4	7	4428662,429	7612584,3594	2877286,4357

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Resultados de laboratorio	Se asumen varianzas iguales	24,160	,000	1,476	12	,166	91285733,2000	61859862,7333	-43495329,3648	226066795,7648
	No se asumen varianzas iguales			1,476	6,026	,190	91285733,2000	61859862,7333	-59921621,9140	242493088,3140

En la tabla 16 se presentan los resultados del análisis estadístico comparativo entre la muestra sin tratamiento y el cuarto tratamiento con el sistema Tohá. Se observa que la prueba de Levene (F) para la homogeneidad de varianza arroja un valor de 24,160, el cual, al ser



superior a 0,05, respalda la hipótesis de igualdad de varianza entre ambos grupos. Por ende, se concluye que no existen diferencias significativas entre la muestra sin tratamiento y el cuarto tratamiento. Además, en la tabla se presentan la probabilidad asociada al estadístico de Levene (Sig.), que es de 0,000, y el nivel crítico bilateral, establecido en 0,166. Al ser este último mayor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de promedios poblacionales, indicando la presencia de diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y el cuarto tratamiento.

4.1.2.5. Comparación entre muestras sin tratamiento y quinto tratamiento

H0: No existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y quinto tratamiento con el Sistema Tohá.

H1: Existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y quinto tratamiento con el Sistema Tohá.

Tabla 17

Prueba t de Student de comparación entre muestras sin tratamiento y quinto tratamiento

		Estadísticas de grupo					
		Muestra	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	
Resultados de laboratorio	Sin tratamiento		7	95714395,629	163488675,0851	61792910,9215	
	M5		7	2355,000	3899,6205	1473,9180	

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas			prueba t para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultados de laboratorio	Se asumen varianzas iguales	26,620	,000	1,549	12	,147	95712040,6286	61792910,9391	-38923146,5080	230347227,7651
	No se asumen varianzas iguales			1,549	6,000	,172	95712040,6286	61792910,9391	-55489765,4233	246913846,6804

En la tabla 17, el análisis estadístico entre la muestra sin tratamiento y el tercer tratamiento con el sistema Tohá muestra un contraste de Levene (F) sobre homogeneidad de varianza de 26,620, dado que este valor es superior a 0,05, acepta la hipótesis de igualdad de



varianza. Esto establece que no hay diferencias significativas entre los grupos sin tratamiento y el quinto tratamiento. Además, la probabilidad asociada al estadístico de Levene (Sig.) es de 0,000, y el nivel crítico bilateral, que también es de 0,147, resulta ser mayor que 0,05. Estos resultados indican que se puede rechazar la hipótesis nula de igualdad de promedios poblacionales, llevando a la conclusión de que existen diferencias significativas entre las muestras sin tratamiento y con el quinto tratamiento.

4.2. Resultados respecto a los objetivos específicos

4.2.1. Resultados OE1: Determinación del porcentaje de remoción de los parámetros DBO5, DQO empleando el sistema Tohá

Se llevaron a cabo cálculos para establecer el grado de eficacia en la eliminación de DBO5 y DQO, tanto previo como posterior al tratamiento utilizando el Sistema Tohá.

Cálculo determinación de la tasa de eficacia en la eliminación:

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

La remoción de DBO5, que refleja la carga orgánica biodegradable, varía de baja a moderada. Además, teniendo un rango del 9% al 43%, indica que el sistema Tohá tiene una capacidad limitada para reducir la demanda bioquímica de oxígeno en las aguas residuales. Caso similar sucede con la DBO, la eficiencia en la remoción de DQO es moderada teniendo un rango de 13% al 47%, el sistema Tohá demuestra capacidad para reducir la carga de contaminantes químicos en el agua residual, pero con margen para mejoras.

Tabla 18

Porcentaje de remoción en DBO5 y DQO empleando el sistema Tohá

Parámetro	Porcentaje de remoción
Demanda bioquímica de oxígeno	9 - 43



Demanda química de oxígeno

13 - 47

4.2.2. Resultados OE2: Determinación del porcentaje de remoción de aceites y grasas, pH, SST empleando el sistema Tohá

Se realizaron cálculos para determinar el porcentaje de eficiencia de remoción en aceites y grasas, pH, sst, antes y después del tratamiento con el Sistema Tohá.

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción:

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

El sistema Tohá demuestra un porcentaje de remoción considerable en general, teniendo como base las muestras iniciales, en el caso de la remoción de aceites y grasas se encuentra en un rango del 67% al 83% que sugiere una capacidad considerable para reducir estos contaminantes, pero puede haber margen para mejoras. En el caso del pH muestra una eficiencia moderada hasta el 8% pero que se encuentran dentro de los parámetros máximos permisibles. Finalmente, la eficacia en la eliminación de sólidos totales en suspensión es de grado moderado, un rango del 7% al 46% indica que el sistema Tohá puede eliminar una parte de estos sólidos, pero puede requerir mejoras para lograr una mayor eficiencia.

Tabla 19

Porcentaje de remoción de aceites y grasas, pH, sst empleando el sistema Tohá

Parámetro	Porcentaje de remoción
Aceites y grasas	67 - 83
pH	-3 - 8
Solidos totales en suspensión	7 - 46



4.2.3. Resultado OE3: Determinación del porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes empleando el sistema Tohá

Se llevaron a cabo cálculos con el fin de establecer el porcentaje de efectividad en la eliminación de coliformes termotolerantes antes y después del tratamiento con el Sistema Tohá.

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción:

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

Asimismo, muestra una excelente efectividad en la remoción de coliformes termotolerantes, con un rango del 90% al 100%. Esto indica un tratamiento eficaz para eliminar bacterias indicadoras de contaminación fecal y patógenos asociados.

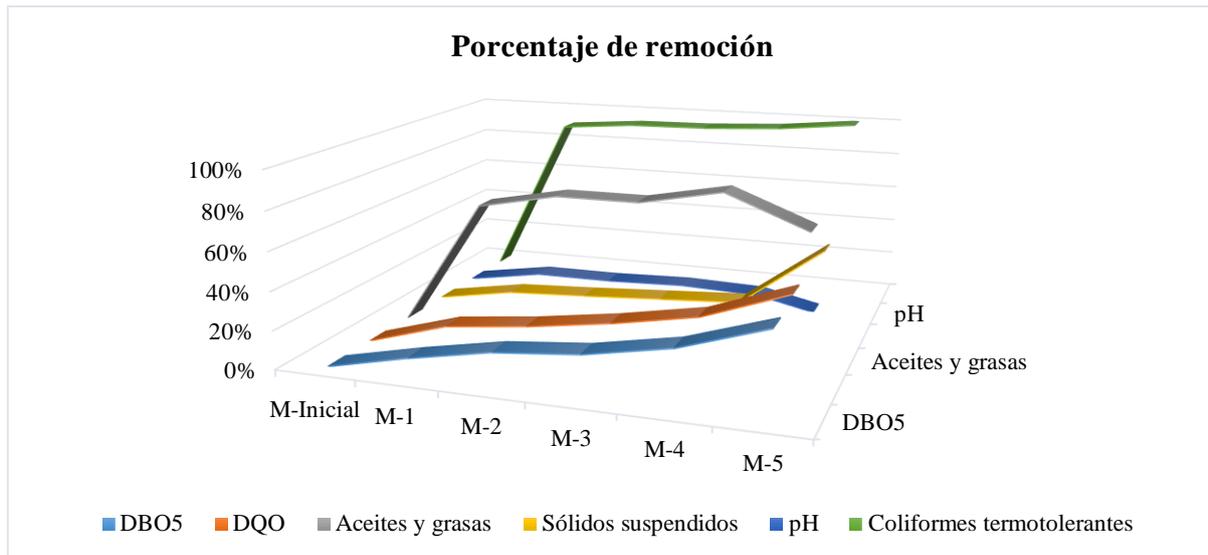
Tabla 20

Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes empleando el sistema Tohá

Parámetro	Porcentaje de remoción
Coliformes termotolerantes	90 - 100

Figura 30

Dimensiones del reactor en el Sistema Tohá



Se visualiza en la tabla 13 los resultados de menor y mayor porcentaje de remoción de aguas residuales empleando el sistema Tohá obtenidos en el presente estudio:

Conclusión

El sistema Tohá muestra un desempeño positivo en varios aspectos, pero la identificación de áreas de oportunidad subraya la importancia de considerar ajustes y mejoras continuas para optimizar su eficacia en la remoción de contaminantes y garantizar la calidad del agua tratada.

4.2.4. Resultados OE4: Evaluación de la influencia de la temperatura y humedad en la remoción de la DBO5 y DQO en el tratamiento de las aguas residuales

Los resultados del seguimiento de las temperaturas diurnas y nocturnas, así como de la humedad, se presentan en las tablas 14, 15 y 16. En cuanto a las temperaturas, se destaca un promedio diurno de 6.9°C y un promedio nocturno de 6.5°C, basado en las mediciones diarias realizadas en el Sistema Tohá utilizando un termómetro ambiental. Además, se muestran el promedio de humedad máxima, que alcanzó un 83%, y el promedio de humedad mínima, que fue de 12%, datos obtenidos de la Estación Meteorológica del Senamhi (Sicuni MET EAMA).



Tabla 21

Cuadro de resultados de temperatura y humedad de la DBO5 y DQO

Código de muestra	Caudal (L)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Horario	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
M1	20	6.9	83.2	8:00 a. m.	136	280
M2	19.2	6.5	12.3	20:00 pm	124	265
M3	19.95	6.9	83.2	8:00 a. m.	118	245
M4	19.76	6.5	12.3	20:00 pm	106	220
M5	20	6.9	83.2	8:00 a. m.	85	170

Los hallazgos de la eliminación de DBO5 y DQO en las aguas residuales domésticas con el Sistema Tohá, influenciados por los cambios de temperatura durante el día y la noche, así como por los niveles de humedad, se presentan en la tabla 14. Se presencio que cuando la temperatura disminuyó de 6.5°C a 6.9°C y la humedad alcanzó su nivel máximo de 83%, con un mínimo del 12%, la eficiencia de eliminación se redujo en 2.0 mg/L para DBO5 y 10.8 mg/L para DQO, a un caudal de 20 mL/min. La mención de un caudal de 20 mL/min destaca la relevancia de la tasa de flujo en la eficiencia del sistema. Un caudal más bajo podría permitir un contacto prolongado entre el agua residual y los microorganismos, lo que podría mejorar la eficiencia de eliminación.

Los hallazgos resaltan la importancia de tener en cuenta las condiciones climáticas locales al implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales. Además, podrían sugerir la necesidad de desarrollar Enfoques para reducir los impactos desfavorables de las fluctuaciones en la temperatura y la humedad en el rendimiento del Sistema Tohá.

Tabla 22

Cuadro de resultados de monitoreo de temperatura

Fecha	Temperatura (°C) Sistema Tohá	
	Diurna Hora de muestreo (8:00 am)	Nocturna Hora de muestreo (20:00 pm)
17/06/2023	6	8



Fecha	Temperatura (°C) Sistema Tohá	
	Diurna	Nocturna
	Hora de muestreo (8:00 am)	Hora de muestreo (20:00 pm)
18/06/2023	5	3
19/06/2023	6	5
20/06/2023	7	4
21/06/2023	5	6
22/06/2023	6	2
23/06/2023	4	7
24/06/2023	4	8
25/06/2023	5	2
26/06/2023	6	4
27/06/2023	6	3
28/06/2023	5	10
29/06/2023	7	7
30/06/2023	7	9
01/07/2023	8	7
02/07/2023	6	6
03/07/2023	7	7
04/07/2023	5	6
05/07/2023	7	8
06/07/2023	9	4
07/07/2023	7	5
08/07/2023	8	9
09/07/2023	9	8
10/07/2023	8	10
11/07/2023	7	6
12/07/2023	8	5
13/07/2023	9	10
14/07/2023	8	6
15/07/2023	10	9
16/07/2023	7	8
17/07/2023	6	10
18/07/2023	8	12
19/07/2023	9	8
20/07/2023	6	7
21/07/2023	7	2
22/07/2023	7	8
23/07/2023	9	5
24/07/2023	8	7
25/07/2023	9	2
26/07/2023	6	8
Promedio	6.9	6.5



La disminución de la eficiencia de eliminación de DBO5 y DQO cuando la temperatura disminuyó de 6.5°C a 6.9°C indica una cierta sensibilidad del Sistema Tohá a las variaciones térmicas. Esto puede deberse a que las reacciones biológicas responsables de la eliminación de contaminantes son influenciadas por la temperatura.

Tabla 23

Cuadro de resultados de monitoreo de humedad

Estación Meteorológica del Senamhi (Sicuaní MET EAMA)		
Fecha	Humedad (%)	
	Max	Min
17/06/2023	85	19
18/06/2023	88	14
19/06/2023	84	15
20/06/2023	91	15
21/06/2023	91	14
22/06/2023	92	12
23/06/2023	78	7
24/06/2023	64	5
25/06/2023	68	7
26/06/2023	74	10
27/06/2023	77	10
28/06/2023	74	9
29/06/2023	100	13
30/06/2023	100	14
1/07/2023	97	12
2/07/2023	87	11
3/07/2023	78	11
4/07/2023	71	10
5/07/2023	78	9
6/07/2023	77	8
7/07/2023	79	7
8/07/2023	70	12
9/07/2023	91	17
10/07/2023	89	12
11/07/2023	92	13
12/07/2023	78	11
13/07/2023	76	13
14/07/2023	100	18
15/07/2023	83	13
16/07/2023	86	17
17/07/2023	88	16
18/07/2023	100	20



Estación Meteorológica del Senamhi (Sicuaní MET EAMA)

Fecha	Humedad (%)	
19/07/2023	100	29
20/07/2023	100	18
21/07/2023	82	12
22/07/2023	72	8
23/07/2023	75	9
24/07/2023	72	10
25/07/2023	69	7
26/07/2023	75	6
Promedio	83	12

Nota. Obtenido de Estación Meteorológica del Senamhi (Sicuaní MET EAMA)

La observación de que la eficiencia de eliminación se redujo en condiciones de alta humedad (83%) sugiere que niveles extremos de humedad también pueden afectar negativamente al Sistema Tohá. La actividad microbiológica puede ser afectada por condiciones extremas de humedad.

Tabla 24

Cuadro de resultados de la influencia de la temperatura y humedad de la DBO5 y DQO

Caudal (ml/min)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)
20	2	10.8

Interpretación

Según los resultados derivados de los promedios de DBO5 y DQO tanto diurnos como nocturnos, se puede concluir que la influencia de las variaciones de temperatura y los niveles de humedad máxima y mínima en la eliminación de DBO5 y DQO en las aguas residuales mediante el Sistema Tohá en el distrito de San Pablo, Provincia de Canchis, Departamento de Cusco en 2023, es insignificante o mínima.

Análisis

La falta de impacto significativo de las variaciones de temperatura sugiere que el proceso del Sistema Tohá es robusto y eficiente en diferentes condiciones climáticas. Esto es



beneficioso ya que las fluctuaciones de temperatura son comunes, y la estabilidad del proceso indica una mayor confiabilidad en la eliminación de contaminantes.

El hecho de que la influencia de los niveles de humedad es insignificante implica que el Sistema Tohá es capaz de mantener un rendimiento constante en términos de eliminación de DBO5 y DQO, independientemente de las variaciones en la humedad. Esto es importante para lugares donde la humedad puede cambiar estacionalmente.

Conclusión

Los resultados indican una mínima influencia de las condiciones climáticas, es crucial considerar que estos resultados se derivan de un período específico y pueden no reflejar variaciones extremas. Asimismo, la falta de sensibilidad a las variaciones climáticas podría sugerir que el Sistema Tohá en el distrito de San Pablo ha sido diseñado o implementado de manera que sea resistente a cambios ambientales. Esto podría ser el resultado de un diseño bien adaptado a las condiciones locales.



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

El estudio presente tuvo como objetivo evaluar el sistema Tohá para el mejoramiento de las aguas residuales en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.

Tanto los parámetros físicos, químicos como biológicos de la muestra 05, tomada el 26 de julio de 2023, se sitúan por debajo de los límites establecidos por el DS N°003 -2010-MINAM. La disminución de estos parámetros se debe en gran medida a la colaboración simbiótica entre las lombrices y los microorganismos aerobios, quienes agilizan y optimizan la descomposición de la materia orgánica a través de reacciones bioquímicas, actuando las lombrices como agentes catalizadores biológicos (Saboya, 2020).

El Sistema Tohá evidenció una eficaz remoción en todos los parámetros evaluados, logrando rendimientos del 100% en la eliminación de coliformes termotolerantes. Además, se obtuvieron tasas de remoción del 43% para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), del 47% para la DQO, del 83% en aceites y grasas, y del 46% en sólidos totales en suspensión. El pH se mantuvo en niveles cercanos a la neutralidad, con un valor aproximado de 7. Estos resultados positivos se deben a varios factores, incluyendo la operación a caudales óptimos y condiciones ambientales favorables, lo que contribuyó a la mejora constante de la eficiencia del Sistema Tohá.

Además, el sistema Tohá muestra una habilidad notable para reducir aceites y grasas, con posibles áreas de mejora identificadas. Destaca por su excelente eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes, indicando un tratamiento eficaz contra bacterias fecales y patógenos. Sin embargo, la capacidad para reducir la DBO5 varía, mostrando eficiencia



limitada en el descenso de la carga orgánica biodegradable (9% al 43%), sugiriendo oportunidades para mejoras. Mejorar la efectividad en la eliminación de la DBO5 y DQO es moderada, con margen para mejoras en la reducción de contaminantes químicos. En cuanto al pH, la eficiencia es moderada y se mantiene dentro de los límites permisibles. Respecto a los sólidos totales en suspensión, el sistema Tohá muestra eficacia moderada, pero podría beneficiarse de mejoras para lograr una mayor eficiencia.

Asimismo, la falta de un impacto significativo de las variaciones de temperatura en el Sistema Tohá sugiere que su proceso es robusto y eficiente bajo diversas condiciones climáticas. Esta característica es beneficiosa, ya que las fluctuaciones de temperatura son comunes, y la estabilidad del proceso indica una mayor confiabilidad en la eliminación de contaminantes. Además, la insignificante influencia de los niveles de humedad implica que el Sistema Tohá puede mantener un rendimiento constante en la expulsión de DBO5 y DQO, independientemente de las variaciones en la humedad. Esta capacidad es crucial en lugares donde la humedad puede cambiar estacionalmente.

5.2. Limitaciones del estudio

Cuando se comenzó el presente trabajo, se generó una serie de obstáculos imprevistos que causaron un significativo retraso en el progreso de las tareas programadas.

Limitación social: Desconfianza por parte de pobladores de la zona por actividades en la zona de estudio.

Limitación práctica: La zona de estudio demandaba tiempo para poder llegar y realizar los ensayos correspondientes.

Limitación teórica: La información necesaria para análisis complementarios no era de acceso libre en muchos casos.



5.3. Comparación crítica con la literatura existente

La presente investigación guarda concordancia con las observaciones de Gallegos (2019), quien pudo constatar y comprobar la eficacia del Sistema Tohá como una excelente opción y alternativa adecuada para el tratamiento principal de las aguas residuales en el Instituto Juan Pablo II, Lima. En este contexto, el Sistema Tohá demostró una elevada capacidad de eliminación de contaminantes y carga orgánica. De igual manera, concuerda con las afirmaciones de Arana (2022), quien sostiene que las variaciones de temperatura diurnas y nocturnas no tienen un impacto sustancial en el proceso de remoción. Además, se relaciona con lo expresado por Román (2020), quien destaca que el Sistema Tohá se configura como una tecnología altamente eficaz para el tratamiento de aguas residuales tanto de hogares como agroindustriales. Numerosas investigaciones experimentales han evidenciado el potencial de las lombrices *Eisenia foetida* en la eliminación de contaminantes como la DBO, los SST, la DQO y microorganismos patógenos presentes en el agua residual. Luego de someterse a este proceso de tratamiento, el agua resultante es posible emplearla nuevamente en la irrigación de zonas agrícolas o liberarla en cuerpos de agua naturales sin contravenir las regulaciones ambientales en vigor.

Del mismo modo, guarda coherencia con lo expresado por Riveros (2021), quien señala que el sistema TOHÁ demostró una eficacia significativa en la disminución de los niveles de DBO5, DQO y SST en las aguas residuales provenientes del Camal Municipal de la Provincia de Calca, ubicada en la región de Cusco. En promedio, se alcanzaron reducciones del 79.80% en DBO5, del 77.84% en DQO y del 86.35% en SST. Para concluir, el estudio respalda lo mencionado por Saboya (2020) al destacar que el Sistema Tohá demostró una eficaz eliminación de todos los parámetros evaluados. Al usar la especie *Eisenia foetida*, se lograron eficiencias del 92% en cuanto a la DBO5 y del 86% en la DQO, mientras que con *Lumbricus terrestris* se alcanzó el 91% en DBO5 y el 84% en DQO. En lo que respecta al nitrógeno total,



se obtuvo un 78% de eficiencia con *Eisenia foetida* y un 77% con *Lumbricus terrestris*. En relación a la turbidez, se logró una eficiencia del 84.4% con *Eisenia foetida* y del 83% con *Lumbricus terrestris*. La eliminación de coliformes termotolerantes fue del 84% con ambas especies. Adicionalmente, se logró obtener un pH cercano a la neutralidad, situándose en 6.7 y 6.68, con un nivel de eficiencia del 93% en ambos casos.

5.4. Implicancias del estudio

Del trabajo de investigación se consideran las siguientes implicancias:

Implicancia práctica: la escasez de conocimiento que poseen las instituciones gubernamentales para la gestión adecuada de los recursos, es por tal motivo que se considera que esta investigación sirve como una base para hacer investigación y crear una visión a largo plazo de una gestión efectiva de los recursos.

Implicancias sociales: para llevar a cabo este proyecto de investigación y considerar su futura expansión, es esencial la colaboración de diversos expertos con el fin de lograr un resultado óptimo y compartido.



CONCLUSIONES

En cuanto al objetivo general se evaluó y determinó que todos los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos se sitúan por debajo de los límites establecidos por el DS N°003-2010-MINAM. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) se registró en 85 mg/L, por debajo del límite máximo de 100 mg/L según el mencionado DS. La DQO se estableció en 170 mg/L, también por debajo del límite máximo permitido de 200 mg/L. En cuanto a los aceites y grasas, se obtuvo un valor de 4 mg/L, en comparación con el límite máximo de 20 mg/L especificado en la normativa. Los sólidos suspendidos se cifraron en 100 mg/L, mientras que la norma fija un límite máximo de 20 mg/L. El pH se mantuvo en 7.6, dentro del rango permitido por la norma, que va de 6.5 a 8.5. Finalmente, en lo que respecta a los coliformes termotolerantes, se obtuvo un valor de 9000 (NMP/100 mL), por debajo del límite máximo de 10000 (NMP/100 mL) establecido por la normativa.

Como parte de los objetivos específicos se determinó la eficiencia en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales mediante el Sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, en el año 2023, el cual se traduce en un 43% de reducción en la DBO5 y un 47% en la DQO. En cuanto a los aceites y grasas, se logra una remoción del 83%, mientras que el pH se ajusta al 100%. Por último, en lo que respecta a los coliformes Termotolerantes, la reducción alcanza el 8%. Asimismo, se ha observado que las variaciones en las temperaturas diurnas y nocturnas, así como los niveles de humedad, no ejercen un impacto relevante en el proceso de eliminación de la DBO5 y la DQO de las aguas residuales domésticas mediante el uso del Sistema Tohá.



RECOMENDACIONES

1. En investigaciones a nivel piloto, se recomienda a las autoridades y encargados competentes utilizar efluentes contaminados que no estén contaminadas por actividades industriales, ya que esto podría distorsionar los resultados obtenidos.
2. Extender la fase de adaptación de las lombrices sería beneficioso, dado que podría tener un impacto positivo tanto en la cantidad de contaminantes en el agua residual como en su capacidad para mejorar el proceso de remoción.
3. Realizar una evaluación variando la cantidad de lombrices con un flujo de agua constante para mejorar la remoción. Antes de iniciar el proceso de tratamiento del Sistema Tohá, es importante ir aclimatando a las lombrices al agua residual al que van a ser expuestos e ir registrando el pH y la temperatura de estas aguas.
4. Si se pretende procesar una cantidad mayor de aguas residuales, se debe incrementar la superficie del Sistema Tohá, ya que existe una relación directamente proporcional entre estas dos variables, considerando el enfoque del método del Sistema Tohá.
5. Se aconseja garantizar un riego uniforme y constante en la parte superior del sistema de vermifiltración, al igual que una buena evacuación y descarga del agua tratada, ya que si existe demasiada humedad puede ocasionar problemas para las lombrices puesto que no se garantiza la sobrevivencia de las lombrices si hay demasiada saturación debido a que fallará la oxigenación del sistema.
6. En investigaciones futuras, se podría examinar diversas especies de lombrices para evaluar cómo afectan los parámetros físicos de las aguas residuales industriales.
7. Se recomienda el análisis de métodos de desinfección en aguas residuales como la cloración; que es un método utilizado por muchos municipios, la ozonización o la radiación ultravioleta (UV).



BIBLIOGRAFÍA

- A.V.F., I. A. (2003). *Fundación para la Transferencia Tecnológica. Universidad de Chile.*
“Programa de Descontaminación de Aguas, Biofiltro. Chile: UNTEC.
- ANDINA. (2010). *El 70% de aguas residuales en Perú se vierte sin tratamiento, afirma.*
EDITORIA PERÚ.
- Aquino Espinoza, P., & ANA. (2017). *Calidad del Agua en el Perú.* Perú: Derecho, Ambiente
y Recursos Naturales (DAR) .
- Arana, H. (2022). *Influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de las aguas
residuales domésticas para zonas rurales de la provincia de Cusco, departamento
Cusco* .Universidad
Continental.[http://IV_FIN_107_TE_Arana_Llashag_2022%20\(1\).pdf](http://IV_FIN_107_TE_Arana_Llashag_2022%20(1).pdf): [Tesis de
Pregrado].
- Arana, H. (2022). *Llashag Influencia del lombrifiltro en la remoción de la DBO5 y DQO de
las aguas residuales domésticas para zonas rurales de la provincia de Cusco,
departamento Cusco.*,. Universidad Continental, Cusco.
- Arias, Y. G., & Tiquillahuanca, Y. L. (2018). *Universidad Señor de Sipán.* Obtenido de
Repositorio Universidad Señor de Sipan.
- Belzona. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales.* Alejandra Troconis.
- Berzunza Paredes, S., Vivas Peres, J. J., & Rios Medina, R. (s.f.). *Conceptos Básicos, De Las
Aguasresiduales Y Su Clasificación.*
- Cabrera, M., Montenegro, L., & Jimenez, A. (2022). Análisis de un Sistema de Tratamiento de
Aguas Residuales de una Industria de Embutidos. *Revista Politécnica*, 49(2), 47-54.



- Cao, Y. (2019). The leakage of sewer systems and the impact on the 'black and odorous water bodies' and WWTPs in China. *Water Sci. Technol.*
- Casas, L. H. (2017). *Humedades*. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.
- Castro, E. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema tohá (lombrifiltro) para el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Tinjacá- Boyacá*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Caldas.
- Charles, D. (1809). *Manual Lombricultura Agroflor*. Villarrica: Agroflor Lombricultura.
- Condori Ojeda, P. (s.f. de s.f. de 2020). *Universo, población y muestra*. Obtenido de Universo, población y muestra.
- Editorial Etecé. (15 de julio de 2021). *concepto*.
- Espigares, M. (2015). Aspectos sanitarios del estudio de las agua. *Servicio de Publicaciones. Granada*.
- Fernandez, R., & Sieber, M. (20 de Abril de 2021). Sistema Tohá Tratamiento de aguas residuales con lombrices. *Calendario de excursiones Maule Fundación Trekkingchile*, pág. 15.
- Ferrer, J., Seco, A., & Robles, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales. 3ª edición*. España: Universitat Politècnica de València.
- Fleming, Z. (2020). Sistema Tohá: Un éxito de innovación eficiente y ecológica atrae al mundo. *Históricos Innovadores*.
- Fraume, N. (2007). Diccionario ambiental. En F. N.. Kimpres .



Gallegos, D. (2019). *Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde*. Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur, Lima.

Google Earth. (19 de Abril de 2021).

Gutiérrez, V., Gómez, G., & C. Rod, D. (2023). Análisis Crítico del Tratamiento de Aguas Residuales con Vermifiltros: Parámetros de Operación, Calidad de las Aguas Residuales y Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.

Gwebu, L., & Mpala, C. (3 de Enero de 2022). *Intechopen*. Obtenido de Aplicación de la Vermifiltración para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

Henze, M., Loosdrecht, M., Ekama, G., & Brdjanovic, D. (2011). Biological wastewater treatment : principles, modelling and design. *INTERAMERICANA*.

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de Investigación*. México: Mc Graw Hill.

Hernando, O. (2005). *Diseño del sistema de control automatico de ph en la planta de tratamiento de agua residuales de La Empresa Termocartagena S.A. E.S.P.* . Cartagena.

Huiza , J., & Ordoñez , N. (2018). *Eficiencia de lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Centro Poblado De Huaylacucho Del Distrito De Huancavelica-2018*. Huancavelica.

IDEAM. (14 de Diciembre de 2017). *IDEAM*. Instructivo de ensayo.determinacion de demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubacion y electrometría. SM 5210B



INCYTU. (2019). *Tratamiento de aguas residuales*. México.

https://www.foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf

Jaume, A. T. (2020). *Depuración Y Regeneración De Aguas Residuales UrbanaS*. Alicante: PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA.

Larios, F., & Gonzáles, C. (07 de Octubre de 2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. En U. S. Loyola., *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL* (págs. pp. 09-25). Editorial Saber y Hacer.

Larrea, J. A., Rojas, M. M., Romeu, B., Rojas, N. M., & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *CENIC-Ciencias Biológicas*, 24-34.

Lazcano, C. (2016). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales*. Bogotá: ECODE EDICIONES.

Losse, D. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento.

Lozano, W. A. (Diciembre de 2012). *RESEARCHGATE*.

Lubelihle , G., & Canisius , M. (2022). *Aplicación de la Vermifiltración para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. (E. p. Ince, Ed.) doi:10.5772/intechopen.103920

Lubelihle , G., & Canisius , M. (2022). Application of Vermifiltration for Domestic Sewage Treatment. *Wastewater Treatment*. Intechopen, Zimbabwe. doi:10.5772/intechopen.103920



- Mamani, G., & Roque, A. (2020). *Impacto ambiental provocado por la planta de tratamiento de aguas residuales de Cusco Como violacion al derecho fundamental a la salud en la comunidad campesina de ccollana del distrito De San Jeronimo-Cusco.*
- Marin & Osés. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas residuales con el proceso de lodos activados.* Comisión Estatal del Agua de Jalisco.
- Martines, L. (2007). Definiciones de humedad y su equivalencia. *Centro Nacional de Metrología, División de Termometría.*
- Maza, J. (2017). *Lombrifiltro para mejorar la calidad de las aguas residuales.* Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Menendez, & Perez, J. (2007). *Procesos para el tratamiento biologico de aguas residuales industriales.* La Habana: Editorial Félix Varera - Editorial Universitaria.
- Metzalf. (1995). *Ingenieria de aguas residuales.* España: McGraw-Hill.
- MINAM. (2022). *Tratamiento y reuso de aguas residuales.* SINIA.
- Ministerio del Ambiente. (17 de marzo de 2010). DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. Lima, Perú.
- Montés, M., & Menéndez, A. (2010). El problema de la gestión de lodos. *Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento del agua*, 102.
- OEFA. (Abril de 2014). *OEFA.*
- ONU. (1979). *Medición del caudal, método volumétrico.* FAO.
- Orellana, J. (2005). *Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO.* Conducción De Líquidos Residuales.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Aguas Residuales El Recurso Desaprovechado.* Francia: Unesco.



- Orozco Jaramillo , Alvaro. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales* .
- Paico Revilla, D. A. (2017). *Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo*. Chiclayo.
- Perez, J. (2018). Aguas residuales. *Revista Edusol*, 123-135. LINK
- Quispe, M.L. et al. (2020). *Aplicaciones tecnológicas en tratamiento de aguas residuales*. 1° edición: Nosótrica ediciones .
- Rajwinder , S., Arti , T., Ankita , T., Singh, S., & Anmol , K. (2021). Application of vermifiltration technique to treat wastewater: An experimental study. *SSRN*.
- Ramírez, E. (2013). *Metodología de la investigación científica y elaboración de tesis*.
- Ramos, L. (2015). *Alternativa Ecológica, No Convencional, para el Tratamiento de Aguas Residuales en Comunidades Non-Prasa de Puerto Rico*. Universidad Politécnica de Puerto Rico. Puumuerto Rico.
- Reynolds, K. (2022). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica ... 48-49.
- Riveros, A. (2021). *Eficiencia del sistema TOHÁ y Canal de Fitodepuración en la reducción de la DBO5, DQO y SST de aguas residuales provenientes del Camal Municipal de la Provincia de Calca – Cusco 2021*. Universidad Cesar Vallejo, Cusco.
- Rmirez, L. I., & Dominguez, M. D. (2008). Obtenido de DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.
- Rojas , Ricardo. (2002). Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, (pág. 19).
- Román, G. (2020). *Vermifiltración con lombriz roja (eisenia foetida) para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad Científica, Lima.



- Saboya , X. (2020). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Muro de la Investigación*.
- Saboya, X. (2017). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas*. Universidad Peruana Unión, Amazonas.
- Salazar Miranda , P. I. (2005). *Sistema tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. Universidad Austral de Chile.: [Tesis de Pregrado].
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2010). Metodología de la investigación. *McGraw-Hill*.
- Seminario Universitario de Sociedad, M. A. (2018). *Agenda Ambiental 2018 Diagnóstico y propuestas*.
- Sieber, M. (20 de Abril de 2021). *trekkingchile*. Obtenido de SISTEMA TOHÁ – TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS CON LOMBRICES
- Simfruit. (8 de junio de 2020). *simfruit.cl*.
- Trapote Jaume, A. (2020). *Tratamiento y eliminación de residuos*. Julio: 23.
- Umasi. (2020). *Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco*. Universidad Peruana Unión, Cusco. Obtenido de file:///C:/Users/Jackeline/Downloads/Edison_Tesis_Licenciatura_2020.pdf
- Usa , S., Acuña, V., & McDonald , R. (2021). Contaminación por aguas residuales, disminución de la salud del ecosistema y colaboración intersectorial. *Conservación Biológica*.



APÉNDICES

A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Mejoramiento del tratamiento de aguas residuales a través del Sistema Tohá en el distrito de San Pablo-Canchis, 2023

Tabla 18

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de origen doméstico empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>La eficiencia del tratamiento de las aguas residuales mejora empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Tratamiento de aguas residuales</p>	<p>Tipo de la Investigación</p> <p>Experimental</p>
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) en el tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023? 	<p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) en el tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023. 	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> El tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá permitió mejorar el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO) en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023. 	<p>Variable dependiente:</p> <p>Sistema Tohá</p>	<p>Enfoque de la Investigación:</p> <p>Cuantitativo</p>



-
- ¿Cuál es la temperatura y humedad durante la remoción de la DBO5 y DQO en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco,” 2023?
 - ¿Cuál es el porcentaje de remoción de aceites y grasas, solidos totales en suspensión y pH empleando el sistema Tohá en el tratamiento aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?”
 - ¿Cuál es el porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes, empleando el sistema Tohá en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023?
- Determinar el porcentaje de la temperatura y humedad en la remoción de la DBO5 y DQO en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
 - Determinar “el porcentaje de remoción de aceites y grasas, solidos totales en suspensión y pH en el tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
 - Determinar el porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes, en el tratamiento de las aguas residuales empleando el sistema Tohá en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
- El tratamiento de las aguas residuales permitió mejorar el porcentaje de la temperatura y humedad en la remoción de la DBO5 y DQO en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
 - El tratamiento de aguas residuales empleando el sistema Tohá permitió mejorar el porcentaje de remoción de aceites y grasas, solidos totales en suspensión y pH en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
 - El tratamiento de las aguas residuales empleando el sistema Tohá permitió mejorar el porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes en el distrito de San Pablo, provincia de Canchis, departamento de Cusco, 2023.
-



B. PANEL FOTOGRÁFICO

- **Coordinación con el Municipio y verificación de la PTAR**





- Etapa de construcción el prototipo





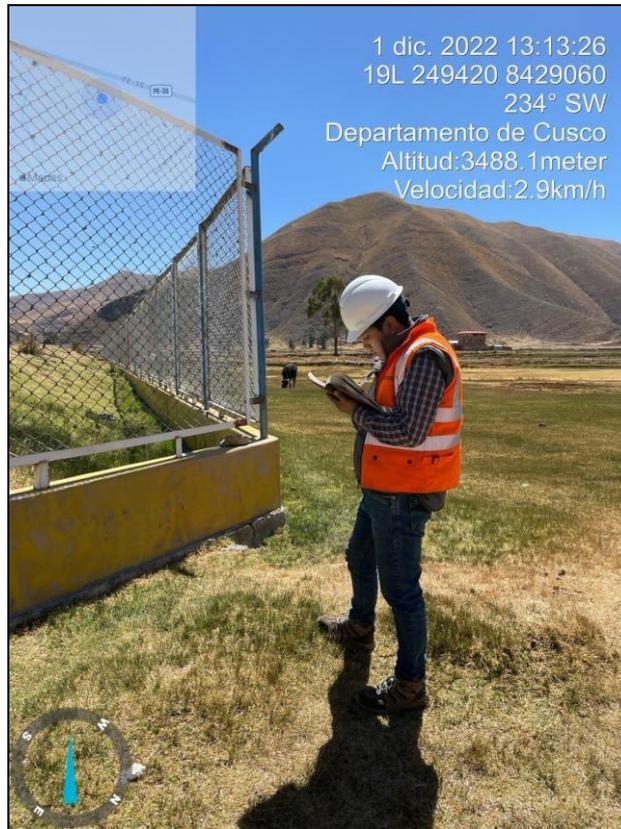
- Evaluaciones del agua residual







- **GPS del lugar para monitoreo**







- Lombrices





- Medición de caudal





- Operatividad de prototipo





- Evaluaciones finales en el prototipo





LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-01119/23

Página 1/3

DATOS DEL CLIENTE	
Cliente	: QICON E.I.R.L.
Domicilio legal	: CALLE SAN MARTIN 118 - SAN SEBASTIAN - CUSCO - CUSCO
Solicitado por	: PAZ LABORATORIOS S.R.L.

DATOS DE LA MUESTRA	
Producto declarado ^{1H}	: AGUA RESIDUAL
Lugar de Muestreo ^{1H}	: DISTRITO DE SAN PABLO – PROVINCIA DE CANCHIS - CUSCO
Fecha de Muestreo ^{1H}	: 2023-05-01
Procedencia	: Proportcionada por el solicitante
Cantidad recibida	: 01 muestra x 5.0 Litros
Presentación y condición de recepción	: En frascos de plástico, vidrio ámbar, refrigerados y preservados
Identificación y descripción ^{1H}	: Según se indica.
Fecha de recepción	: 2023-05-02
Fecha de inicio del ensayo	: 2023-05-02
Fecha de término del ensayo	: 2023-05-17
Ensayo realizado en	: Laboratorio Ambiental Arequipa / Laboratorio Microbiología Arequipa
Identificado con	: H/S 23003839 (EXMA-05744-2023)
Validez del documento	: Este documento es válido solo para muestra descrita

Proyecto^{1H}: "ANÁLISIS CALIDAD DE AGUA (PTAR) – SAN PABLO. "

Puntos de muestreo ^{1H}	Coordenadas UTM WGS 84 ^{1H}		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones ^{1H}
	ESTE	NORTE		
EAG-01	249500	8428991	—	Altitud: 3 489 m a n.m. Zona: 19L

^{1H} Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

Escaneado con CamScanner

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-01119/23

Página 2/3

RESULTADOS

Parámetro	Límite de Detección	Unidad	Resultado	Estación de Muestreo
				EAG-01
				Fecha y Hora de Muestreo
				2023-05-01 13:00
				Tipo de Muestra
				Agua Residual
Parámetros Físico - Químicos				
Sólidos Suspensos Totales	2,5	mg/L	37,3	
Parámetros Orgánicos				
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	9,2	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2,00	mg/L	128	
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)	2,5	mgO2/L	205	
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Termotolerantes	1,8	NMP/100 mL	54 000 000	

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	BM	LFB	Criterio de aceptación	Muestra	Duplicado	RPD	Criterio de aceptación
	= Límite Detección						
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (L.D: 2,00 mg/L)	<2,00	203	198 ± 30,5 mg/L	128	127	0,47	<20%
Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) (L.D: 2,5 mgO2/L)	<2,5	108	85% - 115%	196	205	4,43	<20%
Sólidos Suspensos Totales (L.D: 2,5 mg/L)	<2,5	102	85% - 115%	37,2	37,4	0,54	± 5 %

Ensayos	BM	LFB	Criterio de aceptación	LFM / ORP	LFM-DUP / ORP-DUP	RPD	Criterio de aceptación
	= Límite Detección						
Aceite y grasas (L.D: 0,50 mg/L)	<0,50	82,5	78%-114%	37,0	37,7	1,87	± 11 %

BM: Blanco del Método
LFB: Blanco Fortificado de Laboratorio
LFM: Matriz Fortificada de Laboratorio
LFMD: Duplicado de Matriz Fortificada de Laboratorio
% RPD: Diferencia Porcentual Relativa

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

* EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE*

F:\data\2023\20230501\230501001



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL – DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 2-01119/23

Página 3/3

CONTROLES DE CALIDAD

Ensayos	Control	Caldo EC/A-1	Caldo EC	Agar mFC
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	(+), E.coli	Con crecimiento	Con crecimiento	Con crecimiento
	(-), E.aerogénes	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento
	(-), Blanco	Sin crecimiento	Sin crecimiento	Sin crecimiento

MÉTODOS

Aceites y Grasas: EPA Method 1664, Revision B, 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Slica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry

Coliformes Termotolerantes(NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC medium)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (Revision 2019). 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. (Revision 2022). 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

Sólidos Suspensidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. (Revision 2020). 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C

OBSERVACIONES

Prohíbe la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 18 de mayo de 2023

Firmado Digitalmente
CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

L.C. Estela Mercedes Mamani
C.A.C. N° 774
JEFE DEL LABORATORIO AREQUIPA

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

AREQUIPA
Calle Teniente Rodríguez N° 1415
Miraflores – Arequipa
T. (054) 265572

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla – Callao
T. (511) 319 9000

info@cerper.com – www.cerper.com

Firmado con Certificación

EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf. 229773 - RPC. 989 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0555-2015-DR/SC

ANÁLISIS FISCOQUIMICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	*TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023*
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	01
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales sin tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	21 de junio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	13:30 pm

EXAMEN FISCOQUIMICO	UNIDAD	RESULTADOS	LMP para los efluentes de PTAR
Sólidos suspendidos	mg/L	280	Hasta 150 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	12	Hasta 20 mg/L
DBO ₅	mg/L	1.50	Hasta 100 mg/L
DQO	mg/L	320	Hasta 200 mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	0.0
pH	unid pH	7.4	6.5-8.5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

NOTA:

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- LA TOMA DE MUESTRA NO FUE REALIZADA POR EL LABORATORIO MICROLAB.

28/06/2023

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
INGENIERO QUIMICO
CIP 23638

Urb. Mariscal Gamarra 1-0 (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf. 229773 - RPC, 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicitante:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	01
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales sin tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	21 de junio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	13:30 pm

ANÁLISIS	RESULTADOS	
	RESULTADO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
EXAMEN BACTERIOLÓGICO		
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	33 x 10 ⁷ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml
Coliformes totales (NMP/100 mL)	34 x 10 ⁷ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml

NOTA: Los límites máximos permisibles considerados en el presente reporte corresponden a efluentes de PTAR.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab.

28/06/2023

BIOERLAB, CUSCO S.C.R.L.
Blga. Elizabeth Samanez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

BIOERLAB, CUSCO S.C.R.L.
Blga. Rocío M. Escalante
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Extendido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf. 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL Minsa RESOLUCIÓN N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS FISIQUÍMICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO – PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	02
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	21 de junio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	14:00 pm

EXAMEN FISIQUÍMICO	UNIDAD	RESULTADOS	LMP para los efluentes de PTAR
Sólidos suspendidos	mg/L	260	Hasta 150 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	4	Hasta 20 mg/L
DBO ₅	mg/L	136	Hasta 100 mg/L
DQO	mg/L	280	Hasta 200 mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	0.0
pH	unidad pH	6.9	6.5-8.5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

NOTA:

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- LA TOMA DE MUESTRA NO FUE REALIZADA POR EL LABORATORIO MICROLAB.

28/06/2023

COLEGIO DE INGENIEROS (OS, PERS)
CONSEJO DEPARTAMENTAL, CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gubertus
INGENIERO QUÍMICO
CIP 234338

Urb. Mariscal Gamarra 1-B (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Comido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf 220773 - RPC 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0535-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	02
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	21 de junio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	14:00 pm

ANÁLISIS	RESULTADOS	
	RESULTADO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
EXAMEN BACTERIOLÓGICO		
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	34 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml
Coliformes totales (NMP/100 mL)	33 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml

NOTA: Los límites máximos permisibles considerados en el presente reporte corresponden a efluentes de PTAR

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

28/06/2023

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
Elizabet Samanez Gibaja
Blga. Elizabet Samanez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
Rocio M. Escalante
Blga. Rocio M. Escalante
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Tel: 229773 - RPC: 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0555-2015-DRSE

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCO
Número de muestra:	03
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	28 de junio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	15:00 pm

EXAMEN FÍSICOQUÍMICO	UNIDAD	RESULTADOS	LMP para los efluentes de PTAR
Sólidos suspendidos	mg/L	254	Hasta 150 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	3	Hasta 20 mg/L
DBO ₅	mg/L	124	Hasta 100 mg/L
DQO	mg/L	265	Hasta 200 mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	0.0
pH	unidad pH	6.9	6.5-8.5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

NOTA:

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- LA TOMA DE MUESTRA NO FUE REALIZADA POR EL LABORATORIO MICROLAB.

04/07/2023

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Gudanz
INGENIERO QUÍMICO
CIP 234338

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corriente)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf. 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0856-2015-URPSU

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO – PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	03
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	28 de junio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	15:00 pm

ANÁLISIS	RESULTADOS	
<u>EXAMEN BACTERIOLÓGICO</u>	<u>RESULTADO</u>	<u>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</u>
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	23 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml
Coliformes totales (NMP/100 mL)	34 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml

NOTA: Los límites máximos permisibles considerados en el presente reporte corresponden a efluentes de PTAR.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

04/07/2023

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
[Firma]
Blga. Elizabet Samanez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
[Firma]
Blga. Rocío M. Escalante
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urs. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

Calidad y Rapidez a su Servicio



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf. 220773 - RPC 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL Minsa RESOLUCION N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS FISIQUÍMICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO – PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	04
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	05 de julio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	15:30 pm

EXAMEN FISIQUÍMICO	UNIDAD	RESULTADOS	LMP para los efluentes de PTAR
Sólidos suspendidos	mg/L	247	Hasta 150 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	3	Hasta 20 mg/L
DBO ₅	mg/L	118	Hasta 100 mg/L
DQO	mg/L	245	Hasta 200 mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	0.0
pH	unid pH	6.8	6.5-8.5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

NOTA:

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- LA TOMA DE MUESTRA NO FUE REALIZADA POR EL LABORATORIO MICROLAB.

12/07/2023

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Guzmán
INGENIERO QUÍMICO
CIP 234338

Urb. Miraflores Gamarra, 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab
LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Tel: 229773 - RPC 969 772139
LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0565/2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	04
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	05 de julio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	15:30 pm

ANÁLISIS	RESULTADOS	
	RESULTADO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
EXAMEN BACTERIOLÓGICO		
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	21 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml
Coliformes totales (NMP/100 mL)	17 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml

NOTA: Los límites máximos permisibles considerados en el presente reporte corresponden a efluentes de PTAR.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio MicroLab.

12/07/2023

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
[Firma]
Blga. Elizabeth Samanez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
[Firma]
Blga. Rocío M. Escalante
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Cortado)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Telf. 229773 - RPC. 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN Nº 0555-2015-DR/SC

ANÁLISIS FISIQUÍMICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCO
Número de muestra:	05
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	SAN PABLO
Departamento:	CANCHIS
Fuente:	CUSCO
Fecha de obtención de la muestra:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Hora de obtención de la muestra:	12 de julio del 2023 14:00 pm

EXAMEN FISIQUÍMICO	UNIDAD	RESULTADOS	LMP para los efluentes de PTAR
Sólidos suspendidos	mg/L	240	Hasta 150 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	2	Hasta 20 mg/L
DBO ₅	mg/L	106	Hasta 100 mg/L
DQO	mg/L	220	Hasta 200 mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	0.0
pH	unid pH	6.9	6.5-8.5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

NOTA:

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- LA TOMA DE MUESTRA NO FUE REALIZADA POR EL LABORATORIO MICROLAB.

19/07/2023

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO
Ing. Gury Manuel Cumpa Guzmán
INGENIERO QUÍMICO
CIP 23838

Urb. Mariscal Gamarra 1-0 (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

Calidad y Rapidez a su Servicio



microlab
LABORATORIO MICROBIOLÓGICO
Tel.: 229773 - RPC: 969 772139
LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCIÓN N° 0955-2015-DRSC

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO – PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCOS
Número de muestra:	05
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION (aguas residuales con tratamiento)
Fecha de obtención de la muestra:	12 de julio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	14:00 pm

ANÁLISIS	RESULTADOS	
	RESULTADO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
EXAMEN BACTERIOLÓGICO		
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	14 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml
Coliformes totales (NMP/100 mL)	17 x 10 ⁶ NMP/100 ml	Hasta 10 000 NMP/100 ml

NOTA: Los límites máximos permisibles considerados en el presente reporte corresponden a efluentes de PTAR.

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- La toma de muestra no fue realizada por el laboratorio Microlab

19/07/2023

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
[Firma]
Blga. Elizabeth Samánez Gibaja
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

BIOERLAB CUSCO S.C.R.L.
[Firma]
Blga. Rocío M. Escalante
MAGISTER EN BIOTECNOLOGÍA

Urb. Mariscal Cáceres 1-G (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"



microlab

LABORATORIO MICROBIOLÓGICO

Tel.: 229773 - RPC: 969 772139

LABORATORIO CATEGORIZADO POR EL MINSA RESOLUCION N° 0555-2015-DRSC

ANÁLISIS FISIQUÍMICO DE AGUAS

DATOS GENERALES	
Proyecto:	"TRATAMIENTO DE LOS AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO EL SISTEMA DE TOHA EN EL DISTRITO DE SAN PABLO - PROVINCIA DE CANCHIS DEL DEPARTAMENTO DEL CUSCO 2023"
Solicita:	JOSE EDUARDO MENDOZA GIBAJA HOLGUER SEBASTIAN VILLA SICCO
Número de muestra:	01
Comunidad:	SAN PABLO
Sector:	SAN PABLO
Distrito:	SAN PABLO
Provincia:	CANCHIS
Departamento:	CUSCO
Fuente:	LAGUNAS DE OXIDACION
Fecha de obtención de la muestra:	26 de Julio del 2023
Hora de obtención de la muestra:	15:00 pm

EXAMEN FISIQUÍMICO	UNIDAD	RESULTADOS	LMP para los efluentes de PTAR
Sólidos suspendidos	mg/L	150	Hasta 150 mg/L
Aceites y grasas	mg/L	4	Hasta 20 mg/L
DBO ₅	mg/L	85	Hasta 100 mg/L
DQO	mg/L	170	Hasta 200 mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L	0.5
pH	unid pH	7.6	6.5-8.5

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO: Los establecidos para cada ensayo.

NOTA:

- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento sin la autorización del Laboratorio.
- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- LA TOMA DE MUESTRA NO FUE REALIZADA POR EL LABORATORIO MICROLAB.

28/06/2023

BIOLAB CUSCO S.R.L.

GERENCIA

Urb. Mariscal Gamarra 1-D (1ra Etapa)
Atención: Lunes a Sábado de 7 a.m. a 8 p.m.
(Horario Corrido)

"Calidad y Rapidez a su Servicio"

