

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria



TESIS

**IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ -
CELENDÍN 2024**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

GOICOCHEA SILVA AYMAR ALEXANDER

ASESOR:

Dr. Ing. MEDINA CHÁVEZ, AGUSTIN EMERSON

Cajamarca – Perú

- 2024 -

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** Aymar Alexander Goicochea Silva
DNI: 74450716
Escuela Profesional: Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria
2. **Asesor:** Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez
Facultad: Ingeniería
3. **Grado académico o título profesional**
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. **Tipo de Investigación:**
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. **Título de Trabajo de Investigación:**
"IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024"
6. **Fecha de evaluación:** 26 de diciembre 2025
7. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 12%
9. **Código Documento:** oid: 3117:543226511
10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 29 de diciembre 2025



Firmado digitalmente por:
MEDINA CHAVEZ AGUSTIN
EMERSON FIR 27040564 hard
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 29/12/2025 09:17:41-0500



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258801 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 29/12/2025 10:51:55-0500

FIRMA DEL ASESOR

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0014-2026

TÍTULO : IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024

ASESOR : Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 35 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **veinte días del mes de febrero de 2026**, siendo las quince horas con treinta minutos (03:30 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Secretario : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024**, presentado por el Bachiller en Ingeniería de Sanitaria **AYMAR ALEXANDER GOICOCHEA SILVA**, asesorado por el Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :07..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :19..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :17..... PTSDIECISIETE..... (En letras)

En consecuencia, se lo declaraAPROBADO..... con el calificativo de ...DIECISIETE... (17) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las17:00..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Presidente

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Vocal

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Secretario

Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco, en primer lugar, a Dios Padre y Dios Madre, por brindarme vida, sabiduría y fortaleza en cada etapa de este proceso académico y personal.

A mi madre, María Silva Goicochea, por su amor incondicional, sacrificio constante y por ser ejemplo de integridad y determinación.

A mi hermano, primos, tíos, amigos, por su cercanía, ánimo y apoyo fraternal en los momentos más exigentes de esta formación profesional.

Expreso también mi reconocimiento al Dr. Ing. Agustín Medina Chávez, asesor de tesis, por su guía rigurosa, comentarios certeros y generoso acompañamiento a lo largo de esta investigación.

Finalmente, extendiendo un agradecimiento a María, por su apoyo durante un momento crítico de vida, lo que fue fundamental para mi recuperación y así seguir adelante. La vida, a veces, se manifiesta en los detalles más humanos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con respeto y profundo cariño, a mi madre, María Silva Goicochea, cuyo esfuerzo, paciencia y amor incondicional han sido la base sobre la cual se ha construido mi formación personal y profesional.

A mi familia y amigos, por acompañarme en los momentos de dificultad y ser siempre un punto de apoyo y motivación constante.

A quienes han creído en mi incluso en los momentos en que yo dudaba, a la memoria de los instantes oscuros que lograron transformarse en impulso.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento del Problema	1
1.1.1.	Contextualización del problema	1
1.1.2.	Descripción del problema	1
1.1.3.	Formulación del Problema.....	2
1.1.4.	Hipótesis	3
1.2.	Justificación de la Investigación	3
1.2.1.	Justificación Científica.....	3
1.2.2.	Justificación Técnica Práctica.....	3
1.2.3.	Justificación Institucional y Personal.....	4
1.2.4.	Justificación personal.....	4
1.3.	Delimitaciones de la Investigación	4
1.4.	Limitaciones.....	5
1.5.	Objetivos	5
1.5.1.	Objetivo general.....	5
1.5.2.	Objetivos específicos	5
II.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Antecedentes Teóricos	6
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	6

2.1.2.	Antecedentes Nacionales	7
2.1.3.	Antecedentes Locales.....	8
2.2.	Bases Teóricas	9
2.2.1.	Aguas residuales	9
A.	Aguas residuales domésticas.....	10
B.	Aguas residuales municipales.	10
C.	Aguas residuales industriales.....	10
2.2.2.	Características de las aguas residuales domésticas.....	11
A.	Coliformes termotolerantes.....	11
B.	Temperatura.	11
C.	Sólidos Suspendidos Totales.....	11
D.	pH.....	12
E.	DBO.	12
F.	DQO.....	13
2.2.3.	Tratamiento de Aguas Residuales por Lombrifiltro	13
A.	Funcionamiento del lombrifiltro.	17
B.	Estratos de un lombrifiltro.	19
C.	Ventajas y desventajas.	21
D.	Dimensionamiento y diseño del lombrifiltro.	22
E.	Mantenimiento del sistema.	26
2.2.4.	Lombrices	27
A.	Humus.....	32
B.	Acondicionamiento de las lombrices.....	32

C.	Mecanismo de las Lombrices.....	37
2.3.	Marco Legal.....	38
2.3.1.	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.	38
2.3.2.	Norma OS. 090. Reglamento Nacional de Edificaciones	39
2.4.	Definición de términos básicos.....	40
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1.	Ubicación de la Zona de Investigación.....	42
3.1.1.	Ubicación del proyecto.	42
3.1.2.	Ubicación de la ejecución de investigación.	44
3.2.	Materiales y equipos	46
3.3.	Metodología	46
3.3.1.	Tipo de investigación.....	46
3.3.2.	Nivel de investigación.....	47
3.3.3.	Diseño de la investigación	47
3.3.4.	Población de Estudio.....	47
3.3.5.	Muestra	47
3.3.6.	Unidad de Análisis.....	47
3.3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.4.	Procedimiento de la investigación	49
3.4.1.	Fase Inicial de Investigación.....	49
3.4.2.	Fase de Campo.....	49
A.	Cálculo de diseño del lombrifiltro.	56
B.	Selección y preparación del material filtrante.	60

	C.	Preparación del estrato biológico y aclimatación de las lombrices.	
			62
	D.	Preparación de los materiales y ensamble del sistema.....	64
	E.	Sistema de goteo y control de caudal.....	67
	F.	Densidad de las lombrices en el medio filtrante.	70
	G.	Operación y monitoreo del sistema.....	73
	H.	Toma y recolección de muestras para análisis de calidad del agua residual.....	77
	3.4.3.	Fase de gabinete.....	79
IV.		Análisis y discusión de los resultados.....	81
V.		Conclusiones y recomendaciones	97
	5.1.	Conclusiones	97
	5.2.	Recomendaciones	99
VI.		REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	101
	6.1.	Bibliografía	101
	6.2.	Linkografía.....	102
VII.		ANEXOS	106
	7.1.	Manual de Operación y Mantenimiento (O&M) del Lombrifiltro a Escala Real	129
	7.1.1.	Propósito del Manual	129
	7.1.2.	Descripción General del Sistema	129
	7.1.3.	Registros	129
	7.1.4.	Procedimientos de Operación Diaria	129
	7.1.5.	Monitoreo Periódico	130

7.1.6.	Procedimientos de Mantenimiento	131
7.1.7.	Medidas de Seguridad.....	131
7.1.8.	Recomendaciones Finales.....	131
7.2.	Encuesta de los Pobladores de Sucre (Río Abajo Del Efluente de la PTAR Jorge Chávez)	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempo del proceso de descomposición	33
Tabla 2. Alimento vegetal de la Lombriz	34
Tabla 3. Parámetros del alimento de la Lombriz a considerar	34
Tabla 4. Alturas recomendables para la capa de aserrín	35
Tabla 5 Proceso de descomposición de la materia orgánica en las camas de preparación del alimento.....	36
Tabla 6. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR	39
Tabla 7. Parámetro hidráulico según OS.090	40
Tabla 8 Técnicas para la preservación de muestra.....	48
Tabla 9. Días de adaptación de las lombrices	63
Tabla 10. Parámetros de monitoreo	75
Tabla 11. Toma de muestras por fechas.....	78
Tabla 12. Resultados de la caracterización del efluente de la PTAR	84
Tabla 13. Medidas de tendencia central con media aritmética del efluente de la PTAR	84
Tabla 14. Clasificación granulométrica del material de los estratos	86
Tabla 15. Resultados de los parámetros del efluente del lombrifiltro	87
Tabla 16. Porcentaje de la eficiencia de remoción de los parámetros	88
Tabla 17. Medidas de tendencia central con media aritmética de la eficiencia de remoción	88

Tabla 18. Medidas de tendencia central con mediana y rango intercuartílico.....	89
Tabla 19. Prueba de normalidad	90
Tabla 20. Prueba aplicada para cada parámetro.....	91
Tabla 21. Comparación del efluente con el D.S. 003-2010-MINAM	92
Tabla 22. Parámetros calculados del lombrifiltro a escala real	95
Tabla 23. Precio estimado de la implementación del lombrifiltro.....	96
Tabla 24. Comparación de lombrifiltro con sistemas convencionales.	96
Tabla 25. Mediciones de pH y temperatura	128
Tabla 26. Tabla de operaciones diarias para el lombrifiltro	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de pH.....	12
Figura 2. Diagrama esquemático de un proceso típico de tratamiento de aguas residuales en comparación con un proceso de tratamiento de lombrifiltración.....	15
Figura 3. Representación esquemática de un lombrifiltro	16
Figura 4. Capas del lombrifiltro.....	21
Figura 5. Eisenia foetida (a la izquierda) y Cápsula de la Lombriz (a la derecha).....	29
Figura 6. Sistema circulatorio de la lombriz Eisenia Foetida	30
Figura 7. Anatomía interna del sistema digestivo de la lombriz Eisenia Foetida	31
Figura 8. Análisis químicos del humus de lombriz.....	32
Figura 9. Ubicación de la ciudad de Jorge Chávez.....	43
Figura 10. Ubicación de la zona de ejecución del proyecto	45
Figura 11. Infraestructura de la ciudad de Jorge Chávez.....	49

Figura 12. Drenaje de agua pluvial	50
Figura 13. Cuerpo de agua de la ciudad de Jorge Chávez	51
Figura 14. Red de alcantarillado y PTAR Jorge Chávez	52
Figura 15. PTAR de Jorge Chávez	53
Figura 16. Estado de los componentes de la PTAR Jorge Chávez	54
Figura 17. Pobladores encuestados	55
Figura 18. Recolección de tierra para el estrato de lombrices de las inmediaciones de la PTAR	60
Figura 19. Cantera Santa Rosa - Celendín	61
Figura 20. Control de pH y Temperatura en el estrato de lombrices	62
Figura 21. Adaptación de lombrices al agua residual	63
Figura 22. Lavado del material	64
Figura 23. Adaptación de los recipientes.	65
Figura 24. Incorporación de los estratos del sistema de lombrifiltro.....	66
Figura 25. Modelo de lombrifiltro colocado en la vivienda.	67
Figura 26. Equipo de venoclisis adaptado e incorporado a válvula de 1/2".	68
Figura 27. Equipo de goteo de venoclisis conectado a la jaula de goteo de PVC.	69
Figura 28. Cálculo del caudal de goteo por método volumétrico.	70
Figura 29. Conteo y pesaje de lombrices para el cálculo de la densidad.....	71
Figura 30. Medición de lombriz.....	72
Figura 31. Lombrices Eisenia foetida en el estrato de tierra.....	72
Figura 32. Volumen de 40 L del agua residual de la PTAR Jorge Chávez.	73
Figura 33. Altura de los estratos del biofiltro	74
Figura 34. Evaluación de la humedad del estrato de lombrices.....	76

Figura 35. Empaquetado de muestras en caja térmica de tecnopor	78
Figura 36. Diagrama caja de la distribución de eficiencia de remoción	89
Figura 38. Proforma de adquisición de lombriz Eisenia Foetida.....	107
Figura 39. Resultados de los parámetros del afluente y efluente.....	108
Figura 40. Resultados de los parámetros del afluente del 18/11/2024	109
Figura 41. Resultados del efluente del 19/11/2024.....	110
Figura 42. Resultados de los parámetros del afluente 02/12/2024	111
Figura 43. Resultados de los parámetros del efluente del 03/12/2024	112
Figura 44. Resultados de los parámetros del afluente del 16/12/2024	113
Figura 45. Resultados de los parámetros del efluente del 17/12/2024	114
Figura 46. Resultados de los parámetros del afluente del 26/12/2024	115
Figura 47. Resultados de los parámetros del efluente del 27/12/2024	116
Figura 48. Análisis granulométrico de la grava gruesa.....	117
Figura 49. Curva de distribución granulométrica de la grava.....	118
Figura 50. Análisis granulométrico de la grava fina.....	119
Figura 51. Curva de distribución granulométrica de la grava fina	120
Figura 52. Análisis granulométrico del suelo	121
Figura 53. Curva de distribución granulométrica del suelo.....	122
Figura 54. Prueba para determinar el contenido de agua del suelo y roca por masa	122
Figura 55. Prueba para el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad	123
Figura 56. Clasificación de suelos	124
Figura 57. Análisis granulométrico de la piedra de río.....	125
Figura 58. Curva de distribución granulométrica de la piedra de río	126

Figura 59. Espacio libre en la PTAR-Jorge Chávez	126
Figura 60. Vista del lombrifiltro a escala real.....	127
Figura 61. Distribución de actividades económicas	151
Figura 62. Características físicas del agua del río observados por los pobladores	151
Figura 63. Enfermedades generadas con más frecuencia	152
Figura 64. Disminución de producción lechera por enfermedades debido al agua de río	152
Figura 65. Percepción de los pobladores sobre la influencia del río a los problemas presentes.	153
Figura 66. Porcentaje de los pobladores dispuestos a ayudar a solucionar la problemática.....	153

PALABRAS CLAVE

Lombrifiltro: sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza un medio filtrante y lombrices para degradar la materia orgánica y reducir contaminantes mediante procesos biológicos y físicos combinados.

Eisenia foetida: especie de lombriz (roja californiana) utilizada en el proceso de vermifiltración debido a su alta tasa de reproducción, tolerancia a un amplio rango de condiciones y eficiencia en la digestión de materia orgánica.

Carga intermitente: modo de operación del sistema donde el afluente se aplica en pulsos o intervalos de tiempo permitiendo periodos de aireación que evitan la saturación y mejoran la eficiencia del tratamiento.

Carga hidráulica: volumen de agua residual aplicado por unidad de superficie del filtro por día. Es un parámetro clave en el diseño para dimensionar el sistema.

Límites Máximos Permisibles: valores establecidos por la normativa ambiental (D.S. N° 003-2010-MINAM) que definen la concentración máxima permitida de contaminantes en un efluente para ser vertido a un cuerpo receptor.

RESUMEN

El tratamiento deficiente de las aguas residuales en la Planta de Tratamiento de agua residual de Jorge Chávez, Celendín, genera un efluente que contamina el río y constituye un riesgo comprobado para la salud pública y economía local, según la evidencia empírica recopilada en la población afectada. Ante esta situación, esta investigación implementó y evaluó un modelo de lombrifiltro como una tecnología alternativa para mejorar la calidad del agua residual, el cual fue construido en las inmediaciones de la PTAR Jorge Chávez y de acuerdo con la norma OS.090. El sistema estuvo compuesto por un estrato biológico de suelo con 0.67 m de altura (equivalente al 60% de la altura útil del sistema) y una densidad inicial de 10.00 kg/m³ de *Eisenia Foetida*, una capa filtrante de grava gruesa (1-1.5”) y fina (0.5”) de 0.225 m de alto (20% de la altura útil del sistema) y una capa de piedra de río (3-4”) de 0.225 m (20% de la altura útil). Asimismo, el modelo operó bajo carga intermitente con un caudal de 15.6 L/h, un tiempo de retención (HRT) de 4.61 horas y una carga hidráulica (HLR) de 1 m³/m²/día. Se evaluó la eficiencia del sistema mediante cinco mediciones antes y cinco después del tratamiento, determinando la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y coliformes termotolerantes, en concordancia con el D.S. N.º 003-2010-MINAM. Los resultados mostraron remociones medianas de 23.94% (DBO₅), 32.13% (DQO), 77.61% (SST) y 99.56% (coliformes). Aunque las reducciones no fueron estadísticamente significativas

($p > 0.05$), los efluentes cumplieron con los Límites Máximos Permisibles, validando la viabilidad técnica del lombrifiltro y sentando las bases para su aplicación a escala real.

Palabras clave: lombrifiltro, Eisenia foetida, carga intermitente, carga hidráulica, límites máximos permisibles.

ABSTRACT

The deficient treatment of wastewater at the Jorge Chávez Wastewater Treatment Plant in Celendín generates an effluent that pollutes the river and poses a proven risk to public health and the local economy, according to empirical evidence gathered from the affected population. In response to this situation, this research implemented and evaluated a scaled-down vermifilter model as an alternative technology to improve wastewater quality, which was constructed in the vicinity of the Jorge Chávez WWTP and in accordance with OS.090 standards. The system consisted of a biological soil stratum 0.67 m high (equivalent to 60% of the system's useful height) with an initial density of 30,090 individuals/m³ of *Eisenia Foetida*, a filtering layer of coarse (1-1.5") and fine (0.5") gravel 0.225 m high (20% of the system's useful height), and a river stone layer (3-4") of 0.225 m (20% of the useful height). Likewise, the model operated under intermittent loading with a flow rate of 15.6 L/h, a retention time (HRT) of 4.61 hours, and a hydraulic loading rate (HLR) of 1 m³/m²/day. The system's efficiency was evaluated through five measurements before and five after treatment, determining the removal of Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), and thermotolerant coliforms, in accordance with Supreme Decree No. 003-2010-MINAM. The results showed median removals of 23.94% (BOD₅), 32.13% (COD), 77.61% (TSS), and 99.56% (coliforms). Although the reductions were not statistically significant ($p > 0.05$), the

effluents met the Maximum Permissible Limits, validating the technical viability of the vermifilter and laying the groundwork for its real-scale application.

Keywords: vermifilter, *Eisenia foetida*, intermittent loading, hydraulic loading, maximum permissible limits.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Contextualización del problema

Las aguas residuales domésticas, originadas en el ámbito de las actividades cotidianas de las viviendas, comprenden un conjunto complejo de contaminantes orgánicos, químicos y microbiológicos que, sin un tratamiento adecuado, pueden causar impactos negativos significativos tanto en la salud pública como en los ecosistemas acuáticos.

Para que el agua residual sea removida de sus contaminantes, necesita pasar por un proceso de tratamiento, que se lleva a cabo a través de una planta de tratamiento de aguas residuales. Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), es un sistema diseñado con el fin de purificar dichas aguas antes de dejarlas fluir al ambiente. En la actualidad existen muchas tecnologías usadas para poder lograr este fin, las cuales ayudan modificar las propiedades y características del agua residual, pasando a través de una serie de procesos.

En el Perú la mayoría de las aguas residuales que se generan no reciben el tratamiento adecuado antes de ser vertidas al medio ambiente, lo cual genera un grave problema de contaminación. (Loose et al. 2015) señalan que, de las 253 localidades bajo la gestión de las EPS, 89 carecen de tratamiento de aguas residuales, lo que provoca el vertido directo de agua sin procesar en cuerpos de agua y terrenos abiertos. En las 164 localidades restantes, parte o la totalidad de las aguas residuales son dirigidas a una planta de tratamiento antes de su disposición final.

1.1.2. Descripción del problema

En la ciudad de Jorge Chávez, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, la planta de tratamiento de agua residuales enfrenta una situación crítica debido a que se

encuentra saturada y no recibe el mantenimiento necesario; esta deficiencia ha provocado la obstrucción de sus componentes, lo cual resulta en un tratamiento ineficiente de las aguas residuales domésticas provenientes de la ciudad, y como consecuencia, la descarga de efluentes sin un procesamiento adecuado hacia el río Jorge Chávez, el cual recorre posteriormente el distrito de Sucre. Este impacto ha sido cuantificado por (Gil, D. 2023), quien reportó en dicho río concentraciones promedio de 553333.33 NMP/100 mL para coliformes termotolerantes y 42.23 mg/L para DBO₅, valores que exceden los límites aceptables. Un censo aplicado a las 6 familias ribereñas ha documentado impactos concretos, como el 67% de los encuestados reporta enfermedades diarreicas agudas (EDA), el 33.33% observa la formación de espumas, 50% reporta materia fecal visible, y el 100% confirma el empeoramiento progresivo de la calidad del agua en los últimos 2 años, lo cual ha generado riesgo para la salud pública y el medio ambiente. Ante esta situación, la implementación de sistema de lombrifiltro surge como alternativa sostenible y eficaz para optimizar el tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad mencionada, pasando por una evaluación detallada para determinar su viabilidad y eficiencia.

Con el propósito de abordar esta situación y mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas, se propone la Implementación de lombrifiltro para mejorar el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Jorge Chávez - Celendín 2024.

1.1.3. Formulación del Problema

¿Cuál es la mejora generada por la implementación del modelo de lombrifiltro en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Jorge Chávez – Celendín, según los parámetros de DBO₅, DQO, SST y coliformes termotolerantes respecto a los límites máximos permisibles?

1.1.4. Hipótesis

La implementación del modelo de lombrifiltro reducirá al menos 30% DBO₅ y DQO, y al menos 75% en SST y coliformes termotolerantes del efluente, cumpliendo con los límites máximos permisible y sustentando su potencial para una implementación a mayor escala en Jorge Chávez.

1.2. Justificación de la Investigación

1.2.1. Justificación Científica

La presente investigación se encuadra dentro del método científico, partiendo de la identificación de un problema real (contaminación hídrica en el río Jorge Chávez) y procediendo sistemáticamente mediante: formulación de hipótesis comprobables, diseño experimental controlado, recolección y análisis rigurosos de datos, y verificación de resultados frente a criterios objetivos. La investigación busca evaluar el desempeño del modelo de lombrifiltro, en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes termotolerantes, lo que permitirá establecer una base técnica y científica que respalde futuras aplicaciones a mayor escala, buscando que sea de bajo costo de operación y se cumplan con las normativas vigentes, y se haga viable su implementación.

1.2.2. Justificación Técnica Práctica

En el desarrollo de esta investigación se aplicaron herramientas técnicas y competencias profesionales adquiridas a lo largo de toda la formación profesional en Ingeniería Sanitaria. Dicho estudio demuestra la aplicabilidad práctica de dichos conocimientos para resolver problemas reales, como el lombrifiltro en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Jorge Chávez, que responde a la necesidad de soluciones accesible

y sostenibles. Este método de biofiltración representa una alternativa eficiente y ecológica para la depuración del agua, debido a que favorece la reducción de contaminantes y la protección ambiental, validando así, que puede ser implementado en la PTAR de Jorge Chávez para mejorar su eficiencia de tratamiento.

1.2.3. Justificación Institucional y Personal

La Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de Cajamarca promueve el desarrollo de investigaciones que den soluciones sostenibles y adaptadas a las necesidades de la sociedad. En este contexto, el estudio contribuye a la generación de conocimiento técnico-científico orientado a mejorar la calidad del tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Jorge Chávez – Celendín, con la finalidad de brindar una opción de solución enfocada en el uso de lombrifiltros ante la problemática actual con respecto al tratamiento y disposición de sus aguas residuales en dicha ciudad.

1.2.4. Justificación personal

A nivel personal, este trabajo representa un hito fundamental en mi formación profesional. Es la culminación de un proceso de aprendizaje y esfuerzo dedicado que contribuye a mi superación intelectual y profesional, logrando alcanzar la expectativa que es tener el título de Ingeniero Sanitario.

1.3. Delimitaciones de la Investigación

La investigación se realizó en el año 2024, en la ciudad de Jorge Chávez, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, Perú; la cual comprende el diseño, construcción, evaluación e implementación de un modelo de lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el último trimestre del año 2024 y se analizará el DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, sólidos suspendidos totales. Esto se realizó dentro de un ambiente

cerrado, lo que garantizará la confiabilidad de los datos experimentales, evitando interferencias y accesos no autorizados. Aunque la implementación a una mayor escala no forma parte del alcance de esta investigación, el enfoque sirve como base para proyectar un diseño a escala real a partir de los datos obtenidos de esta investigación.

1.4. Limitaciones

Limitación operativa por intervención externa: durante el segundo mes de operación, se inició la construcción de la pista vial aledaña, que derribó las barreras de protección de la PTAR, generando acceso libre al público y condiciones de inseguridad para el equipo experimental. Esta situación obligó a la reubicación temporal del lombrifiltro a una vivienda aledaña para garantizar la integridad del sistema y la continuidad del monitoreo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la mejora generada por la implementación del modelo de lombrifiltro en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Jorge Chávez–Celendín 2024.

1.5.2. Objetivos específicos

- Describir la PTAR y características socio-demográficas de la ciudad de Jorge Chávez.
- Caracterizar el efluente de la PTAR de Jorge Chávez.
- Construir un modelo de lombrifiltro basado en los criterios técnicos de la OS 090.
- Monitorear y analizar la eficiencia del modelo de lombrifiltro en la reducción de parámetros contaminantes clave como DBO₅, DQO, SST, coliformes termotolerantes, según el D.S. N° 003-2010-MINAM.
- Realizar el diseño teórico de lombrifiltro a escala real para la PTAR de Jorge Chávez, basado en los parámetros del modelo experimental.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

(Bravo, M. 2019) analizó el uso de lombrifiltro como alternativa para el tratamiento de residuos líquidos industriales (RIL) de la producción de carragenina en Danisco Chile S.A., con el objetivo de reducir los altos valores de DBO5 y DQO, sin usar reactivos químicos ni generar lodos. El lombrifiltro se construyó a escala de laboratorio con cuatro capas: una mezcla de compostaje con lombrices, aserrín y tierra, una capa de arena y dos capas de piedras de distintos tamaños. Se trató el RIL a un caudal de 2 L/h con un tiempo de retención de 2 horas. Los resultados mostraron reducciones de 77% y 60% en DBO5, 58% en DQO, y 98% y 97% en sólidos suspendidos para el RIL diluido y no diluido, respectivamente; además, analizó la viabilidad económica de implementar el sistema a escala industrial, concluyendo que sería rentable, con un Valor Actual Neto (VAN) de 2,53 millones de dólares en un periodo de 10 años.

(Miito et al. 2021) evaluó la eficiencia de un vermifiltro a escala piloto durante seis meses para tratar aguas residuales de una granja lechera en Washington. Se analizaron muestras aguas arriba y aguas abajo del vermifiltro para determinar las reducciones de sólidos, demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno y fosforo. Los resultados mostraron reducciones del $81 \pm 7,1\%$ en nitrógeno amoniacal (TAN), $77 \pm 8,4\%$ en nitrógeno total (TN), $74 \pm 9,5\%$ en nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) y $68 \pm 10\%$ en sólidos suspendidos totales (SST). Sin embargo, la reducción de sólidos totales fue baja ($21 \pm 7,0\%$) y las reducciones de fosforo total (TP) y DQO fueron modestas, con $48 \pm 6,0\%$ y $45 \pm 4,1\%$ respectivamente. La influencia de la temperatura ambiental fue significativa, afectando la reducción de TAN (50%) y DQO (59%).

(Castillo, J. & Chimbo, J. 2021) evaluaron la eficiencia de lombrifiltros para remover materia organica de aguas residuales domesticas en una zona rural, por el manejo inadecuado de efluentes vertidos sin tratamiento. El lombrifiltro consistió de cuatro estratos: Aserrín con lombrices Eisenia foetida, carbón activado, grava y piedras de río, con un flujo volumetrico de 1.8×10^{-2} L/s y un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 0.92 horas. Se lograron eficiencias de remoción del 52.25 % para DBO₅ y DQO, 66.74 % para sólidos suspendidos totales (SST) y 52.91% para sólidos totales (ST). El estudio concluyó que los lombrifiltros son una opcion ecologica, innovadora y económica para el tratamiento de aguas residuales.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

(Arana, H. 2022) estudió la influencia de un lombrifiltro en la remoción de DBO₅ y DQO de aguas residuales domesticas en zonas rurales de Cusco. El objetivo fue determinar la influencia del caudal y la temperatura en la eficiencia del sistema, probando caudales de 50 mL/min y 150 mL/min, y temperaturas de 7°C y 21°C. El lombrifiltro, diseñado en forma rectangular con medidas de 0,4m x 0,2 m, tenía cuatro capas filtrantes: Piedra chancada de río con una altura de 15 cm, grava con altura de 25 cm, carbón de madera con altura de 25 cm, y aserrín con altura de 25 cm donde se colocó 200 lombrices Eisenia foetida. Los resultados mostraron que el caudal de 50 mL/min fue el más efectivo, mientras que la temperatura no influyó significativamente. Se logró una remoción del 73,36% para DBO₅ y 84,38% para DQO.

(Zuñiga, E. 2020) testeó los sustratos óptimos para un lombrifiltro como tratamiento secundario de aguas residuales en el fundo universitario, ante la inadecuada gestión de efluentes. Se diseñaron dos módulos experimentales: lombrifiltro LB1, con viruta de madera, piedra pómez y cascajo, y el LB2, con astillas de madera, piedra volcánica y piedra de río, ambos inoculados con 200 lombrices Eisenia foetida. El LB2 mostró mayor eficiencia en la

remoción de DQO (57.92%), DQO (39.73%) y conductividad (19.57%), mientras que el LB1 tuvo mejor desempeño en la reducción de turbidez (64.24%) y fósforo total (31.64%). En cuanto al pH y oxígeno disuelto, el LB2 demostró mejores valores promedio de calidad, siendo 6.85 y 0.85 mg/L respectivamente, por lo que se considera más óptimos los sustratos del LB2.

(Vargas, L. 2021) investigó la eficiencia de un lombrifiltro en la eliminación de coliformes en aguas residuales domésticas del colector 31 de octubre en Huancayo, frente a la disposición sin tratamiento previo de efluentes. Se utilizó como materiales filtrantes a lombrices rojas californianas, aserrín piedra y grava, variando el pH inicial de las aguas a valores de 7 y 7.5, con tiempos de retención hidráulica (TRH) de 12 horas y 24 horas. La concentración inicial determinada de coliformes totales fue de 15531000 NMP/100 mL y de E. Coli fue de 7270000 NMP/100 mL, los resultados mostraron una reducción significativa de coliformes totales de un 99,9997 % ($C_{\text{final C.T}} = 31,33$ NMP/100 mL) con un pH de 7.5 y un TRH de 24 horas, así mismo el máximo porcentaje de reducción obtenido de E. Coli fue de un 99,9998 % ($C_{\text{final E.C}} = 11,33$ NMP/100mL) con un pH de 7.5 y un TRH de 24 horas.

2.1.3. Antecedentes Locales

(Atalaya, M. 2023) examinó la eficiencia de un biofiltro tipo Toha de flujo vertical en el tratamiento del efluente de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín, abordando el problema de manejo inadecuado de efluentes vertidos sin tratamiento. Se construyeron biofiltros con distintos espesores de aserrín, grava fina y mediana con el objetivo de evaluar su impacto en DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas. El biofiltro B3, con una combinación óptima de materiales, alcanzó la mayor eficiencia, con una reducción del 76,64% en DBO y más del 40% en los demás contaminantes. Los resultados indicaron que el aumento del espesor del

lecho filtrante mejora el rendimiento del sistema, concluyéndose que es un factor clave para su eficiencia y cumplimiento de normativas ambientales.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aguas residuales

Según lo descrito por (Romero, J. 2010), las aguas residuales corresponden al agua utilizada y a los sólidos que, de diversas maneras, ingresan a las cloacas y son conducidos a través del sistema de alcantarillado. Las aguas residuales son el conjunto de aguas que han sido utilizadas en diversas actividades, como las actividades domésticas, industriales, agrícolas y comerciales que contienen una variedad de contaminantes y sustancias químicas.

El autor también señala que las aguas residuales originadas en los inodoros suelen denominarse aguas negras, ya que contienen excrementos humanos y orina, además de presentar una alta concentración de sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Por otro lado, las aguas grises corresponden a los efluentes generados en tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, caracterizados por su aporte de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales. Es decir, se trata de aguas residuales domésticas que excluyen aquellas provenientes de los inodoros.

Las aguas residuales se dividen en tres categorías:

A. Aguas residuales domésticas. Son los efluentes que contienen restos o residuos orgánicos, químicos y biológicos, provenientes de actividades cotidianas realizadas en el hogar, como lavado de ropa, limpieza, cocina, etc. De acuerdo con (Romero, J. 2010), este tipo de aguas residuales se originan a partir de los efluentes generados en viviendas, edificios comerciales e instituciones, comprendiendo los líquidos provenientes de estas fuentes. En contraste, la Ley N° 29338 (2019) las describe como los efluentes generados en ámbitos residenciales, comerciales e institucionales, caracterizados por la presencia de desechos fisiológicos y otros derivados de actividades humanas.

B. Aguas residuales municipales. (Romero, J. 2010), señala a las aguas residuales municipales, como los líquidos que son conducidos a través del sistema de alcantarillado municipal. En relación con esta calificación la Ley N° 29338 (2019) establece que las aguas residuales municipales comprenden a las aguas domésticas que pueden contener una combinación con aguas pluviales o industriales, siempre y cuando cumplan con los estándares necesarios para ser aceptadas en sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

C. Aguas residuales industriales. Como indica (Romero, J. 2010), las aguas residuales industriales, son aquellas generadas por los procesos de manufactura, provenientes de las descargas de diversas industrias.

Ya que estas aguas industriales son usadas en los procesos para generar un producto, pueden contener una amplia gama de contaminantes con distintas sustancias químicas, metales pesados y otros contaminantes que requieren de tratamientos especiales antes de ser vertidas en el medio ambiente, ya que representan un riesgo para la vida de microorganismos y la salud humana.

2.2.2. Características de las aguas residuales domésticas

A. Coliformes termotolerantes. (Metcalf & Eddy 1995), señalan que las bacterias desempeñan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en entornos naturales como en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Además, los coliformes se utilizan como indicadores clave para detectar la contaminación generada por desechos humanos.

De acuerdo con lo afirmado por (Romero, J. 2010), las bacterias coliformes son microorganismos gram-negativos, aerobios y anaerobios facultativos, capaces de fermentar lactosa con producción de gas en un intervalo de 48 ± 3 horas a temperaturas de incubación entre 35 y 37 °C. El grupo incluye géneros como *Escherichia* y *Aerobacter*, considerado el género *Escherichia*, especie de *Escherichia coli* como el principal indicador de contaminación fecal reciente. Sin embargo, algunas cepas pueden desarrollarse en suelos, lo que limita su uso como único marcador de contaminación de origen humano.

B. Temperatura. De acuerdo con (Sierra, C. 2011), la temperatura constituye uno de los parámetros físicos más relevantes en el agua, ya que influye directamente en su viscosidad y en la rapidez de las reacciones químicas. Asimismo, desempeña un papel fundamental en el diseño de diversos procesos de tratamiento, como la coagulación y la sedimentación, entre otros.

C. Sólidos Suspendidos Totales. Los sólidos en el agua pueden afectar su calidad y pureza.

(Atalaya, M. 2023) menciona la definición de (Ramos y Paredes 2015), que destaca la naturaleza coloidal de estas partículas, las cuales están caracterizadas por la presencia de cargas eléctricas, lo que les permite interactuar con las moléculas de agua. Para su separación, es necesario emplear sustancias coagulantes y floculantes, las cuales modifican la carga eléctrica

de las partículas, favoreciendo la formación de flóculos de mayor tamaño que pueden ser eliminados mediante filtración.

D. pH. Es la medida en la que se encuentra concentrada el ion hidrogeno en el agua, y según (Sierra, C. 2011) El pH representa una medida que indica cuan acida o básica es una solucioonn acuosa. De manera convencional, se calcula como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$.

Por análisis químicos se sabe que el pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. La escala de pH se muestra en la figura 1.

Figura 1.

Escala de pH



Nota. Adaptado de *Calidad del agua Evaluación y diagnostico* (p. 59), por Sierra Ramírez, C. 2011, Ediciones la U

E. DBO. Según (Sierra, C. 2011), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el parámetro más utilizado para evaluar la concentración de materia orgánica en una muestra de agua. Su medición se basa en la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos, principalmente bacterias, durante el proceso de degradación, oxidación y estabilización de la materia orgánica presente en el agua.

(Metcalf & Eddy 1995) mencionan que los resultados de los ensayos de DBO se utilizan para diversas finalidades: determinar la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar la materia orgánica, dimensionar las plantas de tratamiento de aguas residuales, evaluar la

eficiencia de los procesos de tratamiento y garantizar el cumplimiento de las normativas de vertidos.

F. DQO. (Sierra, C. 2011) describió la demanda química de oxígeno (DQO) es un método ampliamente empleado para evaluar la concentración de materia orgánica en una muestra de agua. A diferencia de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la DQO utiliza un agente químico oxidante en lugar de microorganismos para descomponer la materia orgánica presente.

2.2.3. Tratamiento de Aguas Residuales por Lombrifiltro

El tratamiento de aguas residuales convencionales conlleva un gran costo para su implementación, así como su mantenimiento y cuidado. En la actualidad el tratamiento de aguas residuales está tomando un enfoque innovadores y alternativos, los cuales son más amigables con el ambiente y de un costo menor. Estos métodos pueden incluir sistemas basados en energía solar, tecnologías de membranas avanzadas, sistemas de filtración biológica, entre otros.

(Arora, S., & Saraswat, S. 2021), describen que las tecnologías ecológicas avanzadas (AGTs) han emergido como una alternativa eficiente y sostenible en el tratamiento de aguas residuales, favoreciendo sistemas descentralizados, naturales y ecológicos, con un diseño flexible y una operación simplificada. La adopción de estas tecnologías ofrece soluciones duraderas y confiables, permitiendo mejorar la eficiencia del tratamiento y la gestión de recursos hídricos. Dentro de las principales estrategias de tratamiento descentralizado destacan la filtración por membrana, las pilas de combustible microbianas, la nanotecnología, los procesos biológicos optimizados y los sistemas naturales de depuración, como humedales y

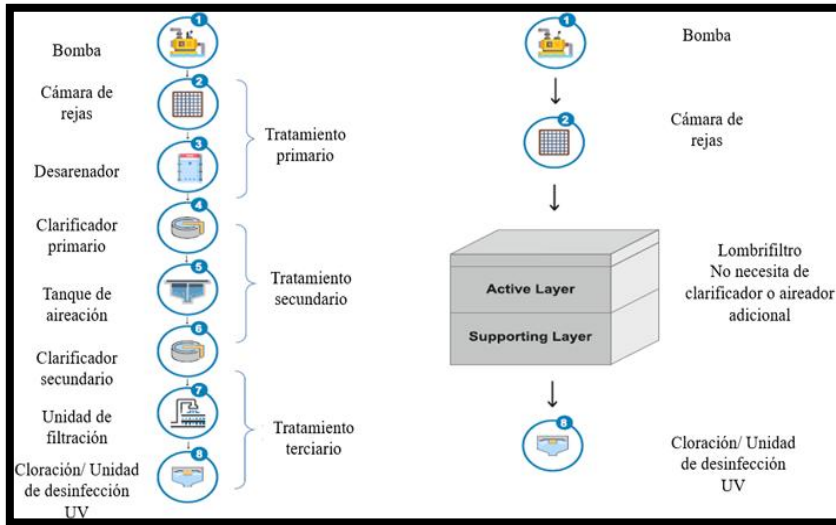
vermifiltros, los cuales presentan un alto potencial en la mejora de la calidad del agua con un impacto ambiental reducido.

Además de ello los mismos autores mencionan, que la vermifiltración se posiciona como una alternativa ecológica emergente dentro de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales (AGT), al integrar lombrices de tierra en un biofiltro que facilita la remoción de contaminantes orgánicos y patógenos mediante la acción conjunta de la biota nativa. Esta tecnología permite realizar procesos de tratamiento primario (remoción de sólidos gruesos), secundario (degradación biológica y eliminación de nutrientes) y terciario (recuperación de nutrientes) en una sola unidad compacta. A diferencia de los sistemas convencionales, los lombrifiltros generan subproductos útiles como efluente apto para reúso y vermicompost, el cual puede emplearse como fertilizante orgánico en agricultura. Estudios comparativos han demostrado que los lombrifiltros logran una reducción adicional del 10 % en nitrógeno y fósforo total respecto a sistemas de lodos activados, además de una eliminación de amonio ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) hasta tres veces superior.

La tecnología de tratamiento de aguas residuales mediante lombrifiltros, es una tecnología ecológica, la cual también conocida como sistema Tohá o vermifiltros. (Hernández, Y. 2005) menciona que el sistema Tohá es un método de tratamiento diseñado para procesar residuos industriales líquidos orgánicos y aguas servidas. Este sistema fue desarrollado por el Profesor José Tohá Castellá, en colaboración con su equipo de investigadores del Laboratorio de Biofísica de la Universidad de Chile, con el propósito de ofrecer una alternativa eficiente para el tratamiento de estos efluentes.

Figura 2.

Diagrama esquemático de un proceso típico de tratamiento de aguas residuales en comparación con un proceso de tratamiento de lombrifiltración



Nota. Adaptado de *Vermifiltration as a natural, Sustainable and Green Technology for Environmental Remediation: A new paradigm for wastewater treatment process* (p. 5), Arora y Saraswat et al., 2021.

El concepto de lombrifiltro puede entenderse como una evolución del sistema convencional de lombricultura. (Salazar, P. 2005) puntualiza que esta adaptación integra la cría y producción de lombrices con el tratamiento de residuos orgánicos, optimizando su reciclaje en forma de abonos y proteínas. Su aplicación abarca diversas áreas, incluyendo la producción de humus de lombriz, la elaboración de alimento para mascotas y animales de granja, así como su uso en avicultura, piscicultura y como carnada en pesca. A diferencia del modelo tradicional, en el lombrifiltro el sustrato necesario no se añade de forma externa, sino que proviene directamente de las aguas residuales domésticas que atraviesan un medio filtrante, donde las

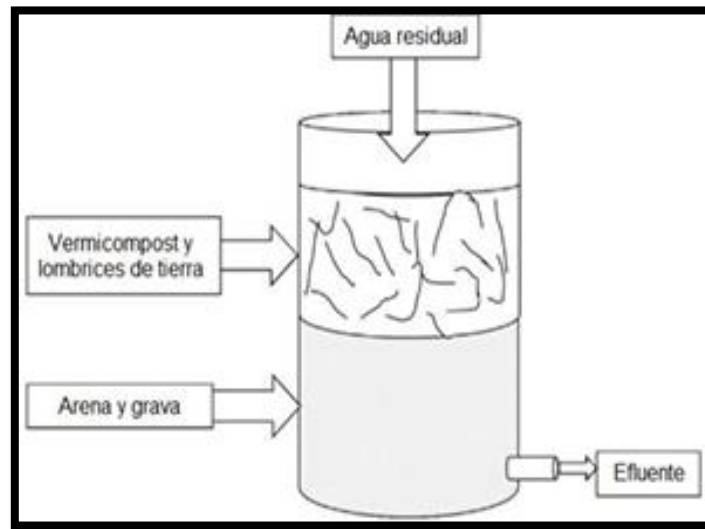
lombrices se encuentran en alta densidad y desempeñan un papel clave en la depuración del agua.

Este sistema cuenta con diferentes estratos de materiales para la purificación de las aguas residuales; estas incluyen una capa superior de material orgánico, como residuos vegetales, una capa intermedia donde habitan las lombrices y se descompone la materia orgánica, seguido de capas inferiores de grava o arena y canto rodado que actúan como filtro para la purificación del agua tratada.

(Cachata, I. 2023) hace referencia a (Singh et al. 2017), quienes mencionan que el lombrifiltro está compuesto por la unidad de suministro de aguas residuales, el medio filtrante y de soporte, las lombrices y la unidad de recolección de efluente.

Figura 3.

Representación esquemática de un lombrifiltro



Nota. Adaptado de “Tratamiento de aguas residuales de una granja piloto de cerdos a través de microorganismos benéficos, henkydamas y lombrifiltros” (p. 8), Cachata Espinoza, I. 2023.

A. Funcionamiento del lombrifiltro. El funcionamiento de un lombrifiltro se da por acción de la gravedad, el agua residual es rociada sobre el lecho de las lombrices, la cual percola a través del filtro, las lombrices degradan la materia orgánica, transformándola en humus en la capa más superficial.

En este contexto, (Salazar, P. 2005) explica que la materia orgánica retenida en el medio filtrante es eliminada mediante la acción de microorganismos y lombrices presentes en el sistema. Estos organismos descomponen la materia orgánica, utilizándola como fuente de alimento y energía para sus funciones metabólicas, mientras que una parte se incorpora a su biomasa. Tras el proceso de digestión las lombrices generan humus de lombriz a través de sus excreciones, el cual puede ser recolectado periódicamente y utilizado como fertilizante orgánico. A diferencia de otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, este método no produce lodos inestables, ya que los sólidos orgánicos se degradan completamente, resultando en la formación de humus. Además, el paso del agua contaminada por un lecho de arena enriquecido con celulosa permite la retención de partículas contaminantes, contribuyendo a la filtración efectiva del líquido, obteniendo como producto final un fertilizante de suelos compuesto principalmente por humus, reconocido por su alto valor nutritivo y la producción de proteínas en el sistema.

Por otro lado, dicho autor cita a (A.V.F. Ingeniería Ambiental 2003) que mencionan sobre el proceso biológico que ocurre en el lombrifiltro corresponde a un tratamiento de tipo aeróbico, facilitado por la actividad de la especie Eisenia foetida. Estas lombrices contribuyen a mantener la permeabilidad del medio filtrante al consumir la materia orgánica retenida, transformándola en humus. La estructura granular del humus incrementa progresivamente la porosidad del lecho, favoreciendo la aireación. Además, los movimientos migratorios de las

lombrices generan túneles y canales que mejoran la oxigenación interna del sistema, evitando la colmatación y asegurando condiciones óptimas para la biodegradación aeróbica.

(Arora, S., & Saraswat, S. 2021) afirman que, durante el tratamiento, las aguas residuales atraviesan una capa activa donde las lombrices transforman la materia orgánica en vermicompost enriquecido con humus. Posteriormente, el flujo pasa por medios filtrantes que promueven el desarrollo microbiano, dando lugar al tratamiento secundario. La acción trituradora de las lombrices incrementa la superficie específica del medio, lo que mejora la adsorción de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. Las partículas suspendidas y disueltas quedan retenidas en el lecho filtrante, donde se estabilizan mediante procesos biológicos complejos. Gracias a la excavación constante de las lombrices, se mantiene una adecuada aireación, evitando la obstrucción del sistema. Esta interacción simbiótica entre lombrices y microorganismos no solo intensifica la biodegradación, sino que también modifica las propiedades fisicoquímicas del efluente tratado.

(Bravo, M. 2019) cita a (Visvanathan y Colab 2005) que mencionan que en este sistema las lombrices pueden llegar a consumir aproximadamente la mitad de su peso en materia orgánica proveniente de aguas residuales, llegando a reducir parámetros indeseables, como SST (90 – 95%), DQO (80 – 90%), DBO5 (80 – 90%), entre otros.

Mientras que (Salazar, P. 2005) señala sobre la eficiencia del tratamiento por lombrifiltro, que se obtiene una remoción del 95% de la DBO, 95% de Sólidos Totales, 93% de los Sólidos Suspendidos Volátiles, 80% Aceites y Grasas, 60% a 80% de Nitrógeno Total, 60% a 70% del Fósforo Total, Coliformes fecales: 99%.

Algo resaltante según (Bravo, M. 2019) que cita a (Singh y colab. 2017) los que indican que los sistemas de lombrifiltro pueden recibir aguas residuales mediante tres modalidades operativas: flujo continuo, flujo intermitente y carga por lotes. El modo continuo es el más común en aplicaciones industriales y domésticas, ya que se adapta a la generación constante de efluentes. En contraste, el riego intermitente (caracterizado por descargas periódicas) ofrece ventajas en términos de aireación, al permitir pausas que favorecen la oxigenación del medio filtrante y la actividad microbiana. Por otro lado, el modo por lotes implica la descarga puntual de grandes volúmenes de afluente, que interactúan de forma concentrada con las lombrices y el lecho filtrante. Cada modalidad influye en la eficiencia del tratamiento, la dinámica de oxigenación y la estabilidad biológica del sistema, por lo que su elección debe considerar el tipo de carga hidráulica, la composición del efluente y los objetivos operativos del tratamiento.

B. Estratos de un lombrifiltro. El sistema de lombrifiltro cumple con la reducción de los contaminantes fisicoquímicos y biológicos. Como este sistema sigue en experimentación, existen varios estudios en las que se consideran diversas modificaciones de los estratos filtrantes, tales como carbón activado, antracita, arena, chapas, etc., dependiendo del objetivo y el alcance de la investigación.

(Salazar, P. 2005) cita a (Comisión Regional del Medio Ambiente 2002) que afirma, la capa base del lombrifiltro, compuesta por aserrín o viruta de ulmo o tepa, cumple funciones de soporte físico y filtración. Su espesor mínimo recomendado es de 25 cm, lo que garantiza una zona activa adecuada para las lombrices. Además, actúa como fuente de alimento en caso de que el afluente no aporte suficiente carga orgánica.

El mismo autor describe la conformación de las capas estructurales del lombrifiltro. La segunda capa se compone de ripio o grava, mientras que la tercera está integrada por bolones con un espesor aproximado de 25 cm, organizados de manera estratificada: las piedras de mayor tamaño se ubican en la base y las de menor dimensión en la parte superior. Esta disposición favorece el drenaje eficiente y la adecuada aireación del sistema. Asimismo, las piedras desempeñan un papel crucial en el proceso de depuración, ya que en su superficie se desarrolla una comunidad bacteriana capaz de digerir la materia orgánica presente en el agua que atraviesa el filtro, contribuyendo así a la mejora de la calidad del efluente que no ha sido retenido en las capas superiores.

El mismo autor cita a (A.V.F. Ingeniería Ambiental 2003) que mencionan que, entre los estratos de aserrín y arena se incorpora una malla tipo Raschell, cuya función principal es actuar como barrera física que separa ambos materiales. Esta malla también evita el desplazamiento de las lombrices hacia capas inferiores, asegurando su permanencia en la zona activa del sistema.

Así mismo, dicho autor afirma que la base del filtro, conocida como falso fondo, está conformada por un radier con una inclinación aproximada del 1%, lo que facilita el flujo del agua hacia la canaleta de evacuación, la cual también posee una pendiente del 0.50%, permitiendo el drenaje eficiente del líquido dentro del sistema.

Figura 4.

Capas del lombrifiltro



Nota. Adaptado de *Sistema Tohá: Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales* (p. 76), Salazar Miranda, P. 2005.

C. Ventajas y desventajas. (Guzmán, M. 2004) destaca varios aspectos que distinguen este sistema de los tratamientos convencionales de aguas servidas y residuos industriales líquidos:

- Se trata de un proceso integral, que prescinde de las etapas tradicionales de tratamiento primario, secundario y terciario.
- Elimina la formación de lodos, ya que la materia orgánica es completamente metabolizada dentro del sistema.
- Asegura su funcionamiento continuo, ya que la acción combinada de micro y macroorganismos previene la saturación del biofiltro.
- Es ecológico, ya que no requiere aditivos químicos, evita la producción de residuos contaminantes y poco consumo de energía.
- Es eficiente debido a que logra una remoción de hasta el 96% de DBO y los sólidos suspendidos, alcanzando un alto grado de depuración.

- Otra ventaja es su reducido requerimiento espacial: un biofiltro de apenas 1 m² es suficiente para tratar el agua servida de cinco personas.
- Es económico, ya que ofrece menores costos de construcción y mantenimiento en comparación con los sistemas tradicionales, permitiendo la reutilizando del agua tratada para fines de irrigación.

(Arana, H. 2022) identifica varias limitaciones asociadas al funcionamiento del lombrifiltro:

- En condiciones de baja temperatura ambiental, la actividad metabólica de las lombrices se reduce significativamente, afectando la eficiencia en la degradación de la materia orgánica y ralentizando su tasa de reproducción.
- En instalaciones de gran escala, es necesario implementar movimientos temporales dentro del sistema para optimizar la aireación.
- Para mantener la estabilidad del proceso de tratamiento, se requiere la incorporación periódica de aserrín, aproximadamente cada cuatro a cinco meses, lo que contribuye a preservar las condiciones óptimas para la filtración.

D. Dimensionamiento y diseño del lombrifiltro. El dimensionamiento del lombrifiltro se da por diversos parámetros, los cuales permiten realizar el diseño.

(Arora, S., & Saraswat, S. 2021) sugieren que la eficiencia de cualquier sistema biológico se ve significativamente afectada por el caudal de aguas residuales, el cual requiere ser optimizado. El diseño ideal de la tasa de carga hidráulica (HLR) y el tiempo de retención hidráulica (HRT) desempeñan un papel fundamental en la preservación de una alta eficiencia de eliminación en un vermifiltro.

- **Tasa de carga hidráulica (HLR).** Es conocida también como la tasa de riego.

(Salazar, P. 2005) cita a (A.V.F. Ingeniería Ambiental 2003) que señalan que el diseño del lombrifiltro se fundamenta en un balance de masas que considera tres variables clave: la densidad poblacional de lombrices por unidad de área, la capacidad digestiva de materia orgánica por individuo, y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho sin comprometer la oxigenación. Esta última se establece en $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, límite que previene condiciones anaerobias y garantiza la supervivencia de las lombrices.

Y también, dicho autor, hace mención que una vez definido el caudal de diseño y establecida la tasa de riego admisible, es posible calcular el área necesaria del lombrifiltro para garantizar un tratamiento eficiente del efluente.

(Arora, S., & Saraswat, S. 2021) explican que la HLR es la cantidad de aguas residuales aplicadas al vermifiltro por unidad de área y unidad de tiempo. Un aumento en la HLR, disminuye el tiempo de contacto de las reacciones bioquímicas durante el proceso de tratamiento.

(Guzmán, M. 2004) menciona que la eficiencia del lombrifiltro ha sido validada mediante estudios de aplicación práctica, estableciéndose que puede tratar hasta 1.000 litros por metro cuadrado al día. Esto implica que se requiere un área efectiva de 1 m^2 de biofiltro para procesar 1 m^3 de aguas servidas diariamente.

Y (Cachata, I. 2023) cita a (Singh et al. 2017) quienes mencionan que, la determinación de la tasa de carga hidráulica (HLR) en un lombrifiltro depende directamente de las propiedades físicas de los materiales que conforman el lecho filtrante. Entre los factores más relevantes se encuentran el tamaño y distribución de los poros, la textura, la estructura interna, la densidad aparente y la composición mineralógica. Estas

características influyen en la capacidad de infiltración, aireación y retención del sistema, por lo que deben ser cuidadosamente evaluadas para garantizar un funcionamiento eficiente y evitar condiciones de saturación o colmatación.

Por lo que este autor define la fórmula del HLR como sigue:

$$HLR = (V_{agua\ residual}) / (A * t)$$

Donde:

HLR: Tasa de carga hidráulica (m³/m²/día)

V agua residual: Caudal volumétrico de aguas residuales (m³)

A: Área del perfil del medio filtrante expuesto (m²)

t: Tiempo de demora en fluir el agua residual a través del perfil del suelo (días)

- **Tiempo de retención hidráulico (HRT).** (Arora, S., & Saraswat, S. 2021) mencionan, el HRT es el tiempo que las aguas residuales permanecen en el medio filtrante del lombrifiltro, permitiendo su tratamiento mediante procesos físicos, biológicos y la acción de las lombrices.

Es decir, es el tiempo en que el agua residual permanece en contacto con el estrato de las lombrices, este es el tiempo que tienen las lombrices para poder degradar la materia orgánica presente en el agua residual.

(Bravo, M. 2019) afirma que la porosidad del medio filtrante suele mantenerse dentro de un rango que oscila entre 60% y el 74%.

(Cachata, I. 2023) cita a (Sinha et al. 2008) que mencionan, por ello, es fundamental que las aguas residuales permanezcan en el perfil del suelo durante un lapso de tiempo adecuado.

Dicho autor, define la fórmula del TRH como sigue:

$$HRT = (\rho * V_s) / (Q_{agua\ residual})$$

Donde:

HRT: Tiempo teórico de retención hidráulica (horas)

Vs: Volumen del perfil del medio filtrante, a través de la cual fluyen las aguas residuales y en donde habitan las lombrices (m³)

ρ : Porosidad del medio a través del cual fluyen las aguas residuales.

Q agua residual: Caudal del agua residual a través del perfil del medio filtrante (m³/h)

- **Carga orgánica superficial (COS).** (Cachata, I. 2023) cita a (Cardoso et al. 2014) que mencionan: este parámetro es muy importante, debido a que representa una fuente de alimento para los microorganismos, los cuales, a su vez, constituyen una fuente de alimento para las lombrices.

Este autor define la formula al COS como:

$$COS = HLR * Concent.de\ materia\ orgánica(DBO_5)$$

Donde:

HLR : tasa de carga hidráulica (m³/m²*d)

COS : carga orgánica superficial (g/m²*d)

DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

(Arora, S., & Saraswat, S. 2021) afirman: la HLR y HRT están determinadas por factores como el área superficial, el volumen del lecho filtrante y la porosidad del medio. En consecuencia, estos parámetros se estiman según las dimensiones del sistema de tratamiento, presentando rangos típicos de 3,5 a 8 horas para la HRT y de 1,5 a 2,5 m³/m²/día para la HLR, en función del tamaño específico del vermifiltro.

- **Cantidad de lombrices.** (Cachata, I. 2023) cita a (Sinha et al. 2008) que mencionan que se aplicó una proporción de 10 kg de lombrices por cada m³ de suelo.

Eso quiere decir que la cantidad de las lombrices a agregar tiene relación directa con el volumen del contenedor.

En relación a lo anterior, el mismo autor formula el número de lombrices por Kg de la siguiente manera:

$$Lombrices (Kg) = V * 10 Kg de \frac{lombrices}{m^3}$$

Donde:

V: volumen del contenedor

- **Altura de los estratos.** (Castillo, J. & Chimbo, J. 2021) citan a (Coronel 2015) que formulan a la altura de las capas del lombrifiltro se calculó con la ecuación:

$$h = \frac{\%total\ del\ estrato * altitud\ útil\ del\ lombrifiltro}{100}$$

Donde:

h: altura del estrato

E. Mantenimiento del sistema. (Salazar, P. 2005) cita a (A.V.F. Ingeniería Ambiental 2003) que menciona:

Para procurar el correcto funcionamiento del sistema del sistema Tohá, se requiere realizar las siguientes labores de mantención:

- Extracción de sólidos retenidos en el canastillo, se recomienda al menos una o 2 veces a la semana, pero en caso de ser necesario debe aumentarse la frecuencia.

- Se debe realizar el horqueto de la viruta superficial del lecho, para mejorar la permeabilidad de éste evitando aposamiento de aguas, se recomienda realizarlo al menos una vez por semana, pero en caso de ser necesario debe incrementarse la frecuencia.
- Para el correcto funcionamiento del lombrifiltro, el sustrato debe estar en un estado de saturación, sin llegar a tener aposamientos superficiales, los cuales no son recomendados debido a que la lombriz se aleja de estas zonas, haciendo perder la homogeneidad del sistema. Este estado de saturación permanente es logrado a través de la descarga, a tasas controladas, de aguas residuales.
- Desmalezar el lecho al detectarse el crecimiento de algún tipo de plantas.
- Con una frecuencia de 4 meses debe realizarse la adición de viruta al lecho, ante la disminución de este estrato debido al fraccionamiento alcanzado.
- Limpieza periódica de regadores para garantizar en todo momento una uniformidad de riego en la superficie.

2.2.4. Lombrices

Las lombrices son gusanos alargados y segmentados que con normalidad se encuentran en la tierra y desempeñan un papel importante al descomponer la materia orgánica y mejorar su estructura.

(Cachata, I. 2023) cita a (Cardoso et al. 2014) que afirman que, las lombrices de tierra desempeñan un papel fundamental en la aireación del medio filtrante al desplazarse y excavar galerías que permiten la circulación de oxígeno. Esta actividad mejora la porosidad efectiva del sistema y crea microambientes aeróbicos que favorecen el desarrollo de comunidades microbianas. La interacción simbiótica entre lombrices y microorganismos acelera la

descomposición de la materia orgánica, optimizando los procesos de mineralización y estabilización de los residuos presentes en las aguas residuales.

(Salazar, P. 2005) afirma, que tres de las ocho mil especies de lombrices, son las más utilizadas en la lombricultura: Eisenia foetida, Lombricus Rubellus, Rojo Híbrido.

(Hernández, Y. 2005) sostiene que la lombricultura representa una solución eficiente, racional y económica para la contaminación orgánica. Esta biotecnología emplea la *Eisenia foetida*, conocida como lombriz roja californiana, para reciclar diversos tipos de materia orgánica, generando como subproducto humus, un fertilizante orgánico de alta calidad. A través de su metabolismo, las lombrices transforman la materia orgánica de los afluentes residuales en anhídrido carbónico y agua, incorporado una fracción a su biomasa convirtiendo el resto en humus, evitando así la generación de lodos. Esta especie es autosuficiente y puede vivir en cautiverio hasta 15 años, alcanzando la madurez entre los 7 y 9 meses, con una longitud promedio de 10 centímetros y un diámetro de 4 milímetros, pesando entre 0,24 y 1,4 gramos. Aunque es resistente, no tolera la luz solar directa, y su pequeño tamaño favorece la calidad del humus que produce. Además, es hermafrodita, pero requiere apareamiento, el cual ocurre cada 7 días, dando lugar a cápsulas con 2 a 20 lombrices, que eclosionan en 2 a 3 semanas; en condiciones óptimas, su población puede duplicarse cada tres meses, alcanzando densidades de 40 000 a 50 000 lombrices por metro cuadrado.

Con lo que concuerda (Cachata, I. 2023), que indica que el tiempo de vida de la lombriz en un lombrifiltro puede llegar a ser aproximadamente 16 años en condiciones favorables, y en entornos silvestres de 4 años.

Figura 5.

Eisenia foetida (a la izquierda) y Cápsula de la Lombriz (a la derecha)



Nota. Adaptado de *Anteproyecto de construcción para aplicación de lombricultura al tratamiento de Planta LLAU-LLAO de SALMONERA INVERTEC S.A.* (p. 39), Hernández Bórquez, Y. 2005.

(Salazar, P. 2005) cita a (Agroflor 1993) que afirma, la especie *Eisenia foetida*, utilizada comúnmente en lombrifiltros, posee una anatomía especializada que incluye 182 nefridios (órganos excretores), seis pares de riñones y cinco corazones. Su respiración es cutánea, ya que carece de pulmones, y aunque su cabeza no presenta ojos ni palpos, cuenta con células fotosensibles distribuidas a lo largo de su cuerpo que detectan la luz. Esta especie es extremadamente sensible a la radiación solar, especialmente a los rayos ultravioleta, los cuales pueden causarle la muerte en pocos minutos de exposición directa.

Figura 6.

Sistema circulatorio de la lombriz Eisenia Foetida



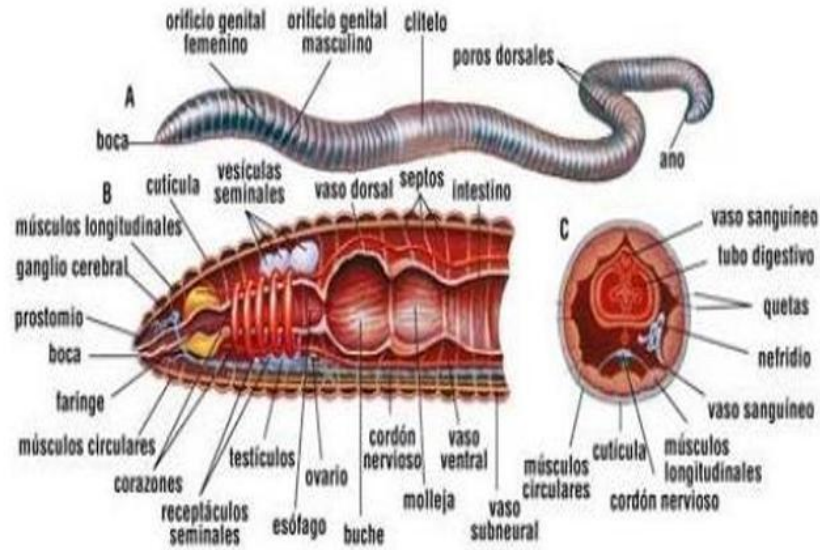
Nota. Adaptado de *Establecimiento y Manejo de un criadero de lombrices en el Perú*, Figueroa Paez, P. 1993.

(Hernández, Y. 2005) cita a (Basaure 1993) que menciona, la población de Eisenia foetida en el lombrifiltro se ajusta según la disponibilidad de materia orgánica, su principal fuente de alimento. Esta especie consume diariamente una cantidad equivalente a su propio peso, de la cual asimila aproximadamente el 20 % para su metabolismo y elimina el 80 % como humus estabilizado. Además de no transmitir enfermedades, contribuye a la sanidad del sistema al ingerir microorganismos patógenos como bacterias, hongos y protozoos, los cuales son destruidos en su tracto digestivo y transformados en componentes inertes dentro de sus excretas.

(Figueroa, P. 1993) menciona que, ya que la lombriz Eisenia foetida carece de mandíbula y para poder alimentarse lo hace mediante succiones a través de su boca ubicada en el primer segmento corporal. Durante este proceso, sus glándulas secretan proteosa, una sustancia que humedece el alimento facilitando su digestión interna, hasta que los residuos son expulsados por el ano situado en el último segmento.

Figura 7.

Anatomía interna del sistema digestivo de la lombriz Eisenia Foetida



Nota. Adaptado de *Establecimiento y Manejo de un criadero de lombrices en el Perú*, Figueroa Paez, P. 1993.

(Arana, H. 2022) destaca que diversos parámetros, como la temperatura, humedad, pH, presencia de cloro, influyen en el rendimiento del lombrifiltro. Por ello, recomienda evaluar la reducción de contaminantes considerando estos y otros parámetros, con el objetivo de optimizar la remoción de impurezas y preservar la viabilidad de las lombrices dentro del sistema.

A. Humus. (Cabrera, J. 2006) menciona que el producto resultante de la actividad biológica de las lombrices, conocido como lombrihumus, contiene principalmente elementos como carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrogeno, además de una abundante presencia de microorganismos. La proporción de estos componentes varía según la composición química del material orgánico que sirvió de alimento a las lombrices. Este biofertilizante desempeña un papel esencial en la mejora integral del suelo, ya que contribuye a optimizar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Figura 8.

Análisis químicos del humus de lombriz

Materia orgánica	65 - 70 %
Humedad	40 - 45 %
N₂	1,5 - 2 %
Fósforo(P₂O₉)	2 - 2,5 %
Potasio K₂O	1 - 1,5 %
Relación N/C	10 - 11 %
Acidos húmicos	3,4 - 4 %
Flora bacteriana	40 x 10⁶ colonias por grano
pH	6,8 - 7,2

Nota. Adaptado de *Manual de lombricultura* (p. 22), Cabrera Santa Cruz, J., 2006.

B. Acondicionamiento de las lombrices. Para el correcto funcionamiento del sistema, es necesario que se realice la inoculación o adaptación de las lombrices y junto con ello los microorganismos que se encuentren en el lecho. (Cachata, I. 2023) cita a (Kumar et al. 2015) que recomienda un periodo de 20 días a más para que se puedan aclimatar debidamente las lombrices.

(Hernández, Y. 2005) menciona que, en cuanto a su alimentación, Eisenia foetida puede incorporar a su dieta cualquier residuo orgánico de origen vegetal o animal, lo que la

convierte en una especie altamente versátil para procesos de biodegradación. La materia orgánica que consume presenta una composición química heterogénea, con múltiples compuestos que sufren transformaciones a lo largo del proceso. La mayor parte de estos cambios se deben a la acción microbiológica y bioquímica, que descompone los compuestos complejos en formas más simples y estables. Esta dinámica permite que las lombrices no solo digieran los residuos, sino también contribuyan a la eliminación de microorganismos patógenos como bacterias, hongos y protozoos, los cuales son destruidos en su tracto digestivo y convertidos en componentes inertes del humus que excretan.

Tabla 1.

Tiempo del proceso de descomposición

Material a descomponer	Tiempo estimado
Orgánicos vegetales	30 a 60 días
Orgánicos animales	15 a 30 días

Fuente: Hernández Bórquez, Y. (2005, p. 40).

Tabla 2.*Alimento vegetal de la Lombriz*

Residuo orgánico	Características del residuo
Aserrines y virutas	Se deben preferir aquellos que provienen de maderas blancas.
	Los que se originan de maderas rojas contienen un alto porcentaje de taninos y lignina. El tanino es un veneno que puede matar a la lombriz. Como norma general, se recomienda incorporar fibra vegetal larga a todo tipo de aserrines y virutas de maderas, dado que la alta concentración de microorganismos que contienen los residuos orgánicos permite acelerar el rompimiento de la molécula de la lignina acelerando la descomposición del material.

Fuente: Hernández Bórquez, Y. (2005, p. 41).

Tabla 3.*Parámetros del alimento de la Lombriz a considerar*

Parámetro	Nivel Optimo	Nivel Adecuado	Peligro de Muerte
Temperatura	20° C	15° - 24° C	- 5° C + 37° C
Humedad	75 %	70 - 80 %	- 70 % + 80 %
pH	6.5 - 7.5	6.0 - 8.0	- 4.5 + 8.5
Conductividad eléctrica	2.5 mmhos/cm	3.0 mmhos/cm	+ 8.0 mmhos/cm
Proteínas	13 %	7.5 % - 13 %	- 7.5 % + 18 %

Fuente: Adaptado de Hernández Bórquez, Y. (2005, p. 41).

(Hernández, Y. 2005) hace mención a (Basaure 1993) quien indica que la altura de cada cama en un plantel depende de los factores climáticos de instalación y del tipo de material a reciclar predominante.

Tabla 4.

Alturas recomendables para la capa de aserrín

Factor a considerar	Altura recomendada de la cama
Clima cálido	menor altura
Clima frío	mayor altura
Material blando a reciclar	menor altura
Material de fibras duras	mayor altura
Estiércol o similar más material fibroso	70 centímetros
Materiales muy fibrosos	140 centímetros

Fuente: Hernández Bórquez, Y. (2005, p. 41).

El mismo investigador explica que la cama de reciclaje se estructura mediante la disposición en capas de materiales orgánicos disponibles, como aserrín y viruta, hasta alcanzar la altura requerida. Para favorecer la descomposición, cada capa debe ser adecuadamente humedecida, asegurando un proceso eficiente. Además, es fundamental incorporar un sistema de ventilación central, evitando la compactación de la masa, ya que esto podría dificultar la degradación de los materiales.

La descomposición que se da en el lombrifiltro se da en 2 etapas:

Tabla 5

Proceso de descomposición de la materia orgánica en las camas de preparación del alimento.

Fase	Descripción
Anaeróbica	Fase que se realiza en ausencia de oxígeno. A los dos o tres días se inicia una fermentación intensa con participación de hongos y bacterias, se libera energía que origina altas temperaturas, superiores a 70° C, encontrándose activos microorganismos preferentemente termofílicos, los cuales se caracterizan por acidificar la mezcla. Se detiene este proceso si no existe la humedad adecuada. Una mala circulación del aire por exceso de agua o compactación del material, puede producir una putrefacción de la masa, lo que se evidencia por un olor agrio y la presencia de moscas. Al final de la etapa el pH de la materia orgánica oscila entre 3.5 y 4. De no controlarse adecuadamente la temperatura, el material a reciclar se degrada y pierde su calidad nutritiva.
Aeróbica	En esta fase el oxígeno es un elemento de la mayor importancia en la transformación química y física de la materia orgánica. A medida que avanza la fase disminuyen las temperaturas, predomina el trabajo de microorganismos mesofílicos los que se caracterizan por modificar el pH de las sustancias hasta la neutralidad, y fijar el nitrógeno lo que permite enriquecer la dieta alimenticia de la lombriz.

Fuente Hernández Bórquez, Y. (2005, p. 42).

(Hernández, Y. 2005) cita a (Basure 1993) que menciona que cuando el proceso de descomposición del alimento genera un ambiente demasiado ácido, es necesario equilibrar el pH del material añadiendo sustancias, como carbono de calcio molido, ceniza de madera u otros agentes neutralizantes.

Dicho autor describe que, inicialmente, la capa superior del material orgánico presenta un color característico que, con el tiempo, se oscurece progresivamente, pasando de amarillo a café oscuro. De manera similar, el olor del material evoluciona, adquiriendo un aroma a tierra mojada, mientras la altura de la cama se reduce debido a la descomposición. Para garantizar condiciones óptimas en las camas de alimento de la lombriz, es fundamental mantener una humedad del 75%, lo que se logra mediante un sistema de riego por aspersión. Además, es necesario realizar volteos periódicos del material, permitiendo su aireación y evitando la compactación, lo que favorece la eficiencia del proceso de descomposición.

C. Mecanismo de las Lombrices.

- **Molienda.** (Bravo, M. 2019) afirma: La materia orgánica ingerida por Eisenia foetida se reduce a partículas de 2–4 micrones antes de ingresar al intestino, donde la acción enzimática, junto con la molleja, actúa como un biorreactor que transforma los compuestos orgánicos en humus estable.
- **Acción enzimática.** (Bravo, M. 2019) cita a (Dash 1978) que menciona que, las lombrices secretan enzimas como lipasas, amilasas y celulasas, que aceleran la conversión bioquímica de residuos celulósicos y proteicos. Durante la ingestión, digieren microorganismos patógenos y los excretan junto a minerales y microbios del suelo, contribuyendo a la formación de humus estable.

- **Microorganismos.** (Bravo, M. 2019) señala que las lombrices desempeñan un papel fundamental en la promoción del crecimiento de microorganismos descomponedores beneficiosos, como protozoos, actinomicetos y hongos, dentro del suelo. A través de su alimentación, las lombrices transforman la materia orgánica y la excretan en forma de nitrógeno (N) y fósforo (P), elementos esenciales que favorecen la proliferación de microorganismos. Este proceso establece una relación simbiótica y sinérgica entre las lombrices y los microorganismos, acelerando la descomposición de la materia orgánica y mejorando la calidad del suelo.
- **Humificación.** (Bravo, M. 2019) describe la humificación como el proceso mediante el cual las partículas orgánicas de mayor tamaño se transforman en complejos coloides amorfos que contienen materiales fenólicos. En este proceso, aproximadamente un cuarto de la materia orgánica se convierte en humus, mientras que el resto es utilizado para el crecimiento de las lombrices. El humus resultante se emplea como fertilizante orgánico, favoreciendo el desarrollo y supervivencia de las plantas.

2.3. Marco Legal

2.3.1. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Estos son los rangos para los parámetros de calidad que deben cumplir las aguas residuales tratadas antes de ser vertidas a cuerpos receptores, asegurando así la protección del medio ambiente y la salud pública.

Tabla 6.

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Adaptado de Decreto supremo N° 003-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Diario Oficial El Peruano. (2010, p.2). Perú

2.3.2. Norma OS. 090. Reglamento Nacional de Edificaciones

Esta norma establece los lineamientos técnicos y criterios de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales, enfocándose en tecnologías convencionales como filtros percoladores (también conocidos como filtros biológicos). Pero no incluye especificaciones técnicas para sistemas de tratamiento por lombrifiltros. Estos, aunque comparte algunos fundamentos operativos con los filtros percoladores, incorpora además la acción de lombrices, lo cual permite potenciar la degradación de materia orgánica, sólidos suspendidos y la reducción de patógenos mediante procesos de digestión, acción enzimática y biooxidación.

Tabla 7.

Parámetro hidráulico según OS.090

Carga hidráulica (m³/m²/día)	Baja	Alta
	1 – 4	8 - 40

Fuente: Parámetro hidráulico de los filtros percoladores, Adaptado de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Norma técnica OS.090: Tratamiento de aguas residuales domésticas. Lima, Perú: Dirección Nacional de Saneamiento.

2.4. Definición de términos básicos

Aguas residuales domestica: son el resultado de las actividades diarias en el hogar y contienen contaminantes orgánicos, químicos y microbiológicos.

Lombrifiltro: sistema de tratamiento de aguas residuales que emplea lombrices, como Eisenia Foetida, y microorganismos en un medio filtrante para degradar la materia orgánica y reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos aeróbicos para descomponer la materia orgánica en una muestra en una muestra de agua durante 5 días, y se utiliza como indicador de la contaminación de agua.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica biodegradable y no biodegradable en una muestra de agua mediante agentes químicos, proporcionando una medida integral de la carga contaminante en el agua.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): son materiales sólidos en suspensión en el agua que pueden ser retenidos por filtración. Estos sólidos son indicadores de la turbidez y tienen un impacto directo en la calidad del agua.

Coliformes termotolerantes: bacterias que actúan como indicadores de contaminación fecal.

Tiempo de Retención Hidráulica (HRT): tiempo promedio en el que el agua residual interactúa con el medio filtrante del lombrifiltro, influyendo directamente en la eficiencia del proceso de tratamiento.

Tasa de Carga Hidráulica (HLR): volumen de agua residual aplicado por día en relación con la superficie del filtro. Este parámetro clave de diseño tiene influencia en el rendimiento del sistema.

Carga intermitente: modo de funcionamiento en el que el afluente se introduce a intervalos, permitiendo pausas que favorecen la aireación y optimizan los procesos biológicos y físicos de filtración.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la Zona de Investigación

3.1.1. Ubicación del proyecto.

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Jorge Chávez, ubicado en la provincia de Celendín, Región Cajamarca, Perú. La selección del área responde a criterios de accesibilidad, representatividad y disponibilidad de fuentes de agua residual domestica para el análisis.

Las coordenadas de ubicación del área de estudio en sus puntos extremos según UTM WGS84 zona 17M, son:

Extremo este de la ciudad: Este: 821786.334 m Norte: 9231723.724 m

Extremo oeste de la ciudad: Este: 819373.017 m Norte: 9231872.879 m

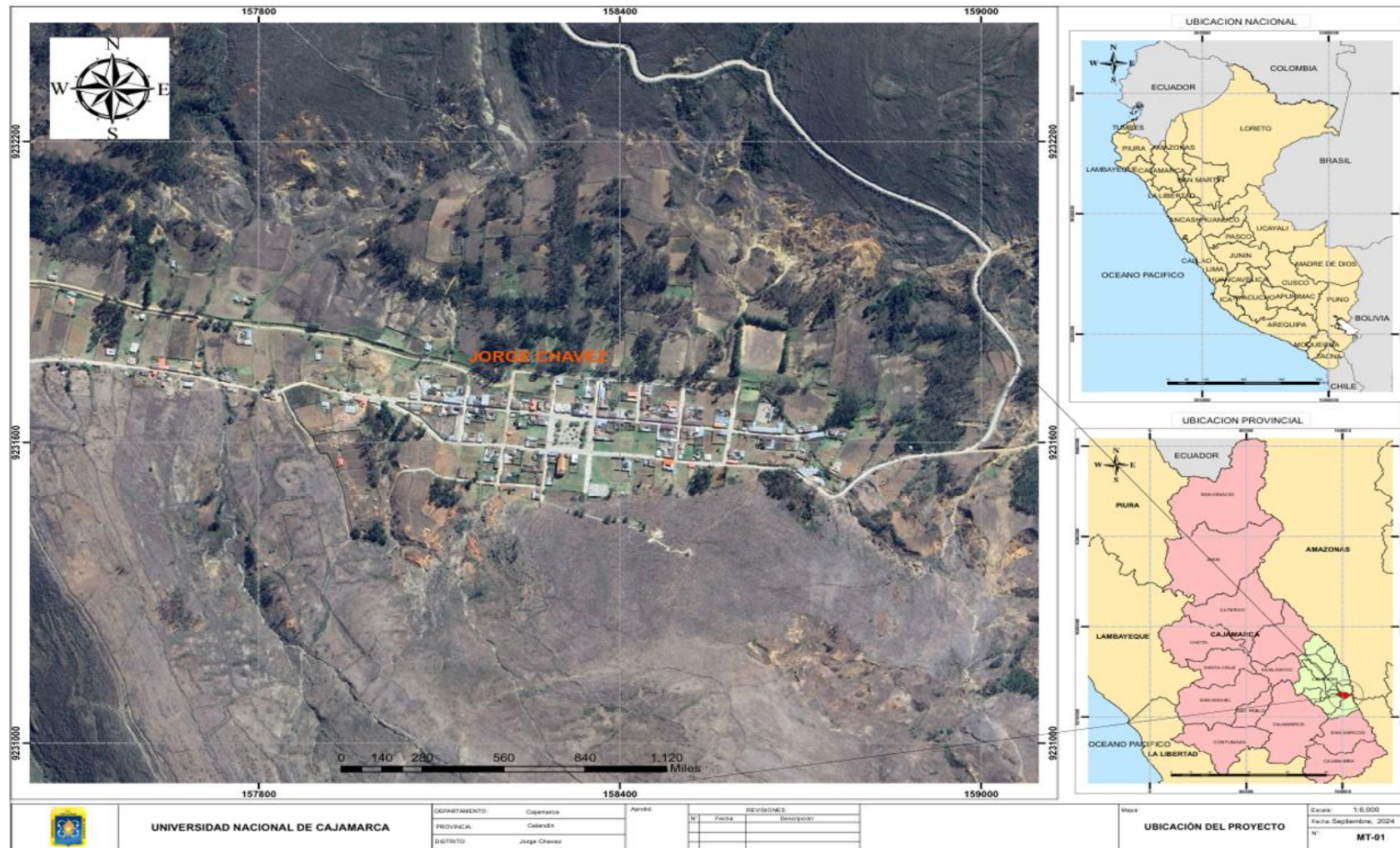
Extremo norte de la ciudad: Este: 821439.344 m Norte: 9231865.989 m

Extremo sur de la ciudad: Este: 821352.374 m Norte: 9231608.616 m

Altitud de la ciudad: 2630 m

Figura 9.

Ubicación de la ciudad de Jorge Chávez.



Nota. Plano de ubicación de Jorge Chávez. Adaptado de ARGIS (2024). [Captura de pantalla]

3.1.2. Ubicación de la ejecución de investigación.

La PTAR de Jorge Chávez, a partir del segundo mes de ejecución del estudio, no cuenta con muro perimetral y vigilancia, y podría haber accesos no autorizados y alteraciones en el sistema, debido a ello se opta a ejecutar la investigación dentro de un ambiente cerrado. La ubicación del lugar donde se realiza la ejecución durante la última etapa de la investigación, es en una vivienda localizada en las inmediaciones de la PTAR Jorge Chávez, debido a que garantiza la confiabilidad de los datos experimentales, evitando interferencias externas y accesos no autorizados.

Coordenadas de la vivienda, UTM WGS84 zona 17M:

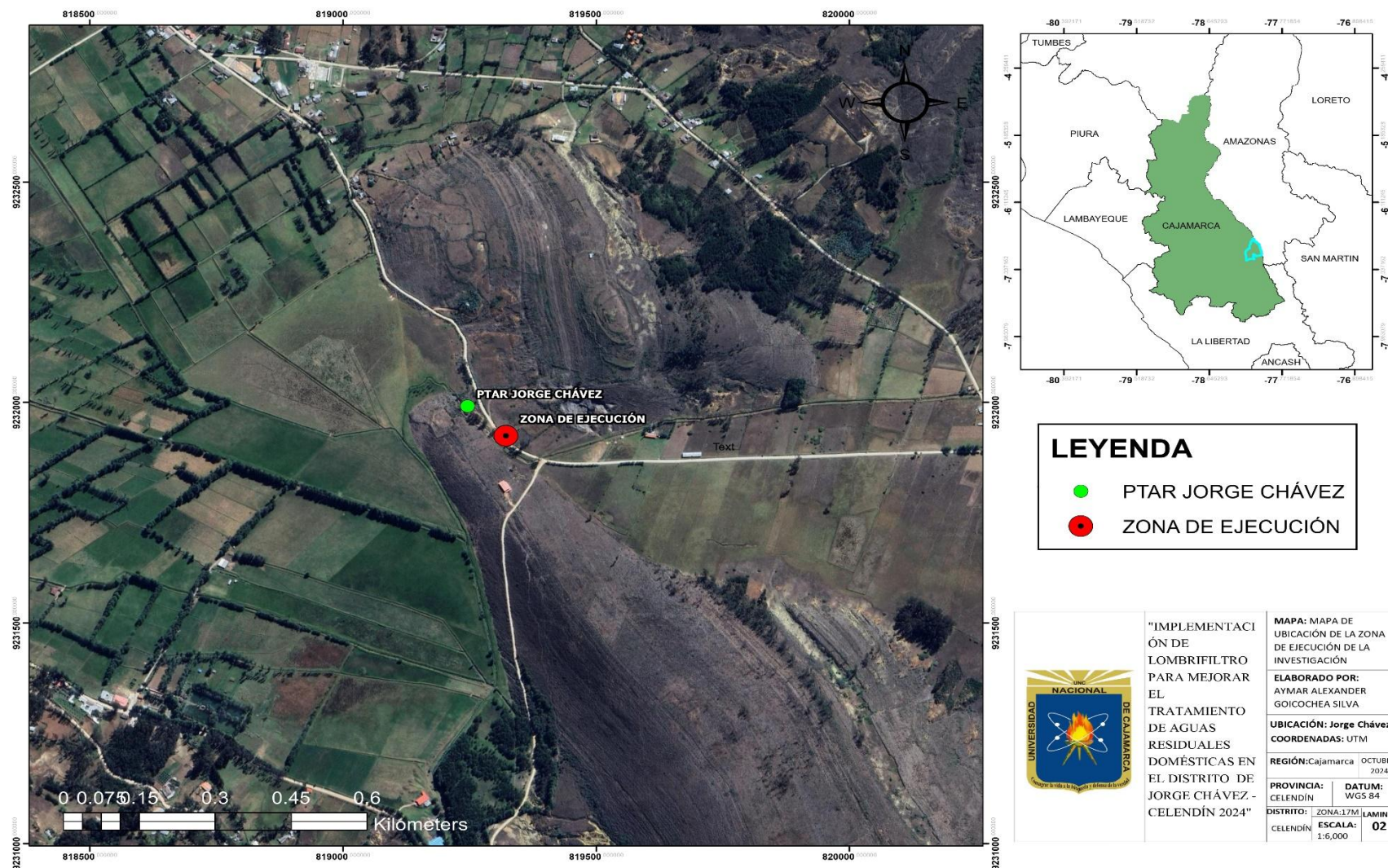
Este: 819356.965 m

Norte: 9231888.694 m

Altitud: 2605 m

Figura 10.

Ubicación de la zona de ejecución del proyecto



Nota. Vivienda localizada frente a la PTAR donde se colocó el filtro (zona de ejecución).

3.2. Materiales y equipos

Instrumentos

Los instrumentos a usar para el lombrifiltro serán:

- Lombrices Eisenia Foetida
- Grava gruesa y fina
- Piedra de río
- Malla Rachel de polietileno color verde densidad 90%
- Recipientes transparentes de 0.32 m x 0.5 m x 0.3 m
- Tubería pvc sap de ½”, codos pvc sap de ½” y llaves de pasos pvc sap ½”
- Pegamento para tubo pvc
- Equipo de venoclisis (para el sistema de goteo)

Los materiales y equipos para control y muestreo:

- Multiparametro de tierra (pH, temperatura, luminosidad, humedad)
- Balanza
- Recipientes esterilizados para la recolección de muestras
- Cooler conservador
- Guantes quirúrgicos
- Mascarillas

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo aplicado, dado que busca generar soluciones prácticas y funcionales para mejorar la calidad del tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de lombrifiltro.

3.3.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es explicativo, ya que se orienta a resolver un problema técnico real mediante la implementación y evaluación de un sistema de lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

3.3.3. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es cuasi-experimental, de tipo longitudinal, ya que se implementará un modelo de lombrifiltración y se evaluará su desempeño en distintos momentos del año 2024.

3.3.4. Población de Estudio

La población de la investigación incluye a las aguas residuales domésticas del sistema de desagüe de la ciudad Jorge Chávez.

3.3.5. Muestra

Para realizar la toma de muestra se llevó a cabo 5 repeticiones antes del tratamiento lo cual sirve para caracterización, y 5 repeticiones luego del tratamiento. Esto se debe a que las muestras del afluente no tuvieron mucha variación y se mantuvo un rango cercano durante la caracterización de las aguas residuales domésticas.

3.3.6. Unidad de Análisis

La unidad de análisis de la investigación es el volumen de agua residual usada para evaluar los parámetros DBO₅, DQO, SST, coliformes termotolerantes, según el D.S. 003-2010-MINAM. (tabla 7)

3.3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según el Ana (2010) las condiciones de preservación, almacenamiento y cantidad requerida de agua para evaluar los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅),

Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes Termotolerantes.

Tabla 8

Técnicas para la preservación de muestra

Parámetro	Recipiente	Volumen de muestra	Preservación	Máximo tiempo de preservación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Frasco de vidrio o plástico, con tapa hermética	1 L	Refrigeración a 0-6 °C, sin burbujas. No agregar químicos.	24 horas.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Frasco de vidrio, tapa de teflón	500 mL	Refrigeración a 0-6 °C, adición de H ₂ SO ₄ para pH <2.	28 horas.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Frasco de plástico o vidrio	1 L	Refrigeración a 0-6 °C.	2 días.
Coliformes Termotolerantes	Frasco estéril de plástico o vidrio	200 mL	Refrigeración a 0-6 °C, sin preservación química.	6 horas.

Nota. Adaptado de Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Autoridad Nacional del Agua (2016, p.77-81). Perú

3.4. Procedimiento de la investigación

3.4.1. Fase Inicial de Investigación

En la etapa inicial de la investigación se realizó la revisión bibliográfica de la información, recopilando información relevante de investigaciones previas, revistas científicas, fuentes digitales confiables. Se investigó los distribuidores que tenían en venta la lombriz *Eisenia Foetida*, la cual es esencial para esta investigación.

3.4.2. Fase de Campo

Según el INEI en el último censo del 2017, el distrito de Jorge Chávez registró una población de 441 habitantes. Durante la inspección ocular realizada en la zona de estudio, correspondiente a la ciudad de Jorge Chávez, provincia de Celendín, se confirmó la existencia de un jardín de niños, escuela primaria, municipalidad y un puesto de salud, además de viviendas predominantemente de una planta. El abastecimiento de agua potable se realiza mediante un reservorio de cabecera de 60 m³, administrado por la JASS de Jorge Chávez.

Figura 11.

Infraestructura de la ciudad de Jorge Chávez



Nota. Centro educativo inicial, primaria, municipalidad y puesto de salud de Jorge Chávez.

Asimismo, se pudo constatar que la red colectora de alcantarillado de dicha ciudad opera bajo un sistema independiente, destinado exclusivamente a la recolección de agua residuales de origen doméstico, y no tiene conexión con la red de las aguas de origen pluvial, las cuales tienen un drenaje separado que van hacia un cuerpo de agua natural cercano (como se observa en la figura 12 y 13).

Figura 12.

Drenaje de agua pluvial



Nota. Intersección de las cuadras 5 y 6 de la Av. Purísima.

Figura 13.

Cuerpo de agua de la ciudad de Jorge Chávez



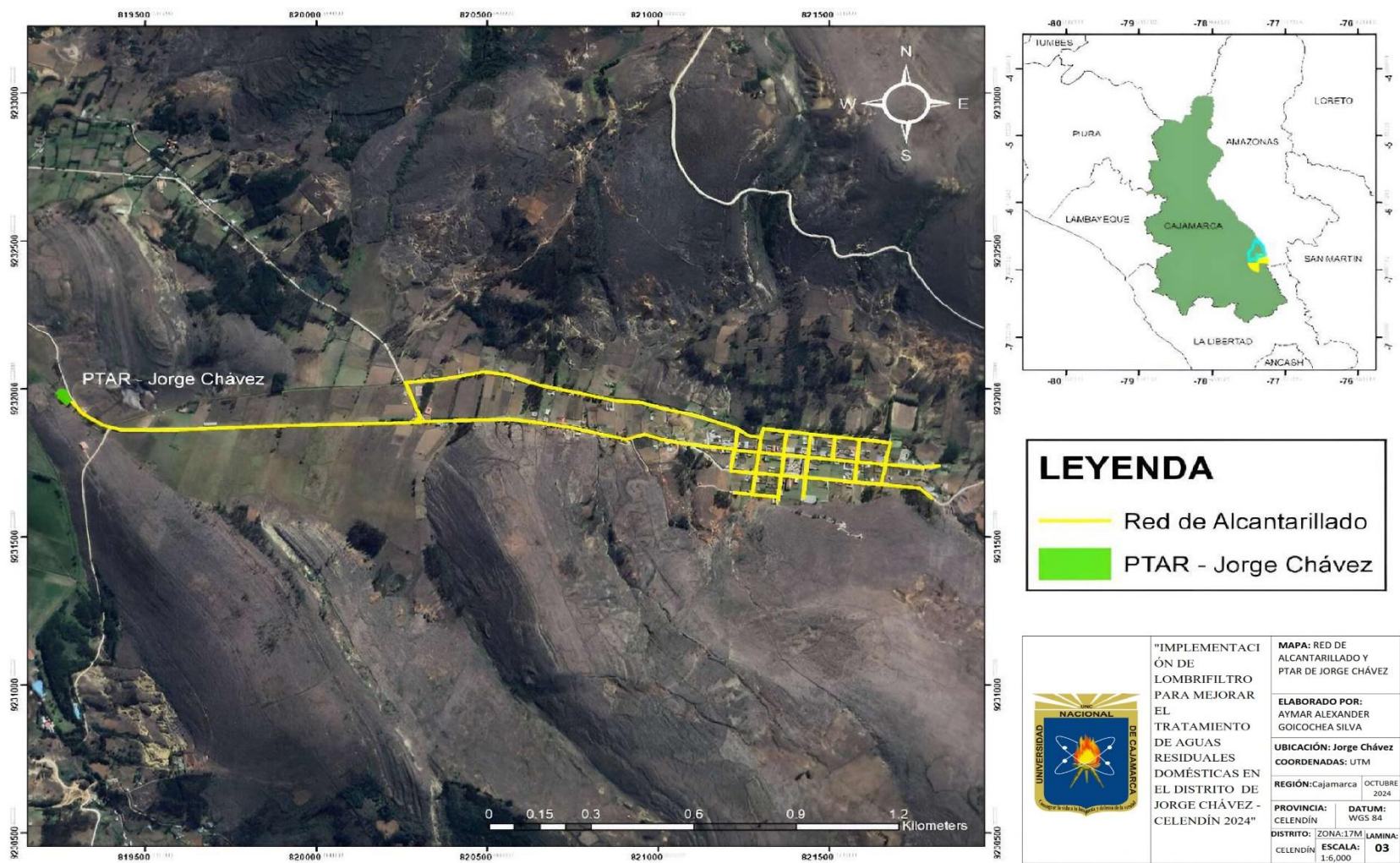
Nota. Río a donde desfogan todas las aguas pluviales de la ciudad de Jorge Chávez.

Adicionalmente, se verificó la ausencia de actividades industriales, camales u otros vertimientos que pudieran alterar la composición fisicoquímica y microbiológica de los efluentes, modificando la naturaleza de las aguas residuales y sean clasificadas como aguas residuales municipales.

El sistema de la red colectora de alcantarillado recorre distintos puntos del sector urbano de la ciudad, asegurando la captación y conducción eficiente de los efluentes, transportando las aguas residuales domésticas hacia la planta de tratamiento de agua residuales (PTAR), la cual se encuentra ubicada al límite de la ciudad de Jorge Chávez y opera desde el año 2018.

Figura 14.

Red de alcantarillado y PTAR Jorge Chávez

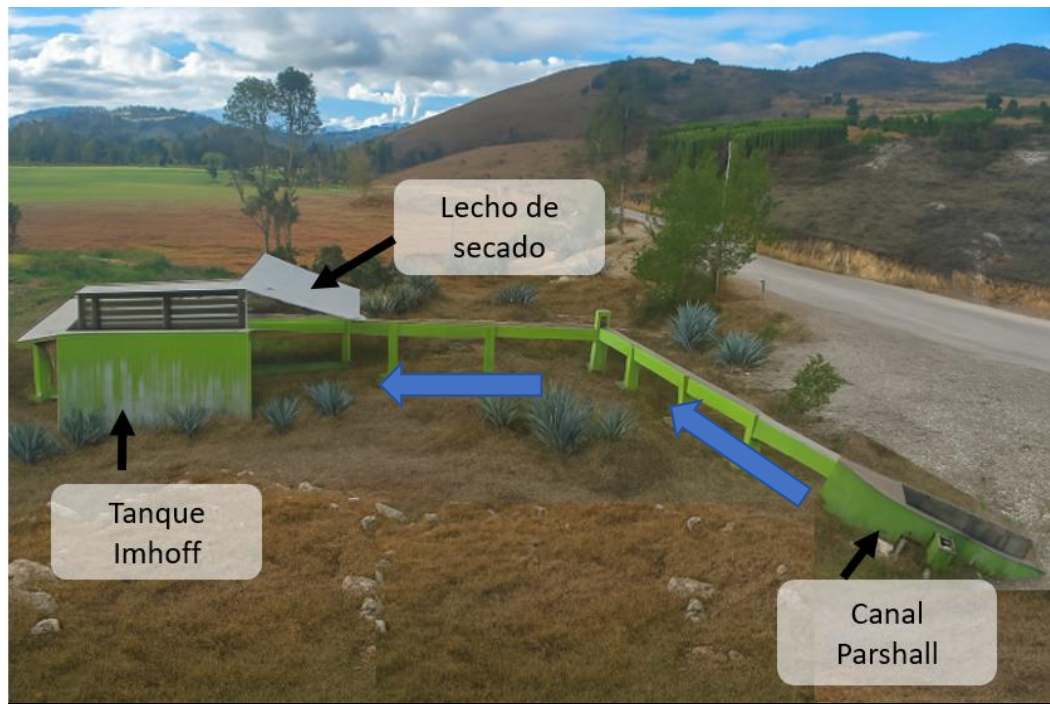


Nota. Red de tuberías de alcantarillado que derivan las aguas residuales a la PTAR.

Durante la inspección ocular de la PTAR, se identificó las estructuras que la componen, que son un canal Parshall y barrera de rejas en la llegada, equipado con una cámara lateral de purga para la extracción periódica de lodos y sedimentos acumulados, un tanque Imhoff, y dos lechos de secado. Estos componentes presentan deficiencia operativa críticas debido a la falta de mantenimiento y se encuentran en un estado de saturación, lo que compromete su eficiencia. Se pudo observar que la cámara de rejas estaba obstruida por sedimentos lo que retenía el fluido en el canal Parshall, la subdivisión de la entrada del tanque Imhoff estaba rota en una esquina, el lecho de secado no había recibido limpieza y se encontraba vegetación creciendo sobre los lodos, la salida del agua de los pozos del lecho de secado se encontraba lleno de lodo, así como la tubería de salida del agua tratada de la PTAR que se encontraba obstruida por maderas y vegetación.

Figura 15.

PTAR de Jorge Chávez



Nota. Componentes de la PTAR Jorge Chávez; las flechas azules indican el sentido del flujo.

Figura 16.

Estado de los componentes de la PTAR Jorge Chávez



Nota. Los componentes de la PTAR se encuentran saturados por el inexistente mantenimiento.

Aguas abajo del río Jorge Chávez, en cual desemboca el efluente de la PTAR, se encuentran 6 familias aledañas al río, las cuales se ven afectadas, a esto se optó por una encuesta que permitió recoger la información del universo completo de afectados. Este enfoque garantizó una representatividad del 100% y facilitó la obtención de datos cualitativos en profundidad, con entrevistas que permitieron cuantificar precisamente los impactos sanitarios y económicos.

Los impactos generados sobre los encuestados, debido a esta problemática son los siguientes:

- Impacto en salud: 83.33% de las familias reporta incidencia recurrente de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA)

- Impacto en producción lechera: se reporta una reducción del 40 – 50% en producción lechera (de 17-23 a 9-18 litros/vaca/día), con pérdidas económicas estimadas en S/ 41,490 en los últimos 8 meses, distribuidas en: S/ 1440 mensuales por disminución de producción lechera, S/ 37100 por mortalidad animal, S/2950 en gastos veterinarios.
- Evidencias de contaminación: el 33.33% de los encuestados observa espumas en zonas de empozamiento del río, el 50% reporta material fecal visible y el 100% confirma el empeoramiento progresivo de la calidad del agua en los últimos 2 años. Significativamente, el 100% de los afectados atribuye estos problemas directamente al agua del río.

Figura 17.

Pobladores encuestados



Nota. Algunas de las personas encuestadas que viven cerca al río.

A. Cálculo de diseño del lombrifiltro. Para el diseño del lombrifiltro, se consideraron los parámetros fundamentales: la carga hidráulica (HRL), tiempo de retención (HRT) y el número adecuado de lombrices a utilizar.

- **Dimensiones del lombrifiltro:** El tratamiento mediante lombrifiltro emplea la lombriz californiana (*Eisenia foetida*), seleccionada por su alta eficiencia de degradación de materia orgánica y adaptabilidad. De acuerdo con (Salazar, P. 2005) que cita a A.V.F. Ingeniería Ambiental (2003), el diseño debe considerar la densidad de lombrices (número de individuos por área), capacidad de digestión (materia orgánica procesable por las lombrices), y la tasa máxima de riego (1 m³/m²/día, límite para evitar anoxia en el lecho).

Para dimensionar el sistema, se realiza en base a la cantidad de las lombrices, garantizando un tratamiento eficiente, para ello se utiliza la fórmula indicada por (Cachata, I. 2023):

$$Lombrices (Kg) = V * 10 Kg \text{ de } \frac{\text{lombrices}}{m^3}$$

Donde:

V: volumen del estrato (m³)

Como se realiza el cálculo en función de las lombrices, considero el uso de 1 Kg de estas para el tratamiento, entonces de la formula anterior para el volumen se tendría:

$$V (m^3) = \frac{\text{lombrices (kg)}}{10 kg \text{ de lombrices}/m^3}$$

$$V = 1 Kg \text{ de lombrices} / 10 Kg / m^3 = 0.1 m^3$$

Se seleccionó un recipiente comercial, con dimensiones de 50 cm largo, 30 cm de ancho y altura de 23 cm. Con ello se procede a calcular la altura que ocupará el estrato de

lombrices, despejando la fórmula del volumen de un prisma rectangular. El volumen del recipiente trapezoide es:

$$V = a * L * H$$

Donde:

V: volumen

L: largo

a: ancho

H: altura del estrato

Entonces la altura del estrato de lombrices es:

$$V = a * L * H$$

$$0.10 \text{ m}^3 = 0.50 * 0.30 * H$$

$$H = 0.667 \text{ m}$$

La altura de cada estrato se va a calcular a partir de la altura necesaria del estrato de lombrices. De acuerdo con (Saboya, X. 2018), en cada capa filtrante se han establecido dimensiones específicas basadas en el estudio de (Salazar, P. 2005) sobre el “Sistema Tohá”, la configuración óptima es que la parte biológica represente el 60% a 70% del total, 20% para la capa de grava y la capa de piedras enteras de río un 20 %.

Ya que la altura del estrato de las lombrices es de 0.667 m, que representa el 60% del lombrifiltro; se determina que altura útil del lombrifiltro es 1.11 m, y con ello las alturas de los estratos serían:

$$\text{Estrato biológico} = 60\% \times 1.11 \text{ m} = 0.667 \text{ m}$$

$$\text{Estrato de Grava} = 20\% \times 1.11 \text{ m} = 0.222 \text{ m}$$

$$\text{Estrato de piedra de río} = 20\% \times 1.11 \text{ m} = 0.222 \text{ m}$$

(Arora, S., & Saraswat, S. 2021), mencionan que los valores de HLR y HRT están determinados por el área, el volumen del lecho filtrante y porosidad de la capa del lecho

filtrante. Por eso, su cálculo depende directamente del tamaño del sistema de tratamiento, y estos parámetros pueden variar entre 3,5 a 8 horas para el HRT y entre 1,5 a 2,5 m³/m²/día de HLR, dependiendo de que dimensiones tenga el vermifiltro.

- **Calculo del HLR:** (Guzmán, M. 2004) establece que la eficiencia del biofiltro ha sido determinada a partir de estudios sobre su aplicación, concluyendo que el sistema es capaz de tratar 1000 litros/m² al día. Esto implica que se requiere 1 m² de biofiltro para procesar 1 m³ de aguas residuales, asegurando un tratamiento efectivo.

En cuanto al consumo de agua, la Sociedad Peruana de Derechos Ambientales (2022), basándose en la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece que una persona requiere entre 50 a 100 litros por día para cubrir las necesidades básicas. Esta cifra se ajusta a la realidad peruana, donde el Ministerio del Ambiente (2014) estima que un ciudadano peruano requiere aproximadamente 50 litros de agua diarios para satisfacer sus necesidades básicas, como la alimentación y la higiene personal.

Para la investigación, se considera que una persona consume un volumen de 50 Litros al día, y considerando una representatividad del 80%, el volumen de agua residual para tratar e incorporara a la planta piloto es de 40 litros, ya que la densidad poblacional de la ciudad de Jorge Chávez es baja. De acuerdo con (Cachata, I. 2023), la carga hidráulica superficial (HLR) se calcula mediante:

$$HLR = (V_{agua\ residual}) / (A * t)$$

Se tiene como datos:

Volumen del agua residual (V): 40 L = 0.04 m³

Tiempo de vaciado de dicho volumen (T): 2 horas 33 minutos 50 segundos = 2.5641 horas

Cálculos preliminares:

a. Caudal

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{0.04 \text{ m}^3}{2.5641 \text{ h}} = 0.0156 \text{ m}^3/\text{h}$$

b. Velocidad de infiltración

Se sabe que el caudal es el producto de la velocidad por el área transversal, al despejar estas variables, la velocidad de infiltración (v_{inf}) se calcula como:

$$v_{inf} = \frac{Q}{A} = \frac{0.0156 \text{ m}^3/\text{h}}{0.15 \text{ m}^2} = 0.104 \text{ m/h}$$

(área del medio filtrante (A): $0.5 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 0.15 \text{ m}^2$)

c. Tiempo de filtración

Usando la altura del medio filtrante y la velocidad de infiltración, se calcula el tiempo de filtración del agua residual a través del medio (t), deduciendo la formula en base de estas variables:

$$t = \frac{H}{v_{inf}} = \frac{0.6667 \text{ m}}{0.104 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 6.4105 \text{ horas} = 0.266 \text{ días}$$

(altura del medio filtrante H: 0.6667 m)

d. HLR final:

$$HLR = \frac{V_{\text{agua residual}}}{A \times t} = \frac{0.04 \text{ m}^3}{0.15 \text{ m}^2 \times 0.266 \text{ día}}$$

$HLR = 1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, está dentro del rango establecido por la OS.090 ($1 - 4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$)

- **Calculo del HRT:** Se tiene en cuenta la porosidad del medio filtrante, según (Bravo, M. 2019), la porosidad del sustrato presenta variaciones que oscilan entre 60% y 74%”. Debido a la ausencia de compactación de sustrato considero una Porosidad (ρ): 72 %

Caudal (Q) = $0.0156 \text{ m}^3/\text{h}$

Volumen de sustrato (V_s) = 0.1 m^3

(Cachata, I. 2023), determina el cálculo del HRT mediante:

$$HRT = (\rho * V_s) / (Q_{agua\ residual})$$

$$HRT = (0.72*0.1) / 0.0156 = 4.615 \text{ horas.}$$

El tiempo de retención cumple con lo establecido en la OS.090 (4 – 8 horas). Se usará un sistema de carga intermitente con frecuencia de riego cada 8 horas, para garantizar un adecuado contacto entre el agua residual y el medio biológico.

B. Selección y preparación del material filtrante. En la construcción del lombrifiltro se emplearon materiales disponibles en la zona de la ciudad de Jorge Chávez y Celendín, como la tierra proveniente de las inmediaciones de la PTAR de Jorge Chávez, destinada a conformar el estrato biológico. Las gravas y piedras de río utilizadas en los demás estratos también fueron obtenidas localmente, favoreciendo la viabilidad económica y logística del modelo experimental.

Figura 18.

Recolección de tierra para el estrato de lombrices de las inmediaciones de la PTAR



Nota. Esta tierra se utilizó en el estrato biológico del filtro

Según el análisis realizado en laboratorio, la clasificación SUCS del suelo del estrato de las lombrices es CL-ML-Arcilla-arenosa-limosa (figura 52). El material granular, para el segundo estrato del filtro, se usó grava proveniente de la cantera de Santa Rosa en Celendín, en el proceso de selección se consideró fragmentos con dimensiones homogéneas, los cuales varían de 1" a 1 ½", para la capa más gruesa, y 0.5" para una capa más fina, permitiendo así una filtración escalonada.

Figura 19.

Cantera Santa Rosa - Celendín



Nota. Cantera de la que se obtuvo la grava para el medio filtrante del lombrifiltro.

El tercer estrato del filtro, se incorporó piedras de río, recolectadas del río la Llanga del caserío de Llanguat en Celendín, priorizando fragmentos que presenten una morfología ovalada y sin aristas vivas, para la filtración progresiva del agua del lombrifiltro; las dimensiones de dichas piedras oscilan entre 3" a 4".

C. Preparación del estrato biológico y aclimatación de las lombrices. Se realiza la preparación del sustrato de tierra agrícola con las condiciones físicas adecuadas para alojar a las lombrices, para ello, se utilizó un multiparámetro de suelo, que indica los niveles de temperatura, ph, iluminación, y con esto se tenga una guía de dichas condiciones y así garantizar un ambiente óptimo para la actividad biológica de las lombrices y el proceso de degradación de la materia orgánica.

Figura 20.

Control de pH y Temperatura en el estrato de lombrices



Nota. Control de los parámetros clave para la supervivencia de las lombrices.

La exposición abrupta de las lombrices a aguas residuales puede dañar su epidermis, alterar su metabolismo y reducir su supervivencia. Por ello, (Castillo, J. & Chimbo, J. 2021) destacan que antes de introducir las lombrices en el lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales, es necesario someterlas a un proceso de aclimatación.

Se realizó una adaptación escalonada durante 14 días, incrementando el volumen de agua residual.

Tabla 9.

Días de adaptación de las lombrices

DÍAS	VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL
1 – 5	1.50 litros
6 – 10	3.00 litros
11 – 14	5.00 litros

Figura 21.

Adaptación de lombrices al agua residual



Nota. Agregado del agua residual doméstica obtenida de la PTAR Jorge Chávez.

D. Preparación de los materiales y ensamble del sistema. Antes de incorporar los materiales a la estructura del lombrifiltro, se realiza un proceso de lavado, con el propósito de eliminar impurezas y residuos que puedan interferir en la filtración y purificación del agua residual. Este procedimiento es esencial para garantizar que la pureza de los materiales y no afecten significativamente el rendimiento del sistema, ya que, el lavado contribuye a minimizar posibles variaciones en la medición de los parámetros del agua tratada, asegurando resultados más precisos y un funcionamiento óptimo del lombrifiltro.

Figura 22.

Lavado del material



Nota. Lavado del material granular para quitar impurezas que puedan alterar los parámetros a evaluar.

El sistema fue implementado utilizando recipientes plásticos acondicionados estructuralmente. Se realizaron perforaciones en la base para garantizar el drenaje del efluente tratado, y permitiendo el paso del aire, lo que favorece un entorno aeróbico en los procesos de degradación. Además, la malla Rachel fue incorporada en el fondo del estrato de lombrices y entre las capas de grava, con el propósito de mantener la estabilidad estructural.

Figura 23.

Adaptación de los recipientes.



Nota. Perforación en la base de los depósitos para el drenaje vertical del agua.

Figura 24.

Incorporación de los estratos del sistema de lombrifiltro.



Nota. Se coloca los estratos uno debajo del otro debido al flujo descendente del sistema, dentro de la PTAR.

Figura 25.

Modelo de lombrifiltro colocado en la vivienda.

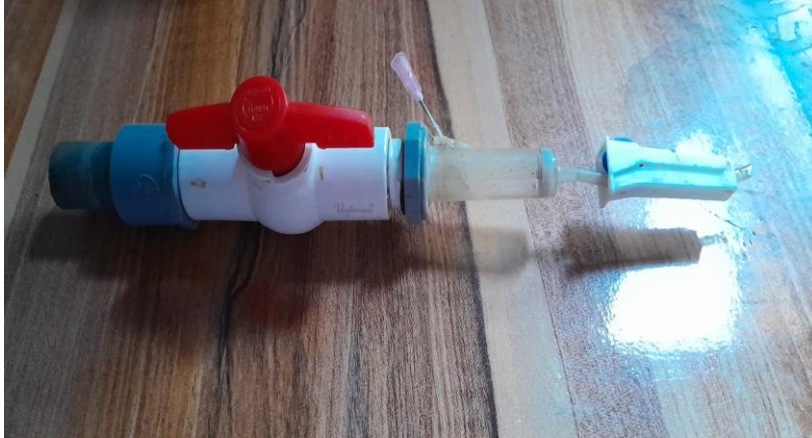


Nota. Lombrifiltro colocado en la vivienda aledaña a partir del segundo mes, debido al derribo de las barreras de protección de la PTAR.

E. Sistema de goteo y control de caudal. Para la dosificación del agua residual, se diseñó un sistema de goteo utilizando un equipo de venoclisis adaptado con llave de paso, tubería de PVC de ½”, tapón macho, tee y codos. La capsula de goteo del equipo de venoclisis fue conectada al tapón para permitir un control preciso del flujo por gravedad. Asimismo, se incorporó una manguera de venoclisis en el filtro para aire de la cámara de goteo, lo cual previene obstrucciones y permite una dosificación continua en el goteo, evitando bloqueos por vacío de aire debido a que los baldes de almacenamiento de agua residual permanecen sellados, protegiendo sus propiedades frente a posibles alteraciones externas.

Figura 26.

Equipo de venoclisis adaptado e incorporado a válvula de 1/2".



Nota. Regulador que permite controlar el flujo de agua residual para el riego.

Dado que el equipo de venoclisis cuenta únicamente con una manguera, el goteo resultaría puntual y localizado, debido a ello se construyó una jaula de goteo de PVC para una distribución homogénea del agua en toda el área de la cama de las lombrices. Esta estructura permite una dispersión uniforme del caudal, optimizando la irrigación del sustrato y mejorando las condiciones para el desarrollo y funcionamiento del lombrifiltro.

Figura 27.

Equipo de goteo de venoclisis conectado a la jaula de goteo de PVC.



Nota. Sistema que permite un riego homogéneo en el estrato biológico.

El caudal de operación se calculó mediante el método volumétrico, utilizando una jarra de 500 mL. Para lograr un caudal objetivo de 15.6 L/h, se verificó que el sistema descargue 260 mL cada minuto, ajustando así el régimen de goteo para cumplir con el parámetro de tiempo de retención (HRT) definido en el diseño.

Figura 28.

Cálculo del caudal de goteo por método volumétrico.



Nota. Se usó un recipiente graduado de 500 mL y se repitió varias veces.

F. Densidad de las lombrices en el medio filtrante. Se sabe que la densidad es básicamente la cantidad de masa que está contenida en una unidad de volumen de un objeto o sustancia. Se inoculo el estrato biológico, con el volumen total de 0.1 m^3 , con un total de 3009 lombrices *Eisenia foetida*, adquiridas comercialmente. El lote de compra presentaba un peso total de 1 kg, y con ello la densidad es:

$$\rho_{inicial} = \frac{N}{V}$$

Donde:

$\rho_{inicial}$: densidad (Kg de lombrices/ m^3)

N: peso de lombrices (Kg)

V: volumen del medio filtrante ocupado (m^3)

$$\rho_{inicial} = \frac{N}{V} = \frac{1 \text{ Kg}}{0.1 \text{ m}^3} = 10.00 \text{ Kg/m}^3$$

Al final del periodo experimental, para determinar la densidad poblacional, se realizó un muestreo aleatorio estratificado. Se tomaron 5 submuestras utilizando un contenedor de volumen conocido (0.0025 m^3).

Figura 29.

Conteo y pesaje de lombrices para el cálculo de la densidad



Nota. Conteo para saber la población total en el estrato biológico y su peso total.

El conteo de lombrices en las submuestras arrojó los siguientes valores: 413, 421, 403, 398 y 431 individuos, con pesos de 173, 174, 171, 170, 175 gramos respectivamente; calculado para un volumen total de 0.1 m^3 se obtuvo como resultado en todo el estrato un total de 16528 lombrices, con un peso de 6.904 Kg. Entonces la densidad es:

$$\rho_{final} = \frac{N}{V} = \frac{16528}{0.1 \text{ m}^3} = 165280 \text{ ind/m}^3$$

Realizado el experimento, se extrajo aleatoriamente algunas lombrices, las que tenían longitudes que variaban entre los 5 y 9 centímetros.

Figura 30.

Medición de lombriz



Nota. Medición de lombrices Eisenia foetida.

Figura 31.

Lombrices Eisenia foetida en el estrato de tierra



Nota. Lombrices Eisenia foetida en el estrato de filtración biológico del lombrifiltro.

G. Operación y monitoreo del sistema. Completado el periodo de adaptación de dos semanas de las lombrices (Eisenia foetida) al agua residual doméstica proveniente de la ciudad de Jorge Chávez, se dio inicio al tratamiento con un esquema de carga intermitente del afluente, alimentado por un volumen de 40 litros, cada 8 horas.

Figura 32.

Volumen de 40 L del agua residual de la PTAR Jorge Chávez.



Nota. Volumen de riego sobre el filtro cada 8 horas.

El lombrifiltro operó con la configuración estratigráfica de la capa biológica del 60% de la altura del biofiltro, con una altura de 67 cm, las capas filtrantes de grava un 20% que fue dividido en 2 con la altura de 11.5 cm para la grava gruesa y 11 para la fina, y la capa piedra de río del 20% alcanzando una altura de 22.5 cm.

Figura 33.

Altura de los estratos del biofiltro



Nota. Distribución de estrato biológico, gravas y piedras de río, en orden descendente.

Con el objetivo de asegurar el adecuado funcionamiento del sistema de lombrifiltro, se tomaron en cuenta diversos parámetros físicos, químicos y operativos (ver tabla 10). Para la medición específica del pH, temperatura y humedad del lecho filtrante, se utilizó un multiparámetro de tierra como instrumento de referencia.

Tabla 10.*Parámetros de monitoreo*

Parámetro	Frecuencia	Objetivo
Caudal de entrada	Diaria	Verificar la entrada del afluente con caudal constante
pH	Cada 5 días	Verificar si está entre los valores adecuados para la supervivencia de las lombrices
Temperatura	Cada 5 días	Verificar si está entre los valores adecuados para la supervivencia de las lombrices
Humedad	Cada 5 días	Controlar la humedad del estrato
Riego	Diario	Revisar la distribución homogénea del goteo del agua residual sobre el lecho filtrante
Maleza	Diario	Arrancar la vegetación en el caso de crecimiento
Tuberías	Cada 7 días	Limpiar las tuberías por acumulación de sedimentos

La humedad del estrato de lombrices puede evaluarse con una prueba de comprensión del sustrato, según lo indicado por (Atalaya, M. 2023) que cita a Asociación Cubana de Técnicos y Forestales (2017), que indican, si al presionar la muestra no mantiene su forma ni presenta goteo, la humedad es <70% y se requiere riego; si conserva la forma sin liberar agua, está entre 70-80% y no se riega; si conserva la forma y libera menos de diez gotas/minuto, la humedad es 85-90%, con riesgo de reducir la oxigenación y afectar a las lombrices. Además, se recomienda medir pH y temperatura in situ.

Figura 34.

Evaluación de la humedad del estrato de lombrices



Nota. Evaluación de la humedad a través del método de compresión del puño, según la bibliografía oscila entre 70-80% de humedad.

Según (ANA, 2016) en su R.J. N° 010-2016-ANA menciona que, para la caracterización de la calidad del agua, menciona que en el sector saneamiento si la planta tiene un caudal promedio anual menor de 10 L/s, la frecuencia de muestreo es mínimo una vez al año; condición que se cumple ya que el caudal del efluente de la planta es de 0.348 L/s.

(Metcalf & Eddy 2014) establece que, para obtener una caracterización representativa de un cuerpo de agua o un efluente, es fundamental realizar un monitoreo que capture la variabilidad inherente al sistema. En este sentido, un periodo mínimo de tres meses de operación continua constituye una práctica ampliamente aceptada, ya que permite observar

las fluctuaciones en la calidad del agua asociadas a factores como los cambios estacionales, los patrones de consumo humano y las condiciones operativas de la planta.

En esta investigación se estableció un periodo de catorce semanas (octubre a diciembre del 2024), alineado con estudios previos como (Castillo, J. & Chimbo, J. 2021) evaluaron durante 12 semanas, (Arana, H. 2022) realizó su monitoreo por 90 días, (Zuñiga, E. 2020) realizó la operación continua por 13 semanas; validando que este es un tiempo adecuado y suficiente para generar conclusiones validas sobre la viabilidad del lombrifiltro.

H. Toma y recolección de muestras para análisis de calidad del agua residual. Para la toma de muestras se aplicaron los protocolos de muestreos establecidos. Posteriormente, las muestras fueron enviadas al Laboratorio Regional del Agua para su análisis. Se tomaron 5 pares muestrales y se evaluaron los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes termotolerantes; debido a que, a partir del segundo muestreo, los parámetros se fueron uniformizando entre ellos.

Según lo considerado por (Arana, H. 2022), (Castillo, J. & Chimbo, J.) y (Zuñiga, E. 2020), que evaluaron lombrifiltros a escala reducida, también se basaron en un número limitado de muestras para demostrar la viabilidad de su propuesta ($n=4$, $n=3$, $n=4$, mediciones respectivamente).

El muestreo se realizó de manera aleatoria con el fin de obtener resultados representativos y confiables.

Tabla 11.

Toma de muestras por fechas

Muestras (por pares)	Fecha del muestreo afluente	Fecha del muestreo efluente	Parámetros analizados
1	24/10/2024	25/10/2024	
2	18/11/2024	19/11/2024	DBO ₅ , DQO, SST,
3	02/12/2024	03/12/2024	coliformes
4	16/12/2024	17/12/2024	termotolerantes
5	26/12/2024	27/12/2024	

Figura 35.

Empaquetado de muestras en caja térmica de tecnopor



Nota. Recipientes llenos del efluente para enviar a laboratorio.

3.4.3. Fase de gabinete

A. Eficiencia del lombrifiltro. La eficiencia del lombrifiltro fue determinada mediante el análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes termotolerantes. Estos valores fueron obtenidos del Lavatorio Regional del Agua a partir de muestras recolectadas en los afluentes y efluentes del lombrifiltro. Para estimar el rendimiento de remoción del lombrifiltro con respecto a cada parámetro, se aplicó la fórmula recomendada por (Cachata, I. 2023).

$$\text{Eficiencia de remoción \%} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

Ci: concentración del afluente

Cf: concentración del efluente

B. Estadística. Siguiendo lo indicado por (Hernández, R. et al. 2016), para validar la eficacia del lombrifiltro, se aplicó estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación) y una prueba t-Student para muestras pareadas, dado que se compararon los mismos parámetros en el afluente y efluente en condiciones controladas. Este análisis permite determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas ($p < 0.05$), descartando que sean producto del azar.

Para la media (μ): $\frac{\sum x_i}{n}$

Para la desviación estándar (S): $\sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n-1}}$

Para el coeficiente de variación (CV): $\left(\frac{s}{\mu}\right) \times 100$

Para la prueba t-Student (t): $t = \frac{\mu_D}{S_D / \sqrt{n}}$

Donde:

x_i : valor de los resultados obtenidos en el muestreo

μ_D : media de las diferencias.

s_D : desviación estándar de las diferencias.

n: número de pares.

IV. Análisis y discusión de los resultados

La implementación del modelo de lombrifiltro generó una mejora en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del distrito de Jorge Chávez, evidenciado por reducciones superiores al 50% en carga orgánica (DBO₅ y DQO) y una remoción cercana al 99% de sólidos suspendidos totales. Esta mejora técnica se refleja en la disminución sustancial de la carga contaminante y en el cumplimiento normativo del efluente tratado. El modelo de lombrifiltro implementado en la PTAR Jorge Chávez, se construyó con recipientes de polietileno de 0.5 m de largo y 0.3 m de ancho, y operó con un caudal de 15.6 L/h. La configuración estratigráfica fue:

- La capa biológica es el 60% de la altura del biofiltro alcanzando una altura de 67 cm en los cuales se encontraban las lombrices *Eisenia Foetida*.
- Las capas filtrantes de grava un 20% que fue dividido en 2, con la altura de 11.5 cm para la grava gruesa que tenían medidas de 1 – 1.5 pulgadas y 11 cm para la fina con medidas de 0.5 pulgadas.
- La capa piedra de río del 20% alcanzando una altura de 22.5 cm, las cuales tenían tamaños de 3 - 4 pulgadas.

Discusión: La mejora generada por el modelo de lombrifiltro se explica por los procesos biológicos desarrollados en el lecho filtrante, donde la acción conjunta de microorganismos aerobios y lombrices favorece la degradación de materia orgánica y la estabilización de sólidos. Este sistema priorizó el uso de materiales locales como grava de Santa Rosa y piedras del Río La Llanga, reduciendo costos sin comprometer la eficiencia del tratamiento. Los estratos filtrantes coinciden con estudios similares como el de (Castillo, J. & Chimbo, J. 2021), quienes reportaron eficiencias notables con configuraciones parecidas. Asimismo, en contraste con el estudio de

(Arana, H. 2022), que usó un caudal de 50 mL/min, este modelo operó a 15.6 L/h, similar al de (Zuñiga, E. 2020), lo que sugiere que caudales bajos optimizan la remoción.

La ciudad de Jorge Chávez, en la que predominan las viviendas unifamiliares de un nivel, en relación con los servicios básicos, se constató que la totalidad de las viviendas cuenta con conexión a la red pública de agua potable y alcantarillado; sin embargo, no existe el tratamiento eficiente de las aguas residuales antes de su disposición final. Esta situación genera una brecha entre cobertura de servicio y calidad ambiental, evidenciando la necesidad de optimización tecnológica. La red colectora de alcantarillado opera de manera independiente para aguas residuales domésticas, sin conexión con las aguas pluviales, esta separación es relevante porque evita la sobrecarga hidráulica en la PTAR, la cual cuenta con los componentes de llegada como el canal Parshall y cámara de rejas para evitar el paso de sólidos y sedimentos de gran tamaño, un tanque Imhoff y lecho de secados, aunque la falta de mantenimiento ha generado deficiencias en el tratamiento, debido a la saturación de los componentes.

En el deficiente tratamiento de aguas residuales y su vertimiento hacia el río, llega a afectar a los pobladores aguas abajo. El censo aplicado a las 6 familias ribereñas del distrito de Sucre (100% de la población afectada) reveló:

- **Salud:** 83% reporta Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA), con gasto mensual promedio de S/ 200 por familia.
- **Economía:** Reducción del 40-50% en producción lechera, con pérdidas estimadas de S/ 41,490 en 8 meses.
- **Percepción:** 100% confirma empeoramiento del río en los últimos 2 años; 83% dispuesto a participar en soluciones.

Discusión: La descripción sociodemográfica y de infraestructura confirma que Jorge Chávez presenta características de un distrito rural con servicios básicos limitados. El sistema de agua y alcantarillado, aunque presente, requiere mejoras para garantizar sostenibilidad, debido a que los componentes de la PTAR se encuentran saturados, como lo es el caso de la cámara de rejillas obstruidas, que retiene el flujo constante del agua residual debido a que no mantiene una limpieza periódica debida, o como el lecho de secados que están colmatados de lodos y de vegetación que creció debido a la falta de limpieza de estos; esta situación es crítica pues, según (Salazar, P. 2005), el manejo inadecuado de lodos es una de las principales causas de colapso de PTAR en zonas rurales. La magnitud de las pérdidas económicas y el impacto en la salud, que afectan al 83% de las familias, validan desde la perspectiva comunitaria los hallazgos técnicos (como los altos niveles de coliformes reportados por (Gil, D. 2023)). Esto respalda la necesidad de tecnologías alternativas como el lombrifiltro, que se adapten a contextos rurales con recursos limitados.

La caracterización del agua residual efluente de la PTAR Jorge Chávez, basada en 5 muestreos realizados entre octubre y diciembre de 2024, reveló una alta variabilidad en la carga contaminante. Los valores de DBO5 oscilaron entre 13.10 y 76.40 mg/L DQO entre 32.52 mg/L y 245.01mg/L, SST entre 14.00 y 195.00 mg/L, y coliformes termotolerantes entre 3.50×10^5 y 9.20×10^8 NMP/100mL; lo que ratifica el estado operativo previamente identificado en la inspección técnica de la PTAR.

Tabla 12.*Resultados de la caracterización del efluente de la PTAR*

Fecha	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes (NMP/100mL)
24/10/2024	76.40	245.01	56.00	9.20×10^8
18/11/2024	37.60	83.09	14.00	9.20×10^6
02/12/2024	18.35	47.62	195.00	1.60×10^6
16/12/2024	13.10	32.52	33.00	3.50×10^5
26/12/2024	28.60	70.27	134.00	2.20×10^6

Nota. Tomas de muestra para la caracterización antes del tratamiento por lombrifiltro.

Tabla 13.*Medidas de tendencia central con media aritmética del efluente de la PTAR*

Parámetro	n	Media	DE	Mínimo	Máximo
DBO ₅ (mg/L)	5	34.81	25.09	13.10	76.40
DQO (mg/L)	5	95.70	84.99	32.52	245.01
SST (mg/L)	5	86.40	76.48	14.00	195.00
Coliformes					
termotolerantes	5	1.84×10^8	4.08×10^8	3.50×10^5	9.20×10^8
(NMP/100mL)					

Discusión: la caracterización confirma que el sistema actual de la PTAR se encuentra saturado y con mantenimiento deficiente, lo que genera un efluente contaminante que afecta directamente la salud pública y la economía local. La comparación con los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM

revela que, aunque las concentraciones de DBO₅ se mantienen por debajo del límite (100 mg/L), los parámetros de DQO (20% de muestras exceden 200 mg/L), SST (20% exceden 150 mg/L) y coliformes (100% exceden 10,000 NMP/100mL) superan consistentemente los estándares permitidos. Esto indica que el tratamiento actual es insuficiente y que el efluente descargado al río no cumple con la normativa ambiental. Esta variabilidad refleja las fluctuaciones propias de sistemas de alcantarillado de pequeñas localidades y justifica la necesidad de tecnologías de tratamiento robustas como el lombrifiltro evaluado; (Bravo, M. 2019) y (Zuñiga, E. 2020) coinciden en que los sistemas biológicos deben ser capaces de adaptarse a fluctuaciones en la carga contaminante.

El diseño del modelo se basó en los parámetros establecidos en la norma OS.090 para filtros percoladores, dado que esta no contempla especificaciones técnicas para tratamiento a través de sistemas de lombrifiltro. El caudal aplicado en el modelo experimental fue de 15.6 L/h (equivalente a 0.374 m³/día), mientras que el caudal proyectado para la PTAR Jorge Chávez corresponde a 0.348 L/s (30.07 m³/día); al comparar ambas magnitudes, se observa que el caudal real es aproximadamente 80 veces mayor que el experimental, lo que permite expresar la relación en una escala de 1:80. En ese marco, se calcularon los valores hidráulicos clave, obteniendo una carga hidráulica de 1 m³/m²/día y un tiempo de retención de 4.615 horas, ambos dentro del rango permitido por la normativa (para carga hidráulica: 1- 4 m³/m²/día, y para tiempo de retención: 4 - 8 horas).

Los materiales utilizados en los estratos del lombrifiltro fueron clasificados de acuerdo con la nomenclatura granulométrica establecida por ASTM/AASHTO. Para el tamaño medio (D50) de cada material se calculó el promedio de los extremos del rango:

Grava fina (0.5 in) $\rightarrow$ 12.7 mm ($D_{50} \approx 12.7$ mm).

Grava gruesa (1–1.5 in) $\rightarrow$ $(25.4 + 38.1) / 2 = 31.75$ mm.

Piedra de río (3–4 in) $\rightarrow$ $(76.2 + 101.6) / 2 = 88.9$ mm.

Tabla 14.

Clasificación granulométrica del material de los estratos

Material usado	Tamaño in/mm	Clasificación	Tamaño medio (D_{50})
Suelo	N/A	CL-ML-Arcilla-arenosa-limosa	-----
Gravilla	0.5 in / ~12.7 mm	Material fino (ASTM: 4.75 - 19 mm)	12.7 mm
Grava	1 - 1.5 in / ~25 - 38 mm	Material grueso (ASTM: 19 - 64 mm)	31.5 mm
Piedra de río	3 - 4 in / ~76 - 102 mm	Canto rodado / material grueso (ASTM: 64 - 256 mm)	89 mm

Nota. Clasificación basada en la Unified Soil Classification System (USCS) y estándares ASTM para agregados

Discusión: El diseño del modelo cumple con los parámetros hidráulicos establecidos en la norma OS.090, los estratos filtrantes coinciden con estudios similares como el de (Castillo, J. & Chimbo, J. 2021), quienes reportaron eficiencias notables con configuraciones parecidas. A diferencia del diseño propuesto por (Bravo, M. 2019), que usó cuatro capas filtrantes incluyendo carbón activado, este sistema priorizó el uso de materiales locales como grava de Santa Rosa y piedras del Río La Llanga, reduciendo costos sin comprometer la eficiencia del tratamiento. Asimismo, en contraste con el estudio de (Arana, H. 2022), que usó un caudal de 50 mL/min, este modelo operó a 15.6 L/h, similar al de (Zuñiga, E. 2020), lo que sugiere que caudales bajos

optimizan la remoción. El HLR utilizado ($1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$) fue similar al de (Bravo, M. 2019), pero con un HRT menor (4.615 h vs. 6 h), lo que podría explicar la menor remoción de DQO (22.2% vs 84%).

Para monitorear y evaluar la eficiencia del modelo de lombrifiltro en la remoción de contaminantes clave, tales como la DBO₅, DQO, SST y coliformes termotolerantes, conforme a los estándares del D.S. N° 003-2010-MINAM, se tomó las muestras del agua residual antes de ser tratada por el lombrifiltro (afluente), y luego del tratamiento a través del lombrifiltro (efluente). Estos resultados fueron brindados por el Laboratorio Regional del Agua.

Tabla 15.

Resultados de los parámetros del efluente del lombrifiltro

Fecha	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes (NMP/100mL)
25/10/2024	26.50	101.41	19.20	3.50×10^8
19/11/2024	28.60	53.57	<LCM	3.50×10^3
03/12/2024	11.65	33.94	<LCM	7.00×10^3
17/12/2024	11.50	37.24	10.60	2.80×10^2
27/12/2024	22.70	68.38	30.00	5.40×10^5

Nota. <LCM se considera 2.5, según reportes del laboratorio

Para evaluar la eficiencia del tratamiento, se calculó el porcentaje de remoción para cada uno de los cinco muestreos pareados.

Tabla 16.*Porcentaje de la eficiencia de remoción de los parámetros*

EFICIENCIA (%)	DBO	DQO	SST	COLF.TERM.
Pareada 1	65.31	58.61	65.71	61.96
Pareada 2	23.94	35.53	82.14	99.96
Pareada 3	36.51	28.73	98.72	99.56
Pareada 4	12.21	-14.51	67.88	99.92
Pareada 5	20.63	2.69	77.61	75.45

Con esto se obtuvieron medidas de tendencia central, teniendo la siguiente tabla:

Tabla 17.*Medidas de tendencia central con media aritmética de la eficiencia de remoción*

Parámetro	Media	Desviación Est.	Máximo	Mínimo
DBO	31.72	20.34	65.31	12.21
DQO	22.21	26.54	58.61	-14.51
SST	78.41	13.88	98.72	65.71
Coliformes termotolerantes	87.37	16.87	99.96	61.96

Al observar la gran dispersión de los datos, especialmente la diferencia entre los valores máximos y mínimos, se determinó que la media aritmética no era una medida representativa del rendimiento típico del sistema, por ello, se optó por utilizar la mediana como medida de tendencia

central y el rango intercuartílico (IQR) como medida de dispersión, ya que estos son más robustos frente a valores extremos y representan mejor el comportamiento típico del sistema.

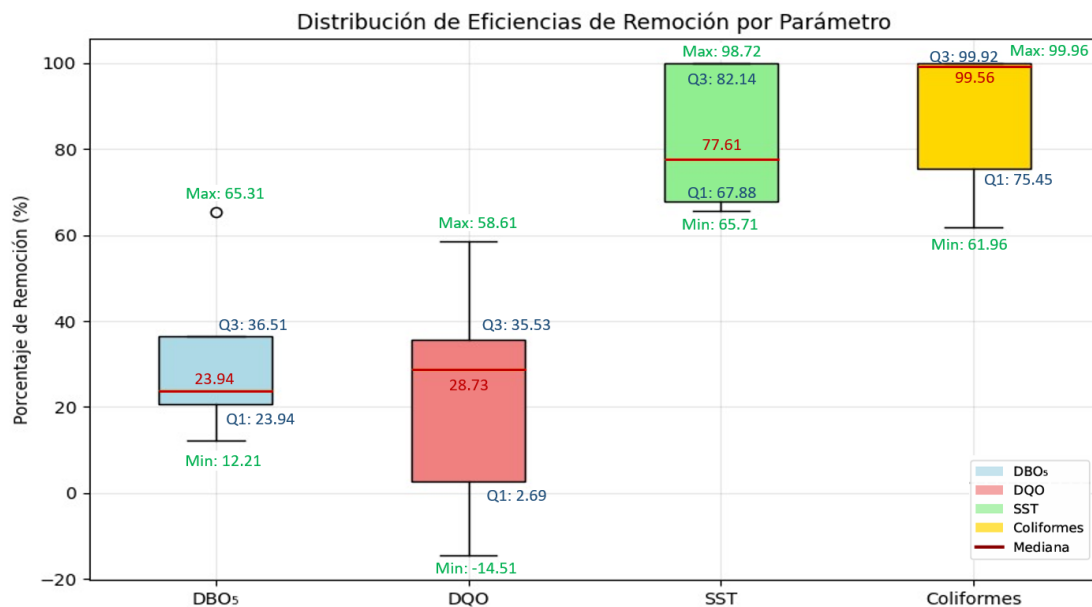
Tabla 18.

Medidas de tendencia central con mediana y rango intercuartílico

Parámetro	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
DBO	12.21	20.63	23.94	36.51	65.31
DQO	-14.51	2.69	28.73	35.53	58.61
SST	65.71	67.88	77.61	82.14	98.72
Coliformes termotolerantes	61.96	75.45	99.56	99.92	99.96

Figura 36.

Diagrama caja de la distribución de eficiencia de remoción



Nota. Diagramas muestran la mediana (línea central), el rango intercuartílico (caja, Q1 y Q3), y los valores mínimo/máximo (bigotes).

Para determinar si las variables cuantitativas del estudio presentan una distribución normal, se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con corrección de Lilliefors, esta prueba es adecuada cuando el tamaño de muestra es inferior a 50 casos para ver si existe una distribución normal o no, teniendo como resultado lo siguiente por cada parámetro.

Tabla 19.

Prueba de normalidad

Parámetro	p-valor (Shapiro)	Distribución normal	Prueba Recomendada
DBO	0.006	No	Wilcoxon
DQO	0.02485	No	Wilcoxon
SST	0.103	Sí	t de Student
Coliformes	0.00019	No	Wilcoxon

La prueba Shapiro Wilk indica que un valor $p \leq 0.05$ indica que los datos se desvían significativamente de la normalidad. Se observa que solo los datos de SST presentan una distribución normal, por lo que se recomienda el uso de la prueba t de Student para comparar el afluente y el efluente en este parámetro, para los demás parámetros (DBO, DQO y coliformes), al no cumplirse el supuesto de normalidad, se recomienda aplicar la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras pareadas.

Para cada parámetro contaminante se plantearon las siguientes hipótesis estadísticas:

Hipotesis nula (H_0): no existe diferencia significativa entre las muestras (el tratamiento no genera un cambio estadísticamente demostrable).

Hipotesis alternativa (H_1): sí existe diferencia significativa entre las muestras (el tratamiento tiene un efecto de remoción estadísticamente demostrable).

En la siguiente tabla se realizó los resultados de las pruebas de hipótesis aplicadas anteriormente para poder evaluar la eficiencia del modelo de lombrifiltro en la remoción de contaminantes.

Tabla 20.

Prueba aplicada para cada parámetro

Parámetro	Prueba Aplicada	Estadístico	Valor p	($p < 0.05$)
DBO	Wilcoxon (pareadas)	0.000	0.0625	No
DQO	Wilcoxon (pareadas)	2.000	0.1250	No
SST	t de Student (pareadas)	2.155	0.097	No
Coliformes	Wilcoxon (pareadas)	0.000	0.0625	No

Los resultados de los valores p obtenidos en las pruebas de hipótesis aplicadas, con el propósito de determinar las diferencias en los niveles de contaminantes (DBO₅, DQO, SST y coliformes termotolerantes) entre las concentraciones del afluente y el efluente del modelo de lombrifiltro.

A partir del análisis:

- Si bien los valores p para DBO₅, DQO y SST son superiores al umbral de 0.05, lo que indica una alta variabilidad en los datos, esto no invalida la efectividad del tratamiento observada en la práctica, ya que los porcentajes de remoción demuestran una clara relevancia práctica y un impacto positivo del lombrifiltro, cumpliendo con el objetivo de mejorar la calidad del agua.
- El parámetro de coliformes termotolerantes es el único que se aproxima al umbral de significancia ($p \approx 0.06$), aunque no lo cruza. Esto sugiere una tendencia a la significancia, es decir, que hubo una disminución observable en los niveles microbiológicos.

Tabla 21.

Comparación del efluente con el D.S. 003-2010-MINAM

Parámetro	LMP	Peor valor	Cumple	Mejor valor	Cumple
	(D.S.003-2010-MINAM)	registrado en el efluente		registrado en el efluente	
DBO ₅	100 mg/L	28.6	Sí	11.5	Sí
DQO	200 mg/L	101.41	Sí	33.94	Sí
SST	150 mg/L	30	Sí	<LCM	Sí
Coliformes termotolerantes	10,000 NMP/100mL	3.50E+03	Sí	280	Sí

Nota. <LCM se considera 2.5, según reportes del laboratorio.

Todos los parámetros cumplieron estrictamente con los LMP, en promedio tiene una buena remoción y cumple con los LMP estipulados en la norma. Esto valida al lombrifiltro como una tecnología viable para Jorge Chávez.

Discusión: la remoción de DBO₅ alcanzó un 65.31%, valor superior al 60% reportado por (Castillo, J. & Chimbo, J. 2021) en sistemas similares sin carbón activado, y se cumplió con el Límite Máximo Permisible (LMP) de 100 mg/L. Por su parte, la eficiencia máxima en la remoción de DQO alcanzó 58.61%, inferior al 84.38% obtenido por (Arana, H. 2022) pero cercano al 57.9% reportado por (Zuñiga, E. 2020). Esta diferencia puede atribuirse al Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), ya que el modelo trabajó con 4.6 h frente a las 6 h de los estudios comparativos. A pesar de ello, todos los efluentes cumplieron con el LMP de 200 mg/L.

Respecto a los sólidos suspendidos totales (SST), el sistema demostró alta eficiencia, con una remoción máxima del 98.72%, atribuida principalmente a la filtración física en los estratos de grava y piedra. Estos resultados superaron a los reportados por (Atalaya, M. 2023), quien alcanzó un 76.6% utilizando materiales de características similares. Además, los valores obtenidos estuvieron por debajo del Límite de Concentración Máxima (LCM), lo que reafirma la eficacia del sistema en este parámetro. En el caso de coliformes termotolerantes, se registró una remoción máxima del 99.96%, aunque con algunas fluctuaciones marcadas; por ejemplo, el 02/12 se registró una reducción desde 16×10^5 hasta 70×10^2 NMP/100mL. Esta variabilidad podría deberse a la ausencia de carbón activado, elemento clave en la adsorción de patógenos según (Vargas, L. 2021). A pesar de ello, el efluente tratado cumplió con los valores establecidos por la normativa vigente.

En conjunto, a pesar de la no significancia estadística, el modelo de lombrifiltro demostró una eficiencia aceptable en la remoción de DBO₅, DQO, SST y coliformes termotolerantes, cumpliendo consistentemente en todos los casos con los LMP establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM. La mejora debe interpretarse desde una perspectiva técnico-sanitaria y normativa, considerando que el objetivo principal de un sistema de tratamiento es reducir la carga

contaminante hasta niveles ambientalmente aceptables; en este sentido, el cumplimiento de la normativa vigente constituye un indicador operativo de mejora.

Para el diseño del lombrifiltro a escala real se toman en cuenta los parámetros hidráulicos calculados para el modelo, como la carga hidráulica de 1 m³/m²/día, y el tiempo de retención de 4.615 horas. El caudal real de llegada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Jorge Chávez, se midió según el método volumétrico, en un recipiente de 2 litros y obteniendo los tiempos de 5.66, 5.96, 5.61, 5.60, 5.79, dando un total de 0.348 L/s.

Con ello se calcula el área superficial requerida para el lombrifiltro a escala real, basándose el cálculo de la carga hidráulica según (Cachata, I. 2023):

$$HLR = (V_{agua\ residual}) / (A * t)$$

$$HLR = Q_{real} / A$$

$$A = Q_{real} / HLR$$

$$A = \frac{30.0672\ m^3/día}{1\ m^3/m^2/día} = 30.0672\ m^2 \approx 30.1\ m^2$$

Donde:

HLR: carga hidráulica

Vagua residual: volumen del agua residual

Qreal: caudal de llegada a la PTAR de Jorge Chávez

A: área superficial del lecho filtrante

Para el volumen requerido del lecho filtrante del lombrifiltro real, se mantiene la altura del estrato del modelo.

$$V = A \times h = 30.0672\ m^2 \times 0.67 = 20.145\ m^3$$

Donde:

h: altura del lecho filtrante

V: volumen requerido del lecho filtrante

A: área superficial del lecho filtrante

Ya que la altura del estrato biológico es el mismo, la altura de los demás filtros es el mismo. Pero el lombrifiltro se basa en la acción activa de las lombrices para la remoción de contaminantes, por lo que la cantidad de lombrices requerida se calcula según (Cachata, I. 2023):

$$Lombrices (Kg) = V * 10 Kg de \frac{lombrices}{m^3}$$

$$Lombrices (Kg) = 20.145 * 10 Kg de \frac{lombrices}{m^3} = 201.45 \frac{kg de lombrices}{m^3}$$

Donde:

V: volumen del estrato (m³)

Entonces la cantidad de biomasa requerida para el lombrifiltro es de 201.5 kg.

Los valores del lombrifiltro a escala real en base a los parámetros del modelo son:

Tabla 22.

Parámetros calculados del lombrifiltro a escala real

Parámetro	Valor
Caudal de llegada a la PTAR (Qreal)	30.0672 m ³ /día
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	4.615 horas
Volumen útil del filtro (V)	20.145 m ³
Altura del lecho (H)	0.67 m
Área superficial requerida (A)	30.0672 m ²
Carga hidráulica superficial (CH)	1 m ³ /m ² /día

Los costos estimados del lombrifiltro a escala real sería:

Tabla 23.

Precio estimado de la implementación del lombrifiltro

Ítem	Cantidad	Costo unitario (S/)	Total (S/)
Grava	6.8 m ³	80/m ³	544.00
Piedra de río	6.8 m ³	120/m ³	816.00
Lombrices	201.5 kg	60/kg	12090.00
Tubería y accesorios	--	--	900.00
Total	--	--	14350.00

Nota. Precios calculados en para el año 2024.

Tabla 24.

Comparación de lombrifiltro con sistemas convencionales.

Parámetro	Lombrifiltro	PTAR Convencional
Costo de construcción	S/. 14350.00	S/ 150000 (Loose et al., 2005)
Energía requerida	0kWh (sistema pasivo)	500 kWh/mes
Mantenimiento anual	S/ 2000 (reposición de sustrato)	S/ 20000 (químicos y energía)

Para garantizar la adecuada operación y sostenibilidad del lombrifiltro, se elaboró un Manual de Operación y Mantenimiento, el cual se presenta en el Anexo II del presente documento.

Discusión: El diseño hidráulico a escala real se basó en los resultados experimentales del modelo y lineamientos establecidos en la norma OS.090. La implementación del lombrifiltro a escala real, reduciría los costos de construcción en un 90% frente a una PTAR convencional, con mantenimiento 90% más económico.

V. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- a) Se implementó el modelo de lombrifiltro, y se demostró que el sistema es capaz de generar un efluente que cumple con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM, para los parámetros de DBO5, DQO, SST y coliformes termotolerantes; logrando concentraciones hasta niveles permitidos para su vertido. Por lo que la implementación del modelo de lombrifiltro generó una mejora en el tratamiento del agua residual doméstica de Jorge Chávez – Celendín, 2024.
- b) Se describió y diagnosticó el estado actual de la PTAR Jorge Chávez y el contexto sociodemográfico de la ciudad, concluyendo que:
- ✓ La PTAR presenta una deficiencia operativa crítica debido a la ausencia total de mantenimiento, evidenciada en la obstrucción de sus componentes (cámara de rejillas, tanque Imhoff y lechos de secado), lo que impide un tratamiento eficiente y la convierte en una fuente de contaminación en lugar de una solución.
 - ✓ El análisis del entorno socioeconómico y el censo a las familias afectadas cuantificó el impacto real de esta deficiencia: el 83% de la población ribereña sufre de EDA, y se han registrado pérdidas económicas superiores a S/ 41,000 en el sector ganadero, atribuidas directamente a la contaminación del río.
- c) Se caracterizó el agua residual efluente de la PTAR, el que mostró la variabilidad contaminante, con coliformes termotolerantes hasta 92000 veces superiores al LMP, DQO y SST excediendo el límite en 20% de las muestras. Esta variabilidad justifica la necesidad de tecnológicas robustas como el lombrifiltro.

d) Se construyó el modelo de lombrifiltro, implementado con éxito bajo los lineamientos técnicos establecidos por la norma OS.090, según lo siguiente:

- ✓ El modelo, operando con un caudal de 15.6 L/h, un tiempo de retención hidráulico (HRT) de 4.61 horas y una carga hidráulica (HLR) de $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, demostró ser estructuralmente funcional, permitiendo un flujo continuo del agua residual y facilitando su contacto con el lecho filtrante sin incidencias de obstrucción, lo cual valida su aplicabilidad para las condiciones de la ciudad de Jorge Chávez.

e) Luego del análisis del afluente (agua efluente de la PTAR Jorge Chávez) y del efluente (agua tratada a través del modelo) del lombrifiltro, se concluye sobre su eficiencia:

- ✓ El sistema logró alcanzar remociones de 65.31% en DBO_5 , 58.61% en DQO, 98.72% en SST y 99.96% en coliformes termotolerantes. Si bien los análisis estadísticos no evidenciaron diferencias significativas al 95% de confianza ($p > 0.05$), la magnitud porcentual de reducción obtenida, superior a los umbrales establecidos en la hipótesis, así como el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 003-2010-MINAM, evidencian una mejora funcional del sistema, respaldando su viabilidad técnica para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Jorge Chávez.

f) Se diseñó el lombrifiltro a escala real para la PTAR de Jorge Chávez, con las siguientes características:

- ✓ A partir de los parámetros hidráulicos obtenidos en el modelo se desarrolló un diseño teórico de lombrifiltro a escala real, manteniendo un tiempo de retención hidráulico (HRT) de 4.61 horas y una carga hidráulica (HLR) de $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. El diseño proyectado contempla un caudal de $30.0672 \text{ m}^3/\text{día}$, un área superficial total de 30.1

m², un volumen de 33.675 m³, 201.5 kg de Eisenia foetida y una altura útil de 1.12 m, distribuidos en estratos suelo (0.67 m), grava (0.225 m) y piedra de río (0.225 m). El costo de construcción estimado es de S/ 14.350, lo que representa una alternativa hasta un 90% más económica que una PTAR convencional, confirmando su viabilidad y constituyendo una base técnica sólida para su construcción.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Para mejorar la eficiencia, considerar incorporar carbón activado como parte del medio filtrante, tal como lo implementó (Zuñiga, E. 2020), quien logró incrementar la remoción de DQO hasta en 57.90%, superando el 22.21% alcanzado en este estudio. Este material mejoraría la adsorción de contaminantes orgánicos persistentes y podría complementarse con un mayor tiempo de retención hidráulica (HRT), ajustándolo a 6 horas, como sugieren (Arana, H. 2022) y (Bravo, M. 2019), cuyos sistemas con HRT extendido mostraron remociones superiores de DBO₅ y DQO.
- ✓ Este estudio registró un incremento natural de las lombrices desde 3009 hasta 16528 individuos (5.5 veces mayor), lo que demuestra la capacidad de adaptación y reproducción dentro del sistema. En función de esto, se recomienda que futuras investigaciones evalúen mayor cantidad inicial de lombrices en el estrato biológico con el fin de acortar el periodo de estabilización del lombrifiltro y optimizar la remoción en etapas tempranas, sin comprometer la sostenibilidad del sistema, optimizando los periodos de arranque.
- ✓ Realizar la evaluación por periodos de operación más prolongados, esto permitirá obtener una caracterización más completa del efluente, aumentar el número de réplicas experimentales y el tiempo de monitoreo para mejorar la potencia estadística de los análisis de eficiencia.

- ✓ Caracterizar el humus producido durante el tratamiento, ya que estudios como los de (Bravo, M. 2019) destacan su potencial como fertilizante orgánico.
- ✓ Para una implementación a escala real, se recomienda iniciar con un módulo piloto de 10 m², monitoreando su desempeño en diferentes épocas climáticas (seca/lluviosa), tal como lo propuso (Atalaya, M. 2023) para sistemas en condiciones similares en Cajamarca. Este piloto debería incluir una capacitación a operadores locales en mantenimiento preventivo, especialmente en la reposición de sustratos (cada 4 meses, según (Salazar, P. 2005)), para garantizar la sostenibilidad del sistema.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

6.1. Bibliografía

Cabrera Santa Cruz, J. (2006). *Manual de lombricultura*. Cochabamba, Bolivia.

Figuerola Paez, P. (1993). *Establecimiento y Manejo de un criadero de lombrices en el Perú*.
Lima.

Gil Sanches, D. (2023). “*Efecto del vertimiento de aguas residuales domésticas en la calidad del agua del río El Común del distrito de Sucre – Celendín 2023*” [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].

Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2016). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw - Hill.

Loose D. et al. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento*. Lima. Perú.

Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. (3ª edición). España: Antonio García Brage.

Romero Rojas, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sierra Ramírez, C. (2011). *Calidad del agua Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Ediciones de la U.

6.2. Linkografía

- Arana Llashag, 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* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11525>
- Arora, S. & Saraswat, S. (2021). *Vermifiltration as a natural, sustainable and green technology for environmental remediation: A new paradigm for wastewater treatment process* (en línea). *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 4(October 2020):100061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100061>.
- Atalaya Abanto, M. (2023). *“Eficiencia de un biofiltro tipo tohá de flujo vertical en función del espesor de sus lechos filtrantes para el tratamiento del efluente de la industria láctea Fe y Alegría 57 – CEFOP Celendín, Cajamarca 2023”* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6797>
- Bravo Marinni, M. (2019). *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina* [Tesis de Pregrado, Universidad del Bío-Bío. Repositorio Institucional http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3456/3/Bravo_Marinni_Marcelo_Ander%C3%A9s.pdf
- Cachata Espinoza, I. (2023). *“Tratamiento de aguas residuales de una granja piloto de cerdos a través de microorganismos benéficos, henkydamas y lombrifiltros”* [Tesis de Pregrado,

- Universidad Nacional de la Molina]. Repositorio Institucional
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5671>
- Castillo Sánchez, J., & Chimbo Solórzano, J. (2021). *Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (Eisenia foetida) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. Enfoque UTE*, 12(2), 80-99. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (2010). Diario Oficial El Peruano
sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds003-2010-minam.pdf
- Guzmán Sepúlveda, M. (2004). *“Estudio de factibilidad de la aplicación del sistema toha en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia”* [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfcig993e/doc/bmfcig993e.pdf>
- Hernández Bórquez, Y. (2005). *Anteproyecto de construcción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta Llau-Llao de Salmonera Invertec S.A.* [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcih557a/doc/bmfcih557a.pdf>
- Ley N° 29338, Ley de los Recursos Hídricos (marzo 2019).
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/228>
- Miito, G., Ndegwa, P., Alege, F., Coulibaly, S., Davis, R., & Harrison, J. (2021). *Avermifilter system for reducing nutrients and*. *Environmental Technology & Innovation*, 23(101648).

<https://www.biofiltro.cl/wp-content/uploads/2022/08/Miito-2021-A-vermifilter-system-for-reducing-nutrients-and.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2014). *MINAM Esta No Es Una Revista Más Sobre El Medio Ambiente*. 5(5), 4-5. Obtenido de https://issuu.com/minam_peru/docs/revista_minam05

Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales* (marzo de 2016).

http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf

Saboya Rios, X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Union]. Repositorio Institucional Continental. Obtenido de [Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas-Amazonas \(upearu.edu.pe\)](http://repositorio.institucionalcontinental.edu.pe/eficiencia-del-metodo-de-lombrifiltro-en-la-remocion-de-los-contaminantes-de-las-aguas-residuales-domesticas-en-el-distrito-de-chachapoyas-amazonas)

Salazar Miranda, P. (2005). *Sistema Tohá: Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. [Universidad Austral de Chile]. Repositorio institucional. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmficis161s/doc/bmficis161s.pdf>

Sociedad Peruana de Derechos Ambientales. (22 de Febrero de 2022). *Debemos consumir de 50 a 100 litros de agua por persona al día, pero consumimos 175*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2024, de Actualidad Ambiental: <https://www.actualidadambiental.pe/debemos-consumir-de-50-a-100-litros-de-agua-por-persona-al-dia-pero-consumimos-175/>

Vargas Rojas, L. (2021). *Lombrifiltro para el tratamiento de coliformes en aguas residuales domésticas del colector 31 de octubre Huancan-Huancayo 2021* [Tesis de Pregrado,

Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/84863>

Zúñiga Portilla , E. (2020). *Determinación de los sustratos óptimos de diseño de un lombrifiltro como tratamiento secundario de las aguas residuales del fundo la banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Santa María].
Repositorio Institucional.

<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10200>

VII. ANEXOS

Figura 37.

Proforma de adquisición de lombriz Eisenia Foetida

SR. LOMBRIZ

Núcleo de lombrices californianas

Lima, 2 de octubre de 2024

Señor: Aymar Alexander Goicochea Silva

Presente. -



Ref. PROFORMA DE PRODUCTOS

Por medio de la presente le hago llegar el costo de los productos solicitados en su oportunidad.

ITEM	PRODUCTO	CARACTERISTICA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	Lombrices	Tamaño: 5-6cm Peso: 0.8-1 gr Número: 3000	1 kg	s/160	s/160
2	Humus de lombriz	Color: marrón oscuro	2 kg	s/6	s/6
	TOTAL				s/166

Estimado en número de lombrices, puesto que, contiene lombrices de todas las edades, el peso de la característica es en referencia al de la lombriz adulta. Sin otro particular, esperando que la presente proforma sea de su interés y a la espera de noticias tuyas, reciba un cordial saludo.

Figura 38.

Resultados de los parámetros del afluente y efluente

INFORME DE ENSAYO N°			IE 10241197				
ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos				
Código de la Muestra	PTAR- Jorge Chávez		Lombrifiltro	-	-	-	-
Código Laboratorio	10241197-01		10241197-02	-	-	-	-
Matriz	Residual		Residual	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jorge Chávez		Celendin	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos				
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	56.00	19.20	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	76.40	26.50	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	245.01	101.41	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N°			IE 10241197				
ENSAYOS			Microbiológicos				
Código de la Muestra	PTAR- Jorge Chávez		Lombrifiltro	-	-	-	-
Código Laboratorio	10241197-01		10241197-02	-	-	-	-
Matriz	Residual		Residual	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		Doméstica	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Jorge Chávez		Celendin	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos				
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	92 x 10 ⁷	35 x 10 ⁴	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Nota. El muestreo del afluente (PTAR – Jorge Chávez) se tomó el 24/10/2024 y el efluente (Lombrifiltro) se tomó el 25/10/2024.

Figura 39.

Resultados de los parámetros del afluente del 18/11/2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241262

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			PTAR Jorge Chavez	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			11241262-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Celendín	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	14.00	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	37.60	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	83.09	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241262

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			PTAR Jorge Chavez	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			11241262-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Celendín	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	92 x 10 ⁵	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado
(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Nota. Resultados del afluente (PTAR Jorge Chávez)

Figura 40.

Resultados del efluente del 19/11/2024



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 11241275

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			Lombrifiltro- M3	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			11241275-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Celendin	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	<LCM	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	28.60	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	53.57	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 11241275

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra	Lombrifiltro- M3		-	-	-	-	-	
Código Laboratorio	11241275-01		-	-	-	-	-	
Matriz	Residual		-	-	-	-	-	
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	Celendín		-	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	35 x 10 ²	-	-	-	-	

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado
 (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Nota. Resultados de laboratorio del agua tratada (efluente, Lombrifiltro M3)

Figura 41.

Resultados de los parámetros del afluente 02/12/2024



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 12241328

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	PTAR Jorge Chávez		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	12241328-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual		-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Celendin		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	195.00	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	18.35	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	47.62	-	-	-	-	-

*Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.*



**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-084**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 12241328

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra	PTAR Jorge Chávez		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	12241328-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual		-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Celendin		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	16 x 10 ⁵	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

() Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.*

Nota. Resultados del afluente (PTAR Jorge Chávez)

Figura 42.

Resultados de los parámetros del efluente del 03/12/2024



Nota. Resultados del efluente del 03/12/2024 tratado a través del lombrifiltro (Lmonbrifiltro 4)

Figura 43.

Resultados de los parámetros del afluente del 16/12/2024



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 12241361

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	PTAR Jorge Chávez		-	-	-	-	-	
Código Laboratorio	12241361-01		-	-	-	-	-	
Matriz	Residual		-	-	-	-	-	
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	Jorge Chávez		-	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	33.00	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	13.10	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	32.52	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA

CON REGISTRO N° LE-084



INACAL

DA - Perú

Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 12241361

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			PTAR Jorge Chávez	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			12241361-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Jorge Chávez	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	35 x 10 ⁴	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA

Nota. Resultados de los parámetros afluente (PTAR Jorge Chávez)

Figura 44.

Resultados de los parámetros del efluente del 17/12/2024



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA

CON REGISTRO N° LE-084



INACAL

DA - Perú

Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N°LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 12241370

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			Lombrifiltro 5	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			12241370-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Celendin	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	10.60	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	11.50	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	37.24	-	-	-	-	-

*Leyenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.*

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INACAL

DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 12241370

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			Lombrifiltro 5	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			12241370-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Celendin	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	280	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

() Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.*

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

() Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.*

Nota. Resultados de los parámetros del efluente tratado a través del lombrifiltro (Lombrifiltro 5)

Figura 45.

Resultados de los parámetros del afluente del 26/12/2024



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL

DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 12241422

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			PTAR Jorge Chávez	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			12241422-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Jorge Chávez	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.50	134.00	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	28.60	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	70.27	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA

CON REGISTRO N° LE-084



INACAL

DA - Perú

Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N°

IE 12241422

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			PTAR Jorge Chávez	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			12241422-01	-	-	-	-	-
Matriz			Residual	-	-	-	-	-
Descripción			Doméstica	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Jorge Chávez	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	22 x 10 ⁵	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8,<1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Nota. Resultados de los parámetros del afluente (PTAR Jorge Chávez)

Figura 46.

Resultados de los parámetros del efluente del 27/12/2024



INFORME DE ENSAYO N° IE 12241426

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	Lombrifiltro		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	12241426-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual		-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Celendin		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.50	30.00	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	22.70	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	68.38	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Limite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
 (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



INFORME DE ENSAYO N° IE 12241426

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra	Lombrifiltro		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	12241426-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual		-	-	-	-	-	-
Descripción	Doméstica		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Celendin		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	54 x 10 ⁴	-	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado
 (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

Nota. Resultado del efluente tratado a través del lombrifiltro

Figura 47.

Análisis granulométrico de la grava gruesa

Código de Muestra	Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM C136 - 19) (*)			Límites de Atterberg (ASTM D4318 - 17 ¹)			Contenido de Humedad (ASTM D2216 - 19)	Gravedad Específica de Sólidos (ASTM D854 - 23) (*)	Clasificación S.U.C.S (ASTM D2487-17 ¹) (*)
	Gravas (%)	Arenas (%)	Limos y Arcillas (%)	LL	LP	IP			
GR-01	99,5%	0,0%	0,5%	-	-	-	-	-	-

Código:	LH-FOR-112	Fecha:	21/08/2023	Versión:	07	Aprobació:	JL	Página:	01 de 01
Proyecto (**)	IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024					Informe No.	LH-B-INF-2024-403		
Ubicación (**)	Celendín					Fecha de Muestreo (**)	2024-09-30		
Cliente	Aymar Alexander Goicochea Silva					Fecha de Recepción	2024-12-27		
Material (**)	Grava					Fecha de Informe	2025-01-09		
Procedencia (**)	Cantera Santa Rosa					Técnico Encargado	Jesús Pompa		
Código de Muestra (**)	GR-01					Hora de Muestreo (**)	-		
Código de Laboratorio	LH-B-M-2024-0612					Clima (**)	-		
Ubicación de Muestreo (**)	Celendín					Muestreado por (**)	-		
Coordenadas (**)	-					Fechas de Ejecución del Ensayo :			
Condiciones Ambientales :		Inicial	Final						
	Temperatura	19,93 °C	17,35 °C						
	HR	58,49 %	64,44 %						

Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates ¹ (*)									
Masa Muestra Húmeda:		9 034,00 g							
Masa Seca Inicial:		9 019,00 g							
Masa Seca Lavada:		8 984,00 g		Tamaño máximo de partículas:		1 1/2 in.			
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	EETT (CLIENTE) MIN - MAX		DESCRIPCIÓN (ASTM D2487-17 ¹)		
3 in.	75,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Gravas (4,75 mm - 75 mm):	99,50%	
2 in.	50,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Arenas (0,075 mm - 4,75 mm):	0,00%	
1 1/2 in.	37,500	0,00	0,0	100,0	-	-	Limos y Arcillas (<0,075 mm):	0,50%	
1 in.	25,000	521,00	5,8	94,2	-	-	CARACTERÍSTICAS		
3/4 in.	19,000	5 155,00	63,0	37,0	-	-	Modulo de finura A.G	7,60	
1/2 in.	12,500	3 249,00	99,0	1,0	-	-	% Pasa malla No. 200	0,89	
3/8 in.	9,500	46,00	99,5	0,5	-	-	Error de ensayo (%):	0,044%	
1/4 in.	6,300	2,00	99,5	0,5	-	-	OBSERVACIONES		
No. 4	4,750	1,00	99,5	0,5	-	-			
No. 10	2,000	0,88	99,5	0,5	-	-			
No. 20	0,850	1,17	99,5	0,5	-	-			
No. 40	0,425	1,00	99,5	0,5	-	-			
No. 60	0,250	0,77	99,5	0,5	-	-			
No. 140	0,106	1,31	99,5	0,5	-	-			
No. 200	0,075	0,67	99,5	0,5	-	-	ERROR MÁXIMO: ± 0,3 %		
Cazoleta	-	0,22							

Figura 48.

Curva de distribución granulométrica de la grava

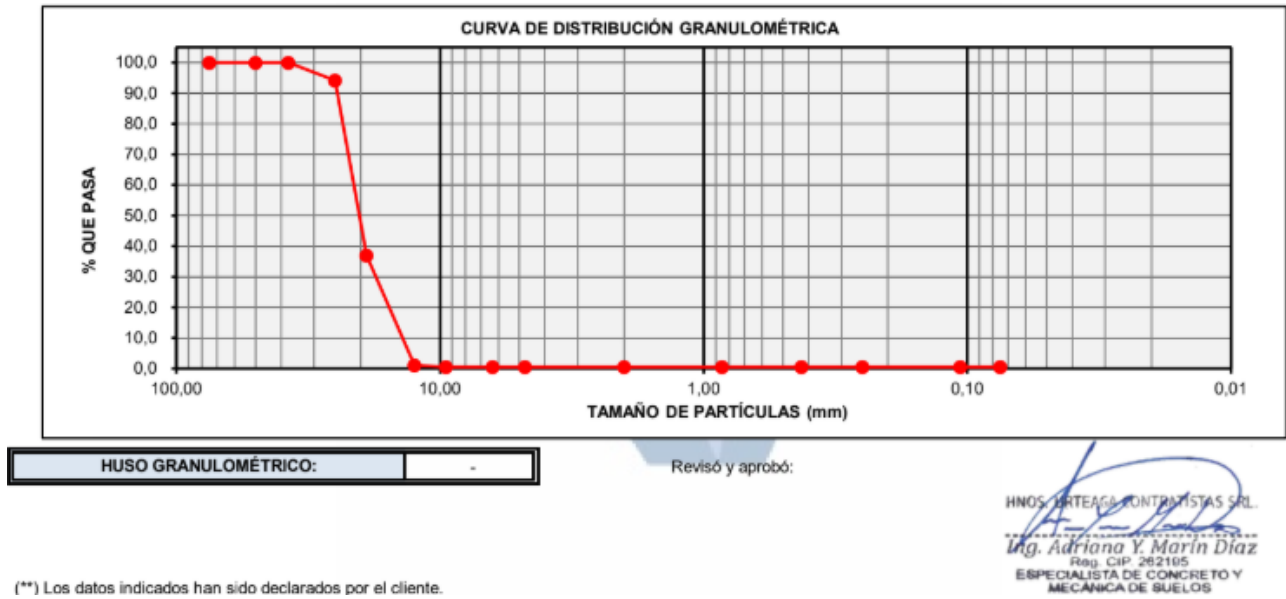


Figura 49.

Análisis granulométrico de la grava fina

Código de Muestra	Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM C136 - 19) (*)			Límites de Atterberg (ASTM D4318 - 17 ⁽¹⁾)			Contenido de Humedad (ASTM D2216 - 19)	Gravedad Específica de Sólidos (ASTM D854 - 23) (*)	Clasificación S.U.C.S (ASTM D2487-17 ⁽¹⁾) (*)
	Gravas (%)	Arenas (%)	Limos y Arcillas (%)	LL	LP	IP			
GRV-01	20,5%	79,0%	0,5%	-	-	-	-	-	-

Código:	LH-FOR-112	Fecha:	21/08/2023	Versión:	07	Aprobació:	JL	Página:	01 de 01
Proyecto (**)	IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024					Informe No.	LH-B-INF-2024-404		
Ubicación (**)	Celendín					Fecha de Muestreo (**)	2024-09-30		
Cliente	Aymar Alexander Goicochea Silva					Fecha de Recepción	2024-12-27		
Material (**)	Gravilla					Fecha de Informe	2025-01-09		
Procedencia (**)	Cantera Santa Rosa					Técnico Encargado	Jesús Pompa		
Código de Muestra (**)	GRV-01					Hora de Muestreo (**)	-		
Código de Laboratorio	LH-B-M-2024-0613					Clima (**)	-		
Ubicación de Muestreo (**)	Celendín					Muestreado por (**)	-		
Coordenadas (**)	-					Fechas de Ejecución del Ensayo :			
Condiciones Ambientales :		Inicial	Final						
	Temperatura	20,32 °C	18,84 °C						
	HR	57,50 %	60,47 %						

Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates ¹ (*)									
Masa Muestra Húmeda:		3 100,02 g							
Masa Seca Inicial:		3 027,84 g							
Masa Seca Lavada:		3 015,52 g		Tamaño máximo de partículas:		1/2 in.			
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	EETT (CLIENTE) MIN - MAX		DESCRIPCIÓN (ASTM D2487-17 ^(*))		
3 in.	75,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Gravas (4,75 mm - 75 mm):	20,50%	
2 in.	50,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Arenas (0,075 mm - 4,75 mm):	79,00%	
1 1/2 in.	37,500	0,00	0,0	100,0	-	-	Limos y Arcillas (<0,075 mm):	0,50%	
1 in.	25,000	0,00	0,0	100,0	-	-	CARACTERÍSTICAS		
3/4 in.	19,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Modulo de finura A.G	5,10	
1/2 in.	12,500	0,00	0,0	100,0	-	-	% Pasa malla No. 200	0,91	
3/8 in.	9,500	3,18	0,1	99,9	-	-	Error de ensayo (%):	0,023%	
1/4 in.	6,300	110,35	3,7	96,3	-	-	OBSERVACIONES		
No. 4	4,750	507,51	20,5	79,5	-	-			
No. 10	2,000	2 162,59	91,9	8,1	-	-			
No. 20	0,850	217,69	99,1	0,9	-	-			
No. 40	0,425	5,75	99,3	0,7	-	-			
No. 60	0,250	3,13	99,4	0,6	-	-			
No. 140	0,106	3,92	99,5	0,5	-	-			
No. 200	0,075	0,54	99,5	0,5	-	-			
Cazoleta	-	0,15					ERROR MÁXIMO: ± 0,3 %		

Figura 50.

Curva de distribución granulométrica de la grava fina

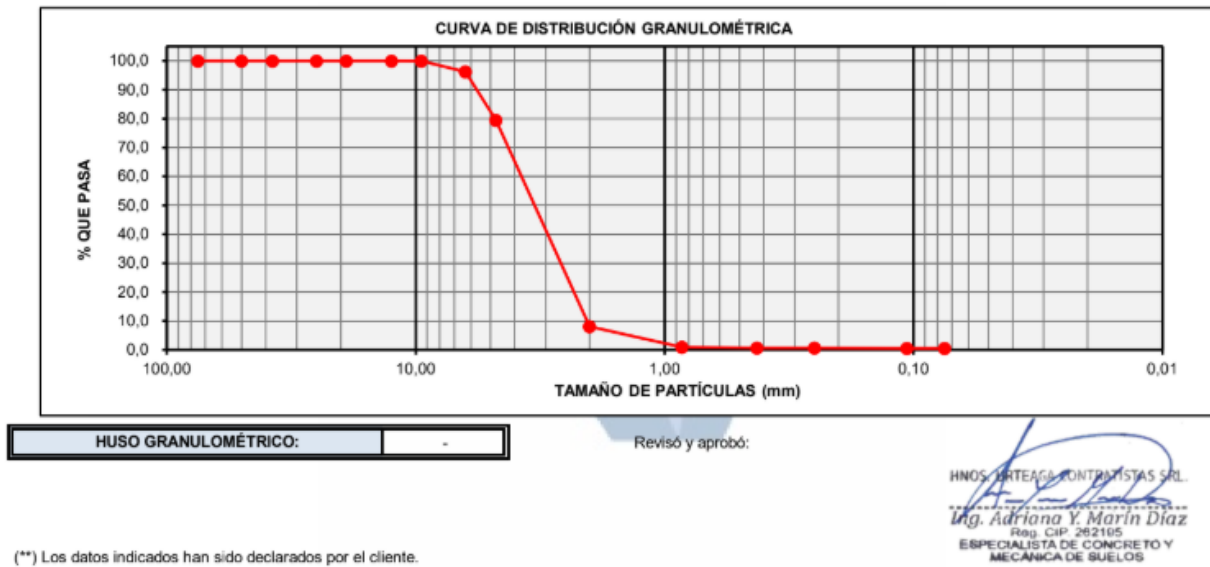


Figura 51.

Análisis granulométrico del suelo

Código de Muestra	Análisis Granulométrico por Tamizado (NTP 339.128 1999 (revisada el 2019))			Límites de Atterberg (ASTM D4318 - 17 ¹)			Contenido de Humedad (ASTM D2216 - 19)	Gravedad Específica de Sólidos (ASTM D854 - 23) (*)	Clasificación S.U.C.S (ASTM D2487-17 ¹) (*)
	Gravas (%)	Arenas (%)	Limos y Arcillas (%)	LL	LP	IP			
S-01	2,2%	47,6%	50,2%	28	22	6	26%	-	CL-ML - Arcilla arenosa-limosa

Código	: LH-FOR-084	Fecha	: 21/08/2023	Versión	: 08	Aprobación	: JL	Página	: 01 de 01
Proyecto (**)	IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024					Informe No.	LH-B-INF-2024-405		
Ubicación (**)	Celendín					Fecha de Muestreo (**)	2024-09-30		
Cliente	Aymar Alexander Goicochea Silva					Fecha de Recepción	2024-12-27		
Material (**)	Suelo					Fecha de Informe	2025-01-10		
Procedencia (**)	Jorge Chávez					Técnico Encargado	Jesús Pompa		
Código de Muestra (**)	S-01					Hora de Muestreo (**)	-		
Código de Laboratorio	LH-B-M-2024-0614					Clima (**)	-		
Ubicación de Muestreo (**)	Jorge Chávez-Celendín					Muestreado por (**)	-		
Coordenadas (**)	-					Fechas de Ejecución del Ensayo :			
Condiciones Ambientales :			Inicial	Final		Inicio de Ensayo	2024-12-30		
	Temperatura		20,02 °C	16,76 °C		Fin de Ensayo	2025-01-03		
		HR	57,50 %	66,42 %					

SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico NTP 339.128 1999 (revisada el 2019)									
Masa Muestra Húmeda:		1 500,01 g							
Masa Seca Inicial:		1 190,86 g							
Masa Seca Lavada:		594,47 g		Tamaño máximo de partículas			1/2 in.		
TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	EETT (CLIENTE)		DESCRIPCIÓN (ASTM D2487-17 ¹)		
6 in.	150,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Bloques (>300 mm):	-	
4 in.	100,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Bolones (75 mm - 300 mm):	0,0%	
3 in.	75,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Gravas (4.75 mm - 75 mm):	2,2%	
2 in.	50,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Arenas (0.075 mm - 4.75 mm):	47,6%	
1 1/2 in.	37,500	0,00	0,0	100,0	-	-	Limos y Arcillas (<0.075 mm):	50,2%	
1 in.	25,000	0,00	0,0	100,0	-	-	A. gruesa (4,75 mm - 2,00 mm):	1,3%	
3/4 in.	19,000	0,00	0,0	100,0	-	-	A. media (2,00 mm - 0,425 mm):	12,8%	
1/2 in.	12,500	0,00	0,0	100,0	-	-	A. fina (0,425 mm - 0,075 mm):	33,5%	
3/8 in.	9,500	6,22	0,5	99,5	-	-	CARACTERÍSTICAS		
1/4 in.	6,300	13,25	1,6	98,4	-	-	D ₅₀ (ASTM D2487-17 ¹) (mm):	0,19	
No. 4	4,750	6,64	2,2	97,8	-	-	D ₃₀ (ASTM D2487-17 ¹) (mm):	0,00	
No. 10	2,000	15,38	3,5	96,5	-	-	D ₁₀ (ASTM D2487-17 ¹) (mm):	0,00	
No. 20	0,850	35,84	6,5	93,5	-	-	Cu (ASTM D2487-17 ¹):	-	
No. 40	0,425	116,26	16,3	83,7	-	-	Cc (ASTM D2487-17 ¹):	-	
No. 60	0,250	205,27	33,5	66,5	-	-	LL (ASTM D4318-17):	28	
No. 140	0,106	182,29	48,8	51,2	-	-	LP (ASTM D4318-17):	22	
No. 200	0,075	12,22	49,8	50,2	-	-	IP (ASTM D4318-17):	6	
Cazoleta	-	0,40					Error de ensayo (%):	0,059%	

Figura 52.

Curva de distribución granulométrica del suelo

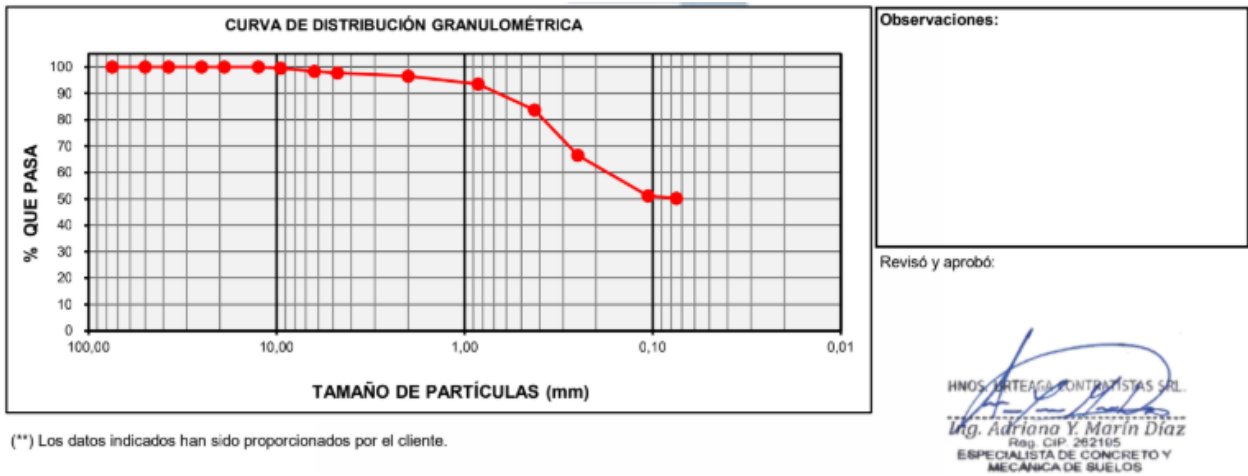
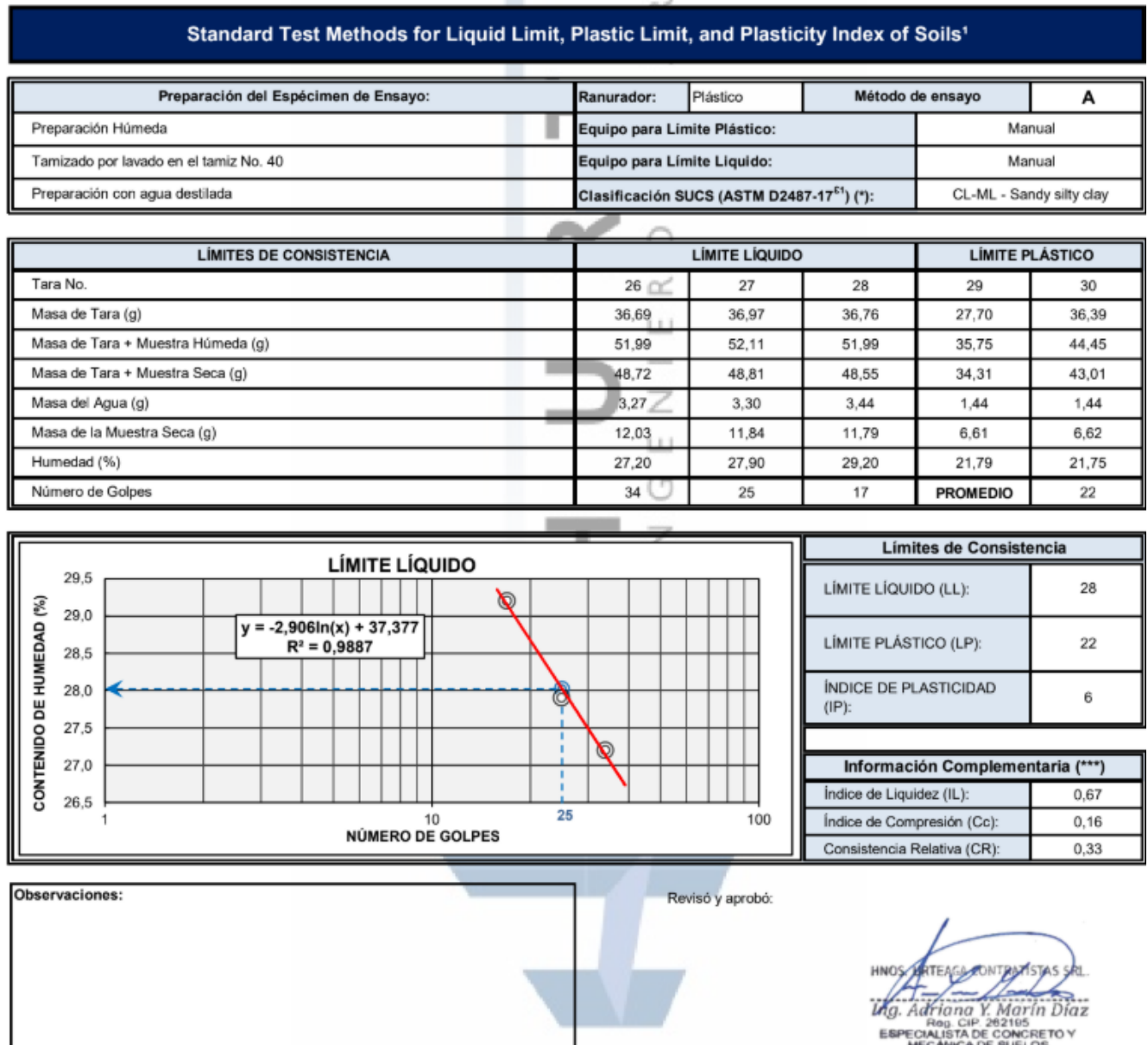


Figura 54.

Prueba para el límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad



NOTAS: (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA. (**) Los datos indicados han sido proporcionados por el cliente. (***) Los datos indicados no forman parte del alcance de Acreditación del Método de Ensayo (ASTM D4318).

Figura 55.

Clasificación de suelos

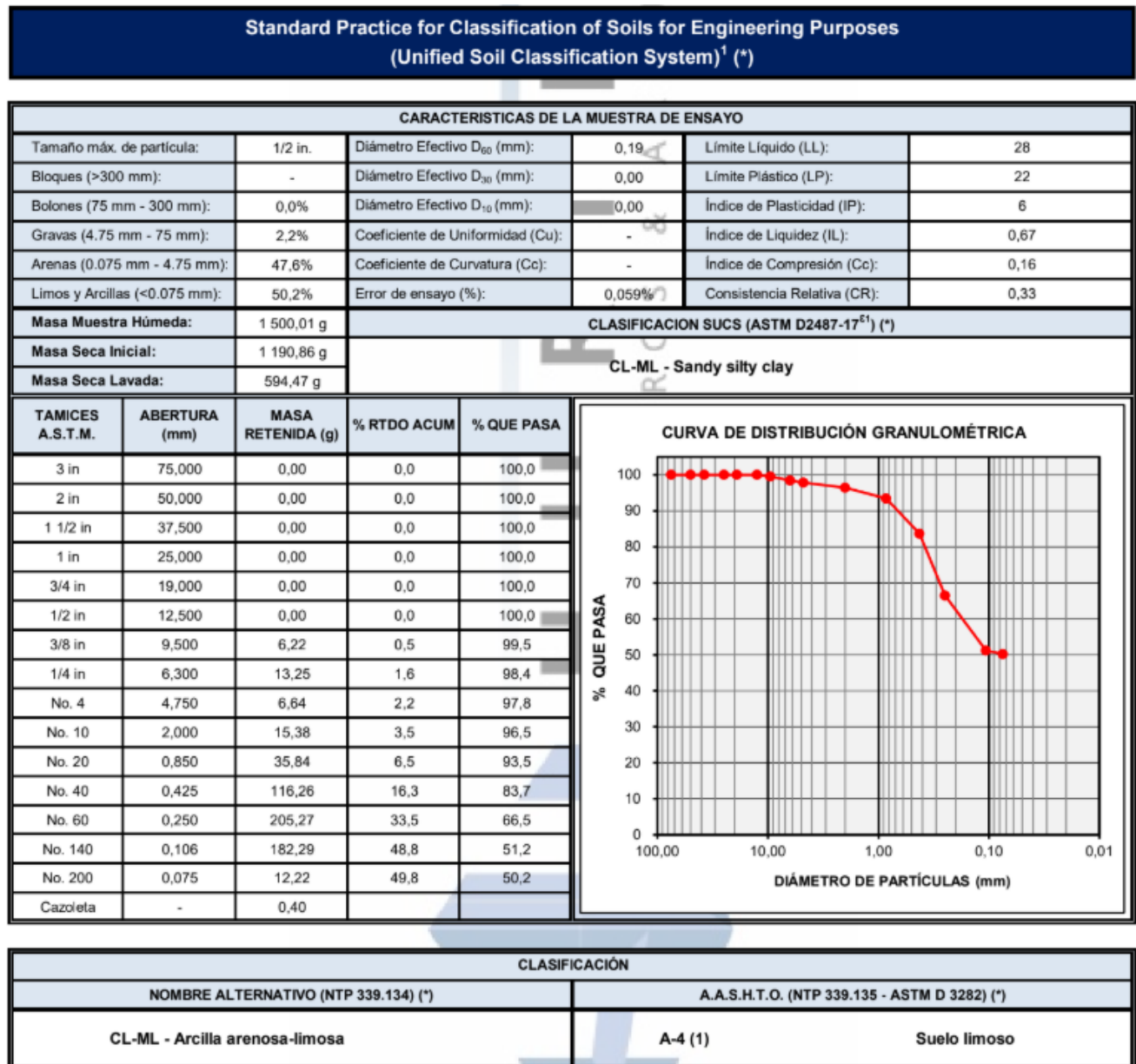


Figura 56.

Análisis granulométrico de la piedra de río

Código de Muestra	Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM C136 - 19) (*)				
	Bloques (%)	Bolones (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Limos y Arcillas (%)
PR-01	-	31,9%	68,1%	0,0%	0,0%

Código:	LH-FOR-112	Fecha:	21/08/2023	Versión:	07	Aprobació:	JL	Página:	01 de 01
Proyecto (**)	IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTRO PARA MEJORAR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN EL DISTRITO DE JORGE CHÁVEZ - CELENDÍN 2024					Informe No.	LH-B-INF-2024-406		
Ubicación (**)	Celendin					Fecha de Muestreo (**)	2024-09-29		
Cliente	Aymar Alexander Goicochea Silva					Fecha de Recepción	2024-12-27		
Material (**)	Piedra de río o canto					Fecha de Informe	2025-01-09		
Procedencia (**)	Rio la Llanga, Valle Llangat					Técnico Encargado	Jesús Pompa		
Código de Muestra (**)	PR-01					Hora de Muestreo (**)	-		
Código de Laboratorio	LH-B-M-2024-0615					Clima (**)	-		
Ubicación de Muestreo (**)	Llangat-Celendin					Muestreado por (**)	-		
Coordenadas (**)	-					Fechas de Ejecución del Ensayo :			
Condiciones Ambientales :	Temperatura	19,63 °C	17,95 °C	Inicio de Ensayo :					
	HR	58,49 %	65,43 %	Fin de Ensayo :					

Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates ¹ (*)									
Masa Muestra Húmeda:		15 301,00 g							
Masa Seca Inicial:		15 276,00 g							
Masa Seca Lavada:		15 270,00 g		Tamaño máximo de partículas:		4 in.		DESCRIPCIÓN (ASTM D2487-17 ¹)	
TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	EETT (CLIENTE) MIN - MAX				
6 in.	150,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Bloques (>300 mm):		
4 in.	100,000	0,00	0,0	100,0	-	-	Bolones (75 mm - 300 mm):		
3 in.	75,000	4 869,00	31,9	68,1	-	-	Gravas (4,75 mm - 75 mm):		
2 1/2 in.	62,500	7 732,00	82,5	17,5	-	-	Arenas (0,075 mm - 4,75 mm):		
2 in.	50,000	2 669,00	100,0	0,0	-	-	Limos y Arcillas (<0,075 mm):		
1 1/2 in.	37,500	0,00	100,0	0,0	-	-			
1 in.	25,000	0,00	100,0	0,0	-	-	CARACTERÍSTICAS		
3/4 in.	19,000	0,00	100,0	0,0	-	-	Modulo de finura A.G		
1/2 in.	12,500	0,00	100,0	0,0	-	-	% Pasa malla No. 200		
3/8 in.	9,500	0,00	100,0	0,0	-	-	Error de ensayo (%):		
No. 4	4,750	0,00	100,0	0,0	-	-			
No. 10	2,000	0,00	100,0	0,0	-	-			
No. 20	0,850	0,00	100,0	0,0	-	-			
No. 40	0,425	0,00	100,0	0,0	-	-			
No. 60	0,250	0,00	100,0	0,0	-	-			
No. 140	0,106	0,00	100,0	0,0	-	-			
No. 200	0,075	0,00	100,0	0,0	-	-			
Cazoleta	-	0,00					ERROR MÁXIMO: ± 0,3 %		

Figura 57.

Curva de distribución granulométrica de la piedra de río

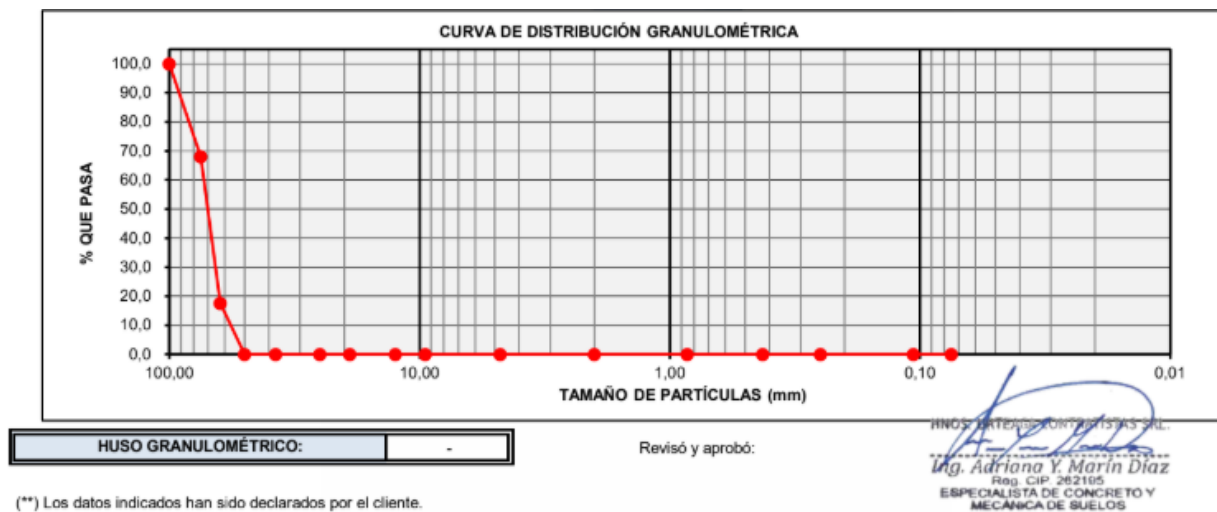


Figura 58.

Espacio libre en la PTAR-Jorge Chávez



Nota. Espacio libre en la PTAR, en el cual se puede implementar el lombrifiltro de 30.1 m².

Figura 59.

Vista del lombrifiltro a escala real

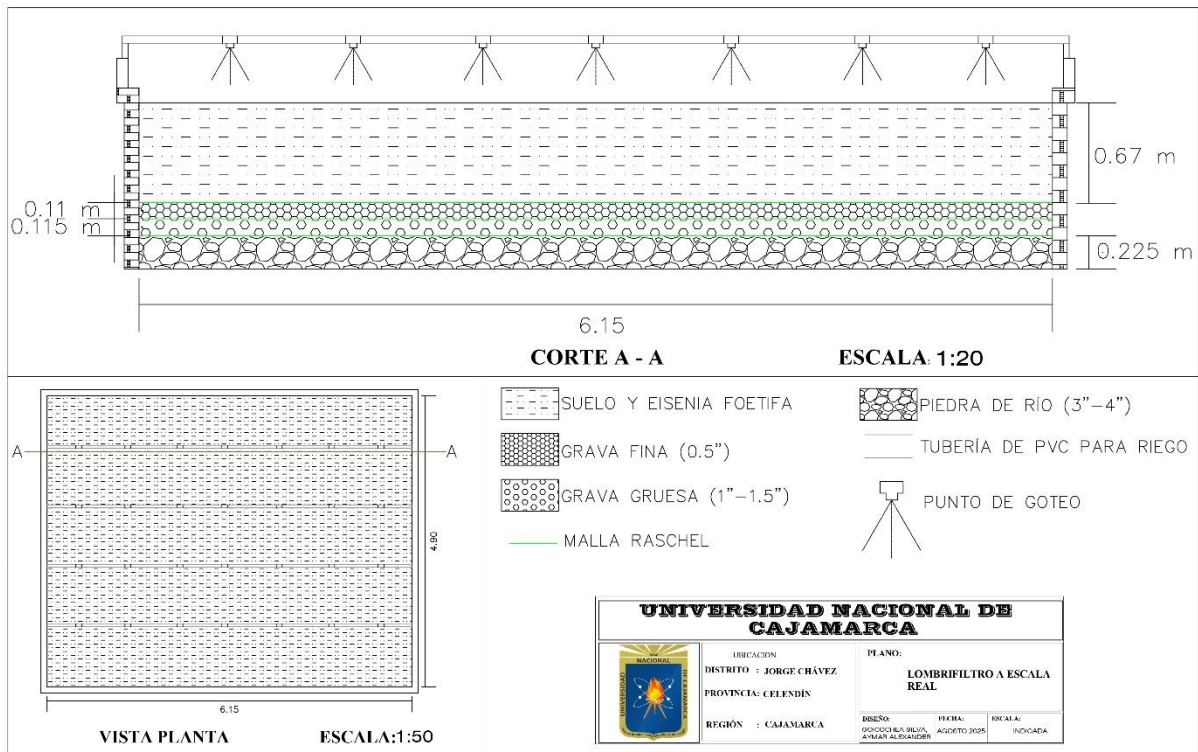


Tabla 25.*Mediciones de pH y temperatura*

Fecha	pH	Temperatura (°C)
17/10/2024	7.2	17
22/10/2024	7.3	17.5
27/10/2024	7.4	17.8
01/11/2024	7.2	17
06/11/2024	7	16.5
11/11/2024	6.8	16.3
16/11/2024	6.9	15.8
21/11/2024	7.1	15.5
26/11/2024	6.9	15.5
01/12/2024	6.8	15.3
06/12/2024	7	15.7
11/12/2024	7.1	15.6
16/12/2024	6.9	15.3
21/12/2024	7.1	15.6
26/12/2024	7.2	16
31/12/2024	7	15.8

Nota. Mediciones de pH y temperatura desde el inicio del tratamiento hasta la culminación.

7.1. Manual de Operación y Mantenimiento (O&M) del Lombrifiltro a Escala Real

7.1.1. Propósito del Manual

Este documento establece los procedimientos estándar para la operación, monitoreo y mantenimiento del sistema de lombrifiltración de la PTAR del distrito de Jorge Chávez, con el fin de garantizar su eficiencia, sostenibilidad y longevidad.

7.1.2. Descripción General del Sistema

El sistema de lombrifiltración está diseñado para tratar un caudal de 30.067 m³/día. Consta de las siguientes capas:

- **Estrato biológico:** Suelo con lombrices *Eisenia foetida* (altura: 0.67 m)
- **Estrato filtrante:** Grava gruesa (1-1.5") y grava fina (0.5"), (altura: 0.115 y 0.11 m respectivamente)
- **Estrato de drenaje:** Piedra de río (3-4") (altura: 0.225 m)
- **Sistema de distribución:** Jaula de goteo con tubería PVC de 2"

7.1.3. Registros

Llevar un cuaderno de operación con:

- Fecha y hora de monitoreo
- Valores de pH, temperatura, humedad
- Observaciones y acciones correctivas

7.1.4. Procedimientos de Operación Diaria

Tabla 26.*Tabla de operaciones diarias para el lombrifiltro*

Tarea	Frecuencia	Procedimiento	Responsable
Inspección Visual	Diaria	Verificar que no haya olores fuertes, obstrucciones en la entrada o charcos en la superficie del lecho.	Operador
Control de Caudal	Diaria	Asegurar que el caudal de ingreso sea el de diseño. Ajustar la válvula de entrada si es necesario.	Operador
Monitoreo de Efluente	3 veces por semana	Tomar una muestra del efluente final. Medir visualmente el color y turbidez. Registrar en el cuaderno de campo.	Operador/Técnico

7.1.5. Monitoreo Periódico

Parámetro	Frecuencia	Acción
pH del sustrato	Semanal	Mantener entre 6.5 - 7.5
Temperatura	Semanal	Mantener entre 15 - 25°C
Humedad del estrato	Semanal	70-80% (prueba del puño)
Caudal de entrada	Diario	Ajustar si es necesario
Altura del estrato	Mensual	Reponer sustrato si disminuye

7.1.6. Procedimientos de Mantenimiento

Tarea	Frecuencia	Procedimiento	Responsable
Limpieza de Pretratamiento	Semanal	Limpiar las rejillas y la cámara de arena del canal Parshall para evitar obstrucciones.	Operador
Cosecha de Lombrices	Semestral	Retirar la capa superior del lecho biológico (aprox. 5-10 cm). Separar las lombrices para reintegrarlas y los lodos (vermicompost) para su disposición o uso.	Técnico
Revisión de Drenaje	Semestral	Verificar que los drenes inferiores no estén colmatados. Limpiar si es necesario.	Técnico
Reemplazo de Capas Filtrantes	Cada 5-7 años	Evaluar el estado de las capas de grava y piedra. Si se observa colmatación severa, planificar su reemplazo.	Ingeniero/Jefe de Planta

7.1.7. Medidas de Seguridad

- Utilizar guantes y botas de seguridad durante todas las tareas de mantenimiento.
- No ingresar al lecho del lombrifiltro mientras está en operación.
- Contar con un kit de primeros auxilios en el sitio.

7.1.8. Recomendaciones Finales

- No exponer las lombrices a luz solar directa.

- Evitar el ingreso de aguas con cloro o químicos agresivos.
- Capacitar al personal operador en los procedimientos básicos.

7.2. Encuesta de los Pobladores de Sucre (Río Abajo Del Efluente de la PTAR Jorge Chávez)

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- **Fecha de entrevista:** 12 / 10 /2025
- **Nombre del entrevistado:** Rosa Bardales
- **Rol en la familia:** Esposa
- **Ubicación exacta:** Sucre, cerca al río
- **Tiempo viviendo en la zona:** 40 años

COMPOSICIÓN FAMILIAR Y ACTIVIDADES

- Número de personas en el hogar:** 6
- Actividades económicas principales (múltiple):**
 - ☒ Ganadería lechera
 - ☒ Agricultura
 - ☐ Otro: _____
- Recursos hídricos utilizados:**
 - ☒ Río Jorge Chávez
 - ☐ Pozos
 - ☒ Agua entubada (principal)
 - ☐ Otro: _____

USO DEL RÍO JORGE CHÁVEZ

- ¿Para qué actividades utiliza el agua del río? (múltiple)**
 - Abrevadero de animales (si, 10 cabezas de ganado)
- Frecuencia de uso:**
 - ☒ Diario
 - ☐ 3-4 veces por semana
 - ☐ 1-2 veces por semana

- ☐ Ocasional

OBSERVACIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

6. ¿Qué ha observado en el río? (múltiple)

- Material fecal visible (si, se ve)
- Espumas o burbujas anormales (se nota que hay espuma en las partes donde se empoza)
- El agua se ve normal, no parece contaminada

7. Cambios observados en los últimos 2 años:

- ☐ Ha empeorado notablemente
- ☒ Ha empeorado levemente
- ☐ Se mantiene igual
- ☐ Ha mejorado

AFECTACIONES A LA SALUD (Últimos 6 meses)

8. Enfermedades presentadas en la familia: (múltiple)

- Enfermedades diarreicas agudas (EDA) (si se da algunas veces)
- Infecciones gastrointestinales (también se da algunas veces)

9. Caso específico más grave: (narrativa)

" no hay datos "

10. Gastos aproximados en salud por estas enfermedades:

- S/ 100 mensuales en medicinas
- S/ 50 en consultas médicas
- S/ 10 en traslados

AFECTACIONES AGROPECUARIAS (Para productores)

11. Tipo y cantidad de ganado:

- Vacunos lecheros: 6
- Vacunos de carne: 4

12. Problemas observados en el ganado: (múltiple)

- Enfermedades digestivas (se enferman con fiebre y diarrea)
- Disminución en producción de leche (de 20 a 17 litros/día)

- Mortalidad inusual (1 animales en los últimos 6 meses, si es que no se los lleva al veterinario)

13. Pérdidas económicas estimadas:

- S/ 10 por disminución de producción lechera, por cada vaca
- S/ 6600 por mortalidad animal
- S/ 350 por gastos veterinarios

PERCEPCIÓN Y SOLUCIONES

14. Relación de los problemas con el agua del río:

- ☒ Directamente relacionado
- ☐ Parcialmente relacionado
- ☐ No relacionado
- ☐ No sabe

15. ¿Ha realizado alguna denuncia o queja?

- ☐ Sí, ante: _____ (resultado: _____)
- ☒ No

16. Disposición a participar en soluciones:

- ☐ Muy dispuesto
- ☒ Algo dispuesto
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- **Fecha de entrevista:** 12 / 10 /2025
- **Nombre del entrevistado:** Luis Cueva
- **Rol en la familia:** Hijo
- **Ubicación exacta:** Sucre, cerca al río
- **Tiempo viviendo en la zona:** 29 años

COMPOSICIÓN FAMILIAR Y ACTIVIDADES

1. **Número de personas en el hogar:** 5
2. **Actividades económicas principales (múltiple):**
 - ☒ Ganadería lechera
 - ☒ Agricultura
 - ☐ Otro: _____
3. **Recursos hídricos utilizados:**
 - ☒ Río Jorge Chávez
 - ☐ Pozos
 - ☒ Agua entubada (principal)
 - ☐ Otro: _____

USO DEL RÍO JORGE CHÁVEZ

4. **¿Para qué actividades utiliza el agua del río? (múltiple)**
 - Abrevadero de animales (si, 8 cabezas de ganado)
5. **Frecuencia de uso:**
 - ☒ Diario
 - ☐ 3-4 veces por semana
 - ☐ 1-2 veces por semana
 - ☐ Ocasional

OBSERVACIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

6. **¿Qué ha observado en el río? (múltiple)**
 - Espumas o burbujas anormales (se nota que en algunas zonas se forma espuma)

- Otro: _____

7. Cambios observados en los últimos 2 años:

- ☐ Ha empeorado notablemente
- ☒ Ha empeorado levemente
- ☐ Se mantiene igual
- ☐ Ha mejorado

AFECTACIONES A LA SALUD (Últimos 6 meses)

8. Enfermedades presentadas en la familia: (múltiple)

- Enfermedades diarreicas agudas (EDA) (si se da algunas veces)
- Infecciones gastrointestinales (también se da algunas veces)

9. Caso específico más grave: (narrativa)

" no hay datos "

10. Gastos aproximados en salud por estas enfermedades:

- S/ 140 mensuales en medicinas
- S/ 50 en consultas médicas
- S/ 10 en traslados

AFECTACIONES AGROPECUARIAS (Para productores)

11. Tipo y cantidad de ganado:

- Vacunos lecheros: 2
- Vacunos de carne: 6

12. Problemas observados en el ganado: (múltiple)

- Enfermedades digestivas (se enferman con fiebre y diarrea)
- Disminución en producción de leche (de 17 a 14 o 12 litros/día)
- Problemas reproductivos (a veces se dan abortos si no se les trata)

13. Pérdidas económicas estimadas:

- S/ 12 por disminución de producción lechera, por cada vaca
- S/ 6800 por mortalidad animal
- S/ 400 por gastos veterinarios

PERCEPCIÓN Y SOLUCIONES

14. Relación de los problemas con el agua del río:

- ☒ Directamente relacionado
- ☐ Parcialmente relacionado
- ☐ No relacionado
- ☐ No sabe

15. ¿Ha realizado alguna denuncia o queja?

- ☐ Sí, ante: _____ (resultado: _____)
- ☒ No

16. Disposición a participar en soluciones:

- ☐ Muy dispuesto
- ☒ Algo dispuesto
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- **Fecha de entrevista:** 12 / 10 /2025
- **Nombre del entrevistado:** Clodomiro Marín
- **Rol en la familia:** Jefe de hogar
- **Ubicación exacta:** Sucre, cerca al río del túnel
- **Tiempo viviendo en la zona:** 48 años

COMPOSICIÓN FAMILIAR Y ACTIVIDADES

1. **Número de personas en el hogar:** 5
2. **Actividades económicas principales (múltiple):**
 - ☒ Ganadería lechera
 - ☐ Agricultura
 - ☐ Otro: _____
3. **Recursos hídricos utilizados:**
 - ☒ Río Jorge Chávez
 - ☐ Pozos
 - ☒ Agua entubada (principal)
 - ☐ Otro: _____

USO DEL RÍO JORGE CHÁVEZ

4. **¿Para qué actividades utiliza el agua del río? (múltiple)**
 - Abrevadero de animales (si, 16 cabezas de ganado)
5. **Frecuencia de uso:**
 - ☒ Diario
 - ☐ 3-4 veces por semana
 - ☐ 1-2 veces por semana
 - ☐ Ocasional

OBSERVACIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

6. **¿Qué ha observado en el río? (múltiple)**
 - Color turbio/oscura (se ve algo turbio)

7. Cambios observados en los últimos 2 años:

- ☐ Ha empeorado notablemente
- ☒ Ha empeorado levemente
- ☐ Se mantiene igual
- ☐ Ha mejorado

AFECTACIONES A LA SALUD (Últimos 6 meses)

8. Enfermedades presentadas en la familia: (múltiple)

- Enfermedades diarreicas agudas (EDA) (si se da algunas veces)
- Infecciones gastrointestinales (también se da algunas veces)

9. Caso específico más grave: (narrativa)

" no hay datos "

10. Gastos aproximados en salud por estas enfermedades:

- S/ 120 mensuales en medicinas
- S/ 50 en consultas médicas
- S/ 10 en traslados

AFECTACIONES AGROPECUARIAS (Para productores)

11. Tipo y cantidad de ganado:

- Vacunos lecheros: 8
- Vacunos de carne: 8

12. Problemas observados en el ganado: (múltiple)

- Enfermedades digestivas (se enferman con fiebre y diarrea)
- Disminución en producción de leche (de 23 a 19 o 17 litros/día)

13. Pérdidas económicas estimadas:

- S/ 12 por disminución de producción lechera, por cada vaca
- S/ 6700 por mortalidad animal
- S/ 400 por gastos veterinarios

PERCEPCIÓN Y SOLUCIONES

14. Relación de los problemas con el agua del río:

- ☒ Directamente relacionado

- ☐ Parcialmente relacionado
- ☐ No relacionado
- ☐ No sabe

15. ¿Ha realizado alguna denuncia o queja?

- ☐ Sí, ante: _____ (resultado: _____)
- ☒ No

16. Disposición a participar en soluciones:

- ☐ Muy dispuesto
- ☐ Algo dispuesto
- ☒ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- **Fecha de entrevista:** 12/10/2025
- **Nombre del entrevistado:** Leyla Montenegro
- **Rol en la familia:** Esposa
- **Ubicación exacta:** Sucre, cerca al río
- **Tiempo viviendo en la zona:** 38 años

COMPOSICIÓN FAMILIAR Y ACTIVIDADES

1. **Número de personas en el hogar:** 3
2. **Actividades económicas principales (múltiple):**
 - ☐ Ganadería lechera
 - ☐ Agricultura
 - ☒ Otro: enfermera
3. **Recursos hídricos utilizados:**
 - ☐ Río Jorge Chávez
 - ☐ Pozos
 - ☒ Agua entubada (principal)
 - ☐ Otro: _____

USO DEL RÍO JORGE CHÁVEZ

4. **¿Para qué actividades utiliza el agua del río? (múltiple)**
 - No lo uso para actividades cotidianas
5. **Frecuencia de uso:**
 - ☐ Diario
 - ☐ 3-4 veces por semana
 - ☐ 1-2 veces por semana
 - ☒ Ocasional

OBSERVACIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

6. **¿Qué ha observado en el río? (múltiple)**
 - Materia fecal visible

- Color turbio/oscura (se ve algo turbia y sucia)

7. Cambios observados en los últimos 2 años:

- ☐ Ha empeorado notablemente
- ☐ Ha empeorado levemente
- ☒ Se mantiene igual
- ☐ Ha mejorado

AFECTACIONES A LA SALUD (Últimos 6 meses)

8. Enfermedades presentadas en la familia: (múltiple)

- Otras: se dan otras enfermedades

9. Caso específico más grave: (narrativa)

" no hay datos "

10. Gastos aproximados en salud por estas enfermedades:

- S/ 160 mensuales en medicinas
- S/ 50 en consultas médicas
- S/ 10 en traslados

AFECTACIONES AGROPECUARIAS (Para productores)

11. Tipo y cantidad de ganado:

- Vacunos lecheros: 0
- Vacunos de carne: 0
- Otros: no me dedico a la ganadería

12. Problemas observados en el ganado: (múltiple)

- Enfermedades digestivas
- Disminución en producción de leche
- Problemas reproductivos
- Otros: no me dedico a la ganadería

13. Pérdidas económicas estimadas:

- S/ 0 por disminución de producción lechera, por cada vaca
- S/ 0 por mortalidad animal
- S/ 0 por gastos veterinarios

PERCEPCIÓN Y SOLUCIONES

14. Relación de los problemas con el agua del río:

- ☐ Directamente relacionado
- ☐ Parcialmente relacionado
- ☐ No relacionado
- ☒ No sabe

15. ¿Ha realizado alguna denuncia o queja?

- ☐ Sí, ante: _____ (resultado: _____)
- ☒ No

16. Disposición a participar en soluciones:

- ☐ Muy dispuesto
- ☒ Algo dispuesto
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- **Fecha de entrevista:** 12/10/2025
- **Nombre del entrevistado:** Eugenio Machuca
- **Rol en la familia:** Jefe de hogar
- **Ubicación exacta:** Sucre, cerca al río al lado del túnel
- **Tiempo viviendo en la zona:** 38 años

COMPOSICIÓN FAMILIAR Y ACTIVIDADES

1. **Número de personas en el hogar:** 4
2. **Actividades económicas principales (múltiple):**
 - ☒ Ganadería lechera
 - ☒ Agricultura
 - otras: _____
3. **Recursos hídricos utilizados:**
 - ☒ Río Jorge Chávez
 - ☐ Pozos
 - ☒ Agua entubada (principal)
 - ☐ Otro: _____

USO DEL RÍO JORGE CHÁVEZ

4. **¿Para qué actividades utiliza el agua del río? (múltiple)**
 - Abrevadero de animales (si, 34 cabezas de ganado)
 - Riego de pastos (250 metros cuadrados aproximadamente)
5. **Frecuencia de uso:**
 - ☒ Diario
 - ☐ 3-4 veces por semana
 - ☐ 1-2 veces por semana
 - ☐ Ocasional

OBSERVACIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

6. ¿Qué ha observado en el río? (múltiple)

- Material fecal visible (si, se ve)
- Color turbio/oscura (el agua se ve normal algunos días y otros no)

7. Cambios observados en los últimos 2 años:

- ☐ Ha empeorado notablemente
- ☒ Ha empeorado levemente
- ☐ Se mantiene igual
- ☐ Ha mejorado

AFECTACIONES A LA SALUD (Últimos 6 meses)

8. Enfermedades presentadas en la familia: (múltiple)

- Enfermedades diarreicas agudas (EDA) (si se da algunas veces)
- Infecciones gastrointestinales (también se da algunas veces)

9. Caso específico más grave: (narrativa)

" no hay datos "

10. Gastos aproximados en salud por estas enfermedades:

- S/ 160 mensuales en medicinas
- S/ 50 en consultas médicas
- S/ 10 en traslados

AFECTACIONES AGROPECUARIAS (Para productores)

11. Tipo y cantidad de ganado:

- Vacunos lecheros: 20
- Vacunos de carne: 12

12. Problemas observados en el ganado: (múltiple)

- Enfermedades digestivas (se enferman con fiebre y diarrea)
- Disminución en producción de leche (de 23 a 18 litros/día)
- Problemas reproductivos (a veces se dan abortos si no se les trata)

13. Pérdidas económicas estimadas:

- S/ 12 por disminución de producción lechera, por cada vaca

- S/ 6950 por mortalidad animal
- S/ 800 por gastos veterinarios

PERCEPCIÓN Y SOLUCIONES

14. Relación de los problemas con el agua del río:

- ☒ Directamente relacionado
- ☐ Parcialmente relacionado
- ☐ No relacionado
- ☐ No sabe

15. ¿Ha realizado alguna denuncia o queja?

- ☐ Sí, ante: _____ (resultado: _____)
- ☒ No

16. Disposición a participar en soluciones:

- ☐ Muy dispuesto
- ☒ Algo dispuesto
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

- **Fecha de entrevista:** 12/10/2025
- **Nombre del entrevistado:** Valerio Rabanal
- **Rol en la familia:** ☒ Jefe de hogar ☐ Esposa/o ☐ Hijo/a ☐ Otro: _____
- **Ubicación exacta:** Sucre, cerca al río
- **Tiempo viviendo en la zona:** 40 años

COMPOSICIÓN FAMILIAR Y ACTIVIDADES

1. **Número de personas en el hogar:** 3
2. **Actividades económicas principales (múltiple):**
 - ☒ Ganadería lechera
 - ☒ Agricultura
3. **Recursos hídricos utilizados:**
 - ☒ Río Jorge Chávez
 - ☒ Pozos
 - ☒ Agua entubada (principal)
 - ☐ Otro: _____

USO DEL RÍO JORGE CHÁVEZ

4. **¿Para qué actividades utiliza el agua del río? (múltiple)**
 - Abrevadero de animales (si, 20 cabezas de ganado)
5. **Frecuencia de uso:**
 - ☒ Diario
 - ☐ 3-4 veces por semana
 - ☐ 1-2 veces por semana
 - ☐ Ocasional

OBSERVACIONES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

6. **¿Qué ha observado en el río? (múltiple)**
 - Material fecal visible (si, se ve)
 - Color turbio/oscuero (el agua se ve normal, menos en partes donde se empoza)

7. Cambios observados en los últimos 2 años:

- ☐ Ha empeorado notablemente
- ☒ Ha empeorado levemente
- ☐ Se mantiene igual
- ☐ Ha mejorado

AFECTACIONES A LA SALUD (Últimos 6 meses)

8. Enfermedades presentadas en la familia: (múltiple)

- Enfermedades diarreicas agudas (EDA) (si se da algunas veces)
- Infecciones gastrointestinales (también se da algunas veces)

9. Caso específico más grave: (narrativa)

" no hay datos "

10. Gastos aproximados en salud por estas enfermedades:

- S/ 120 mensuales en medicinas
- S/ 50 en consultas médicas
- S/ 10 en traslados

AFECTACIONES AGROPECUARIAS (Para productores)

11. Tipo y cantidad de ganado:

- Vacunos lecheros: 12
- Vacunos de carne: 8
- Otros: _____

12. Problemas observados en el ganado: (múltiple)

- Enfermedades digestivas (se enferman con fiebre y diarrea)
- Disminución en producción de leche (de 19 a 14 litros/día)

13. Pérdidas económicas estimadas:

- S/ 12 por disminución de producción lechera, por cada vaca
- S/ 6850 por mortalidad animal
- S/ 500 por gastos veterinarios

PERCEPCIÓN Y SOLUCIONES

14. Relación de los problemas con el agua del río:

- ☒ Directamente relacionado
- ☐ Parcialmente relacionado
- ☐ No relacionado
- ☐ No sabe

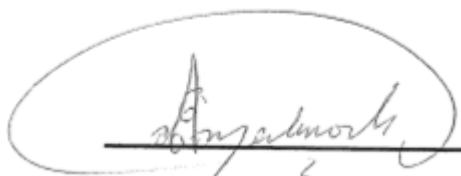
15. ¿Ha realizado alguna denuncia o queja?

- ☐ Sí, ante: _____ (resultado: _____)
- ☒ No

16. Disposición a participar en soluciones:

- ☐ Muy dispuesto
- ☒ Algo dispuesto
- ☐ Poco dispuesto
- ☐ Nada dispuesto

Firma de avaladores de la encuesta realizada:

A handwritten signature in dark ink, enclosed within a faint oval border. The signature is cursive and appears to read 'Agustín Emerson Medina Chávez'.

Dr. Ing. Agustín Emerson Medina Chávez

A handwritten signature in dark ink, consisting of a large, stylized loop followed by a smaller loop and a horizontal stroke.

Dr. Ing. Gilberto Cruzado Vásquez

A handwritten signature in dark ink, featuring a large, stylized 'M' followed by a vertical stroke and a horizontal stroke.

M.Sc. Ing. María Salomé De la Torre Ramírez

Figura 60.

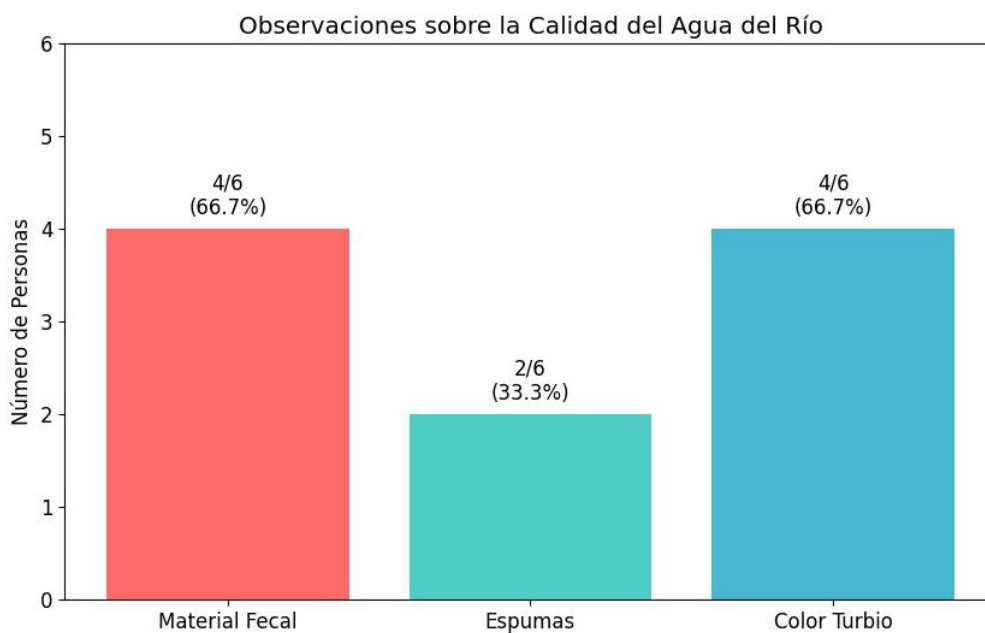
Distribución de actividades económicas



Nota. Distribución de las personas encuestadas.

Figura 61.

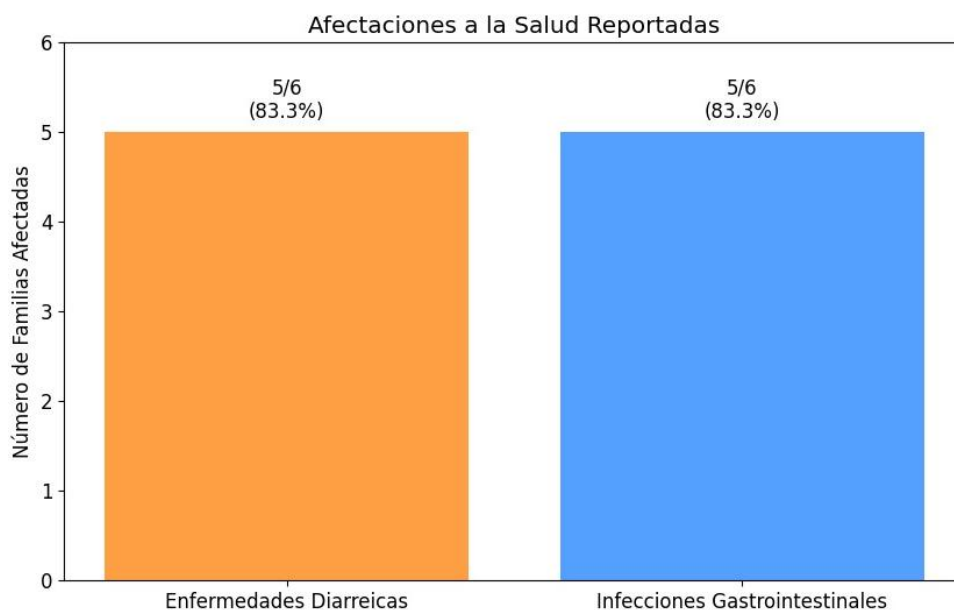
Características físicas del agua del río observados por los pobladores



Nota. Características de la calidad del agua observadas por los pobladores encuestados.

Figura 62.

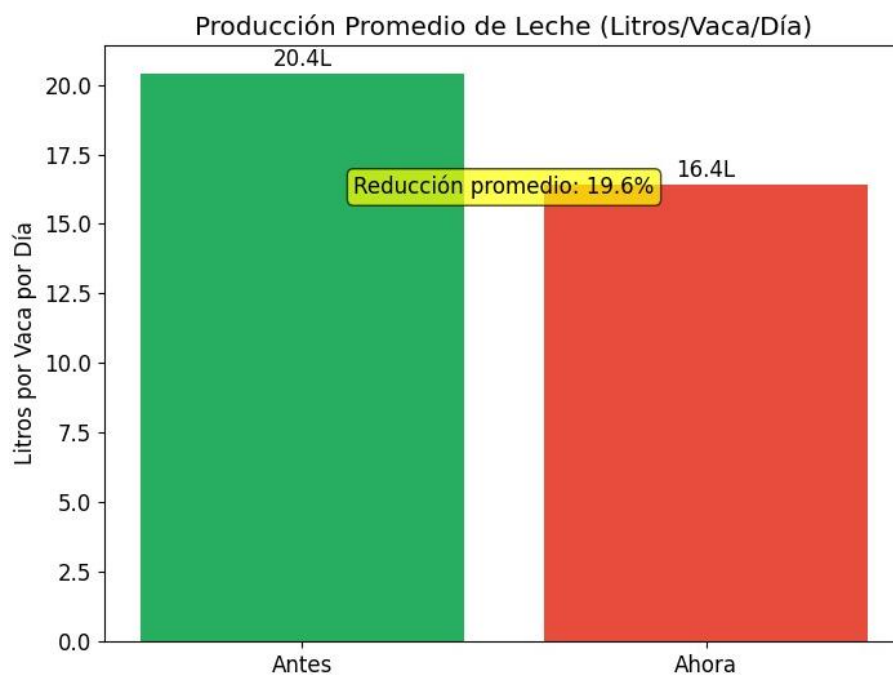
Enfermedades generadas con más frecuencia



Nota. Causas ligadas a el agua contaminada del río Jorge Chávez.

Figura 63.

Disminución de producción lechera por enfermedades debido al agua de río

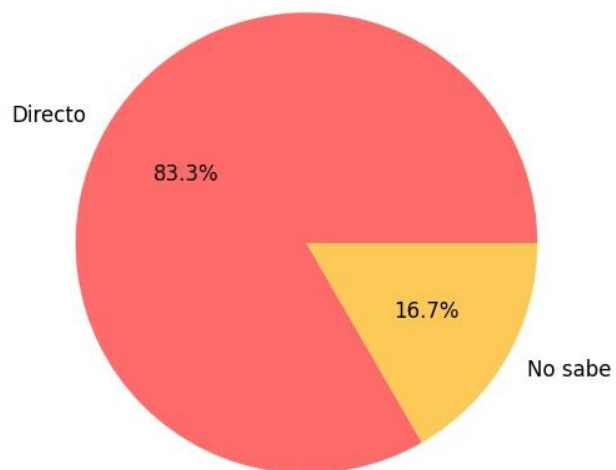


Nota. Disminución de la producción lechera en el ganado observada por los pobladores.

Figura 64.

Percepción de los pobladores sobre la influencia del río a los problemas presentes

Percepción sobre la Relación de Problemas con el Agua del Río



Nota. Porcentaje de la población que cree que el agua del río ocasiona los problemas.

Figura 65.

Porcentaje de los pobladores dispuestos a ayudar a solucionar la problemática

Disposición a Participar en Soluciones

