

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración
de contaminantes críticos de aguas residuales
domésticas de la comunidad
La Punta - Sapallanga**

Baneza Gamarra Silva

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Continental por permitirme como institución educativa terminar mi formación académica profesional.

A mis docentes de la Universidad Continental por todas sus enseñanzas compartidas durante los años académicos y a mi asesor por haber hecho sus observaciones que permitieron mejorar la investigación.

Al señor presidente de la Asociación de AGUA potable y Alcantarillado (Asapa) La Punta, del distrito de Sapallanga, por habernos brindado información y por las facilidades para el ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales.

A todas las personas que me aprecian y que siempre estuvieron conmigo durante este trabajo de investigación, por su apoyo incondicional, ánimo y sobre todo por su inmenso amor y cariño.

DEDICATORIA

Este trabajo es con todo mi esfuerzo y voluntad a Dios por darme salud en estos momentos difíciles, fuerza para seguir adelante y por ser mi guía en todos los momentos, a mis padres por todos sus esfuerzos y sacrificios para que no me falte nada, para que yo pueda seguir cumpliendo mis metas y por siempre confiar en mí.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	xiii
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.2. Formulación del problema.....	19
1.1.2.1. Problema general	19
1.1.2.2. Problemas específicos	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo general.....	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Justificación e importancia	20
1.3.1. Económica	20
1.3.2. Ambiental.....	20
1.3.3. Social (salud, educación).....	20
1.3.4. Teórica	21
1.3.5. Tecnológica.....	21
1.4. Hipótesis y descripción de variables	21
1.4.1. Hipótesis general	21
1.4.2. Hipótesis específicas	21
1.4.3 Operacionalización de variables	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales	24

2.1.2. Antecedentes nacionales	29
2.2. Bases teóricas.....	33
2.2.1. Tipos de aguas residuales	33
2.2.1.1. Aguas residuales municipales	33
2.2.1.2. Aguas residuales industriales	33
2.2.2. Características de agua residual doméstica	33
2.2.2.1. Características físicas.....	33
2.2.2.2. Características químicas	34
2.2.2.3. Características biológicas.....	35
2.2.3. Niveles de tratamiento de aguas residuales	35
2.2.3.1. Pretratamiento	35
2.2.3.2. Tratamiento primario	36
2.2.3.3. Tratamiento secundario.....	36
2.2.3.4. Tratamiento terciario.....	36
2.2.4. Puntos de muestreo	36
2.2.4.1. Agua residual cruda, entrada al PTAR	36
2.2.4.2. Agua residual tratada, salida de PTAR.....	37
2.2.5. Sistema Tohá o vermifiltro	37
2.2.5.1. Los componentes de sistema de vermifiltro.....	38
2.2.6. Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	40
2.2.6.1. Clasificación taxonómica de la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>)	
.....	40
2.2.6.2. Características de la Lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>)	41
2.2.7. Base legal	42
2.2.7.1. Límite máximo permisible	42
2.2.8. Diseño de vermifiltro	43
2.2.8.1. Parámetros de diseño.....	43
2.3. Definición de términos básicos.....	44
CAPÍTULO III.....	46
METODOLOGÍA	46
3.1. Método y alcance de la investigación.....	46
3.1.1. Método	46
3.1.2. Nivel.....	46
3.2. Diseño de la investigación.....	47

3.2.1. Diseño experimental	47
3.2.1.1. Investigación preexperimental	47
3.3. Población y muestra	48
3.3.1. Población	48
3.3.2. Muestra	48
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.4.1. Diseño y construcción de sistema de lombrifiltro	48
3.4.1.1. Medidas del recipiente.....	49
3.4.1.2. Materiales	50
3.4.1.3. Metodología.....	51
3.4.2. Muestreo de agua residual doméstica a tratar	52
3.4.2.1. Materiales	52
3.4.2.2. Método de muestreo.....	53
3.4.3. Muestreo de agua residual tratada.....	54
3.4.3.1. Materiales	54
3.4.3.2. Método de muestreo.....	55
3.4.4. Método de análisis	55
3.4.5. Método estadístico	56
CAPÍTULO IV.....	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	57
4.1.1. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	57
4.1.2. Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO)	58
4.1.3. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	59
4.1.4. Resultados de pH.....	60
4.2. Prueba de hipótesis.....	61
4.2.1. Hipótesis específica 1	61
4.2.2. Hipótesis específica 2	62
4.2.3. Hipótesis específica 3	64
4.2.4. Hipótesis específica 4	65
4.3. Discusión de resultados	66
4.3.1. Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	66
4.3.2. Análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	67
4.3.3. Análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST)	68

4.3.4. Análisis de potencial de hidrogeno (pH).....	69
Conclusiones.....	71
Recomendaciones.....	73
Lista de referencias.....	74
Anexos	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de efluente del PTAR, no cumple los LMP	19
Tabla 2. Operacionalización de variables de eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga	23
Tabla 3. Límite máximo permisible	42
Tabla 4. Diseño de investigación.....	47
Tabla 5. Método de análisis.....	55
Tabla 6. Resultados de análisis de DBO ₅ por tratamiento	57
Tabla 7. Resultados de análisis de DQO por tratamiento	58
Tabla 8. Resultados de análisis de SST por tratamiento.....	59
Tabla 9. Resultado de análisis de pH por tratamiento	60
Tabla 10. Concentración final de DBO ₅ por tratamientos	61
Tabla 11. Tabla Anova	62
Tabla 12. Tabla de media de Demanda Bioquímica de Oxígeno	62
Tabla 13. Concentración final de DQO por tratamientos	63
Tabla 14. Tabla de Anova	63
Tabla 15. Tabla de media de Demanda Química de Oxígeno	63
Tabla 16. Concentración final de SST por tratamiento.....	64
Tabla 17. Tabla de Anova	64
Tabla 18. Tabla de media de Sólidos Suspendidos Totales.....	65
Tabla 19. Comparación de resultados finales sistema de vermifiltro con LMP	65
Tabla 20. Eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de DBO ₅	66
Tabla 21. Eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de DQO.....	67
Tabla 22. Eficiencia de sistema de vermifiltro en remoción de SST.....	68
Tabla 23. Eficiencia del sistema de vermifiltro en estabilizar el pH	69
Tabla 24. Matriz de consistencia	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Centro poblado de La Punta – Sapallanga.....	17
Figura 2. Planta de tratamiento de aguas residuales La Punta- Sapallanga ...	18
Figura 3. Esquema de sistema Tohá o vermifiltro	38
Figura 4. Estructura de sistema de vermifiltro	39
Figura 5. Morfología de lombriz (<i>Eisenia foetida</i>)	42
Figura 6. Criterios de diseño de sistema de vermifiltro.....	43
Figura 7. Instalación de sistema de vermifiltro a escala piloto	44
Figura 8. Las medidas del recipiente.....	49
Figura 9. Diseño de sistema de vermifiltro	52
Figura 10. Resultados de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) por tratamiento	58
Figura 11. Resultado de análisis Demanda Química de Oxígeno (DQO) por tratamiento.....	59
Figura 12. Resultado de análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST) por tratamiento.....	60
Figura 13. Resultado de análisis de potencial de hidrogeno (pH)	61
Figura 14. Resultados de sistema de vermifiltro comparado con LMP.....	65
Figura 15. Falta de mantenimiento en la cámara de rejillas gruesa de PTAR	82
Figura 16. Animales consumiendo pasto al borde de pozas de oxidación	82
Figura 17. Ubicación de Planta de Tratamiento de aguas residuales domésticas de la Punta - Sapallanga	83
Figura 18. Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	83
Figura 19. Sustrato de grava con una altura de 10 cm.....	84
Figura 20. Sustrato de arena gruesa altura de 10 cm	84
Figura 21. Sustrato de aserrín de 20 cm	85
Figura 22. El sistema de vermifiltro	85
Figura 23. Agua residual domestica de la Punta - Sapallanga.....	86
Figura 24. Muestreo después de cámara de rejillas de PTAR – La Punta	86
Figura 25. Muestreo en la salida de PTAR- La Punta	87
Figura 26. Muestreo de parámetro de Demanda Química de Oxígeno.....	87
Figura 27. Adición de ácido sulfúrico al muestreo de DQO.....	88
Figura 28. Muestreo de parámetro Sólidos Suspendidos Totales	89

Figura 29. Muestreo de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	90
Figura 30. Muestreo de agua residual tratada.....	91
Figura 31. Medición de caudal de cada sistema de vermifiltro	92

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. La metodología que se aplicó fue mediante la instalación de una planta piloto de sistema de vermifiltro, conformada por 3 tratamientos que fueron regados con diferentes caudales, donde el tratamiento 1 tuvo un caudal de 25 mL/min, el tratamiento 2 tuvo un caudal de 50 mL/min y el tratamiento 3 tuvo un 75 mL/min y cada filtro comprendió 4 capas; humos y lombriz (*Eisenia foetida*), aserrín, arena gruesa y grava, por donde fueron filtradas las aguas residuales domésticas y salieron aguas residuales tratadas. Para poder determinar la eficiencia de remoción del sistema de vermifiltro se analizaron, primero, los parámetros fisicoquímicos del agua residual que ingresa al sistema y posteriormente del agua residual tratada que salió del sistema de vermifiltro. El análisis de los parámetros designados se realizó cada 7 días, durante 3 semanas. Y como resultado final se obtuvo una remoción de 96,7% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) para los 3 tratamientos; 86,5%, 82,57% y 79,95% de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente; 95,3%, 96,1% y 95,5% de Sólidos Suspendidos Totales (SST) para tratamiento 1, tratamiento 2 y tratamiento 3 respectivamente y el pH en los 3 sistemas de tratamiento tienden a estabilizarse, ya que inicialmente se tuvo un pH ácido de 6,58 y después del tratamiento se obtuvo agua residual con pH neutro de 7,51. En conclusión, según los resultados obtenidos se determinó que el sistema de vermifiltro tiene alta eficiencia en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas.

Palabras claves: aguas residuales, *Eisenia foetida*, sistema de vermifiltro

ABSTRACT

The present investigation they had like objective of this research was to determine the efficiency of the vermifilter system in the purification of critical pollutants from the domestic wastewater of the La Punta - Sapallanga community. The methodology that was applied was through the installation of a pilot plant with a vermifilter system, made up of 3 treatments that were irrigated with different flow rates, where Treatment 1 had a flow rate of 25 mL / min, Treatment 2 had a flow rate of 50 mL / min. and Treatment 3 had a 75 mL / min and each filter comprised 4 layers; smoke and earthworm (*Eisenia foetida*), sawdust, coarse sand, and gravel, through which the domestic wastewater was filtered, and from which treated wastewater came out. To determine the removal efficiency of the vermifilter system, the physicochemical parameters of the wastewater entering the system were first analyzed and then the treated wastewater that came out of the vermifilter system. The analysis of the designated parameters was performed every 7 days, for 3 weeks. And as a final result, a removal of 96,7% Biochemical oxygen demand (BOD5) was obtained for the 3 treatments; 86,5%, 82,57% and 79,95% chemical oxygen demand (COD) for treatment 1, treatment 2 and treatment 3 respectively; 95,3%, 96,1% and 95,5% Total Suspended Solids (TSS) for treatment 1, treatment 2 and treatment 3 respectively and the pH in the 3 treatment systems tend to stabilize, since initially there was an acidic pH of 6,58 and after the treatment it was obtained a waste water with a neutral pH of 7,51. In conclusion, according to the results obtained, it was determined that the vermifilter system has high efficiency in the purification of critical pollutants from domestic wastewater.

Keywords: *Eisenia foetida*, vermifilter system, wastewater

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la contaminación del agua ha sido uno de los grandes problemas en el contexto mundial; debido al aumento de la población y desarrollo socioeconómico, que provocó la disminución de acceso a este recurso natural principalmente en las áreas rurales y en los países en vías de desarrollo.

En Perú el “70% de las aguas residuales” (1) no reciben ningún tipo de tratamiento, estas vierten a los campos de cultivo y diferentes cuerpos de aguas, ocasionando un riesgo para la salud pública y la pérdida de los servicios ecosistémicos.

Las plantas de tratamientos convencionales, utilizadas por décadas en el Perú, ayudan a minimizar los impactos negativos que generan las aguas residuales, pero la mayoría de ellas no se encuentran en funcionamiento por su elevado costo de operación y mantenimiento que limitan a las autoridades su seguimiento, además generan subproductos indeseables (lodos), que necesitan una disposición adecuada, como el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de La Punta - Sapallanga, que por falta de mantenimiento y fiscalización de los autoridades y organismos competentes se encuentra deteriorada y no cumple con los “límites máximos permisibles”.

Ante este problema se buscan nuevas tecnologías que económicamente sean factibles y que su operación y mantenimiento sea sencillo y sobre todo que pueda cumplir con los límites máximos permisibles, así poder reutilizar el recurso y disminuir los impactos en el ambiente y salud. Es por lo que en la tesis, se realiza la investigación para utilizar el sistema de vermifiltro con componentes como: la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), aserrín, arena y grava, para tratar las aguas residuales domésticas, debido a que esta aplicación en países en desarrollo generó buenos resultados.

La tesis se describe en los siguientes 4 capítulos:

- Capítulo I: planteamiento de estudio, se describe la problemática de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de La Punta – Sapallanga, se realiza el planteamiento de la problemática, los objetivos de estudio, la justificación y la hipótesis de la investigación.
- Capítulo II: marco teórico, se realiza la revisión de los antecedentes de la investigación y la descripción de las bases teóricas.
- Capítulo III: metodología, se describe el método, alcance y diseño de la investigación, población y muestra y técnicas e instrumentos de recolección de datos.
- Capítulo IV: resultados y discusión, se analiza y compara los resultados obtenidos en el sistema de vermifiltro con otros trabajos similares.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Las aguas residuales domésticas son producidas al haber sido utilizadas en las casas, que mayormente provienen de cocina, ducha, lavadero, baño, etc. Es por lo que, contienen alta carga de materia orgánica y Sólidos Suspendidos Totales que varía según los hábitos de las personas y el nivel socioeconómico al que pertenecen (2).

La urbanización acelerada en los países en desarrollo, el crecimiento de la población mundial y la crecida del desarrollo urbano industrial originó el aumento de la demanda global de agua, generando la contaminación desmesurada de las diferentes fuentes de agua, produciendo la escasez de este recurso hídrico que todo ser vivo necesita para vivir. Según el informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019, a nivel mundial el 39% de la población tiene servicio de saneamiento básico y el 29% de la población no tiene acceso a agua potable (3). De estas, los países con ingresos económicos altos tratan sus aguas residuales industriales y municipales cerca de 70%, los países con ingresos económicos de medios - altos solo trata el 38%, los países de ingreso económico medio - bajo solo tratan un 28% y los países con ingreso económico bajo solo el 8% recibe algún tipo de tratamiento.

En el mundo más de 80% de aguas contaminadas son desembocadas a los diferentes cuerpos receptores sin previo tratamiento (4).

En América Latina el 70% de las aguas negras o aguas residuales no reciben ningún tipo de tratamiento (1). Se calcula que aproximadamente solo el 5% de las viviendas están conectadas a una planta de tratamiento de aguas residuales y que la gran mayoría de estos tratamientos emplean solamente tratamiento primario. El resto es vertido directamente a las masas receptoras que son incapaces de disolver y neutralizar la carga contaminante, lo que ocasiona la alteración de la calidad de agua y la desaparición de la variedad biológica en los ecosistemas acuáticos, que pone en peligro la vulnerabilidad de las personas que habitan en zonas rurales, que son las zonas más propensas a las enfermedades (5).

Los tratamientos clásicos utilizados por muchos tiempos en el Perú no han sido suficientes para poder tratar todas las aguas residuales generadas en las viviendas, porque no se encuentran en funcionamiento ya sea por los elevados costos de operación y mantenimiento o se encuentran sobredimensionadas y los que se encuentran operando vienen vertiendo sus aguas residuales sin previa fiscalización (6). Según el “organismo de evaluación y fiscalización ambiental” en el Perú, se origina aproximadamente casi 2,2 millones de litros de aguas residuales y de estas solo el 32% reciben algún tipo de tratamiento. Se calcula que el consumo promedio de agua diario por persona en áreas urbanas es de 75 litros/día y en áreas rurales 40 litros/día, de los cuales el 85% son efluentes contaminados. De las 50 empresas prestadoras de servicio solo puede cubrir aproximadamente un 69,69% de todos los efluentes generados por la población, además existe una sobrecarga de aguas residuales, lo cual disminuye la eficiencia de muchas plantas de tratamiento de aguas residuales y la diferencia se viene vertiendo a los campos de pastoreo, lagunas, quebradas, riachuelos y en algunos casos vienen siendo utilizados con fines de riego agrícola (7). Estos problemas no son ajenos a la realidad de la municipalidad provincial de Huancayo ya que los ríos como Mantaro, Cunas, Chanchas, Shullcas y San Francisco a lo largo de su recorrido vienen siendo contaminadas con aguas residuales domésticas clandestinas (8). En el distrito de Sapallanga, en la

comunidad de La Punta la mayoría de sus barrios no tienen acceso a un sistema de red de alcantarillado, ya que la red principal solo pasa por las avenidas principales que comienza desde la avenida Huracán, San Martín, Juventud y La Libertad, por ello, solamente las casas que se encuentran en ambos extremos desembocan a esta red, mientras que los pobladores aledaños a la comunidad La Punta botan sus aguas residuales directamente al río, canales de riego y a las calles generando malos olores y aumentando la presencia de moscas, que permite la proliferación de diferentes enfermedades (9).

La comunidad de La Punta según el INEI en el año 2017 tenía una población total de 5923 habitantes, 1635 viviendas y se encuentra ubicado a 3294 m s. n. m. (10). Cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas que fue construido en el año 2006 para 580 viviendas y actualmente desemboca en 950 viviendas aproximadamente.



Figura 1. Centro poblado de La Punta – Sapallanga. (11)

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales La Punta-Sapallanga se encuentra en medio de cultivos, canales de riego y muy cerca a la población, esta planta cuenta con las siguientes estructuras: cámara de rejillas gruesa, desarenador, cámara de rejillas fina y dos pozas de oxidación; a pesar de

estas estructuras “no cumple con los límites máximos permisibles” (LMP) ya que se encuentra bastante deteriorada a falta de mantenimiento. En la primera cámara de reja gruesa se observa, residuos sólidos saturados causando el rebose al pozo de oxidación, asimismo la cámara de reja fina se encuentra oxidada y quebrada, como también las pozas de oxidación se encuentran colmatadas emanando malos olores. El agua residual tratada que sale de la planta de tratamiento, tiene un color gris con bastante espuma que desemboca a un campo de pastoreo formando humedal, con presencia de vectores (ratas, moscas, cucarachas), emanando malos olores y además se observan residuos sólidos que son arrastrados al río Luychus que se encuentra a unos metros, estas aguas son utilizadas por los pobladores para lavar ropas, bañarse, lavar los carros, regar los cultivos y los animales también consumen esas aguas contaminadas del río (12).



Figura 2. Planta de tratamiento de aguas residuales de La Punta- Sapallanga (11)

Tabla 1. Resultados de efluente del PTAR, no cumple los LMP

Año	Parámetros fisicoquímicos			
	DBO ₅	DQO	SST	pH
2021	106	235,7	65,80	6,97

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta?
- ¿Cuál es el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta?
- ¿Cuál es el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Sólidos Suspendidos Totales de las aguas residuales” de la comunidad La Punta?
- ¿Cuál es la comparación de los resultados obtenidos con el tratamiento del sistema de vermifiltro y los valores del Límite Máximo Permisible de agua?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta.

- Determinar el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta.
- Determinar el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Sólidos Totales Suspendidos de las aguas residuales” de la comunidad La Punta.
- Comparar los resultados obtenidos con el tratamiento del sistema de vermifiltro y los valores del Límite Máximo Permisible de agua.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Económica

El sistema vermifiltro económicamente es viable porque para su proceso de depuración no requiere de insumos químicos, su consumo de energía es bajo, su operación y mantenimiento es sencillo, no necesita personal calificado, no genera lodos, al contrario genera como subproductos vermicompost que puede ser utilizado como biofertilizante y generar ingreso económico adicional (13).

1.3.2. Ambiental

El problema ambiental que viene enfrentando la comunidad de La Punta - Sapallanga con sus aguas residuales domésticas es un tema muy sensible que necesita atención inmediata, que frente a este; el sistema de vermifiltro en el aspecto ambiental ayuda a reutilizar las aguas residuales, así mismo el efluente tratado con este sistema cumple con los “límites máximos permisibles”, por consiguiente, puede ser vertido a un cuerpo receptor y puede ser utilizado con fines de riego agrícola. Además, genera como subproducto humos de lombriz que puede ser aprovechado como abono orgánico en la agricultura (6).

1.3.3. Social (salud, educación)

Las comunidades que se encuentran en la periferia urbana del Perú no cuentan con servicios básicos de agua potable y saneamiento, ya que la mayoría de las plantas de tratamiento tienen costos elevados de mantenimiento, operación y construcción, con la implementación de este sistema de vermifiltro ayuda a mejorar la calidad de vida de las personas con una formación de una cultura sostenible, en la salud como una alternativa viable para disminuir las

enfermedades gastrointestinales, a la vez este sistema no genera malos olores (14).

1.3.4. Teórica

La presente investigación se justifica teóricamente porque aplica conocimientos científicos basados en el proceso de filtración convencional y el uso de sistema de vermifiltro, que contiene lombrices de *Eisenia foetida* que degradan la materia orgánica del agua residual doméstica (13).

1.3.5. Tecnológica

El resultado obtenido en el presente estudio contribuirá con el conocimiento científico de esta nueva tecnología, a la vez podrá ser utilizado como base para estudios posteriores, ya que permitirá evaluar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la remoción de contaminantes críticos en las aguas residuales domésticas de las aguas residuales domésticas de la comunidad de La Punta -Sapallanga.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

El sistema de vermifiltro es eficiente en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta - Sapallanga.
- Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta-Sapallanga.
- Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Sólidos Suspendidos Totales de las aguas residuales” de la comunidad la Punta - Sapallanga.

- La comparación de resultados del tratamiento con el sistema de vermifiltro, se ajustan a los valores del Límite Máximo Permisible de agua.

1.4.3 Operacionalización de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables de eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga

Tipo de variables		Definición conceptual	dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Escala de medición
Variable independiente	Eficiencia del sistema de vermifiltro	Es un sistema biológico que utiliza para la degradación de materia orgánica de agua residual una población lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>)	Caudal 25	Caída de flujo menos de 50 mL/min	mL/min	Razón/proporción
			Caudal 50	Caída de flujo menos de 75 mL/min	mL/min	
			Caudal 75	Caída de flujo más de 50 mL/min	mL/min	
Variable dependiente	Contaminantes críticos de aguas residuales domésticas	Las aguas residuales presentan alta concentración de DBO ₅ , DQO Y SST que causan la desoxigenación de las aguas, esto puede afectar el requerimiento de oxígeno de la vida acuática.	Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅ <=100	mg/L	Razón/proporción
			Demanda química de oxígeno	DQO <=200	mg/L	
			Sólidos Totales Suspendidos	SST<=150	mg/L	
			pH	6.5 < pH < 8.5	
		Es el cálculo de la eficiencia de un sistema.	Eficiencia de remoción	% remoción = $\frac{v_i - v_f}{v_i}$	%	Razón/proporción

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis “*Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida*” (15), se sostuvo como objetivo “diseñar y construir un sistema sobre tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Pamplona”, obtuvo como resultado la evaluación de rendimiento del sistema de lombrifiltro, a partir del comportamiento de DQO y los SSV como la biomasa del sistema, estudió todo los factores que intervienen en el sistema como pH, temperatura, caudal, tiempo de retención hidráulica y variedad de lechos utilizados, llegando a un resultado de eficiencia a 92,06% de remoción de contaminantes en las aguas residuales. Además, concluye que el uso de estrato de antracita posibilitó remover alta carga orgánica y sólidos en el agua residual que ayudó a obtener como agua tratada más clara, sin olor y oxigenada (15). Relevancia: este artículo es relevante para la tesis porque permite conocer a detalle el comportamiento del sistema de lombrifiltro, como también da a conocer el uso de diferentes materiales en la estructura del biofiltro que está compuesto por 4 capas, una capa filtrante de aserrín con *Eisenia foetida*, seguido de piedra antracita que facilita purificar el agua residual.

En la tesis titulada “*Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia foetida y Agave pilífera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja de Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Riobamba 2015*” (16), el estudio aporta una metodología utilizando en su prototipo de sistema de vermifiltro, un tanque de 60 litros, una estructura metálica, ducha de jardín, 5 recipientes de plástico y una bomba sumergible. En el primer estrato del filtro se encuentra *Eisenia foetida* con aserrín, segundo estrato agave pilífera, tercer estrato grava y el último estrato se encuentra piedra del río. Obteniendo como resultado de eficacia en la remoción de coliformes fecales un 94,4%, “Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 87,7%, Demanda Química de Oxígeno (DQO)” 92,2%, llegando a la conclusión que el sistema de vermifiltro tiene buena eficacia en la eliminación de contaminantes (16). Relevancia: aporta a la investigación una metodología apropiada para instalar un prototipo de sistema de vermifiltro utilizando como estrato filtrante agave pilífera, que se compara con otros estratos, además demuestra datos de eficiencia del sistema de vermifiltro en remover los parámetros de “Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes fecales” (16).

En la tesis titulada “*Biorremediación de las aguas residuales provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante sistema Tohá*” (17), el estudio aporta una metodología apropiada para el sistema vermifiltro que tiene las siguientes características:

- Utilizó un recipiente de material policarbonato con una medida de 20 x 40 x 30 centímetros de profundidad.
- Utilizó 4 estratos (grava gruesa, grava pequeña, *Eisenia foetida*, arena y aserrín).
- Utilizó un sistema de riego mediante goteos utilizando mangueras con orificio.

Presenta como resultado remoción de “Demanda Química de Oxígeno (DQO) 77%, Turbidez en un 68%, Sólidos Suspendidos un 65%, Aceites y grasas” en un 63%. Llegando a la conclusión que la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) puede adaptarse fácilmente a diferentes tipos de aguas residuales (17). Relevancia: la tesis aporta a la investigación en consolidar el

uso de estratos del sistema de vermifiltro, además aporta la información de oxigenar cada 4 días al estrato de lombriz roja (*Eisenia foetida*) (17).

En la tesis titulada “*Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra*” (18), el estudio aporta una metodología apropiada para la obtención de resultados esperados sobre el porcentaje de eficiencia del sistema de vermifiltro, la metodología tiene las siguientes características.

- Utilizó una estructura metálica para colocar los estratos con las siguientes medidas: 3 metros de largo, 0,50 metros de ancho y 1,30 metros de alto.
- Se realizó dos tratamientos y 3 repeticiones el primer tratamiento utilizó piedra pómez y el segundo tratamiento utilizó piedra bola.
- Utilizaron los siguientes sustratos, piedra pómez ocupó el 10% (10 cm) “en el primer recipiente y 10% (0,10 metros) de piedra bola en el segundo recipiente, 10% (0,10 metros) de grava de 2,5 – 3 centímetros y 5% (0,05 metros) de la mezcla entre aserrín y viruta, 10% (0,10 m) de suelo de la granja y lombrices”.

Presenta como resultado la remoción de contaminantes con la piedra bola 95% y piedra pómez un 96% de “Demanda Química de Oxígeno” y de “sólidos totales” 58% piedra bola, 68% piedra pómez. Llegando a la conclusión de que el agua tratada con el sistema de vermifiltro cumple con los límites máximos permisibles (18). Relevancia: esta tesis es importante para la investigación porque ayuda a ver la eficiencia de uso de diferentes sustratos en la composición del sistema de vermifiltro, además brinda información de tiempo de adaptación de *Eisenia foetida* y el tiempo de toma de muestreos que serán utilizados en la investigación.

En la tesis titulada “*Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*” (19), el estudio usó metodologías cuantitativas para el diseño del sistema de vermifiltro una ecuación donde la tasa de riego es igual a caudal entre volumen, esto debe ser menor que el riego que debe soportar el lecho para que no muera la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) por falta de oxígeno que es igual a $1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$, obtuvo resultado según la información recopilada una eficiencia de remoción de

95% de “Demanda Bioquímica de Oxígeno, 95% Sólidos Totales, 93% Sólidos Suspendidos Volátiles, 80% de Aceites y grasas, 60 a 80% de nitrógeno total, 60 a 70% fósforo total y un 99% Coliformes Totales”. Llegando a la conclusión que del uso de sistema de lombrifiltro se obtienen buenos resultados en remoción de contaminantes. Además, este sistema no genera lodos, sino produce humos que puede ser utilizado como abono natural (19). Relevancia: esta tesis contribuye a la investigación de una ecuación para hallar el área del sistema de vermifiltro piloto, asimismo, aporta la información de características físicas y condiciones favorables de la *Eisenia foetida*.

En la tesis titulada “*Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina*” (20), el estudio aporta una metodología adecuada para el tratamiento de aguas residuales por el sistema vermifiltro. Además, la metodología tiene las siguientes características:

- Utilizó una estructura de polietileno con una altura de 80 centímetros, ancho de 30 centímetros y un largo de 40 centímetros, el agua es suministrada por 2 cubetas perforadas por el sistema de goteo.
- El sistema de vermifiltro tuvo 5 capas filtrantes, en la primera capa usó piedra de 7 a 9 centímetros de diámetro con una profundidad de 15 centímetros, en la segunda capa, piedra de 3 a 5 centímetros, con una profundidad de 10 centímetros, en la tercera capa utilizó grava con una profundidad de 5 centímetros, cuarta capa que consta de arena con una profundidad de 10 centímetros y la última capa de 5 centímetros de *Eisenia foetida*.
- Utilizó 100 lombrices en el sistema de vermifiltro.

Presenta como resultado un porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en 77% y 60%, Demanda Química de Oxígeno en 78% y 58% y Sólidos Suspendidos Totales en un 98% y 97% para RIL tratado diluido y no diluido respectivamente, en comparación al RIL crudo sin tratar (20). Relevancia: esta tesis es importante para la investigación porque utiliza medidas similares al prototipo que se está utilizando y además utiliza 100 lombrices rojas californianas para el “tratamiento de aguas residuales”.

El artículo científico titulado “*Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales*” (21), cuyo objetivo fue “diseñar e instalar un vermifiltro piloto para el tratamiento del agua y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes por vermifiltración”. Presenta como resultado con una tasa de filtración de 0,180 m³/m²/día y con carga orgánica superficial de 108 gramos/m²/día obtuvo una remoción de 92% de “Demanda Química de Oxígeno, 99% Demanda Bioquímica de Oxígeno y 97% de Sólidos Suspendidos Totales”. El estudio aporta una metodología apropiada para la obtención de resultados del sistema de vermifiltro. Además, la metodología presenta las siguientes características:

- Las dimensiones del reactor fueron: 0,55 metros de diámetro, 1,1 metros altura, volumen de 0,26 m³ y área superficial de 0,24m².
- Utilizó 4 capas de sustrato, en la primera capa utilizaron residuos orgánicos crudos con lombrices de *Eisenia foetida* y microorganismos, en la segunda capa utilizó vermicompost estabilizada, en la tercera capa tezontle piedra de lava volcánica y la última capa utilizó grava triturada de roca caliza.
- Utilizó tres etapas en las que suministraron 3 tasas de filtración y 3 cargas orgánicas superficiales, la primera etapa tuvo una tasa de filtración de 0,180 m³/m²/día con una carga orgánica de 108 gramos/m²/día; etapa 2 tasa de filtración 0,120 m³/ m²/ día con una carga orgánica 37 gramos/m²/día y etapa tres tuvo una tasa de filtración de 0,240 m³/m²/día con carga orgánica superficial 61 gramos/m²/día.(21). Relevancia: el estudio aporta en la metodología y ayuda a definir la alta eficiencia de *Eisenia foetida* en el vermifiltro piloto.

En la tesis titulada “*Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales*” (22), el estudio aporta una metodología de uso de tres vermifiltros a escala de laboratorio, los mismos que contienen diferentes estratos. Obteniendo como resultado para la concentración fuerte una “remoción máxima de 97,7% de turbidez, 59,7% de conductividad eléctrica, 81,4% de sólidos totales, 94,5% de Demanda Bioquímica de Oxígeno, un 94.1% de Demanda Química de Oxígeno, 74,5% nitrógeno total y 50,6% de fósforo total y para el agua residual doméstica de media concentración, la máxima remoción obtenida fue 98,3% de turbidez, 32,6% de conductividad eléctrica, 66,2% sólidos totales, 97,6% de Demanda

Bioquímica de Oxígeno, 96,6% de Demanda Química de Oxígeno, un 74,2% de nitrógeno total y un 85,2% de fósforo total” (22). Relevancia: es importante para la investigación porque obtiene buena eficacia de eliminación de materia orgánica utilizando *Eisenia foetida* en el sistema de vermifiltro lo que permite consolidar el estudio.

El artículo científico titulado “*Vermifiltration of Sewage Wastewater using Eisenia Foetida Earthworms for Potential use in Irrigation Purposes*” (23), cuyo objetivo fue “tratar las aguas residuales para su posible uso en el riego de vegetales, utilizando 500 lombrices durante un periodo de 5 días”. Obtuvo como resultado con el uso de *Eisenia foetida* en el sistema de vermifiltro, una remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) de 98%, Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 70%, Sólidos Totales Disueltos y Solubles (TDSS) de 95% y Turbidez 98%. El estudio aporta una metodología adecuada para obtener los resultados y tiene las siguientes características.

- Utilizó dos lechos filtrantes uno con *Eisenia foetida* y el otro sin *Eisenia*, con el propósito de obtener el porcentaje de “eficiencia de lombriz roja californiana en el tratamiento de aguas residuales”.
- En la composición de lecho filtrante utilizaron los siguientes materiales: grava de diferentes granulometrías, tierra de jardín, un aspersionador, un filtro de plástico fibroso, 500 unidades de *Eisenia foetida*.

Llegando a la conclusión que el uso del sistema de vermifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas residuales y el agua tratada es apta para utilizar con fines de riego (23). Relevancia: el estudio aporta a la investigación definir el uso de lombriz *Eisenia foetida* en el tratamiento de aguas residuales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis titulada “*Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera La Bodeguilla – valle de Moquegua*” (24), el estudio aporta una metodología adecuada para el sistema de vermifiltro y tiene las siguientes características.

- Utilizó un módulo a base de vidrio con las siguientes medidas: 30 cm de ancho, 48 cm de largo, 80 cm de altura.

- El área total del módulo fue calculada teniendo en cuenta la tasa de riego menor a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.
- Estructura de prototipo estuvo conformada por 4 capas, arena gruesa de 20 cm de altura, arena fina 25 cm de altura, aserrín 25 cm de altura y por último las lombrices de *Eisenia foetida* y materia orgánica tuvieron 5 cm de altura.

Presenta como resultado que el sistema de lombrifiltro más los microorganismos eficaces lograron remover 78,39% de “Demanda Química de Oxígeno”, en el tratamiento de aguas residuales industriales (24). Relevancia: esta tesis es importante para la investigación porque utiliza una metodología apropiada para el análisis del sistema de vermifiltro. Además, presenta datos de diseño del prototipo que fueron utilizados en esta investigación.

En la tesis titulada “*Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de DBO_5 y DQO de las aguas residuales domesticas del distrito de Moche*” (25), el estudio aporta una metodología de uso de 3 recipientes de vidrio con “3 repeticiones de tratamiento, para lo cual se tomó durante tres fechas las muestras para la aplicación en el sistema” y para el prototipo consideró estrato de humos, aserrín, piedra grava de 0,4 cm y 0,7 cm, también consideró tres tipos de caudal: el primero 50 mL/min, segundo 75 mL/min y tercero 100 mL/min, de igual forma las dimensiones del filtro fueron de 20 cm de largo, 25 cm de ancho y 25 cm de altura con 125 lombrices. Obteniendo resultados en remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno” 83,87%, en “Demanda Química de Oxígeno” 72,43%. Llegando a la conclusión que el caudal de 50 mL/min tuvo un mejor rendimiento en remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales”. Asimismo, sugiere usar mayor cantidad de aserrín en la capa de vermifiltro para obtener una mejor retención de materia orgánica (25). Relevancia: esta tesis aporta a la investigación en la parte metodológica sobre todo en la consideración de 3 caudales y confirma su eficiencia del sistema de vermifiltro.

El trabajo de investigación titulado “*Aplicación de vermifiltro para reducir el DQO y DBO del agua residual de un laboratorio de análisis químico, 2018*” (13), la metodología consistió en usar 2 recipientes de botellones comerciales de

agua de 20 litros para el prototipo de sistema de vermifiltro, presenta como resultado porcentaje de remoción de sistema de vermifiltro I en “Demanda Química de Oxígeno 76,43%, Demanda Bioquímica de Oxígeno 60,46% y el sistema de vermifiltro II en Demanda Química de Oxígeno 79,53%, Demanda Bioquímica de Oxígeno” fue de 73,61 %, llegando a la conclusión que el vermifiltro II resultó ser más eficiente. Asimismo, recomienda probar la técnica del sistema de vermifiltro para descubrir su capacidad de reducción con otros tipos de contaminantes de aguas residuales y dar un nuevo uso para otros fines (13). Relevancia: esta tesis es relevante ya que ayuda mucho en la metodología que utiliza y según los resultados que se obtuvo en esta investigación tiene una buena eficiencia el sistema de vermifiltro a escala de laboratorio.

El trabajo de investigación titulado “*Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chachapoyas-Amazonas*” (14), el estudio aporta una metodología que tiene las siguientes características.

- Utilizó un “recipiente de plástico de dimensiones 0,25 m x ancho 0,45 m largo x 0,20 m de profundidad”.
- En los estratos del prototipo utilizó 1 kg de *Eisenia foetida*, 1 kg de *Lumbricus terrestres*, 2 kilos de aserrín blanco, piedras de distintas granulometrías
- Un tanque de 140 litros de capacidad.
- El proceso de adaptación de *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestres* duró 7 días.

Como resultado se obtuvo utilizando la especie *Eisenia foetida* 92% DBO₅, 86%DQO, 78% nitrógeno total, 93% pH, 84,4% turbidez y 84% en conductividad eléctrica y utilizando las *lombrices terrestres* o lombriz de tierra 91%DBO₅ y 84% DBO₅, 77% nitrógeno total, 83% turbidez, 93% pH y 80% en conductividad eléctrica. Llegando a la conclusión que la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es más eficaz para el tratamiento de aguas residuales. Asimismo, recomienda que es muy importante la consideración de la temperatura entre 20 y 25 °C (14). Relevancia: esta tesis es relevante para la investigación porque proporciona información científica de la eficiencia de remoción de materia orgánica por la *Eisenia foetida* con la comparación con *Lumbricus terrestres*.

El trabajo de investigación titulado “*Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín*” (26), el estudio aporta una metodología adecuada para la obtención de resultados. Además, tiene las siguientes características:

- Un módulo experimental construido con un metro de largo, un metro de ancho y un metro de altura en el mismo lugar del efluente.
- En los sustratos del sistema utilizados son grava, viruta de pino, malla raschell, regadera, losetas, lombriz roja californiana.
- Para la toma de muestras lo consideró cada 7 días y con 3 repeticiones.

Los resultados de esta investigación fueron que el sistema de vermifiltro remoción 96% de “Aceites y grasas, DBO₅ 95%, DQO 92%, oxígeno disuelto 59%, Sólidos Sedimentables” 96%. Llegando a la conclusión que la eficacia de eliminación de materia orgánica del “biofiltro es superior al 50% de la carga orgánica inicial del efluente industrial analizado” (26). Relevancia: esta tesis es relevante para la investigación porque apoya bastante la parte metodológica y concretiza la eficiencia del sistema de vermifiltro.

En la tesis titulada “*Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines*” (27), el estudio aporta una metodología apropiada para la obtención de los resultados y tiene las siguientes características:

- Utilizó 2 baldes de 20 litros de capacidad como sistema de vermifiltro.
- Utilizó en el primer estrato aserrín y *Eisenia foetida*, en el segundo estrato grava de 1 cm de grosor, en la tercera grava de 3 cm de diámetro y cuarta capa piedras del río.

Obteniendo como resultado una eficiencia de remoción utilizando *Eisenia foetida*, en “Demanda Bioquímica de Oxígeno” 81,36%, “Demanda Química de Oxígeno” 80,82%, Sólidos Suspendidos Totales 97,77%, Coliformes Termotolerantes de 97,39% (27). Relevancia: el estudio aporta en definir los estratos que se utilizaron en la investigación y muestra la eficiencia del sistema de vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales industriales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tipos de aguas residuales

Según OEFA las aguas residuales se clasifican en las siguientes:

2.2.1.1. Aguas residuales domésticas

Son aguas residuales de origen residencial y comercial porque tiene mayor concentración de materia orgánica que contiene desechos fisiológicos, por lo tanto, estas deben ser dispuestas de manera adecuada (7).

2.2.1.2. Aguas residuales municipales

“Son aguas residuales domesticas que son mezcladas con aguas de drenaje fluvial, o con aguas residuales de origen industrial con previo tratamiento y aptos para ser admitidos en los sistemas de alcantarillado” (7).

2.2.1.3. Aguas residuales industriales

Son aguas residuales provenientes de cualquier actividad industrial, que pasó por los diferentes procesos de producción, transformación, limpieza, etc., su composición es muy variable, ya que depende mucho de la actividad de la industria (28).

2.2.2. Características de agua residual doméstica

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por su composición física, química y biológicas. A continuación, se detalla lo siguiente:

2.2.2.1. Características físicas

a) Sólidos Suspendidos Totales

Es la fracción de “sólidos totales retenidos en un filtro de fibra de vidrio con tamaño” de poro específico, medido después de que ha sido secado a una temperatura de 103 a 105°. Los valores altos de sólidos totales afectan la entrada de “luz limitando la vida acuática”, como también puede transportar sustancias tóxicas o nocivas (29).

b) Temperatura

La temperatura de agua se establece por la absorción de radiación en su capa superior del líquido, este parámetro es de vital importancia en el sistema de vermifiltro porque su cambio brusco podría afectar directamente a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) (30).

c) Olor

Las aguas residuales presentan olores de ácido sulfúrico, amoníaco y aminas (olor de pescado), mercaptanos (olor a coles podridas) etc., lo cual indica que la materia orgánica presente está en descomposición (19).

d) Color

La cloración indica la descomposición y concentración de aguas residuales, esto indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual (19).

e) Turbidez

Es debido a la existencia de materia orgánica en suspensión de tamaño menor como: arcilla, limo, etc. Cuanto más mayor sea la cantidad, la contaminación de agua será mayor (19).

2.2.2.2. Características químicas

a) DBO₅

La “Demanda Bioquímica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente” en una muestra de agua, se expresa en mg/L (ppm). La determinación de esta se encuentra relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consume los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (9). La oxidación biológica de materia orgánica se lleva aproximadamente 20 días, pero el análisis realizado durante 5 días de incubación (DBO₅) es suficiente, a una temperatura de 20 °C (19).

b) DQO

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar químicamente la materia orgánica y se expresa en mg/L (ppm). Este parámetro generalmente es mayor que DBO₅, ya que es mucho mayor la cantidad de compuestos que pueden oxidarse químicamente (31).

c) pH

El pH mide la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. El pH de las aguas residuales domésticas oscila entre 6,5 y 8,5; fuera de este rango la *Eisenia foetida* empieza a morir, por ello este parámetro debe ser medido antes de ser utilizado en el tratamiento de sistema de vermifiltro (31).

2.2.2.3. Características biológicas

Los principales grupos de microorganismos biológicos se pueden ubicar en las aguas residuales, que muchos de ellos intervienen en el tratamiento, dentro de ellas se encuentran las bacterias anaerobias, aerobias, bacterias coliformes, hongos, virus y las algas (32).

a) Coliformes

“Son las bacterias que sirven como indicadores de contaminantes y patógenos, estos provienen de tracto intestinal de seres humanos y otros animales” (32).

b) Bacterias

Tiene un papel fundamental en el tratamiento de aguas residuales porque se encargan de descomponer y establecer la materia orgánica, estas se clasifican en heterótrofas y autótrofas (32).

2.2.3. Niveles de tratamiento de aguas residuales

Según la norma OS-090 se clasifica en los siguientes:

2.2.3.1. Pretratamiento

Es un proceso que busca retener residuos sólidos de mayor dimensión para evitar daños a la infraestructura, en esta etapa mayormente se usan los

cribas o cámara de rejas, desarenadores y trampa de grasas en el tratamiento de aguas residuales municipales, para que no pueda obstaculizar los siguientes procesos de tratamiento (6).

2.2.3.2. Tratamiento primario

Es considerado una unidad de tratamiento primario todo sistema que permite remover sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables; puede ser tanque Imhoff, tanque de sedimentación primario y tanques de flotación, que permite remover en un 60 a 70% de Sólidos Suspendidos Totales, 30% de Demanda Bioquímica de Oxígeno, en zonas rurales es muy común emplear tanque séptico como tratamiento primario (33).

2.2.3.3. Tratamiento secundario

Según la norma OS.090, el tratamiento secundario es la inclusión de los procesos biológicos en la remoción de materia orgánica disuelta en el efluente luego del tratamiento primario, con una eficiencia de remoción de 75 a 95% en DBO₅ y sólidos en suspensión; los sistemas más empleados son: filtros biológicos, lodos activados como zanjas de oxidación lagunas de estabilización y módulos rotatorios de contacto (34).

2.2.3.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario tiene el objetivo de remover patógenos y nutrientes como fósforo y nitrógeno, entre estos métodos incluye separación de “sólidos en suspensión (filtración, coagulación, absorción en carbón activo, intercambio iónico, etc.), eliminación de nutrientes” (eliminación de nitrógeno y fósforo) y oxidación de materia orgánica (cloración o zonación) (33).

2.2.4. Puntos de muestreo

Según el Ministerio de Construcción de Vivienda y Saneamiento, para verificar la eficiencia de la planta de tratamiento, existen 2 tipos de monitoreo.

2.2.4.1. Agua residual cruda, entrada al PTAR

El punto de monitoreo se debe ubicar en un lugar donde no existe interferencia de sólidos de gran tamaño, que pueda alterar los resultados (35).

2.2.4.2. Agua residual tratada, salida de PTAR

El punto de monitoreo se debe ubicar en la salida de agua residual tratada, si hay varios puntos de salida, se dará en cada uno de ellos (35).

2.2.5. Sistema Tohá o vermifiltro

Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales de carácter aeróbico, basado en la tecnología de lombrices (*Eisenia foetida*), creado por Dr. José Tohá de la Universidad de Chile en 1992. Por su característica física estructural este sistema tiene alta eficiencia en remoción de contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua residual, ya que está compuesto de diferentes estratos filtrantes, por lo cual pasa el efluente a tratar; en el primer estrato se encuentra la lombriz *Eisenia foetida* que se encarga de consumir la “materia orgánica”, que posteriormente lo utiliza como fuente de alimento y energía para sus procesos metabólicos, luego a través de sus deyecciones producen el denominado humos y la otra parte de materia orgánica es consumida por los demás microorganismos presentes en los diferentes estratos del sistema Tohá (15). El sistema Tohá no requiere de tratamiento primario (31), está compuesto básicamente por cámara de rejillas que tiene la función de retener residuos sólidos de mayor tamaño, una planta elevadora que tiene la función de elevar el caudal de agua a los espacios del sistema de vermifiltro y otro porcentaje que será devuelto a la cámara de rejillas para disolver los sólidos retenidos y, posteriormente, según el uso que se pretenda dar el efluente es expulsado a una cámara de desinfección, donde se eliminan las bacterias patógenas y nutrientes que no fueron removidos en el sistema (19).

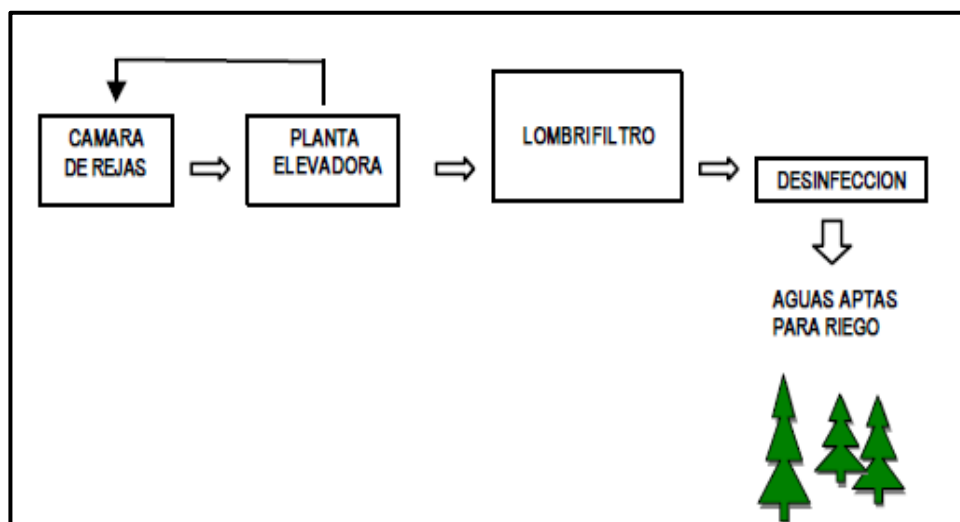


Figura 3. Esquema de sistema Tohá o vermifiltro (19)

2.2.5.1. Los componentes de sistema de vermifiltro

El sistema de lombrifiltro está compuesto por 4 capas o estratos, la primera capa está compuesta por humos de lombriz donde se encuentra la lombriz *Eisenia foetida*, la segunda capa está conformada por aserrín que sirve como filtro y alimento en suceso de que la carga contaminante sea baja, esto debe tener por lo menos un espesor de 25 centímetros para lograr mayor eficiencia, la tercera capa está compuesta de arena gruesa o ripio que sirve como filtro y la cuarta capa consta de piedras más grandes como grava, que sirve como aireador y permite que se forme la flora bacteriana que ayuda significativamente en la degradación de la materia orgánica del efluente, que dejó pasar las primeras capas del sistema de vermifiltro (19). Entre los “estratos de aserrín y arena gruesa hay una malla de tipo raschell”, que sirve como como componente de separación y retención para el estrato de aserrín y que las lombrices no ingresen a las demás capas del filtro. En la parte inferior se debe colocar el piso del filtro conocido como falso fondo que debe tener un pendiente de 1% aproximadamente, para permitir la salida de agua, en el perímetro interno del sistema de vermifiltro se deben instalar tubos de PVC con un diámetro de 110 milímetros, con pequeños orificios de 10 milímetros y con una distancia aproximada cada 2 metros cada uno, los cuales van de forma vertical y que debe sobresalir 20 cm de lecho filtrante, estos tubos permitirán airear la capa inferior del soporte. El ingreso del agua residual se lleva a cabo por la parte superior del filtro con la ayuda de aspersores pequeños y en la parte inferior se ponen los tubos recolectores de las aguas residuales tratadas (36).

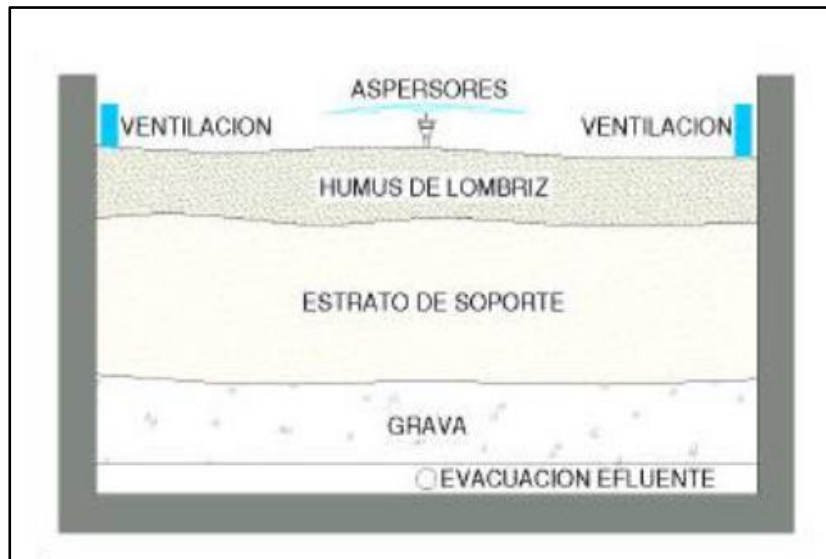


Figura 4. Estructura de sistema de vermifiltro (24)

a) Aserrín o estrato de soporte

Es el resultado del proceso de serrado de madera, que está compuesto principalmente por la fibra celulosa, hemicelulosa y lignina de materia orgánica. Que puede ser utilizado como materia prima, para tratamiento de “aguas residuales”, ya que sirve como sustrato alimenticio para la lombriz *Eisenia foetida* cuando el efluente tiene baja de carga de materia orgánica (37). También cumple la función de depurar la materia orgánica, gracias a la presencia de diferentes bacterias filamentosas que logran estabilizarse como *Sphaerotilus Natans*, *Beggiatao* y entre otras (14).

b) Humos de lombriz

Este se da como resultado del consumo de materia orgánica por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), que comprende un 60% aproximadamente de ello, es un fertilizante orgánico con una abundancia de flora bacteriana, con un pH neutro, tiene una estructura apelmazada, suave, esponjosa que facilita la retención hidráulica del suelo, aireación del mismo, además contiene un valor nutritivo para las plantas como el magnesio, calcio, fósforo y nitrógeno, lo cual facilita el crecimiento de las plantas y permite enriquecer el suelo, por ende en los últimos años los humos han sido utilizados como enmienda para remediar innumerables suelos contaminados por metales pesados y sustancias químicas (38).

c) Grava

La grava es la última capa del sistema de vermifiltro, donde las piedras grandes se ponen en la parte inferior, mientras que los más pequeños van en la parte superior, aquí se da el drenaje de las aguas residuales y la aireación del sistema (37).

2.2.6. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

La lombriz roja californiana es de color rojo oscuro, que se ocupa de consumir la materia orgánica o nutrientes como carbono, potasio y fósforo presentes en el agua residual, transformando por oxidación, en anhídrido carbónico y agua, esta especie cada 24 horas consume una cantidad de materia orgánica equivalente a su peso, de los cuales el 60% de lo que consume lo transforma en humos y el 40% lo utiliza en respiración, síntesis celular y otros procesos vitales (17). Además, a través de sus movimientos migratorios aumentan la porosidad del medio filtrante, que facilita la oxigenación lo que conlleva a no generar malos olores, como también realiza mecanismo de biodegradación, ingestión y absorción reduciendo patógenos y compuestos presentes en el agua residual. Esta especie es la más adecuada para la experimentación, ya que es la más apta para el cautiverio y tiene alta eficiencia reproductiva, tolerancia a factores ambientales y alta remoción en “Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno” (13).

2.2.6.1. Clasificación taxonómica de la lombriz roja (*Eisenia foetida*)

La clasificación taxonómica de la *Eisenia foetida* (39) es de la siguiente manera:

- **Reino:** Animal
- **Tipo:** Anélido
- **Clase:** Clitelados
- **Orden:** Oligoquetos
- **Familia:** Lombricidae
- **Género:** *Eisenia*
- **Especie:** *Foetida* (39)

2.2.6.2. Características de la Lombriz roja (*Eisenia foetida*)

- a) “Posee boca que se une con la faringe donde lubrica el alimento que pasa al esófago, ahí se encuentran las glándulas calcáreas que tiene la función de excretar el carbonato de calcio y cumple la función de controlar el pH”.
- b) Vive a una temperatura adecuada 15 a 24 °C, pero las “temperaturas inferiores a 0 °C y superiores a 42 °C” son letales para la lombriz.
- c) Necesita de humedad de 70 a 80% para poder vivir.
- d) Puede vivir entre 6 a 8 de pH.
- e) Posee sangre en el cuerpo que tiene la función de “absorber sustancias alimenticias y liberar residuos solubles en los riñones, transportar oxígeno y liberar gas carbónico”.
- f) Respira a través de epidermis.
- g) Tiene un cuerpo de forma cilíndrica que contiene numerosos anillos de 120 a 175 segmentos.
- h) Puede llegar a pesar cuando está en la etapa adultez desde un 1 gramo a 1,4 gramos.
- i) Su tiempo de vida puede variar aproximadamente entre 1 y 4 años cuando están en cautiverio.
- j) Las lombrices son hermafroditas, pero necesitan aparearse para poder reproducirse, la fecundación se da a través de clitelo, que producen la cápsula donde surgen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación, en una cantidad de 2 a 21 ejemplares. Dentro de 50 y 56 días ya pueden llegar a medir entre 2 y 3 centímetros y a los 4 meses ya son adultos y ya pueden aparearse.
- k) Expuesto a los rayos ultravioletas muere en pocos minutos (39).

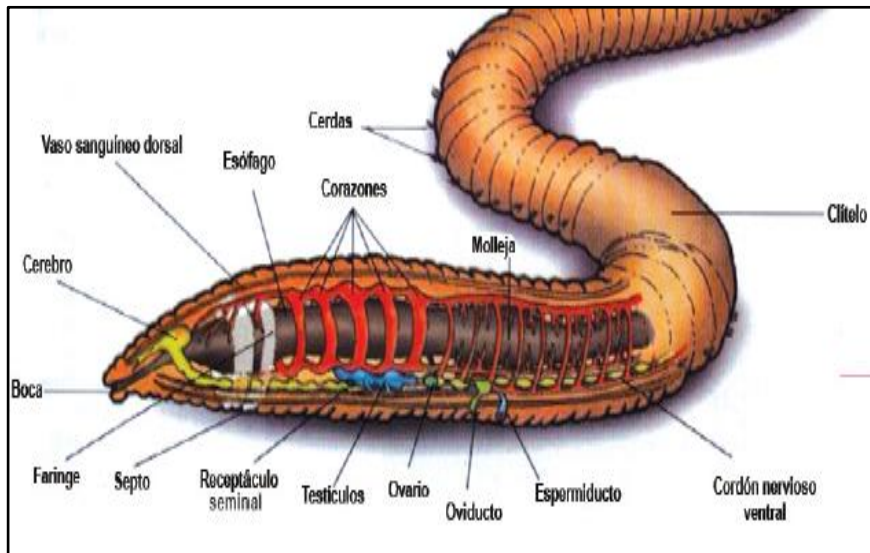


Figura 5. Morfología de lombriz (*Eisenia foetida*) (39)

2.2.7. Base legal

2.2.7.1. Límite máximo permisible

“Es la medida de la concentración del grado de elementos, sustancias o parámetros físico, químicos y biológicos, que al ser excedidas puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente” (40). Según el Decreto Supremo N.º 003 – 2010 – MINAM; los límites máximos permisibles para los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales son:

Tabla 3. Límite máximo permisible

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para ser vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	200
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	100
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Tomada de la Guía de Lombricultura (39)

2.2.8. Diseño de vermifiltro

2.2.8.1. Parámetros de diseño

Para el diseño del prototipo del sistema de vermifiltro se tomó en cuenta la tesis titulada “*Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*”, aplicando el siguiente formula (19).

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

a) Criterios de diseño de prototipo

Para la presente investigación se diseñaron 3 recipientes de forma paralelepípeda (octaedro) (24).

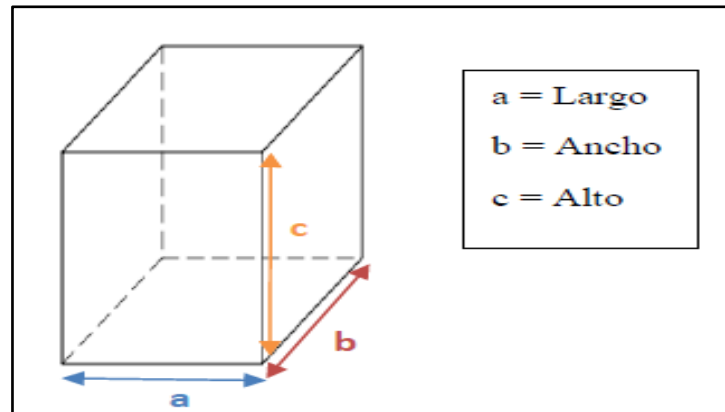


Figura 6. Criterios de diseño de sistema de vermifiltro (37)

b) Ejecución del diseño de prototipo

Según la tesis titulada “*Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de DBO₅ y DQO de las aguas residuales domésticas del distrito de Moche*”, se armaron 3 sistemas de vermifiltro con diferentes caudales (25).



Figura 7. Instalación de sistema de vermifiltro a escala piloto (25)

c) Monitoreos

Se realizaron monitoreos durante 3 semanas, tomando muestreo cada 7 días (26).

2.3. Definición de términos básicos

Aguas residuales tratadas: “son efluentes que pasaron algún tipo de tratamiento y están aptos para ser reutilizados con fines de riego o puede ser descargado a un cuerpo receptor” (6).

Afluente: “es el líquido que ingresa a cualquier planta de tratamiento de aguas residuales” (19).

Efluente: “es el líquido ya tratado que es expulsado de un sistema de tratamiento de aguas residuales, listo para ser vertido a un cuerpo receptor” (19).

Aguas negras: “son los residuos líquidos provenientes de inodoro, que transportan excremento, orinas Coliformes fecales, etc.” (24).

Sistema Tohá (lombrifiltro): es un sistema de tratamiento biológico de agua residual creada por el doctor José Tohá, que utiliza la lombriz roja californiana para consumir material orgánico y un filtro percolador (31).

Norma OS-090 PTAR: “Reglamento Nacional de edificaciones aprobada mediante D. S. N.º 022-2009- vivienda” (34).

Vermicompost o humos de lombriz: es un abono natural rico en nutrientes, resultado de la descomposición de materia orgánica que le sirvió como alimento a *Eisenia foetida* (41).

Cadena de custodia: “es un documento utilizado para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados” (35).

Grava: “son las rocas formadas por clastos de diferentes tamaños, la mayoría de estos son procedentes de la erosión hídrica, se caracteriza por la resistencia mecánica” (37).

Filtros biológicos: son filtros que utilizan organismos vivos para reducir la materia orgánica presente en el agua residual, son económicos y fáciles de construir (13).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

El método general de investigación es científico (42), porque se realizó la aplicación de conocimientos científicos, para la obtención del resultado del problema de la eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos (“Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales”) de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga, a través del uso del método científico. El método específico de la investigación es inductivo experimental (42), ya que la investigación realizó un análisis de las hipótesis específicas hacia la general.

3.1.2. Nivel

La investigación es aplicada (42), porque justifica adelantos de productos tecnológicos, y con ello se pretende resolver con esta investigación científica los problemas de la vida cotidiana aplicando el sistema de vermifiltro.

El nivel de investigación es explicativo (42), porque se efectuó el estudio de variables, asimismo se pretende dar una explicación de la eficiencia del sistema de vermifiltro en las aguas residuales domésticas y la “remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales” y pH.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño experimental

El diseño de la investigación es experimental (42), ya que se controla o manipula la variable independiente que es el sistema de vermifiltro.

Tabla 4. Diseño de investigación

Sistema de vermifiltro	Duración		
	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Tratamiento 1 caudal 25 mL/min	% de reducción de DBO ₅ , DBO y SST	% de reducción de DBO ₅ , DBO y SST	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST
Tratamiento 2 Caudal 50 mL/min	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST.
Tratamiento 3 caudal 75 mL/min	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST	% de reducción de DBO ₅ , DQO y SST

3.2.1.1. Investigación preexperimental

El diseño de la investigación es preexperimental (42), ya que tiene más de un grupo experimental, además de no tener con obligatoriedad un grupo experimental de control.

GE1 O1 ----- X1 ----- O2

O1: medida inicial de los parámetros fisicoquímicos

X1: aplicación de sistema de vermifiltro con un caudal de 25 mL/min

O2: medida final de los parámetros fisicoquímicos

GE2 O1 ----- X2 ----- O2

O1: medida inicial de los parámetros fisicoquímicos

X1: aplicación de sistema de vermifiltro con un caudal de 50 mL/min

O2: medida final de los parámetros fisicoquímicos

GE3 O1 ----- X3 ----- O3

O1: medida inicial de los parámetros fisicoquímicos

X2: aplicación de sistema de vermifiltro con un caudal de 75 mL/min

O3: medida final de los parámetros fisicoquímicos

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está conformada por 133 l/min de aguas residuales domésticas que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales del centro poblado La Punta, distrito de Sapallanga, provincia Huancayo, departamento de Junín.

3.3.2. Muestra

La muestra fue tomada de manera aleatoria simple, representada por 200 litros de agua cruda residual, que fue tomada después de cámara de reja gruesa de la planta de tratamiento de aguas residuales de La Punta - Sapallanga, donde 11 litros fueron utilizados para la adaptación de *Eisenia foetida* y el resto fue utilizado para el riego del sistema de vermifiltro, la toma de muestra se realizó “acuerdo a lo establecido en el protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos, Autoridad Nacional del Agua – Resolución Jefatural N.º 010- 2016” (43).

3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se emplearon en la investigación es una “ficha de muestreo”, esto se utilizó para el muestreo del afluente y efluente de la planta de tratamiento de La Punta – Sapallanga y para el muestreo de aguas residuales tratadas.

También se usó una cadena de custodia de calidad de agua y esto se aplicó para el análisis de los parámetros que se requirió analizar.

La validación de los datos se dio con el laboratorio IncaLab S. A. C., ya que está acreditada por Inacal en los parámetros que se evaluaron.

3.4.1. Diseño y construcción de sistema de lombrifiltro

Para el diseño del prototipo del sistema de vermifiltro se tomó en cuenta el sistema Tohá, donde dice que la tasa de riego es igual a caudal entre área y esta debe ser menor o igual a una tasa de riego de **1 m³/m²/día** (19).

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

3.4.1.1. Medidas del recipiente

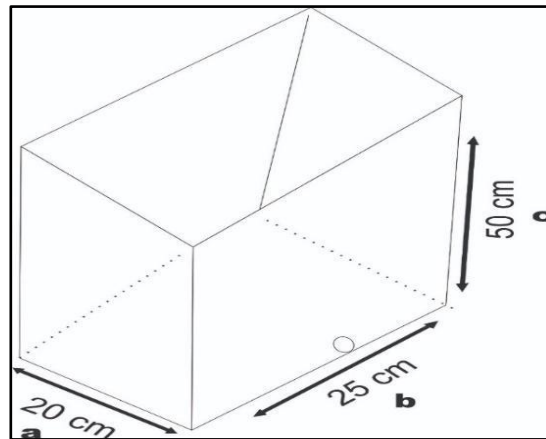


Figura 8. Las medidas del recipiente

- Cálculo de área de sistema de vermifiltro y la tasa de riego

$$\text{Área} = 2(ab + ac + bc)$$

$$\text{Área} = 2(0,2 \times 0,25 + 0,20 \times 0,45 + 0,25 \times 0,45) \text{ m}^2$$

$$\text{Área} = 0,51 \text{ m}^2$$

- Tasa de riego para el caudal 25 mL/min (0,036 m³/día)

$$\text{Tasa de riego} = \frac{0,036 \text{ m}^3/\text{día}}{0,51 \text{ m}^2} = 0,071 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día} \leq 1 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^2 / \text{día}.$$

- Tasa de riego para el caudal 50 mL/min (0,072 m³/día)

$$\text{Tasa de riego} = \frac{0,072 \text{ m}^3/\text{día}}{0,51 \text{ m}^2} = 0,14 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día} \leq 1 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^2 / \text{día}.$$

- Tasa de riego para el caudal 75 mL/min (0,108 m³/día)

$$\text{Tasa de riego} = \frac{0,108 \text{ m}^3/\text{día}}{0,51 \text{ m}^2} = 0,22 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día} \leq 1 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}^2 / \text{día}.$$

- Área requerida para el vermifiltro de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de La Punta – Sapallanga.

Caudal que ingresa al PTAR=133 l/min (191.52 m³/día)

$$\text{Área requerida} = \frac{Q}{\text{Tasa de riego vermifiltro}} \cdot (31)$$

$$\text{Área requerida} = \frac{191.52 \text{ m}^3/\text{día}}{1 \text{ m}^3 / \text{m}^2/\text{día}} = 191,52 \text{ m}^2$$

$$\text{Área requerida} = 191.52 \text{ m}^2$$

3.4.1.2. Materiales

- 4 válvulas reguladoras de ½ pulgada
- Pegamento de PVC
- Teflón
- 1 barril de plástico de 30 litros
- Tubo de ½ pulgada
- 3 recipientes de vidrio de 3 milímetros de grosor con 20 centímetros de ancho x 25 centímetros de largo x 50 centímetros de alto.
- 3 codos T de ½ pulgada.
- 3 regadillos de media pulgada cada uno
- Balanza
- 3 recipientes de plástico
- 1 jarra de 100 ml
- Cronómetro
- Hielo gel
- Grava 10 kg para cada recipiente
- Arena gruesa 10 kg para cada recipiente
- Aserrín 3 kg para cada recipiente
- 125 unidades de *Esenia foetida* y 1 kg de humos de lombriz para cada recipiente
- Zapatos de seguridad
- Guantes, cofia, mascarilla.

3.4.1.3. Metodología

La construcción de sistema de vermifiltro se realizó en Jr. Ricardo Palma 937 en el distrito de Chilca, Provincia Huancayo, departamento de Junín. Se instalaron 3 recipientes de vidrio de la siguiente manera:

Primero: se instaló un barril de 30 litros con una válvula de ½ pulgada en la parte inferior, llenado con aguas residuales domésticas de planta de tratamiento de la comunidad La Punta- Sapallanga

Segundo: se acopló un tubo de PVC de ½ pulgada a la válvula y la distribución a cada uno de los recipientes.

Tercero: se instalaron las válvulas de control a cada uno de los recipientes.

Cuarto: se colocaron los regadíos de tubo con orificios de 2 mm para goteo del agua que permitió la distribución uniforme en el sistema de vermifiltro.

Quinto: se regularon los caudales para cada recipiente, tomando en cuenta el tamaño y la eficiencia del sistema de vermifiltro. El caudal se midió utilizando el método volumétrico, para ello se utilizó una jarra milimetrada y un cronómetro, haciendo juego de válvulas hasta obtener en el primer recipiente 25 mL/min, segundo recipiente 50 mL/min y tercer recipiente de 75 mL/min y se probó 3 veces cada una.

Sexto: se realizó un pequeño orificio de 2 milímetros de diámetro en la parte inferior de cada recipiente, esto permite la salida del agua residual tratada.

Octavo: altura de capas

En cada recipiente del sistema de vermifiltro se consideraron las siguientes capas:

- La primera capa consta de humus con 125 lombrices roja californiana (*Eisenia foetida*) que ocupa una profundidad de 5 centímetros. Donde antes de ser insertada al sistema de vermifiltro la lombriz roja californiana fue regado con las aguas residuales provenientes del PTAR – Sapallanga, durante 7 días. Además, se realizó la prueba de puño para verificar la humedad, que es un parámetro importante para la sobrevivencia de *Eisenia foetida* (14).
- La segunda capa consta de aserrín, que ocupa una profundidad de 20 cm. Según (Patricia Salazar; 2005), sugiere que la parte biológica debe estar entre 60% a 70%, por lo tanto se dispuso que la primera y segunda capa ocupan un 60% del tamaño total del filtro (19).

- La tercera capa consta de arena gruesa de 0,5 a 1 milímetros de diámetro, ocupa una profundidad de 10 centímetros.
- La cuarta capa consta de grava de 3 a 5 centímetros de diámetro, que ocupa una profundidad de 10 centímetros (14).
- Por último, se colocó un recipiente de 5 litros en cada sistema de vermifiltro para recolectar el agua residual tratada. De tal forma el sistema de vermifiltro quedó listo para seguir con la investigación (24).



Figura 9. Diseño de sistema de vermifiltro

3.4.2. Muestreo de agua residual doméstica a tratar

Primera toma de muestra: se realizó la toma de muestra del agua residual que ingresa y sale de planta de tratamiento de aguas residuales de La Punta - Sapallanga.

- Para el riego del sistema de vermifiltro se utilizó el agua residual doméstica que ingresa a la planta de tratamiento de La Punta – Sapallanga.

3.4.2.1. Materiales

- 5 frascos de plástico de 1 litro
- 3 frascos de plástico de medio litro
- Etiquetas para frascos

- Hielo gel para mantener la temperatura
- Preservante H₂SO₄
- Cinta embalaje
- Cámara
- Cooler
- Cadena de custodia
- Termómetro
- Reloj
- Guardapolvo
- Guantes, mascarilla y cofia
- Zapatos de seguridad

3.4.2.2. Método de muestreo

Para la toma de muestra se utilizó el manual de “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas” y “protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos, - Autoridad Nacional del Agua – Resolución Jefatural N.º 010- 2016” (43). Primero se identificaron los puntos de muestreo, donde se determinó la ubicación utilizando Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) y se registró en coordenadas UTM en el sistema WGS84, segundo, se utilizaron los equipos de protección personal, tercero, se prepararon los materiales de trabajo como preservantes, etiquetas, cadena de custodia y equipos de muestreo, cuarto, los frascos fueron etiquetados con letras claras y legibles y finalmente las muestras fueron tomadas después de cámara de rejillas gruesa de la planta de tratamiento y en el dispositivo de salida.

Para ello se tomó en cuenta algunos procedimientos para:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** se llenó completamente el frasco de 1 litro y se tapó en el instante evitando que se formen burbujas.
- **Demanda Química de Oxígeno:** se llenó en un frasco de ½ litro, dejando un espacio, esto para dar oxígeno a la muestra y así evitar la muerte de los microorganismos.
- **Sólidos Suspendidos Totales y pH:** se llenó en un frasco de un 1 litro dejando un pequeño espacio.

- Para preservar la muestra de análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO), se añadieron 10 gotas de solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4), durante la toma de muestra (43).
- Las muestras fueron colocadas en un cooler y enviadas al laboratorio Incalab S. A. C. del Perú, para su respectivo análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y pH.

3.4.3. Muestreo de agua residual tratada

El muestreo de agua residual tratada fue tomado cada 7 días por un periodo de 21 días.

El primer muestreo: se llevó a cabo a los 7 días para verificar el avance del sistema de vermifiltro.

El segundo muestreo: se llevó a cabo a los 14 días para verificar el avance del sistema de vermifiltro.

El tercer muestreo: se llevó a cabo a los 21 días para comprobar los resultados de la eficiencia del sistema de vermifiltro (26).

3.4.3.1. Materiales

- 21 frascos de plástico de 1 litro
- 12 frascos de plástico de ½ litro
- Etiquetas para frascos
- Hielo gel para mantener la temperatura
- Preservante H_2SO_4
- Cinta de embalaje
- Reloj
- Coolers
- Cadena de custodia
- Termómetro
- Guardapolvo
- Guantes, mascarilla y cofia
- Zapatos de seguridad

3.4.3.2. Método de muestreo

Para la toma de muestra se utilizó el manual de “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas”(35) y “protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos, Autoridad Nacional del Agua – Resolución Jefatural N.º 010- 2016” (43). Primero, se determinó la ubicación utilizando Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) y se registró en coordenadas UTM en el sistema WGS84, segundo, se utilizaron los equipos de protección personal, tercero, se prepararon los materiales de trabajo como preservantes, etiquetas, cadena de custodia y equipos de muestreo, cuarto, los frascos fueron etiquetados con letras claras y legibles y finalmente la toma de muestra se llevó a cabo en los tres puntos de salida del sistema de vermifiltro.

Para ello se tomó en cuenta algunos procedimientos:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** se llenó completamente en un frasco de 1 litro y se tapó en el instante evitando que se forme burbujas.
- **Demanda Química de Oxígeno:** se llenó en un frasco de ½ litro, dejando un espacio, esto para dar oxígeno a la muestra y así evitar la muerte de los microorganismos.
- **Sólidos Suspendidos Totales y pH:** se llenó en un frasco de un litro, dejando un pequeño espacio.
- Para preservar la muestra de análisis de Demanda Química de Oxígeno, se añadió 10 gotas de solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄), durante la toma de muestra (43).
- Las muestras fueron colocadas en un cooler y enviadas al laboratorio Incalab S. A. C. del Perú, para su respectivo análisis de “Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y pH”.
- Se trabajó a temperatura de ambiente de 8 °C a 23 °C, esta temperatura está en rango de sobrevivencia del *Eisenia foetida* (44).

3.4.4. Método de análisis

El método de análisis que se aplicaron para la recolección de datos se establece en la Tabla, esta para el análisis de agua residual tratada.

Tabla 5. Método de análisis

Parámetro	Unidad	Metodología
DQO	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 5220 D, 23a Ed. 2017 Demanda Química de Oxígeno (DQO). Reflujo cerrado, método colorimétrico
DBO₅	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 5210 B, 23ª Ed. 2017 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅). Prueba de DBO de 5 días.
SST	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 D, 23a Ed. 2017 Sólidos. Sólidos Suspendidos Totales secados a 103-105 °C.
pH	Unid. PH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H + B, 23rd Ed 2017 Valor de pH. Método electrométrico.

3.4.5. Método estadístico

Se utilizo la estadística descriptiva para organizar los resultados de las diferentes variables del estudio.

Para la inferencia de las hipótesis se utilizó Excel y las pruebas de normalidad de Análisis de varianza (Anova) esta prueba se emplea para establecer semejanzas y diferencias entre tres o más grupos distintos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Tabla 6. Resultados de análisis de DBO₅ por tratamiento

Fecha	Demanda Bioquímica de Oxígeno		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	62	150	60
24/2/2021	23	24	26
3/2/2021	7	7	7

En la tabla 6 se muestran los resultados de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno por tratamiento con análisis de semana 1, semana 2 y semana 3, donde al inicio presentaron reducción de concentraciones diferentes y terminaron con la misma concentración de 7 mg/L DBO₅.

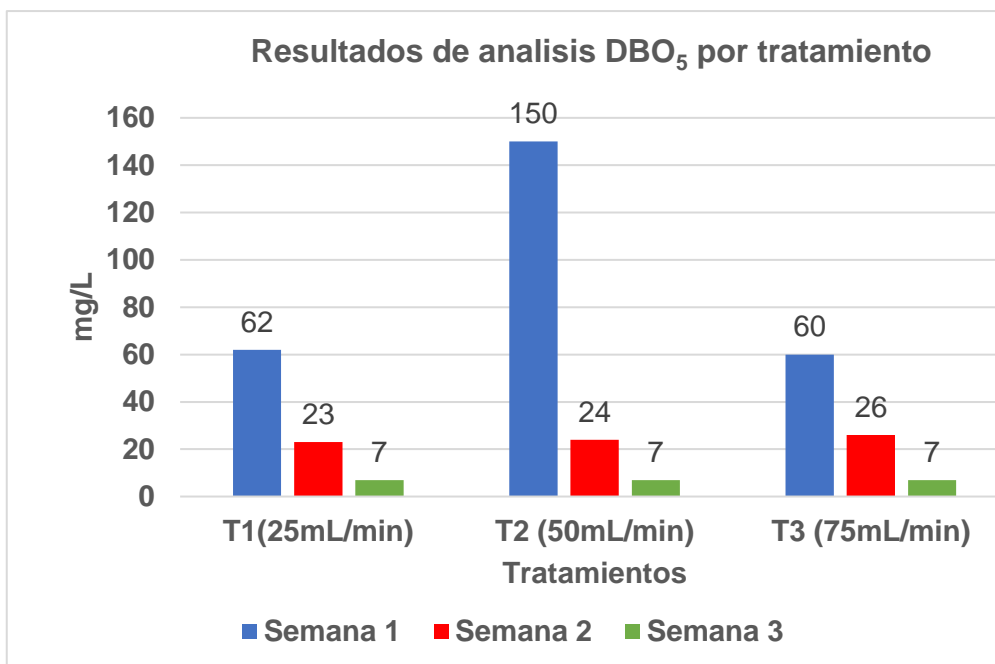


Figura 10. Resultados de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) por tratamiento

En la figura 10 se observan los resultados de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) por tratamientos durante 3 semanas, donde el primer sistema de tratamiento con un caudal de 25 mL/min tiende a reducir la concentración un poco más acelerado; obteniendo en la primera semana 62 mg/L, segundo semana 23 mg/L y en tercera semana 7 mg/L.

4.1.2. Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 7. Resultados de análisis de DQO por tratamiento

Fecha	Demanda Química de Oxígeno		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	193,1	321	212,6
24/2/2021	252,1	222,6	248,8
3/2/2021	101,3	130,8	150,5

En la tabla 7 se muestran los resultados de análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por tratamiento con análisis de semana 1, semana 2 y semana 3, donde presentan concentraciones finales diferentes, el primer

tratamiento reduce a 101,3 mg O₂/l, segundo tratamiento 130,8 mg O₂/l y el tercer tratamiento 150,5 mg O₂/l.

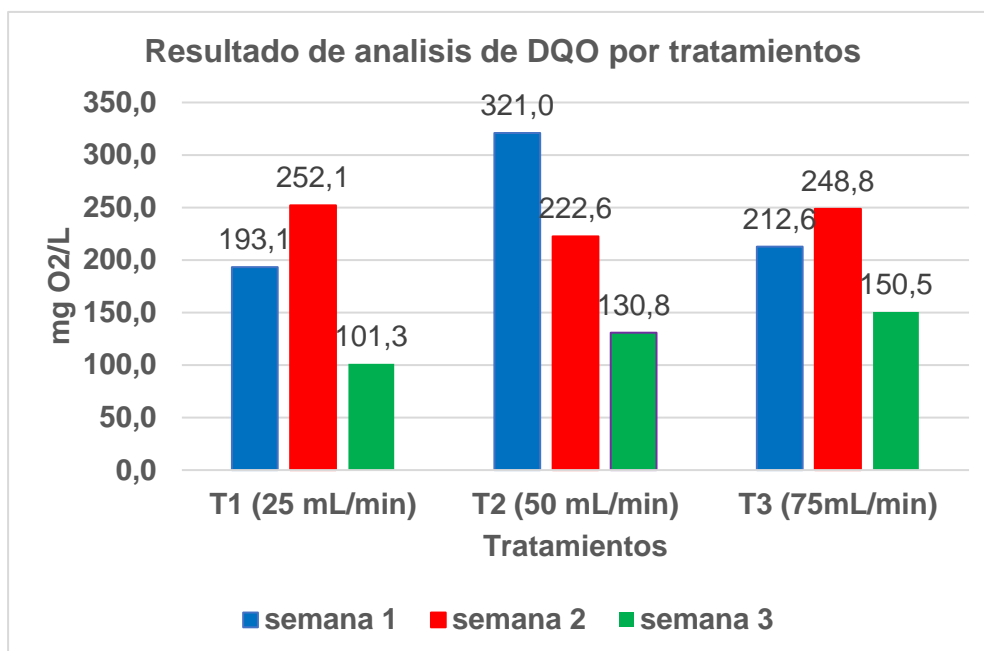


Figura 11. Resultado de análisis Demanda Química de Oxígeno (DQO) por tratamiento

En la figura 11 se observan los resultados de análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) por tratamiento y durante 3 semanas, donde el primer sistema de tratamiento con un caudal de 25 mL/min tiende a reducir la concentración un poco más acelerado; obteniendo en la primera semana 193,1 mg O₂/l, segunda semana 252,1 mg O₂/l y en tercera semana 101,3 mg O₂/l.

4.1.3. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Tabla 8. Resultados de análisis de SST por tratamiento

Fecha	Sólidos Suspendidos Totales		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	53,80	30	43
24/2/2021	9,20	11	14
3/2/2021	10,30	8,50	10

En la tabla 8 se muestran los resultados de análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST), por tratamiento con análisis de semana 1, semana 2 y semana 3, donde al final presentan concentraciones diferentes, el primer tratamiento reduce a 10,30 mg/L, segundo tratamiento 8,50 mg/L y el tercer tratamiento 10 mg/L.

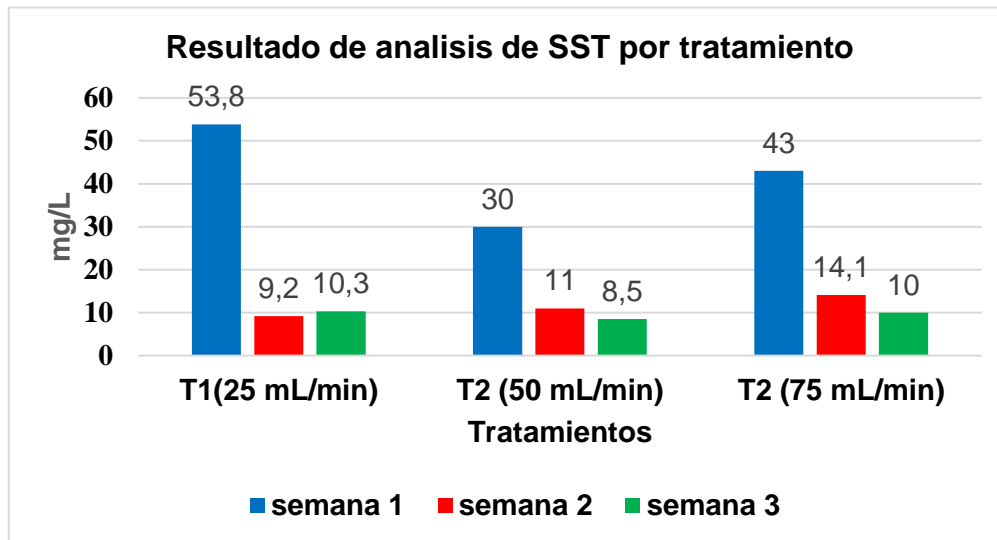


Figura 12. Resultado de análisis de Sólidos Suspendedos Totales (SST) por tratamiento

En la figura 12 se observan los resultados de análisis de Sólidos Suspendedos Totales (SST) por tratamiento, durante 3 semanas, donde el segundo tratamiento con un caudal de 50 mL/min tiende a reducir la concentración un poco más acelerado; obteniendo en la primera semana 30 mg/L, segunda semana 11 mg/L y tercera semana 8,5 mg/L.

4.1.4. Resultados de pH

Tabla 9. Resultado de análisis de pH por tratamiento

Fecha	Potencial de hidrógeno		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	7,11	6,79	6,98
24/2/2021	7,48	7,66	7,62
3/2/2021	7,90	7,64	7,51

En la tabla 9 se muestran los resultados de análisis de potencial de hidrógeno (pH) por tratamiento, con análisis de semana 1, semana 2 y semana 3, donde al final presentan concentraciones ligeramente diferentes, el primer tratamiento aumenta a 7,90, segundo tratamiento 7,64 y el tercer tratamiento 7,51.

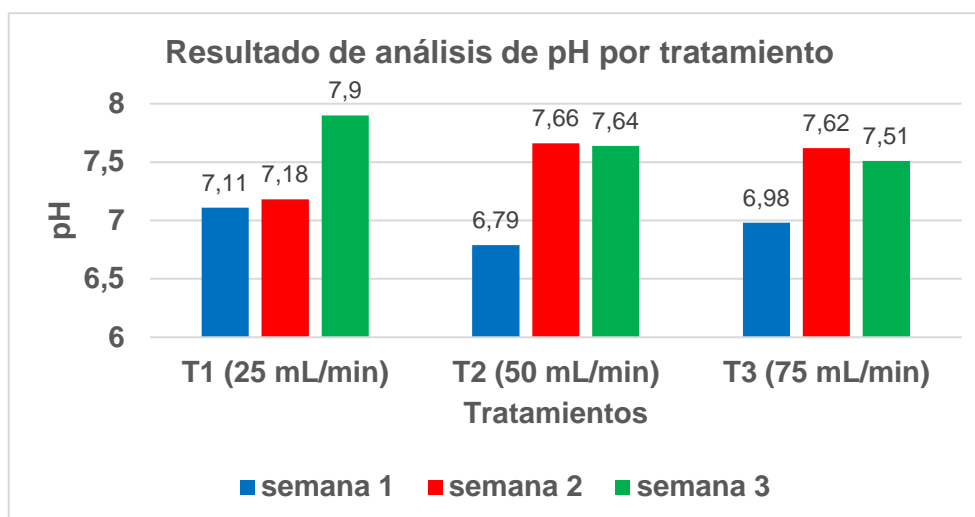


Figura 13. Resultado de análisis de potencial de hidrogeno (pH) por tratamiento

En la figura 13 se observan los resultados de análisis de potencial de hidrógeno (pH), donde el tercer tratamiento con un caudal de 75 mL/min tiende a neutralizar el pH un poco más acelerado; obteniendo en la primera semana 6,98, segunda semana 7,62 y tercera semana 7,51.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Hipótesis específica 1

Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta – Sapallanga.

a) Datos

Tabla 10. Concentración final de DBO₅ por tratamientos

Fechas	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	62	150	60
24/2/2021	23	24	26
3/2/2021	7	7	7

b) Prueba de Anova de un factor (caudal)

Tabla 11. Tabla Anova

Origen	Suma cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamiento	1,740,6667	2	870,33333	0,34	0,7230
Error	15,247,3333	6	2,541,2222		
Total	16,988,0000	8			

c) Significancia

α = error tipo I = 0,05 = 5%

Decisión probabilística:

Hipótesis nula: $\beta_1 = 0$ **Acepta**

Hipótesis alterna: $\beta_1 \neq 0$ **Rechaza**

Siendo P-valor=0,7230 mayor a la significancia=0,05 entonces se acepta la hipótesis nula de que no existen diferencias en los tres tratamientos y se rechaza la hipótesis alterna.

Sin embargo, a nivel de las muestras se puede observar que el tratamiento 1 es ligeramente superior a los otros tratamientos debido a que la media expresa la menor concentración final de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Tabla 12. Tabla de media de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Media	n	Std. Dev	Tratamientos
30,667	3	28,2902	T1(25 mL/min)
60,333	3	78,1174	T2(50 mL/min)
31,000	3	26,8514	T3 (75 mL/min)
40,667	9	46,0814	Total

4.2.2. Hipótesis específica 2

Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la “remoción de Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta-Sapallanga.

a) Datos

Tabla 13. Concentración final de DQO por tratamientos

Fechas	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	193,1	321	212,6
24/2/2021	252	222,6	248,8
3/2/2021	101,3	230,8	150,5

b) Prueba de Anova de un factor (caudal)

Tabla 14. Tabla de Anova

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	p-valor
Tratamiento	2731,17	2,00	1365,58	0,24	0,80
Error	34574,17	6,00	5762,36		
Total	37305,34	8,00			

c) Significancia

$\alpha = \text{error tipo I} = 0,05 = 5\%$

Decisión probabilística:

Hipótesis nula: $\beta_1 = 0$ **Acepta**

Hipótesis alterna: $\beta_1 \neq 0$ **Rechaza**

Siendo P-valor=0,80 mayor a la significancia=0,05 entonces se acepta la hipótesis nula de que no existen diferencias en los tres tratamientos y se rechaza la hipótesis alterna.

Sin embargo, a nivel de las muestras se puede observar que el tratamiento 1 es ligeramente superior a los otros tratamientos, esto debido a que la media expresa la menor concentración final de Demanda Química Oxígeno.

Tabla 15. Tabla de media de Demanda Química de Oxígeno

Media	n	Std. Dev	Tratamientos
182,133	3	75,9462	T1 (25 mL/min)
224,800	3	95,1191	T2 (50 mL/min)
203,967	3	49,7154	T3 (75 mL/min)
203,633	9	68,2874	Total

4.2.3. Hipótesis específica 3

Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Sólidos Suspendidos Totales” de las aguas residuales de la comunidad La Punta – Sapallanga.

a) Datos

Tabla 16. Concentración final de SST por tratamiento

Fechas	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
17/2/2021	53,8	30	43
24/2/2021	9,2	11	14,1
3/2/2021	10,3	8,5	10

b) Prueba de Anova de un factor (Caudal)

Tabla 17. Tabla de Anova

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Suma de medias	F	p-valor
Tratamiento	101,63	2,00	50,81	0,14	0,87
Error	2217,71	6,00	369,62		
Total	2319,34	8,00			

c) Significancia

$\alpha = \text{error tipo I} = 0,05 = 5\%$

Decisión probabilista:

Hipótesis nula: $\beta_1 = 0$ **Acepta**

Hipótesis alterna: $\beta_1 \neq 0$ **Rechaza**

Siendo P-valor=0,87 mayor a la significancia=0,05 entonces se acepta la hipótesis nula de que no existen diferencias en los tres tratamientos y se rechaza la hipótesis alterna.

Sin embargo, a nivel de las muestras se puede observar que el tratamiento 2 es ligeramente superior a los otros tratamientos debido a que la media expresa la menor concentración final de Sólidos Suspendidos Totales.

Tabla 18. Tabla de media de Sólidos Suspendedos Totales

Media	n	Std. Dev	Tratamientos
24,433	3	25,4382	T1 (25mL/min)
16,500	3	11,7580	T2 (50mL/min)
22,367	3	17,9862	T3 (75mL/min)
21,100	9	17,0270	Total

4.2.4. Hipótesis específica 4

La comparación de resultados del tratamiento con el sistema de vermifiltro, se ajustan a los valores del Límite Máximo Permissible de agua.

Tabla 19. Comparación de resultados finales de sistema de vermifiltro con LMP
Datos

Parámetros	T1 (25mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)	LMP
DBO ₅	7	7	7	100
DQO	101,3	130,8	150,1	200
SST	10,3	8,5	10	150
PH	7,9	7,64	7,51	6,5 a 8,5

a) La comparación de resultados finales del tratamiento con sistema de vermifiltro con Límite Máximo Permissible (LMP) de agua

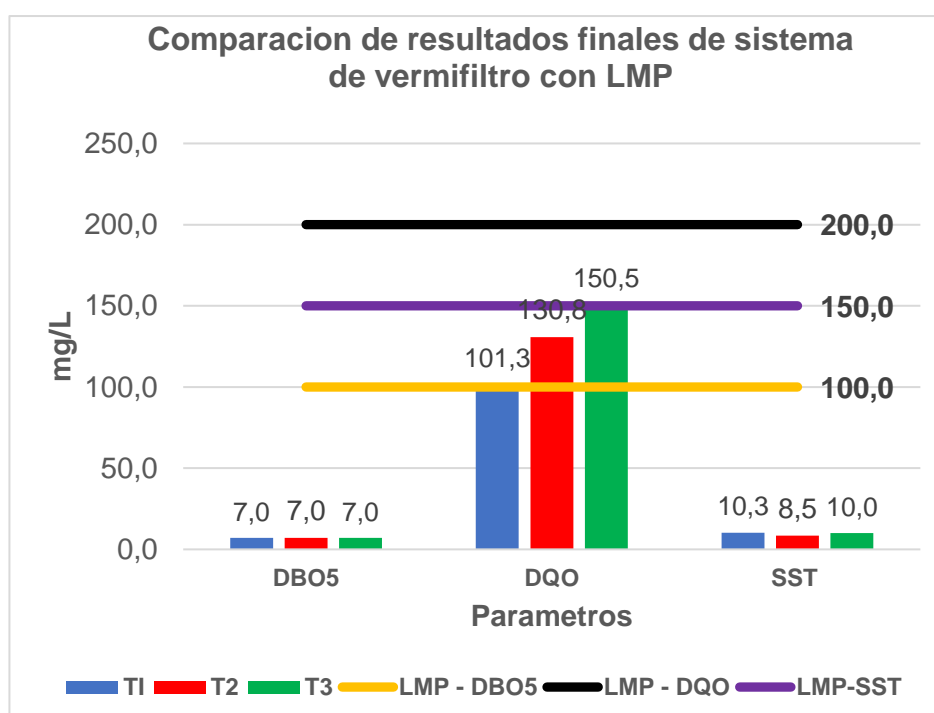


Figura 14. Resultados de sistema de vermifiltro comparado con LMP

En la figura 14 se observa que los resultados después del tratamiento con el sistema de vermifiltro; para el parámetro de “Demanda Bioquímica de Oxígeno” (DBO₅) se obtiene como resultado final para el tratamiento 1, 2 y 3 una

concentración de 7 mg/L, para “Demanda Química de Oxígeno” (DQO) para el tratamiento 1, 2 y 3 una concentración final de 101,3 mg/L, 130,8 mg/L y 150,5 mg/L, Sólidos Suspendidos Totales (SST) para el tratamiento 1, 2 y 3 obtuvo una concentración final de 10,3; 8,5 y 10 mg/L y el pH en el tratamiento 1, 2 y 3 se estabilizó a 7,9; 7,64 y 7,51 respectivamente. Todos “los parámetros analizados se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales. Según el Decreto Supremo N.º 003 – 2010 – MINAM”.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Tabla 20. Eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de DBO₅

Agua residual antes del tratamiento	Demanda Bioquímica de Oxígeno		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
292	7	7	7
% remoción	97,6%	97,6%	97,6%

Según la tabla 20 se observa los porcentajes de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en un 97,7% donde se evidencia la eficiencia de remoción en los 3 sistemas de vermifiltro en un tiempo de 21 días. Esta reducción notable se debe a la actividad simbiótica de las lombrices y microorganismos aerobios presentes ayudan con la descomposición de la materia orgánica, ya que las lombrices trabajan como catalizadores biológicos (14). Además, el filtro biológico (aserrín, arena gruesa y grava) por naturaleza forman biopelículas adherida al medio, que también ayudan en la degradación y remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (14). Según Chávez, la eficiencia de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en su investigación fue 94%, en un tiempo de 21 días (26), igual que la investigación y el resultado de esta investigación fue de 97,7%, por lo que se puede comprobar la eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno. También, según Cardoso, Lina y Ramírez, la eficiencia de remoción de sistema de vermifiltro en su investigación fue de 99% DBO₅ (21), y el resultado de esta investigación fue de 97,6%; ambos resultados se obtuvieron a escala de laboratorio, donde permite

comprobar la eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de bioquímica de oxígeno. Del mismo modo Según Velazco, utilizando el sistema de vermifiltro en su investigación logro una eficiencia de remoción de 96,7% DBO₅, igual que esta investigación obtuvo una remoción de 96,7%, donde señala que esta eficiencia se debe a las lombrices son principalmente responsables de la biodegradación de los residuos orgánicos (22). Asimismo, según Manyuchi, Kadzungura y Boka, la remoción de sistema de vermifiltro en su investigación fue de 98%DBO₅, en un tiempo de 5 días (23) y el resultado de esta investigación fue de 97,6%DBO₅ en un tiempo de 21 días. Por lo que se puede comprobar la hipótesis general planteada; que el sistema de vermifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

4.3.2. Análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 21. Eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de DQO

Agua residual antes del tratamiento	Demanda Química de Oxígeno		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
750.5	101,3	130,8	150,5
% remoción	86,5%	82,57%	79,95%

Según la tabla 21 se observan los porcentajes de remoción de Demanda Química de Oxígeno en el primer tratamiento 86,5%, segundo tratamiento 82,57% y tercer tratamiento 79,95%. Cabe rescatar que los tres tratamientos obtuvieron buenos resultados, esto se relaciona con la sedimentación, adsorción y biodegradación de materia inorgánica adherida en los diferentes estratos del sistema de vermifiltro, también se debe a que las “enzimas en el intestino de las lombrices” ayudan a degradar productos químicos (14). En el primer tratamiento se logró una mayor remoción de “Demanda Química de Oxígeno”, esto se debe a que el primer tratamiento tuvo un menor caudal, donde la *Eisenia foetida* tuvo más tiempo para degradar la materia inorgánica, asimismo se puede contribuir a que las lombrices en el primer tratamiento estimularon un crecimiento superior a los demás vermifiltros (22). Según Saboya, en su investigación aplicando el sistema de vermifiltro, donde utilizó estratos muy parecido a esta investigación

obtuvo como resultado una remoción de 86% de DQO (14), y el resultado máximo de esta investigación fue de 86,5% DQO, donde se puede corroborar la eficiencia de sistema de vermifiltro. También Según Caicedo, llegó a obtener una eficiencia de 92,2% DQO en 21 días (16) y en esta investigación se obtuvo una eficiencia 86,5%DQO también en el mismo tiempo, donde se puede comprobar la eficiencia del sistema de vermifiltro en la remoción de DQO. Asimismo, según Chávez, utilizando el sistema de vermifiltro obtuvo una remoción de 92% DQO en 21 días (26) y esta investigación obtuvo remoción 86,5% DQO en el mismo tiempo. Por lo que se puede comprobar la hipótesis general planteada; que el sistema de vermifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

4.3.3. Análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Tabla 22. Eficiencia de sistema de vermifiltro en remoción de SST

Agua residual antes del tratamiento	Sólidos Suspendidos Totales		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
223.3	10,3	8,5	10
% remoción	95,3%	96,1%	95,5%

En la tabla 22 se observa el porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos Totales, en el primer tratamiento 95,3%, segundo tratamiento 96,1% y tercer tratamiento 95,5%. Donde se evidencia que los 3 sistemas de tratamiento obtuvieron alta eficiencia en remoción de “Sólidos Suspendidos Totales, esto se debe a que durante el proceso de filtración los Sólidos Disueltos, Sedimentables, Suspendidos fueron atrapados por adsorción” y estabilización en los diferentes estratos filtrantes “para luego ser sometidos a un proceso de ingestión y de biodegradación” (22). Según Cardoso, Ramírez y Garzón, en su investigación aplicando el sistema de vermifiltro obtuvo una remoción de 97% SST (21) y el resultado de esta investigación fue 96,1% SST. Donde se puede corroborar la eficiencia del sistema de vermifiltro en remoción de Sólidos Suspendidos Totales. También según Bermúdez, en su investigación aplicando el sistema de vermifiltro obtuvo una remoción de 97,7% Sólidos Suspendidos

Totales en un tiempo de 6 días (27) y el resultado de esta investigación fue 96,1% SST, en un tiempo de 21 días. Por lo que, se puede comprobar la hipótesis general planteada; que el sistema de vermifiltro es “eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas”.

4.3.4. Análisis de potencial de hidrogeno (pH)

Tabla 23. Eficiencia del sistema de vermifiltro en estabilizar el pH

Agua residual antes del tratamiento	Potencial de hidrógeno (pH)		
	T1 (25 mL/min)	T2 (50 mL/min)	T3 (75 mL/min)
6,58	7,9	7,64	7,51

En la tabla 23 se observa el porcentaje de estabilidad de pH, donde el primer tratamiento estabiliza a 7,9 pH, segundo tratamiento 7,64 pH y tercer tratamiento 7,51. Donde se evidencia que los 3 sistemas de tratamiento tienden a estabilizar el pH, ya que inicialmente se tuvo un 6,58 pH ácido y terminó con un pH que tienden a neutro. Esto se debe a que las “lombrices tienen la capacidad de estabilizar la acidez del agua, gracias” a la “segregación de iones de calcio por las glándulas calcíferas” de lombriz que se encuentran en el esófago (14). Según Saboya, en su investigación inicialmente tuvo 6,2 de pH y después del tratamiento obtuvo 6,7 pH en un tiempo de 6 días, logrando estabilizar el pH (14). Y los resultados de esta investigación fueron similares donde inicialmente se tuvo agua residual con un pH de 6,58 y después del tratamiento se obtuvo un pH de 7,51, en un tiempo de 21 días. Por lo que se comprueba la eficiencia de sistema de vermifiltro en estabilizar el PH. También según Manyuchi, Kadzungura y Boka, en su investigación al inicio tuvo 6,45 pH, luego del tratamiento con el sistema de vermifiltro obtuvo un 7 pH, en un periodo de 5 días (23). Esta investigación al inicio tuvo agua residual con un pH de 6,58 y después del tratamiento con el sistema de vermifiltro se obtuvo un pH de 7,51 en un tiempo de 21 días, donde se puede corroborar que el sistema de vermifiltro tiende a neutralizar el pH del agua residual. Asimismo, según Bermúdez, en su investigación obtuvo una buena estabilización de pH, donde inicialmente tenía 6,98 pH y después del tratamiento obtuvo un 8,05 pH en un tiempo de 6 días

(27). Y esta investigación donde inicialmente se tenía un 6,58 pH y después de tratamiento con el sistema de vermifiltro se obtuvo 7,51 pH en un tiempo de 21 días. Donde se corrobora la eficiencia del sistema de vermifiltro en estabilizar el pH.

CONCLUSIONES

- Se determinó que el sistema de vermifiltro tiene alta eficiencia en la depuración de contaminantes críticos de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga, donde se obtuvo una remoción de 97,6% Demanda Bioquímica de Oxígeno, 86,6% Demanda Química de Oxígeno y 96,1% Sólidos Suspendidos Totales.
- Se determinó que el sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min tuvo el mismo efecto en remoción de 97,6% de Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta.
- Se determinó que el sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min tuvo diferentes efectos de remoción ya que el primer tratamiento removió 86,5%, segundo tratamiento 82,57% y tercer tratamiento 79,95%, con respecto a la Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta.
- Se determinó que el sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min tuvo diferentes efectos de remoción ya que el primer tratamiento removió 95,3%, segundo tratamiento 96,1% y tercer tratamiento 95,5% con respecto a Sólidos Suspendidos Totales de las aguas residuales de la comunidad La Punta.
- Los resultados finales obtenidos con el sistema de vermifiltro para la Demanda Bioquímica de Oxígeno fue 7 mg/L para los tres tratamientos, para Demanda Química de Oxígeno fue 101,3 mg/L para el primer tratamiento, 130,8 mg/L segundo tratamiento y 150,5 mg/L para el tercer tratamiento y para los Sólidos Suspendidos Totales fue 10,3 mg/L para el primer tratamiento, 8,5 mg/L segundo tratamiento y 10 mg/L tercer tratamiento, donde los parámetros analizados en los 3 sistemas de vermifiltro cumplen con los valores de límite máximo permisible agua según el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM. Asimismo, el sistema no presentaba un olor desagradable.
- El sistema de vermifiltro tiende a neutralizar el pH ácido del agua residual con la ayuda de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), que segrega los iones de calcio por las glándulas calcíferas que se encuentran en el esófago.

- El tamaño requerido del sistema de vermifiltro para tratar las aguas residuales de La Punta – Sapallanga es de 191.52 m². Este sistema es una alternativa viable técnica y económicamente, por el uso de materiales accesibles, y en su proceso no genera lodo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar para el sistema de vermifiltro la lombriz *Eisenia foetida* en su etapa adulta y del mismo tamaño, así obtener mejor consumo de materia orgánica.
- Se recomienda implementar un pretratamiento para retener sólidos de gran tamaño, para que no obstruya las tuberías y a la vez evitar la proliferación de vectores de contagio de enfermedades.
- Se recomienda si fuera una planta piloto, instalar en el mismo lugar donde desemboca las residuales, para evitar dificultades en el traslado del efluente.
- Se recomienda instalar una planta piloto con sombra, para evitar alteraciones en su muestra y evitar la pérdida de *Eisenia foetida* por consumo de aves.
- Se recomienda utilizar el sustrato de aserrín en mayor cantidad para obtener buenos resultados y evitar uso de aserrín rojo, porque mata la *Eisenia foetida*.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar análisis de parámetros como metales pesados, que no fueron incluidos en este trabajo.
- Se recomienda, a escala de laboratorio, compactar los estratos utilizados a su máxima capacidad para obtener buena eficiencia en remoción de contaminantes.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **LARIOS MEOÑO, Fernando; GONZALES TARANCO, Carlos; MORALES OLIVARES, Yennyfer.** Aguas residuales y sus consecuencias en el desarrollo y la producción. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL* 2015. Vol. 2, p. 12. <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
2. **GONZALES ESCOBAR, Fernando.** *Diseño de una planta de tratamiento piloto de aguas residuales domésticas para el conjunto residencial Matisse utilizando un humedal artificial.* Quito. Universidad San Francisco de Quito, 2011. <http://192.188.53.14/bitstream/23000/1238/1/101772.pdf>
3. **UNESCO.** *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás 2019.* ISBN 978-92-3-300108-4.
<http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>
4. **UNESCO.** *Aguas residuales: el recurso desaprovechado. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017.* 2017. ISBN 978-92-3-300058-2.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
5. **REYNOLDS, Kelly.** *Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica* 2002. <papers://73c07e2e-9294-4a94-b11e-b804a5393384/Paper/p151>
6. **CÁCERES POMA, Deybi Karin; CALISAYA VERA, Gisela Milagros.** *Evaluación de tres sistemas para determinar su eficiencia, Moquegua 2017.* Universidad José Carlos Mariátegui, 2018.
http://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/ujcm/424/Gisela_Deybi_tesis_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
7. **OEFA.** *Fiscalización ambiental en aguas residuales.* 2014
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
8. **LOAYZA QUISPE, Jessenia Lizbet; CANO ROJAS, Pedro Ángel.** *Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del río Shullcas, Huancayo, Junín.* Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015. [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3507/Loayza Quispe - Cano Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3507/Loayza%20Quispe%20-%20Cano%20Rojas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

9. **RAYMUNDO MONTES, Joel Rubén.** *Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado La Punta – Sapallanga.* 2017.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3873/RaymundoMontes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. **INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA.** *Censos Nacionales 2017: XII población, VII viviendas y III de comunidades indígenas* 2017.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
11. **GOOGLE EARTH.** Planta de tratamiento La Punta - Sapallanga 2021
https://earth.google.com/web/search/Punta++sapallanga/@-12.11835945,-75.13773335,3613.20248102a,45457.95495241d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCd2rt1WjXTNAEd2rt1WjXTPAGTsusLUm5ILAlbMLA59r_2XA
12. **ARCE JÁUREGUI, Luis.** *Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales* [online]. Universidad Católica del Perú, 2013. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/4568>
13. **PÉREZ CAMARGO, Sonia.** *Aplicación de vermifiltros para reducir el DQO y DBO del agua residual de un laboratorio de análisis químico,* 2018. Universidad César Vallejo, 2018.
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/27098>
14. **SABOYA RIOS, Xiomí Vasni.** Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el distrito de Chachapoyas Amazonas. *Universidad Peruana Unión* [online]. 2017. P. 31–152. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1123>
15. **RAMÓN, Jacipt Alexander; LEÓN, José Alejandro; CASTILLO, Nelson.** Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. *Revista Mutis* [online]. 2015. Vol. 5, no. 1, p. 1–3.
DOI 10.21789/22561498.1018.
<https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018/1053>
16. **CAICEDO CAMPOVERDE, Jenniffer.** *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia foetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del ministerio de agricultura,*

ganadería, acuicultura y pesca, Riobamba 2015 [online]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.

<https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018/1053>

17. **OROZCO VILLALBA, Patricia; SANCHEZ CHERREZ, Walter.** *Biorremediación de las aguas residuales provenientes de la industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Toha.* [online]. Universidad Nacional de Chimborazo, 2019.

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/677%0Ahttp://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>

18. **LANDETA FLORES, Fernanda.** *Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ibarra.* [online]. Universidad Católica del Ecuador, 2019.

<https://dspace.pucesi.edu.ec/handle/11010/533>

19. **SALAZAR MIRANDA, Patricia.** *Sistema Toha: una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales* [online]. Universidad Austral de Chile, 2005.

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmficis161s/doc/bmficis161s.pdf>

20. **BRAVO MARINNI, Marcelo.** *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina* [online]. Universidad del Bio-Bio, 2019.

http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3456/3/Bravo_Marinni_Marcelo_Andrés.pdf

21. **CARDOSO VIGUEROS, Lina; RAMÍREZ CAMPEROS, Esperanza; GARZÓN ZÚÑIGA, Marco.** Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* [online]. 2014. Vol. 5, n.º 2, p. 34–42. DOI 10.5154/r.inagbi.2013.10.003. Available from:

<https://www.google.com/search?q=EVALUACIÓN+DE+UN+VERMIFILTRO+PILOTO+PARA+EL+TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES&oq=EVALUACIÓN+DE+UN+VERMIFILTRO+PILOTO+PARA+EL+TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES&aqs=chrome.69i57j69i59l2j69i60.459j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

22. **VELAZCO ANDRADE, Verónica Gabriela.** *Vermifiltros para el tratamiento*

- de aguas residuales* [online]. Universidad de Las Américas, 2015. <https://www.google.com/search?q=EVALUACIÓN+DE+UN+VERMIFILTRO+PILOTO+PARA+EL+TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES&oq=EVALUACIÓN+DE+UN+VERMIFILTRO+PILOTO+PARA+EL+TRATAMIENTO+DE+AGUAS+RESIDUALES&aqs=chrome..69i57j69i59l2j69i60.459j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
23. **MANYUCHI, M. M.; KADZUNGURA, L.; BOKA, S.** Vermifiltration of Sewage Wastewater for Potential Use in Irrigation Purposes Using *Eisenia foetida* Earthworms. *World Academy of Science, Engineering and Technology* [online]. 2013. Vol. 28, no. May, p. 538–542. Available from: https://www.researchgate.net/publication/312454084_Vermifiltration_of_sewage_wastewater_for_potential_use_in_irrigation_purposes_using_Eisenia_fetida_earthworms
 24. **QUILLE QUILLE, Lenin.** Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “La Bodeguilla – Valle De Moquegua. [online]. 2017. P. 27–47. <https://1library.co/document/zgw23jvy-microorganismos-eficaces-lombrifiltro-remocion-residuos-lacteos-bodeguilla-moquegua.html>
 25. **MITMA JARA, Yomira Ivon.** *Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de DBO Y DQO de las aguas residuales domésticas del distrito de Moche* [online]. Universidad César Vallejo, 2017. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23238>
 26. **CHAVEZ RODRIGO, Julio Cesar.** *Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la ciudad de Celendín.* [online]. Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1734/EFICIENCIA_DE_UN_BIOFILTRO_EN_LA_REDUCCIÓN_DE_CARGA_ORGÁNICA_DE_UN_EFLUENTE_INDUSTRIAL_EN_LA_CIUUD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 27. **BERMUDEZ TIMOTEO, Guillermo.** *Tratamiento de agua residual del camal municipio de Chimbote, usando un biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines* [online]. Universidad de San Pedro, 2019. <https://core.ac.uk/download/pdf/337598873.pdf>
 28. **GARCÍA ESPIGARES, M.; PÉREZ LOPEZ, J. A.** *Aguas Residuales. Composición.*

https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

29. **ARGANDOÑA ZAMBRANO, Ligia Elena; MARCIAS GARCIA, Ramon Gabriel.** *Universidad técnica de Manabí.* Universidad Técnica de Manabí, 2013.

[http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES%2C SUSPENDIDOS%2C SEDIMENTADOS Y VOLATILES.pdf](http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/137/1/DETERMINACION_DE_SOLIDOS_TOTALES%2C_SUSPENDIDOS%2C_SEDIMENTADOS_Y_VOLATILES.pdf)

30. **MARIN GALVIN, Rafael.** Características Físicas, Químicas y Biológicas de las aguas. *Emacsa* [online]. 2010.

<https://www.google.com/search?q=Prof.+Dr.+Rafael+Marín+Galvín+Jefe&aq=chrome.69i57j33i160.909j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

31. **CASTRO CASTELLANOS, Elizabeth.** *Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema Toha para el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Tinjaca-Boyaca.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22771/CastroCastellanosElizab?sequence=1>

32. **CANALES LOPEZ, Hubert Omar; SEVILLA CRPIO, Amiro Antonio.** *Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del distrito de Pátapo* [online]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016.

<http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/1092/BC-TES-5872.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

33. **MINISTERIO DE AMBIENTE.** *Manual para municipios ecoeficientes* [online]. 2009. Available from: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf

34. **MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO.** *Norma OS.090.* 2009. ISBN 9781626239777.

https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf

35. **MINISTERIO DE VIVIENDA DE CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO.**

- Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. *El Peruano* [online]. 2014.
<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1057.pdf>
36. **PEREZ ALARCON, Moisés Bladimir; PEREZ YAHUARA, Segundo Ariteres.** *Proyecto de instalación de una planta de procesamiento de las aguas residuales domesticas del distrito de Motupe usando el sistema Toha.* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2016.
 37. **BARRANGAN PONCE, Rodolfo; ESPINOZA FERNANDEZ, Andrea.** *Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domesticas* [online]. Universidad César Vallejo, 2019.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FAM-Barragan_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 38. **PAICO REVILLA, Deyvis Anthony.** *Sistema Tohá, para el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Cesar Vallejo* [online]. Universidad Cesar Vallejo, 2017.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10890/paico_rd.pdf?sequence=1#:~:text=El Sistema Tohá%2C un tipo, en la salud y el
 39. **SOMARRIBA REYES, Ricardo; GUZMÁN, Guillén.** *Guía de Lombricultura* [online]. 2004. <https://core.ac.uk/download/pdf/35166214.pdf>
 40. **MINISTERIO DE AMBIENTE.** Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. *Normas Legales El Peruano* [online]. 2018.
http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
 41. **ROMAN, Pilar; MARTINEZ, María; PANTOJA, Alberto.** *Manual de compostaje del agricultor* [online]. 2015. ISBN 9789253078448.
<http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
 42. **HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto.** *Metodología de la investigación* [online]. 2014. ISBN 9781626239777.
<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp->

content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf

43. **AUTORIDAD NACIONAL DE AGUA.** *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales* [online]. 2016.
<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>
44. **SENAMHI.** Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. [online]. 2021.
<https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

ANEXOS



Figura 15. Falta de mantenimiento en la cámara de rejillas gruesas de PTAR -Sapallanga



Figura 16. Animales consumiendo pasto al borde de pozas de oxidación



Figura 17. Ubicación de Planta de Tratamiento de aguas residuales domesticas de la Punta - Sapallanga

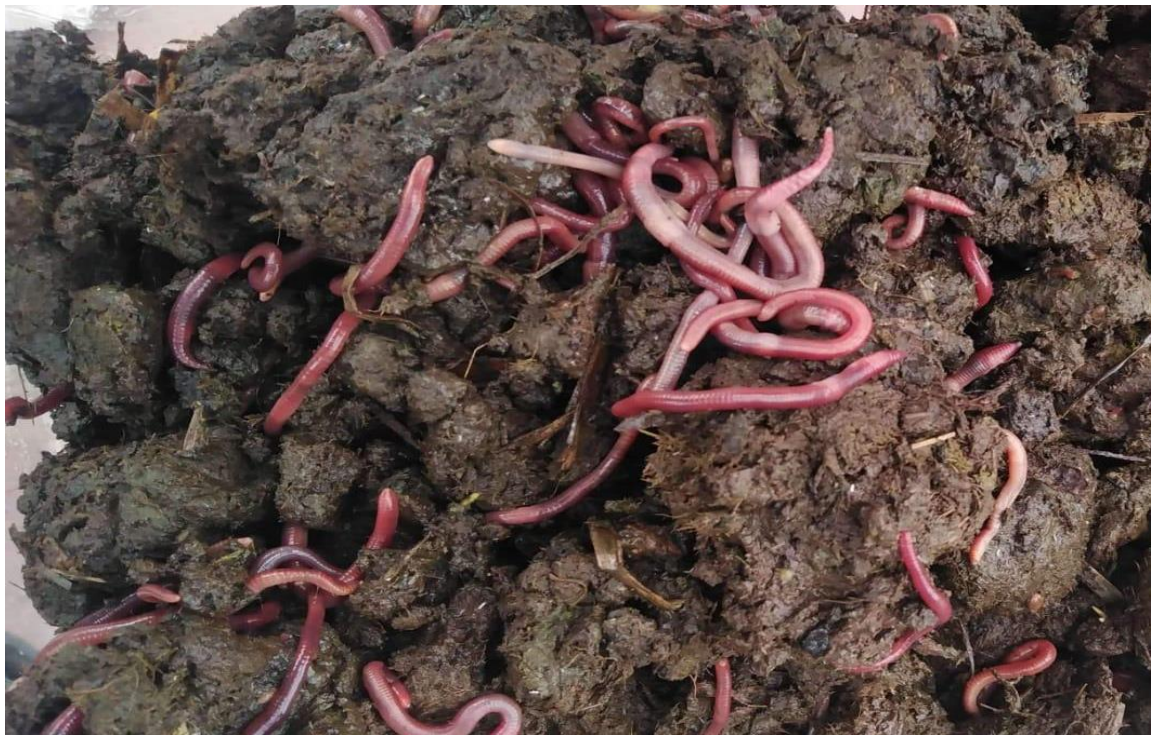


Figura 18. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)



Figura 19. Sustrato de grava con una altura de 10 cm



Figura 20. Sustrato de arena gruesa altura de 10 cm



Figura 21. Sustrato de aserrín de 20 cm

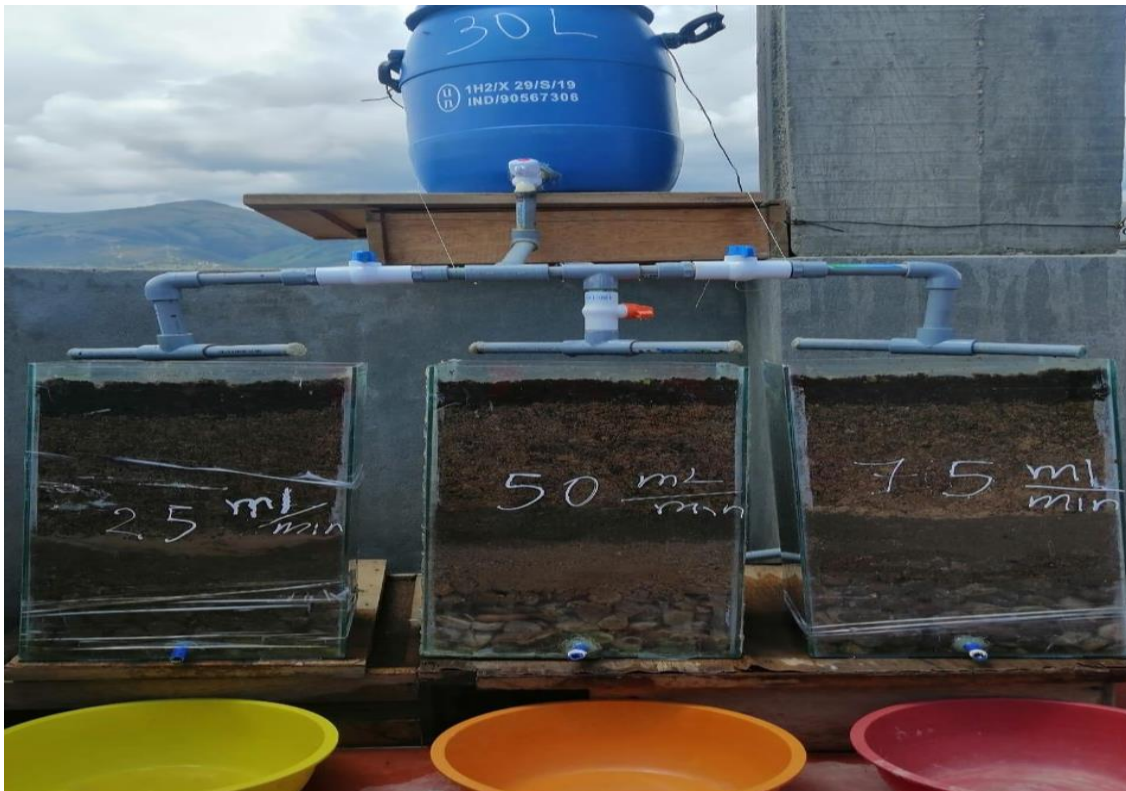


Figura 22. El sistema de vermifiltro



Figura 23. Agua residual domestica de la Punta - Sapallanga



Figura 24. Muestreo después de cámara de rejas de PTAR – La Punta



Figura 25. Muestreo en la salida de PTAR- La Punta



Figura 26. Muestreo de parámetro de Demanda Química de Oxígeno



Figura 27. Adición de ácido sulfúrico al muestreo de DQO



Figura 28. Muestreo de parámetro Sólidos Suspendidos Totales



Figura 29. Muestreo de Demanda Bioquímica de Oxígeno



Figura 30. Muestreo de agua residual tratada



Figura 31. Medición de caudal de cada sistema de vermifiltro

Tabla 24. Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicadores	Instrumento
General	General	General	Independiente		
¿Cuál es la eficiencia del “sistema de vermifiltro en la depuración de” contaminantes críticos de aguas residuales domesticas de la comunidad La Punta – Sapallanga?	Determinar la eficiencia del “sistema de vermifiltro en la depuración” de contaminantes críticos de las aguas residuales domesticas de la comunidad La Punta – Sapallanga.	El “sistema de vermifiltro es eficiente en la depuración” de contaminantes críticos de las “aguas residuales domesticas” de la comunidad La Punta – Sapallanga.	Sistema de vermifiltro	Presencia de <i>Eisenia foetida</i>	Ficha de observación
Específicos	Específicos	Específicos	Dependiente		
¿Cuál es el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta?	Determinar el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta.	Hi: Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de “Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales” de la comunidad La Punta.	DBO	DBO <= 100 (mg/L)	Ficha para el registro de resultados de análisis
¿Cuál es el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales de la comunidad La Punta?	Determinar efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales de la comunidad La Punta	Hi: Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de 25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de Demanda Química de Oxígeno de las aguas	DQO	DQO <= 200 (mg/L)	Ficha para el registro de resultados de análisis

		residuales de la comunidad La Punta.			
¿Cuál es el efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de “25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de las aguas residuales” de la comunidad La Punta?	Determinar efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de “25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de las aguas residuales” de la comunidad La Punta	Hi: Existe una diferencia de efecto del sistema de vermifiltro con el caudal de “25 mL/min, 50 mL/min y 75 mL/min en la remoción de Sólidos Suspendidos Totales de las aguas residuales” de la comunidad La Punta	SST	SST <= 150 (mg/L)	Ficha para el registro de resultados de análisis
			pH	6.5 < pH < 8.5	Ficha para el registro de resultados de análisis
¿Cuál es la comparación de los resultados obtenidos con el tratamiento del sistema de vermifiltro y los valores del “Límite Máximo Permisible de Agua”?	Comparar el resultado obtenido con el tratamiento del sistema vermifiltro y valores del “Límite Máximo Permisible de Agua”. -	Hi: El resultado de comparación, del sistema de vermifiltro, se ajustan a los valores del “Límite máximo permisible de agua”.	T	T < 35 (°C)	Ficha para el registro de resultados de análisis

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210216-015

Nombre del Cliente : GAMARRA SILVA BANEZA
 Dirección de la Empresa : RICARDO PALMA N° 937 - CHILCA - HUANCAYO - JUNIN
 Solicitado por : INCALAB DEL PERU S.A.C.

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : HUANCAYO - JUNIN
 Muestreo : Realizado por el cliente.
 Referencia : NS 21010746
 Orden de Trabajo : 01158 - 0221
 Cantidad de Muestras : 2
 Presentación : Botella pet con tapa cerrada,
 Fecha de Muestreo : 10 de Febrero de 2021 (Dato proporcionado por el solicitante)
 Fecha de Recepción : 11 de Febrero de 2021
 Fecha de Inicio de Ensayos : 11 de Febrero de 2021
 Fecha de término de Ensayos : 16 de Febrero de 2021
 Condiciones de Recepción : En buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
AR3-P1	13:00	-	-	-	-
AR3-P2	13:20	-	-	-	-

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C


Observaciones:

Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.

AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

"PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO"

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) de prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.

 FR-65/vi-03
 Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210216-015

				AR3-P1	AR3-P2
Código del Cliente				AR3-P1	AR3-P2
Descripción del Punto				-	-
Código de Laboratorio				21010746(1)	21010746(2)
Tipo de Producto				AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)
Fecha de muestreo				10/02/21	10/02/21
Hora de muestreo				13:00	13:20
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	292	106
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	100	750.5	235.7
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	4.26	223.30	65.80
pH	Valor de pH 0.01	-	-	6.58	6.97

Emitido en Lima, el 16 de Febrero de 2021


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.
 Ing. Lili M. Estrada Dominguez
 Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

"PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO"

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.

 FR - 65 / Vn - 03
 Pagina 2 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210223-021

Nombre del Cliente : GAMARRA SILVA BANEZA
 Dirección de la Empresa : RICARDO PALMA N° 937 - CHILCA - HUANCAYO - JUNÍN
 Solicitado por : INCALAB DEL PERU S.A.C.

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : HUANCAYO - JUNIN
 Muestreo : Realizado por el cliente.
 Referencia : NS 21010746
 Orden de Trabajo : 01389 - 0221
 Cantidad de Muestras : 3
 Presentación : Botella pet con tapa cerrada.
 Fecha de Muestreo : 17 de Febrero de 2021 (Dato proporcionado por el solicitante)
 Fecha de Recepción : 18 de Febrero de 2021
 Fecha de Inicio de Ensayos : 18 de Febrero de 2021
 Fecha de término de Ensayos : 23 de Febrero de 2021
 Condiciones de Recepción : En buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
PECERA 1	13:30	-	-	-	-
PECERA 2	13:22	-	-	-	-
PECERA 3	13:15	-	-	-	-

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C


Observaciones:

Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.

AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.

FR - 05 / V6 - 03
 Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210223-021

Registro N° LE - 045

Código del Cliente				PECERA 1	PECERA 2	PECERA 3
Descripción del Punto				-	-	-
Código de Laboratorio				21010746(1)	21010746(2)	21010746(3)
Tipo de Producto				AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)
Fecha de muestreo				17/02/21	17/02/21	17/02/21
Hora de muestreo				13:30	13:22	13:15
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS		
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	62	150	60
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	193.1	321.0	212.8
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	4.26	53.80	30.00	43.00
pH	Valor de pH 0.01	-	-	7.11	6.79	6.98

Emitido en Lima, el 23 de Febrero de 2021


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC
 Ing. Lili M. Estrada Domínguez
 Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

“PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO”

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.

 FR - 65 / Vs - 03
 Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210302-017

Nombre del Cliente : GAMARRA SILVA BANEZA
Dirección de la Empresa : RICARDO PALMA N° 937 - CHILCA - HUANCAYO - JUNÍN
Solicitado por : GAMARRA SILVA BANEZA

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : HUANCAYO - JUNIN
Muestreo : Realizado por el cliente.
Referencia : NS 21010746
Orden de Trabajo : 01577 . 0221
Cantidad de Muestras : 3
Presentación : Botella pet con tapa cerrada.
Fecha de Muestreo : 24 de Febrero de 2021 (Dato proporcionado por el solicitante)
Fecha de Recepción : 25 de Febrero de 2021
Fecha de Inicio de Ensayos : 25 de Febrero de 2021
Fecha de término de Ensayos : 02 de Marzo de 2021
Condiciones de Recepción : En buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
PECERA 1	14:18	-	-	-	-
PECERA 2	14:12	-	-	-	-
PECERA 3	14:00	-	-	-	-

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C

Observaciones:

Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.

AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.



Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210302-017

				PECERA 1	PECERA 2	PECERA 3
Código del Cliente						
Descripción del Punto				-	-	-
Código de Laboratorio				21010746(1)	21010746(2)	21010746(3)
Tipo de Producto				AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)
Fecha de muestreo				24/02/21	24/02/21	24/02/21
Hora de muestreo				14:18	14:12	14:00
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS		
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	23	24	26
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	-	10.0	252.1	222.6	248.8
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	4.26	9.20	11.00	14.10
pH	Valor de pH 0.01	-	-	7.48	7.66	7.62

Emitido en Lima, el 02 de Marzo de 2021


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.
 Ing. Lilia Estrada Dominguez
 Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

“PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO”

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.

 FR - 05 / Vs - 03
 Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210309-023

Nombre del Cliente : GAMARRA SILVA BANEZA
 Dirección de la Empresa : RICARDO PALMA N° 937 - CHILCA - HUANCAYO - JUNIN
 Solicitado por : INCALAB DEL PERU S.A.C.

DATOS DE LA MUESTRA

Procedencia : HUANCAYO - JUNIN
 Muestreo : Realizado por el cliente.
 Referencia : NS 21010746
 Orden de Trabajo : 01805 - 0321
 Cantidad de Muestras : 3
 Presentación : Botella pet con tapa cerrada.
 Fecha de Muestreo : 03 de Marzo de 2021 (Dato proporcionado por el solicitante)
 Fecha de Recepción : 04 de Marzo de 2021
 Fecha de Inicio de Ensayos : 04 de Marzo de 2021
 Fecha de término de Ensayos : 09 de Marzo de 2021
 Condiciones de Recepción : En buen estado a temperatura de refrigeración

Puntos de Muestreo	Hora de Muestreo		Coordenadas		Altitud
	Inicio	Termino	Norte	Este	
AR - PECERA 1	13:30	-	-	-	-
AR - PECERA 2	13:38	-	-	-	-
AR - PECERA 3	13:48	-	-	-	-

MÉTODOS DE ENSAYO

DETERMINACIÓN	NORMA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C


Observaciones:

Este Informe de Ensayo tiene validez solo para la muestra descrita, por un periodo de 180 días a partir de la fecha de emisión del documento y es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y es regulada de acuerdo a las leyes vigentes tanto en materia civil como penal.

AGUA RESIDUAL: NTP-ISO 5667-10:2012 CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. PARTE 10: GUÍA PARA EL MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin autorización, escrita de CERTIFICAL S.A.C.

FR - 65 / VA - 03
 Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO FQ N° 210309-023

Código del Cliente	AR - PECERA 1			AR - PECERA 2		AR - PECERA 3	
Descripción del Punto	-			-		-	
Código de Laboratorio	21010746(1)			21010746(2)		21010746(3)	
Tipo de Producto	AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)			AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)		AGUA RESIDUAL (DOMESTICA)	
Fecha de muestreo	03/03/21			03/03/21		03/03/21	
Hora de muestreo	13:30			13:38		13:48	
ENSAYOS	UNIDAD	L.D.	L.C.	RESULTADOS			
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	2	-	7	7	7	
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	-	10.0	101.3	130.8	150.5	
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	4.26	10.30	8.50	10.00	
pH	Valor de pH 0.01	-	-	7.90	7.64	7.51	

Emitido en Lima, el 09 de Marzo de 2021


 CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.
 Ing. Estrella Dominguez
 Jefe Lab. Físico Químico - Ambiental

“PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO”

Los ensayos se han realizado bajo responsabilidad de CERTIFICAL S.A.C. Los resultados de los ensayos corresponden solo a la(s) muestra(s) del prototipo o del lote ensayado(s) no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizada. Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Queda prohibida la reproducción total parcial de este informe, sin autorización escrita de CERTIFICAL S.A.C.



CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

DATOS DEL SOLICITANTE		PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS		REFERENCIA											
CLIENTE O RAZÓN SOCIAL BANEAZ GAVARRA SILVA		NS		Hoja: 2101 0746											
DIRECCIÓN HUANCAYO - JUNIN		SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA		TOMA DE MUESTRA POR											
CONTACTO: BANEAZ GAVARRA SILVA / PATRICIA ALONIA CORREO ELECTRÓNICO: ESTAD@ALAMARQUE.COM		HUAICAYO - JUNIN		CERTIFICACION CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/> X											
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		ENSAYOS SOLICITADOS		OBSERVACIONES											
		PARAMETROS INSTRU													
ITEM	ESTACIÓN	RECEPCIÓN	HORA	TIPO DE MATRIZ (1)	GEOREFERENCIA (UTM WGS84)	ALTITUD (metros)	ANÁLISIS	PH	OD	ORP	CD	CONDUCIVIDAD	TEMPERATURA	OTROS	
1	AR3 - P1	10/02/2021	13:00	AR 3											
2	AR3 - P2	10/02/2021	13:20	AR 3											
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

TIPO DE MATRIZ (1)

AN: AGUA NATURAL
 1. Subterránea 2. Superficial 3.1. Río 3.2. Laguna / Lago
 AD: AGUA RESIDUAL
 1. Doméstica 4. Industrial 5. Municipal
 6. Aguas de lluvia 7. Aguas de riego 8. Aguas de drenaje
 9. Aguas de lavado (Agua Fria) / Agua de Maiz / Agua de Invernadero
 10. Aguas de Filtro 11. Agua de Lavadero 12. Agua de Lavandería y Limpieza
 13. Agua de Lavado de Vehículos 14. Agua de Almacenamiento para Caliente
 15. Agua de Almacenamiento para Fría 16. Agua de Cisterna
 17. Agua de Lixiviación 18. Agua purificada 19. Agua sin hipoclorito y subyoclorito.

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DE LA MUESTRA

Nombre: BANEAZ GAVARRA SILVA
 Fecha: 10/02 Hora: 13:35
 FIRMA:

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

NOMBRE:

FECHA: 11/02 Hora: 17:35
 FIRMA:

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS

EMPAQUE ADECUADO: C NC
 MEDIDA ENTERO TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN: C NC
 CONDICIONES DE PRESERVACIÓN VALOR DE PH: C NC
 CONDICIONES DE CONSERVACIÓN DE COCIENTE T°C: 4.20 C NC
 C: cumple con NC: no cumple con

OBSERVACIONES

1. EMITIR INFORMAS A NOMBRE DE BANEAZ GAVARRA SILVA.
 DNI: 72769943
 2. EMITIR FACTURA A: INZALAB DEL PERU SAC.
 RUC: 2063429983
 Remonto: EMA 31

DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR

Nombre: Christian Paol Marmánillo Mendoza
 Fecha: 11/02 Hora: 17:35
 FIRMA:

RECEPCIÓN DE MUESTRAS

Nombre: Patricia Alonia
 Fecha: 11/02/21 Hora: 17:35
 FIRMA:



CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

CLIENTE O BALÓN SOCIAL BANEAZA GAMARRA SILVA	PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS OS 11000206	NS	Hoja: 2 / 010746
DIRECCIÓN: CALLE RICARDO PALMA N° 937 - CHILCA - HUANCAYO - JUNIN	REFERENCIA SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA	TOMA DE MUESTRA POR CERTIFICADO CLIENTE <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
CONTACTO: PATRICIA ALANINI@INCALAB.COM.PE	NOMBRE DEL PROYECTO HUANCAYO - JUNIN		
CORREO ELECTRÓNICO:	DISTRITO / PROVINCIA / DPTO. HUANCAYO - JUNIN		

ESTACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA				DATOS DEL SOLICITANTE		DATOS DEL PROYECTO		ENSAYOS SOLICITADOS		PARAMETROS INCLUIDOS		OBSERVACIONES
	FECHA	HORA	TIPO DE MUESTRA	GEORREFERENCIA (UTM WGS84)	CLIENTE	DIRECCIÓN	DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.	PROYECTO	PH	OD	ORP	CD	
1	17/02/2021	13:30	AR 3	-	BANEAZA GAMARRA SILVA	HUANCAYO - JUNIN	SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PH	OD	ORP	CD	CONDUCTIVIDAD	1
2	17/02/2021	13:22	AR 3	-	BANEAZA GAMARRA SILVA	HUANCAYO - JUNIN	SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PH	OD	ORP	CD	CONDUCTIVIDAD	10
3	17/02/2021	13:15	AR 3	-	BANEAZA GAMARRA SILVA	HUANCAYO - JUNIN	SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PH	OD	ORP	CD	CONDUCTIVIDAD	11
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													



ANÁLISIS DE PROCESO 1. Agua de distribución o suministro 2. Agua de abastecimiento para cadenas de distribución 3. Agua de consumo humano 4. Agua de consumo humano 5. Agua de consumo humano 6. Agua de consumo humano 7. Agua de consumo humano 8. Agua de consumo humano 9. Agua de consumo humano 10. Agua de consumo humano 11. Agua de consumo humano 12. Agua de consumo humano 13. Agua de consumo humano 14. Agua de consumo humano 15. Agua de consumo humano 16. Agua de consumo humano 17. Agua de consumo humano 18. Agua de consumo humano 19. Agua de consumo humano 20. Agua de consumo humano	TIPO DE MATRIZ (1) 1. Agua Natural 2. Superficial 3. Subterránea 4. Pluvial 5. Residual 6. Residual 7. Residual 8. Residual 9. Residual 10. Residual 11. Residual 12. Residual 13. Residual 14. Residual 15. Residual 16. Residual 17. Residual 18. Residual 19. Residual 20. Residual
ANÁLISIS DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO Nombre: BANEAZA GAMARRA SILVA Fecha: 17/02 Hora:	RECEPCIÓN DE MUESTRAS Nombre: <i>Patricia Alanini</i> Fecha: 18/02/21 Hora: 12:00 FIRMA: <i>[Firma]</i>

CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS C <input checked="" type="checkbox"/> NC <input type="checkbox"/> 1. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 2. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 3. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 4. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 5. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 6. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 7. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 8. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 9. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 10. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 11. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 12. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 13. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 14. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 15. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 16. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 17. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 18. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 19. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN 20. ENTREGA EN EL TIEMPO Y EN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN	RECEPCIÓN DE MUESTRAS Nombre: <i>Patricia Alanini</i> Fecha: 18/02/21 Hora: 12:00 FIRMA: <i>[Firma]</i>
---	--



CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

CLIENTE O RAMO SOCIAL		DATOS DEL SOLICITANTE		PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS		NS		Moje : 21010746	
BANEAZ GAMARRA SILVA		BANEAZ GAMARRA SILVA		OSI 1030040					
DIRECCION:		REFERENCIA		SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA					
CALLE RICARDO PALMA N° 937 - CHILCA - HUANCAYO - JUNIN		NOMBRE DEL PROYECTO		HUANCAYO - JUNIN					
CONTACTO:		DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.							
BANEAZ GAMARRA SILVA / PATRICIA ALANIA		ENSAYOS SOLICITADOS							
CORREO ELECTRONICO:		PLAN DE MUESTREO							
PATRICIA.ALANIA@INCALAB.COM.PE									

ESTACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA			ALTITUD (m.s.n.m.)	GEOREFERENCIA (UTM-WGS84)	TIPO DE MUESTRA	VOLUMEN (litros)	PARÁMETROS FISICO QUIMICOS						OBSERVACIONES
	FECHA	HORA	USO					PH	OD	ODP	CD	TEMP	TEMP	
1	24/02/2021	14:18	AR 3					X	X	X	X			6
2	24/02/2021	14:12	AR 3					X	X	X	X			7
3	24/02/2021	14:00	AR 3					X	X	X	X			8
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														



TIPO DE MATRIZ (1)		CONDICIONES DE RECEPCION DE MUESTRAS	
AN: AGUA NATURAL	1. Superficial 1.2. Fumal 2. Superficial 1.1 Rio 1.2 Laguna / Lago	C	NC
AR: AGUA RESIDUAL	3. Domestico 4. Industrial 5. Municipal	✓	✓
AC: AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO	6. Agua de lluvia 7. Agua de lluvia 8. Agua de lluvia 9. Agua de lluvia	✓	✓
AN: AGUA SALINA	10. Agua de mar 11. Agua salobras 12. Salmuera 13. Agua de hipertonicidad y hipertonicidad	✓	✓
AN: AGUA DE PROYECTO	14. Agua de almacenamiento 15. Agua de almacenamiento para calderas	✓	✓
AN: AGUA DE ALIMENTACION PARA CALDERAS	16. Agua de alimentacion para calderas	✓	✓
AN: AGUA DE LIMPIEZA	17. Agua de limpieza 18. Agua de higiene y saneamiento	✓	✓

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO		RECEPCION DE MUESTRAS	
Nombre : BANEAZ GAMARRA SILVA	Nombre : <u>Pand</u>	MB	FQ
Fecha : 24/02	Fecha : <u>25/02/21</u>	Firma : <u>Pand</u>	
Horas :	Horas : <u>11:25</u>	Firma : <u>P.A.</u>	

19.55
001.0
01.0

CERTIFICADO

CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA

CLIENTE O RAZÓN SOCIAL		DATOS DEL SOLICITANTE		REFERENCIA		PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS		Nº		21010746	
BANIZA GAMARRA SILVA		BANIZA GAMARRA SILVA		BANIZA GAMARRA SILVA		BANIZA GAMARRA SILVA		BANIZA GAMARRA SILVA		BANIZA GAMARRA SILVA	
DIRECCIÓN		CALLE RICARDO PALMA N° 997 - CHILCA - HUANCAYO JUNÍN		NOMBRE DEL PROYECTO		SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA		NOMBRE DEL PROYECTO		SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA	
CONTACTO		BANIZA GAMARRA SILVA / PATRICIA ALANZA		DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.		HUANCAYO - JUNIN		DISTRITO / PROVINCIA / DPTO.		HUANCAYO - JUNIN	
CORREO ELECTRÓNICO		PATRICIA.ALANZA@INCALABECOM.PE		ENSAYOS SOLICITADOS				ENSAYOS SOLICITADOS			
ESTACIÓN		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR		EQUIPOS DE CAMPO UTILIZADOS		MARCAS		PROCEDIMIENTO DE MUESTRO	
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN	ESTACIÓN
1	AR - Pecera 1	03/03	13:30	AR3							
2	AR - Pecera 2	03/03	13:38	AR3							
3	AR - Pecera 3	03/03	13:48	AR3							
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											



TIPO DE MATRIZ (1)		CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS		C		NC	
1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado	1. Agua de embotellado
2. Agua de distribución	2. Agua de distribución	2. Agua de distribución	2. Agua de distribución	2. Agua de distribución	2. Agua de distribución	2. Agua de distribución	2. Agua de distribución
3. Agua de red pública	3. Agua de red pública	3. Agua de red pública	3. Agua de red pública	3. Agua de red pública	3. Agua de red pública	3. Agua de red pública	3. Agua de red pública
4. Agua de tubería	4. Agua de tubería	4. Agua de tubería	4. Agua de tubería	4. Agua de tubería	4. Agua de tubería	4. Agua de tubería	4. Agua de tubería
5. Agua de mar	5. Agua de mar	5. Agua de mar	5. Agua de mar	5. Agua de mar	5. Agua de mar	5. Agua de mar	5. Agua de mar
6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia	6. Agua de lluvia
7. Agua de manantial	7. Agua de manantial	7. Agua de manantial	7. Agua de manantial	7. Agua de manantial	7. Agua de manantial	7. Agua de manantial	7. Agua de manantial
8. Agua de río	8. Agua de río	8. Agua de río	8. Agua de río	8. Agua de río	8. Agua de río	8. Agua de río	8. Agua de río
9. Agua de laguna	9. Agua de laguna	9. Agua de laguna	9. Agua de laguna	9. Agua de laguna	9. Agua de laguna	9. Agua de laguna	9. Agua de laguna
10. Agua de piscina	10. Agua de piscina	10. Agua de piscina	10. Agua de piscina	10. Agua de piscina	10. Agua de piscina	10. Agua de piscina	10. Agua de piscina

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTRO		RECEPCIÓN DE MUESTRAS	
Nombre: BANIZA GAMARRA SILVA	Nombre: RONALDO HENRILETA	V° B° LAB	V° B° LAB
Fecha: 03/03	Fecha: 04/03/21	MB	MB
Firma:	Firma:		
Hora:	Hora: 12:00		

CADENA DE CUSTODIA - CALIDAD DE AGUA



CLIENTE O RAZ3N SOCIAL: BANEZA GAMARRA SILVA
DIRECCI3N: HUANCAYO - JUNIN
CONTACTO: BANEZA GAMARRA SILVA / PATRICIA ALAMIA
CORREO ELECTR3NICO: PATRICIA.ALAMIA@BANEZA.COM

PROCEDECIA DE LAS MUESTRAS
REFERENCIA: CS21000005
NOMBRE DEL PROYECTO: SERVICIO DE ENSAYO DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA
DEPARTAMENTO / PROVINCIA / DPTO.: HUANCAYO - JUNIN

Hoja: 2101 0746

CERTIFICADO CLIENTE:

ITEM	ESTACI3N	FECHA	HORA	TIPO DE MUESTRA (1)	GEOREFERENCIA (UTM WGS84)	ALTITUD (metros)	ZONA	ENSAYOS SOLICITADOS					OBSERVACIONES
								PH	SS	DO	DBO 5	CLOROFILA	
1	AR3 - P1	10/02/2021	13:00	AR 3	-	-	-	X	X	X	X	X	
2	AR3 - P2	10/02/2021	13:20	AR 3	-	-	-	X	X	X	X	X	
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													

TIPO DE MATRIZ (1)

AN: AGUA NATURAL
 1. Subterrea 1.1. Manantial 1.2. Terminal 2.1. Rio 2.2. Laguna / Lago
 AR: AGUA RESIDUAL
 3. Domestica 4. Industrial 5. Municipal
 ACN: ARRABO PARA USO Y CONSUMO HUMANO
 6. Agua de bebida (Agua Frasca / Agua de Mesa / Agua Embotada)
 7. Agua de Piscina 8. Agua de Laguna Artificial
 Ab: AGUA SALINA
 9. Agua de Mar 10. Agua Salobre 11. Salmuera 12. Agua de Inyecci3n y Recuperaci3n
 AP: AGUA DE PROCESO
 13. Agua de extracci3n o enfriamiento 14. Agua de calentamiento para calderas
 15. Agua de alimentaci3n para calderas 16. Agua de calderas
 17. Agua de Limpieza 18. Agua purificada 19. Agua de Inyecci3n y Recuperaci3n

CONDICIONES DE RECEPCI3N DE MUESTRAS

CONDICIONES DE RECEPCI3N DE MUESTRAS: C NC
 INVIAR ANULACION:
 MUESTRA EN TIEMPO MAXIMO DE CONSERVACION:
 CONDICIONES DE PRESERVACION VALOR DE PH:
 CONDICIONES DE CONSERVACION DE COCER Y C:
 C:
 No se verificaron

RECEPCI3N DE MUESTRAS

1. EMITIR INFORMAS A NOMBRE DE BANEZA GAMARRA SILVA. DNI: 73799943
 2. EMITIR FACTURA A: INCALABI DEL PERU SAC. RUC: 2060342983
 Documento: EMA 31

DATOS DEL CLIENTE / SUPERVISOR
 Nombre: CHRISTIAN PAOLO MARMANILLO MENDOZA
 Fecha: 11/02
 Hora:
 FIRMA:

RECEPCI3N DE MUESTRAS
 Nombre: Paolo Aguano
 Fecha: 11/02/21 Hora: 12:35
 FIRMA:

ANALISTA DE CAMPO / RESPONSABLE DEL MUESTREO
 Nombre: BANEZA GAMARRA SILVA
 Fecha: 10/02
 Hora:
 FIRMA: