

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el  
tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de  
Cusipata-Cusco**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Edison Irwin Umasi Thea

Asesor:

MSc. Rose Adeline Callata Chura

**Juliaca, diciembre 2020**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

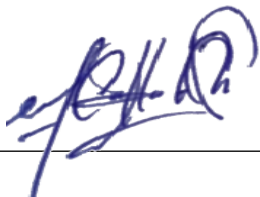
MSc. Rose Adeline Callata Chura, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

### **DECLARO:**

Que el presente informe de investigación titulado: “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN LOMBRIFILTRO (TRES CAPAS) PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL DISTRITO DE CUSIPATA-CUSCO” constituye la memoria que presenta el Bachiller Edison Irwin Umasi Thea para optar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Juliaca, a los 30 días del mes de noviembre del año 2020.



\_\_\_\_\_  
MSc. Rose Adeline Callata Chura



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 22 día(s) del mes de diciembre del año 2020, siendo las 15:10 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, el secretario: Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros: Msc. Jael Lalla Lalla y el asesor Msc. Rose Adeline Gallata Ghura

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Luspata - Cusco

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) Edison Irwin Umasi Ehea b) conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Edison Irwin Umasi Ehea

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito

Candidato (b):

Table with columns: CALIFICACIÓN, ESCALAS (Vigesimal, Literal, Cualitativa), Mérito

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente

Secretary signature and name

Asesor

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el  
tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de  
Cusipata-Cusco

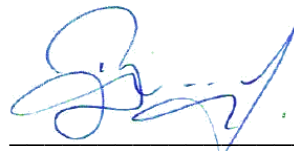
# TESIS

Presentado para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

## JURADO CALIFICADOR



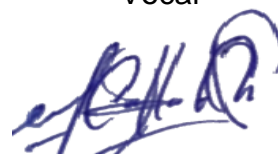
Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera  
Presidente



MSc. Jael Calla Calla  
Vocal



Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani  
Secretario



MSc. Rose Adeline Callata Chura  
Asesor

**Juliaca, 22 de diciembre de 2020**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis apreciados padres, Felicitas y Marcelino por su afecto, cariño, esfuerzo, paciencia y confianza que me brindaron en todo momento, ayudándome a lograr mi objetivo y su constante motivación a seguir adelante.

A mí querida colega, Kim por el apoyo técnico y soporte a lo largo de mi carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por su compañía incondicional, por ayudarme a cumplir cada uno de mis sueños y metas.

A mí querida familia que es lo más preciado que tengo, les guardo un cariño y respeto muy grande.

De una forma muy especial a la MSc. Rose Adeline Callata Chura, asesora, gracias por su apoyo y soporte técnico hasta la culminación de la presente investigación. Gracias por su afecto mediante la amistad y el profesionalismo.

A la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca a los docentes de la E.P. de Ingeniería Ambiental por su desempeño y calidad profesional.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. Identificación del Problema .....	17
1.2. Justificación de la investigación .....	18
1.3. Presuposición filosófica.....	19
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo general .....	20
1.4.2. Objetivos específicos .....	20
CAPÍTULO II.....	21
REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	21
2.1. Antecedentes.....	21
2.1.1. Internacionales .....	21
2.1.2. Nacionales.....	21
2.1.3. A nivel local .....	22
2.2. Marco teórico .....	23
2.2.1. Características de las aguas residuales.....	23
2.2.2. Aguas residuales .....	23
2.2.3. Tipos de aguas residuales .....	23
2.2.4. Características de las aguas residuales domésticas.....	24
2.2.5. Características físicas.....	24
2.2.6. Características Químicas.....	24
2.2.7. Características Biológicas.....	26
2.3. Biofiltro o lombrifiltro .....	27
2.4. La Lombricultura .....	28
2.4.1. <i>Eisenia foetida</i> o Lombriz Roja de California.....	29
2.4.2. Taxonomía.....	29
2.4.3. Anatomía de la lombriz Californiana .....	30
2.4.4. Reproducción de las lombrices .....	32
2.4.5. Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat.....	33
2.5. Marco legal .....	34
2.5.1. La constitución Política del Perú .....	34
2.5.2. Ley N° 28611, ley General del Ambiente. ....	34
2.5.3. Ley N° 29338, ley de Recursos Hídricos.....	34

2.5.4. Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental ECA para agua y establecen disposiciones complementarias (2017). .....	34
2.5.5. Ley N° 27972, ley orgánica de Municipalidades.....	35
2.5.6. Norma OS-090 PTAR. ....	36
CAPITULO III.....	37
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1. Lugar de ejecución.....	37
3.2. Diagrama general de proceso .....	38
3.3. Materiales, instrumentos y Equipos.....	38
3.4. Variables de estudio .....	40
3.4.1. Variable independiente .....	40
3.4.2. Variable dependiente.....	40
3.5. Estudio y tipo de diseño de la investigación .....	40
3.6. Análisis estadístico .....	40
3.7. Recolección de los componentes del lombrifiltro.....	40
3.8. Construcción del lombrifiltro .....	41
3.9. Capas del lombrifiltro .....	42
3.10. Adaptación de las lombrices .....	43
3.11. Medición del caudal y tiempo de retención hidráulico.....	44
3.12. Muestreo del Agua Residual Doméstica a tratar .....	45
3.13. Muestreo del agua residual tratada para el análisis de los parámetros .....	45
CAPITULO IV .....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
4.1. Análisis de los resultados.....	47
4.2. Resultados de parámetros durante el tratamiento.....	47
4.3. Comparación de parámetros antes y después del tratamiento.....	48
4.3.1. Demanda química de oxígeno (DQO).....	48
4.3.2. DBO <sub>5</sub> .....	50
4.3.3. Nitratos .....	51
4.3.4. <i>Escherichia Coli</i> .....	53
4.3.5. Potencial de Hidrogeno (pH).....	55
4.3.6. SST .....	56
4.4. Determinación de la eficiencia del lombrifiltro de tres capas .....	56
4.4.1. Eficiencia en la remoción de DBO <sub>5</sub> , DQO, <i>Escherichia Coli</i> , pH y Nitritos en el experimento.....	57
4.4.2. Prueba T – Student para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, Comparación de la media experimental con el caso control.....	59



CAPITULO V .....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
5.1. Conclusiones .....	62
5.2. Recomendaciones .....	63
REFERENCIAS .....	65
ANEXOS.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la lombriz Californiana o Eisenia foetida. ....	30
Tabla 2 Estándares de Calidad Ambiental para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (Agua para riego no restringido y restringido).....	35
Tabla 3 Materiales que se utilizaran en la investigación.....	39
Tabla 4 Material biológico. ....	39
Tabla 5 Equipos.....	39
Tabla 6 Dimensiones de las capas del lombrifiltro .....	42
Tabla 7 Adaptación de Eisenia Foetida.....	44
Tabla 8 Caudal del lombrifiltro. ....	44
Tabla 9 Tiempo de retención hidráulica (TRH) para el lombrifiltro.....	45
Tabla 10 Caracterización del agua residual inicial .....	47
Tabla 11 Parámetros físico-químicos y microbiológicos antes del tratamiento mediante el sistema de lombrifiltro de tres capas.....	47
Tabla 12 Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el sistema de lombrifiltro de tres capas. ....	47
Tabla 13 Estadística descriptiva DBO <sub>5</sub> .....	59
Tabla 14 Estadística descriptiva DQO .....	59
Tabla 15 Estadística descriptiva pH.....	60
Tabla 16 Estadística descriptiva Nitratos .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Anatomía de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> . .....	31
Figura 2. Aparato digestivo de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> . .....	32
Figura 3. Acoplamiento. ....	32
Figura 4. Cocón eclosionando. ....	33
Figura 5. Ubicación del lugar de ejecución.....	37
Figura 6. Diagrama de flujo del tratamiento del agua residual por medio del lombrifiltro. .	38
Figura 7. Medidas del lombrifiltro. ....	42
Figura 8. Adaptación de las lombrices. ....	43
Figura 9. Comparación del parámetro químico DQO durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> . ....	49
Figura 10. Comparación del parámetro químico DBO <sub>5</sub> durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> . ....	50
Figura 11. Comparación del parámetro nitritos durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> . ....	52
Figura 12. Comparación del parámetro EC durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> .....	54
Figura 13. Comparación del parámetro pH durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> .....	55
Figura 14. Porcentaje de remoción de los parámetros DBO <sub>5</sub> , DQO, SST, E.Coli en el experimento.....	57
Figura 15. Porcentaje de remoción de los parámetros DBO <sub>5</sub> , DQO, E.Coli, pH y Nitritos en el experimento por recolección. ....	58
Figura 16. Toma de muestra del agua residual doméstica.....	71
Figura 17. Selección de <i>Eisenia foetida</i> .....	71
Figura 18. Construcción del lombrifiltro.....	72
Figura 19. Adaptación de <i>Eisenia foetida</i> .....	72
Figura 20. Aforo de los baldes con materia orgánica. ....	73
Figura 21. Lombrifiltro de tres capas con dos repeticiones .....	73
Figura 22. Lombrifiltro de tres capas. ....	74
Figura 23. Recolección de agua residual domestica para el lombrifiltro. ....	74
Figura 24. Muestreo del agua residual tratada en el lombrifiltro. ....	75
Figura 25. Coloración del agua residual después del tratamiento en el lombrifiltro .....	75
Figura 26. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica (Afluente-Pre-Análisis).....	76
Figura 27. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica (Afluente-Pre-Análisis - pH y Nitrato). ....	77
Figura 28. Informe del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°1. ....	78

Figura 29. Informe del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°2. ....	79
Figura 30. Informe del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°3. ....	80
Figura 31. Informe del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°1. ....	81
Figura 32. Informe del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°2. ....	82
Figura 33. Informe del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°3. ....	83
Figura 34. Informe del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°1. ....	84
Figura 35. Informe del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°2. ....	85
Figura 36. Informe del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual doméstica con la especie <i>Eisenia foetida</i> , muestra del lombrifiltro N°3. ....	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico .....	71
Anexo 2. Resultados de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica (Afluente-Pre-Análisis) .....	76
Anexo 3. Resultados del primer analisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la Especie <i>Eisenia foetida</i> .....	78
Anexo 4. Resultados del segundo analisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la Especie <i>Eisenia foetida</i> .....	81
Anexo 5. Resultados del tercer analisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la Especie <i>Eisenia foetida</i> .....	84
Anexo 6. Plano del lombrifiltro .....	88
Anexo 7. Caudales usados para el TRH del lombrifiltro .....	89

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia del sistema piloto del biofiltro de tres capas para el tratamiento de las aguas residuales domesticas mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con la finalidad de brindar un aporte en el tratamiento y reaprovechamiento del agua residual con fines de riego de plantas en Cusipata. Metodología: se aplicó la adaptación de las lombrices durante un periodo de siete días, posteriormente se transfirió al sistema del lombrifiltro. El lombrifiltro estaba conformando por una estructura de madera con tres lombrifiltro cada uno con tres capas de materia orgánica (compost y aserrín) y organismos vivos (*Eisenia foetida*) y una capa final de (piedra de rio, grava mediana y arena) asimismo se tuvo un tanque de almacenamiento de agua residual el cual alimento al sistema de forma continua (flujo continuo). El sistema de tratamiento del lombrifiltro fue en un tiempo de retención hidráulica de 8 horas, con flujo de caudal de 0.77 l/min. Donde se analizó los parámetros iniciales de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, *Escherichia Coli* con los siguientes valores respectivamente.

Resultados: se observó que especie *Eisenia foetida* redujo en un 88% la DBO<sub>5</sub>, 86%DQO, 95%SST y 99% *Escherichia Coli*. Conclusiones: el sistema alcanza los valores aceptables de uso para riego de vegetales no restringido y restringido, asimismo para bebidas de animales tal como consta en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

**Palabras clave:** *Eisenia foetida*, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y *Escherichia Coli*, lombrifiltro.

## ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the efficiency of the pilot system of the three-layer biofilter for the treatment of domestic wastewater by analyzing the physicochemical and microbiological parameters in order to provide a contribution to the treatment and reuse of wastewater with Plant irrigation purposes in Cusipata. The adaptation of the species was applied during a period of seven days, then the three-layer worm filter system (river rock, gravel, sand, sawdust, earth and compost) and living organisms (Californian red worm) and a tank were inoculated. continuous flow waste water storage system.

The residual water was deposited in a storage tank feeding for a period of six days, and then passed to the biofilters that contain the *Eisenia foetida* species. To determine the efficiency of the three-layer earthworm filter, the amount of concentration of the physicochemical and microbiological parameters of the wastewater that entered the treatment process was analyzed. Obtaining the results that the *Eisenia foetida* species reduced  $DBO_5$  by 88%, 86% COD, 95% TSS and 99% *Escherichia Coli*. Concluding that the three-layer worm filter is efficient in removing contaminants from domestic wastewater, which makes it acceptable for unrestricted and restricted irrigation of vegetables, as well as for animal beverages, as stated in Supreme Decree No. 004 -2017-MINAM.

**Keywords:** *Efficiency, worm filter, Eisenia foetida, BOD<sub>5</sub>, COD, SST and Escherichia Coli.*

## Simbología

**DQO** : Demanda química de oxígeno

**EF** : Eiseña foetida

**LMP** : Límite máximo permisible

**ECA** : Estándares de calidad Ambiental

**UTM** : Universal Transversal Mercator

**pH** : Potencial de hidrógenos, es la medida de la acidez de una solución

**DBO<sub>5</sub>** : Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (mg/L)

**D.S** : Decreto supremo

**PTAR** : Planta de tratamiento de Aguas Residuales

**EC** : *Escherichia Coli*.

**SST** : Solidos suspendidos totales

**TRH** : Tiempo de retención hidráulico



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del Problema

La mayor parte de las actividades humanas que usan agua producen aguas residuales y a medida que crece la demanda de este recurso a nivel mundial, el volumen de las aguas residuales y su grado de contaminación se encuentran en constante incremento a nivel global. Donde la mayor parte de las aguas residuales se vierten al medio ambiente sin un tratamiento previo, esto repercute negativamente en la salud humana, producción económica, principalmente en la calidad de los recursos de agua dulce y los ecosistemas (UNESCO, 2017).

La creciente necesidad de satisfacer las demandas de suministros de agua para riego, comercial e industrial además del aumento de la demanda agrícola hacen que estos sustentos principales de las actividades económicas y estos mismos son sumideros de los productos originados por ellas, la capacidad de resiliencia de las aguas superficiales y subterráneas es ampliamente superada, esto atenta cada vez contra la disponibilidad y calidad. El aumento de la población combinada con la creciente urbanización está efectuando cambios en el uso del agua y esto acrecentar la alteración de la dinámica y composición hidrológica (EPA, 2012).

El 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento alguno; asimismo, de las 143 plantas de tratamiento que existen en el Perú, solo el 14% cumplen con la normatividad vigente (Larios et al., 2015). Los sistemas de alcantarillado recolectan aproximadamente 747.3 millones de metros cúbicos de aguas residuales, de ese volumen solo el 29.1% ingresan a un sistema de tratamiento de aguas residuales, muchos con deficiencias operativas y de mantenimiento, y el resto se descargó directamente a cuerpos de agua ( mar, ríos o lagos) o se usó clandestinamente para fines agrícolas (Méndez & Marchán, 2008).

De los 750 L/s de agua potable que consume la población de Cusco, el 80% (600 L/s) se transforma en agua residuales, de los cuales 280 l/s fluyen sin ningún tratamiento directamente de domicilios y fabricas al cauce del rio Huatanay y 320 L/s discurren a la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San Jerónimo, misma que no realiza una adecuada depuración de las aguas residuales (Paredes, 2019).

El sistema de lombrifiltros es una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales domésticas, esta tecnología busca optimizar la reutilización de las aguas servidas en la agricultura, el riego y uso industrial; asimismo de disminuir los impactos negativos en el ambiente y la salud (Arango, 2003).

En la región Cusco especialmente en Cusipata, distrito de la provincia de Quispicanchis, se evidencia la inexistencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas que se generan, al ver el desinterés de las autoridades actuales y anteriores y también por la negligencia de la población, en el planteamiento de una solución para el tratamiento de aguas residuales que se vierten directamente al rio Vilcanota contaminando este cuerpo de agua. Con dicho panorama y analizando los beneficios ecológicos para el medio ambiente y la población, se realizó la presente investigación, donde se evaluará la eficiencia del lombrifiltro de tres capas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el fin de contribuir en la calidad de aguas residual doméstica del distrito de Cusipata.

## **1.2. Justificación de la investigación**

El método de lombrifiltros, consistente en biofiltros donde se hace uso de aserrín como sustrato para la ubicación de las lombrices, las que degradaran la materia orgánica de las aguas residuales, estas generan aguas limpias y de calidad adecuada, el uso del sistema sirve para el ahorro del agua, posee muchos beneficios como ayudar al medio ambiente, evita tener malos olores, puede ser usado en el riego de vegetales, además de disminuir las emisiones de material particulado (Bermúdez, 2019).

La investigación permitirá fortalecer la cultura ambiental de la población de Cusipata, ello favorece a optimizar la calidad del agua y promover a la conservación de los recursos naturales mediante el uso de técnicas beneficiosas para el ambiente, mediante el sistema de lombrifiltros. Un aspecto favorable de este sistema es que produce un sub producto que puede ser usado como abono natural. El desarrollo de dicho proyecto repercute positivamente, emplea un método ecológico, eficiente y autosostenible que hace uso de lombrices para filtrar los residuos (Bermúdez, 2019).

Los lombrifiltros remueven cerca del 90% de DBO y los sólidos volátiles, y casi la totalidad de los coliformes fecales presentes en el agua residual (Acuña & Reyes, 2015), la aplicación del sistema de lombrifiltros en las aguas residuales del distrito de Cusipata, da la posibilidad que al ser aplicado se obtenga agua apta para el regado de áreas verdes y vegetales, lo cual ayudara a controlar la contaminación de las aguas residuales y asimismo prevenir la futura escasez de agua potable en el distrito.

El aporte tecnológico en el que se basa los lombrifiltros es en un sistema de tratamiento no convencional con muy baja contaminación, no se produce malos olores, produce un subproducto como es el humus, el agua puede ser reutilizada.

### **1.3. Presuposición filosófica**

El libro de Génesis hace mención a que Dios en su inconmensurable amor hizo los cielos y la tierra, el mar y las fuentes de agua, además de nombrar al hombre mayordomo de todo lo creado (Reina-Valera, 1960). El señor nos otorgó la oportunidad de poder cuidar toda su creación, ello incluye asimismo los cuerpos de agua y todo ser viviente que habita el planeta.

Hebreos 3:4 dice “Porque toda casa tiene su constructor, pero el constructor de todo es Dios” (Reina-Valera, 1960), dicho versículo nos da un claro panorama de que el constructor y creador de todo es Dios, nosotros como hijos suyos estamos en la obligación de cuidar la creación de nuestro padre celestial.

Con este proyecto aportare a mejorar la calidad de vida de la población de Cusipata, asimismo contribuir al medio ambiente haciendo uso del sistema de lombrifiltros, de este modo cumplir con el principio de la iglesia, seguir el ejemplo de Cristo, velando por los demás y estar enteramente agradecidos a él por brindarnos diversas herramientas para ayudar a la sociedad.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar la eficiencia del lombrifiltro de tres capas con la especie *Eisenia foetida* en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas del distrito de Cusipata- Cusco.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, nitratos y *Echerichia Coli*.
- Determinar el porcentaje de remoción.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Internacionales

En China, en la ciudad de Nanjing (2016) el Instituto de Investigación Hidráulica, realizó un estudio que tuvo como principal objetivo evaluar la eficiencia de la lombriz *Eisenia foetida* en la remoción de las aguas residuales de un humedal, en dicho trabajo se construyó un humedal con lechos filtrantes y con plantaciones de caña, y otro con lombriz y una muestra en blanco para los resultados. Después de tratamiento los resultados fueron: para el nitrógeno total 73%, para el DQO 88% y para el fósforo total 93% y se concluyó que la calidad de las aguas después del tratamiento es eficaz, encontrándose dentro los valores permitidos de la normativa (Jiang et al., 2016).

En China el año 2010, se desarrolló un estudio de investigación para determinar la relación entre el crecimiento, reproducción y la actividad enzimática de las lombrices de tierra en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Shanghai. El biofiltro estaba compuesto por cuarzo, arena y cerámica. Los resultados fueron óptimos dando para el DQO (47,3-64,7%), DBO<sub>5</sub> (54,78%-66,36%), sólidos suspendidos totales (57,18-77,90%). Dicho estudio también demuestra que la carga hidráulica lleva a una disminución en la eficiencia del tratamiento y que las lombrices de mayor tamaño favorecen la remoción (Meiyan et al., 2010).

##### 2.1.2. Nacionales

En Colombia, en el 2015, en la ciudad de Pamplona se realizó el diseño y la construcción de un sistema de lombrifiltros para tratar las aguas residuales domésticas. De dicho estudio se obtuvieron los siguientes resultados 92.10% en todo el sistema, 92.1% en la remoción de materia orgánica a partir de DQO. A las conclusiones que se llegaron fueron que dicho sistema posee resultados favorables para tratar las aguas residuales domésticas (Ramón et al., 2015).

En la ciudad de Quito, Ecuador, realizo un estudio para el tratamiento de aguas residuales, cuyo objetivo fue elaborar un diseño de un biofiltro para el tratamiento de aguas residuales en la central Termoeléctrica Sacha, dicho trabajo consistió en diseñar dos biofiltros, el primero aserrín +lombriz y la segunda fibra de coco+ lombriz. Los resultados obtenidos para la remoción de contaminantes con aserrín son del 53,53% el cual se encuentra fuera de la norma, el segundo con fibra de coco obtuvo 82,37% y se encuentra dentro de la normativa de ese país. Se concluyó que el sistema eficaz es la fibra de coco + la lombriz (Vicente, 2014).

En el estudio “Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domesticas”, se tomó 10 muestras de aguas residuales durante 4 meses, para determinar la eficiencia de remoción, evaluándose a través de pruebas microbiológicas. Los resultados obtenidos dieron una eficiencia de 95% para el DBO5, solidos suspendidos totales 80% en nitrógeno y fosforo 70%. El método fue eficiente en un 80% en la remoción de Salmonella, en la remoción de coliformes totales y fecales fue de 6 escalas logarítmicas. Cumpliendo así con la normativa chilena, para el uso de aguas residuales en riego de cultivos agrícolas (Arango, 2003).

### **2.1.3. A nivel local**

En la ciudad de Bagua-Amazonas, en el año 2015, se realizó una investigación mediante el uso de *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, cuyo objetivo fue la remoción de contaminantes del agua residual, con las lombrices. Se obtuvieron como resultado la eficiencia en la temperatura 4,99%, fosforo total 51,93%, sulfatos 78,33%, nitratos 67,52%, nitrógeno total 68,04%, aceites y grasas 29.98%, solidos suspendidos totales 31,36%, DBO5 94,51%, DQO 94,96%, coliformes fecales 91,36%, coliformes totales 90,18%, E. coli 98,80% y en el pH 2,52%. Concluyéndose así que el uso de lombrices para el tratamiento de las aguas residuales es eficiente (Acuña and Reyes, 2015).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Características de las aguas residuales**

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusados, vertidos a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

### **2.2.2. Aguas residuales**

Las aguas residuales, también conocidas como aguas servidas o efluentes, son definidas como agua que ha sido utilizada y contiene materiales de desecho disueltos o suspendidos, además cuya calidad ha sido negativamente afectada por actividad antropogénica (UNESCO, 2017).

### **2.2.3. Tipos de aguas residuales**

#### **a) Aguas residuales domésticas**

Son aquellas que son de origen residencial y comercial que tienen contenidos de desechos fisiológicos, entre otros que provienen de la actividad humana y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014).

#### **b) Aguas residuales industriales**

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, esto incluye a las actividades mineras, agrícolas, energética, agroindustrial, entre otros(OEFA, 2014).

#### **c) Aguas residuales municipales**

Son aquellas aguas residuales domesticas que están mezcladas con agua de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas es los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

#### **2.2.4. Características de las aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales domésticas poseen una composición relativamente uniforme la cual se distingue claramente de las aguas residuales industriales, cuya variedad es en muchos casos indescriptible. La composición de los efluentes domésticos varía influenciado por factores como el consumo de agua, hábitos alimentarios, uso de productos de limpieza, etc. Dicha variación se da con respecto al tiempo, puede variar en el transcurso del día, en función de los días de la semana y se presentan variaciones estacionales (Espinares & Pérez, 1986).

#### **2.2.5. Características físicas**

##### **2.2.5.1. Color**

Tienden a ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro (Espinares & Pérez, 1986).

##### **2.2.5.2. Sólidos**

Se clasifican en:

- a) Totales: residuos que se quedan tras la evaporación y secado de la muestra a 130°C durante 60 minutos (Espinares & Pérez, 1986).
- b) Fijos: residuos remanentes después de la evaporación y carbonización a 600°C, alrededor de varios minutos (Espinares & Pérez, 1986).

#### **2.2.6. Características Químicas**

Existen una diversa serie de parámetros que tienen una especial importancia para describir la composición de las aguas residuales (Espinares & Pérez, 1986).

- **Materia orgánica:** Constituye la tercera parte de los elementos de las aguas residuales, los compuestos que se pueden hallar son proteínas (40-60 %), carbohidratos (25-50 %), grasas y aceites (10%) (Espinares & Pérez, 1986).



- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para poder degradar la materia orgánica presente en el agua. Este tipo de prueba se realiza durante 5 o 3 días a 20°C por lo que se expresa como DBO o DBO<sub>5</sub> (Espinares & Pérez, 1986).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** mide la cantidad de materia orgánica del agua, este parámetro no debe ser menor que la del DBO (Espinares & Pérez, 1986).
- **Carbono orgánico total (COT):** se mide mediante la introducción de una cantidad conocida de muestra en un horno a alta temperatura. Dicho carbono orgánico se oxida a CO<sub>2</sub>, en presencia de un catalizador y que se cuantifica mediante un analizador de infrarrojos. Pero como no se oxidan todos los componentes orgánicos presentes, los valores de COT dan una estimación de carbono orgánico inferior a la real (Espinares & Pérez, 1986).
- **Demanda total de oxígeno (DTO):** esta prueba se realiza en una cámara de combustión catalizada con platino, en la cual se produce una transformación de la materia orgánica en productos finales estables. El oxígeno residual es analizado por cromatografía gaseosa y por diferencia obtenemos DTO (Espinares and Pérez, 1986).
- **Demanda teórica de oxígeno (DTeO):** se estima mediante una reacción teórica de oxidación total. Para ello, es necesario conocer la composición de las aguas residuales en carbohidratos, proteínas y grasas (Espinares & Pérez, 1986).
- **Oxígeno disuelto:** es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento. La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua (Espinares & Pérez, 1986).

- **pH:** la actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentra entre los valores de 5 a 9 no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas. Otro aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas acidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales (Espinares & Pérez, 1986).
- **Metales pesados:** algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles en carácter toxico: cobre, cromo, boro, plomo, plata, arsénico, antimonio, bario, flúor y selenio (Espinares & Pérez, 1986).

### 2.2.7. Características Biológicas

Las aguas residuales independientemente de su composición y concentración llevan una gran cantidad de organismos (Espinares & Pérez, 1986).

A continuación, se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar.

- **Bacterias:** pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento. En las aguas residuales predominan los siguientes grupos de especies: Escherichia, Salmonella, estreptococos fecales, Proteus, Pseudomonos, Aeromonas, Serratia, Nitrobacter, etc (Espinares & Pérez, 1986).
- **Virus:** proceden de la excreción de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Tienen la capacidad de absorber solidos fecales y otras materias particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales (Espinares & Pérez, 1986).

- **Algas:** su crecimiento esta favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y restos de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno se produce por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*, etc (Espinares & Pérez, 1986).
- **Protozoos:** los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los cilios libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que estos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez (Espinares & Pérez, 1986).
- **Hongos:** la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerare valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Estos les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales (Espinares & Pérez, 1986).

### 2.3. Biofiltro o lombrifiltro

El biofiltro es un sistema biológico empleado como tratamiento secundario o terciario de aguas residuales, donde las aguas se depuran por procesos naturales. Esta tecnología de filtración en múltiples etapas, integra un biofiltro convencional que puede estar compuesto por capas filtrantes, humedales artificiales, lombrices y microorganismos relacionados (WSP, 2006).

La tecnología nació como una propuesta de tratamiento de agua residual de bajo costo, a pequeña o mediana escala, los costos de implementación, operación y mantenimiento son menores en relación a otros tipos de tratamiento, por lo que es una

alternativa factible en poblaciones rurales (Arango, 2003). De igual manera, su mecanismo de acción no es de alta complejidad, por lo que los requerimientos en capacitación de mano de obra no son muy exigentes, y la poca necesidad de amplios espacios le otorga una mayor facilidad de aplicación y uso descentralizado (Loro, 2018).

Consiste en agregar el afluente en la parte superior del filtro, éste por acción de la gravedad inicia su recorrido a través de los diferentes estratos. En la capa superficial queda retenida la materia orgánica que es degradada por las lombrices que las digieren transformándolas en humus (Kusanovic, 2009).

#### **2.4. La Lombricultura**

La lombricultura denominada también vermicultura es una biotecnología que era desconocida entre nosotros hasta hace poco, se inició en EE.UU en la década de los 40, posteriormente se extendió por Europa y finalmente a todo el mundo; aplica normas y técnicas de producción utilizando lombrices rojas californianas para biodegradar residuos orgánicos y convertirlas en fertilizante (Schuldt, 2006).

Con su actividad principal en la fertilización, aireación, formación del suelo es posible obtener materia orgánica estable en tiempos relativamente cortos para su uso en la agricultura. Se trata del humus de lombriz que en comparación es 5 veces superior en nitrógeno, fosforo, potasio y calcio (Díaz, 2002).

La lombricultura tiene un enfoque ecológico por el reciclaje que se realiza con los diferentes sustratos empleados en su alimentación (excreta bovina, basura orgánica, desperdicios industriales); tiene además un enfoque tecnológico que por los distintos fenómenos microbiológicos y bioquímicos que ocurren en el proceso de fermentación de la alimentación de las lombrices a partir de materiales orgánicos; además de brindar una respuesta simple racional y económica al problema ambiental (Somarriba & Guzman, 2004).

#### **2.4.1. *Eisenia foetida* o Lombriz Roja de California**

Está clasificada en el reino animal como un anélido terrestre, de la clase de los Oligoquetos, siendo su principal hábitat el ambiente húmedo, no acepta la luz. Este anélido es hermafrodita insuficiente, siendo bisexual que necesita aparearse para reproducirse (Somarriba & Guzman, 2004).

La *Eisenia foetida* es una lombriz extraordinariamente prolifera, muy vivas, trabajadora, resistente al estrés, tal vez como ninguna otra y que se ha logrado hacer trabajar en densidades de 50.000 a 60.000 lombrices por metro cuadrado, cifra que ninguna otra lombriz salvaje está en condiciones de resistir (AGROFLOR, 1993).

La lombriz californiana está constituida por agua, ya que represente el 80% al 90% de su peso total, posee una estructura biológica simple. Presenta tonalidades que van desde rosados, negros, blancos, marrones y rojos, dicha variación es por la presencia de pigmentos protoporferina y ester metílico, esto lo protege de la radiación ultravioleta. Además, agregarle que estas pueden vivir alrededor de 15 años en cautiverio, alcanzan la adultez entre los 7 y 9 meses por otro lado, llegan a medir hasta los 10 centímetros de largo y pesar alrededor de 0,24 a 1,4 gramos (AGROFLOR, 1993).

Las lombrices llegan a consumir todo tipo de materia orgánica, digieren el equivalente a su peso, de ello el 80% es eliminado como humus y el 20% para su sostenimiento. Por ellos la cantidad de materia orgánica que haya en el agua determinará su población (AGROFLOR, 1993).

#### **2.4.2. Taxonomía**

La clasificación taxonómica de la lombriz californiana o *Eisenia foetida* (Saboya Rios, 2017).

A continuación, se describe su taxonomía:

Tabla 1

*Taxonomía de la lombriz Californiana o Eisenia foetida.*

Taxonomía	
Reino	Animal
División	Anélidos
Clase	Clitelados
Orden	Oligoquetos
Familia	Lombricidos
Genero	Eisenia
Especie	Foetida

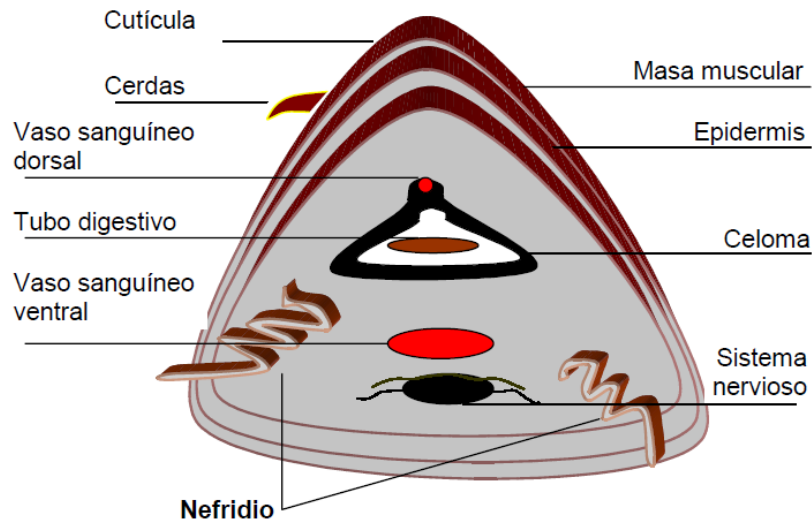
Fuente: AGROFLOR, 1993)

En el orden de los oligoquetos hay aproximadamente 1800 especies agrupadas en 5 familias distribuidas en todo el mundo. La familia de las lombrícidos tiene más de 22<sup>o</sup> especies con tamaños que oscilan desde uno pocos milímetros hasta más de un metro, pero la mayoría están comprendidas entre 2 y 20 cm (Díaz, 2002).

#### 2.4.3. Anatomía de la lombriz Californiana

- **Cutícula:** lamina quitinosa muy delgada, finamente estriada, cruzada por fibras.
- **Epidermis:** epitelio simple con células glandulares que están encargadas de producir mucus y sustancias cerosas.
- **Capas musculares**
- **Peritoneo:** es lo que limita al celoma (cavidad de la lombriz).
- **Celoma:** espacio que contiene líquido y envuelve el canal alimenticio. Este fluido se expulsa ante el peligro.

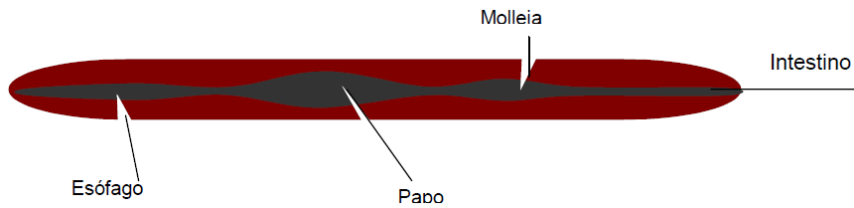
- **Tubo digestivo:** este canal corre desde la boca al ano. Detrás de la boca encontramos la cavidad bucal y dentro de ella las células de paladar (prostomio) (Díaz, 2002).



*Figura 1.* Anatomía de la lombriz *Eisenia foetida*.  
Fuente: Guía de lombricultura ADEX.

Luego de la cavidad bucal, continúa la faringe que une la boca al esófago actuando como una bomba de succión.

El esófago se abre a partir de la faringe y continúa en el papo y la molleja que aplastan el alimento para su digestión. Detrás de la molleja comienza el intestino donde ocurre la digestión y la absorción de los alimentos, pudiendo detectar glucosa y sacarosa entre otras sustancias (Díaz, 2002).



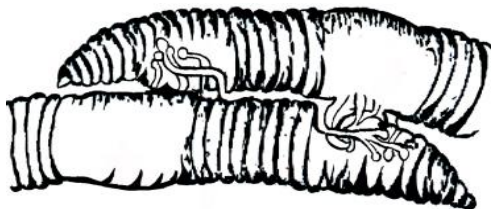
*Figura 2.* Aparato digestivo de la lombriz *Eisenia foetida*.  
Fuente: Guía de lombricultura ADEX.

#### 2.4.4. Reproducción de las lombrices

Las lombrices son hermafroditas, es decir están dotadas de órganos sexuales masculinos y femeninos, pero son incapaces de autofecundarse, y se reproducen recíprocamente por fecundación cruzada (Somarriba & Guzman, 2004).

Durante el apareamiento se intercambian espermatozoides que no fecundan inmediatamente a los óvulos. Luego de producirse la fecundación, depositan en el lugar donde se alimentan 3 cápsulas de paredes resistentes (llamados cocones) conteniendo cada una de 3 a 10 lombrices pequeñas (AGROFLOR, 1993).

Estas lombrices, que son iguales a las adultas, pero de color blanco y más pequeñas, están sometidas a peligros que pueden ser mortales para su delicada contextura como: falta de comida, presencia de algunos productos tóxicos, enemigos naturales, etc. Haciendo que disminuya apreciablemente el número inicial, llegando aproximadamente un 5% al estado adulto (Díaz, 2002).



*Figura 3.* Acoplamiento.  
Fuente: AGROFLOR manual de lombricultura AGROFLOR.





*Figura 4. Cocón eclosionando.*  
Fuente: Manual de lombrices ADEX.

#### **2.4.5. Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat**

Para el desarrollo favorable de las lombrices las condiciones ideales para su desarrollo son las siguientes características:

Una temperatura de 20°C que se considera nivel óptimo, se acerca a su temperatura corporal. Entre 15°C y 24°C es el nivel adecuado, inferiores y mayores a estos existe el peligro de muerte de las lombrices (AGROFLOR, 1993).

Asimismo, la temperatura es otro de los factores que influyen en la producción de humus o vermicompost y la fecundidad de las lombrices (Paco et al., 2011). El pH entre 6.5 y 7.5 es el más favorable, entre 6 a 8 oscila entre el nivel adecuado. Menor a 4.5 y 8.5 las lombrices se mueren (AGROFLOR, 1993).

Las condiciones de humedad dependen de las partículas de compost, mientras sean más finas mayor será la retención del agua y la humedad oscilara entre el 70% y 80% que son las más favorables para la lombriz, por debajo de 70% de humedad es desfavorable y con 50% de humedad hay el riesgo de que las lombrices mueran (AGROFLOR, 1993).

A pesar de las diversas variantes las lombrices especialmente la lombriz californiana tiene la capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales que se le presenten.

## **2.5. Marco legal**

El Perú aprobó una serie de normas para desarrollar una cultura ambiental en las actividades económicas que se desarrollan en el país.

### **2.5.1. La constitución Política del Perú**

En su Artículo 22: menciona que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”. Siendo que el agua es una matriz ambiental de gran importancia para el desarrollo del ser humano (Constitución Política del Perú, 1993) .

### **2.5.2. Ley N° 28611, ley General del Ambiente.**

El artículo 121. Del vertimiento de aguas residuales, da entender que toda persona natural o jurídica tiene que tener previa autorización antes de desembocar las aguas después de su uso, por la razón que no perjudique a los cuerpos hídricos. Además, en el artículo 122º menciona que cuando se genera aguas residuales, la persona tiene que ser responsable de darle un tipo de tratamiento y de esta manera reducir el nivel de contaminación y ser compatible con los LMP (Ley General del Ambiente Ley N° 28611, 2008).

### **2.5.3. Ley N° 29338, ley de Recursos Hídricos.**

En el principio 2 de prioridad en el acceso al agua, establece que la persona tiene derecho a utilizar el agua para satisfacer sus múltiples necesidades.

### **2.5.4. Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental ECA para agua y establecen disposiciones complementarias (2017).**

Norma vigente en la actualidad que tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 023-

2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, modificando y eliminando algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, además que incluye la frase de riego restringido y no restringido (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

Esta norma establece los estándares de calidad ambiental para cuerpos de agua superficial, destinado a cuatro usos:

- **Categoría 1:** Poblacional y recreacional.
- **Categoría 2:** Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- **Categoría 3:** Riego de vegetales y bebida de animales.
- **Categoría 4:** Conservación del ambiente acuático.

De acuerdo a la norma la investigación está relacionada con los estándares de la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, D1: Riego de vegetales- Agua para riego no restringido.

Tabla 2

*Estándares de Calidad Ambiental para agua. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (Agua para riego no restringido y restringido)*

Parámetro	Unidad	ECA
Aceites y grasas	mg/L	5-10
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1000-2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
pH	Unidad	6.5-8.5
Temperatura	°C	Δ 3

Fuente. Decreto supremo N° 004-2017-MINAM.

#### **2.5.5. Ley N° 27972, ley orgánica de Municipalidades.**

En el artículo 80°. Menciona que una de las funciones de las municipalidades en materia de saneamiento, salubridad y salud es Regular y controlar el proceso de

disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales (Ley Orgánica de Municipalidades Ley N° 27972).

**2.5.6. Norma OS-090 PTAR.**

La norma OS-090 del Reglamento Nacional de Edificaciones aprobada mediante D.S N° 011-2006-VIVIENDA y modificada por D.S N° 022-2009-VIVIENDA; en el numeral 3.116, hace mención sobre el reusó de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico sin afectar la salud humana y recursos (NORMA OS.090).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La construcción del lombrifiltro se ubicó en el distrito de Cusipata - departamento de Cusco, provincia de Quispicanchi, con coordenadas geográficas UTM son 770132.8 Este y 1538503.7 Norte, con una altitud de 3310 msnm.

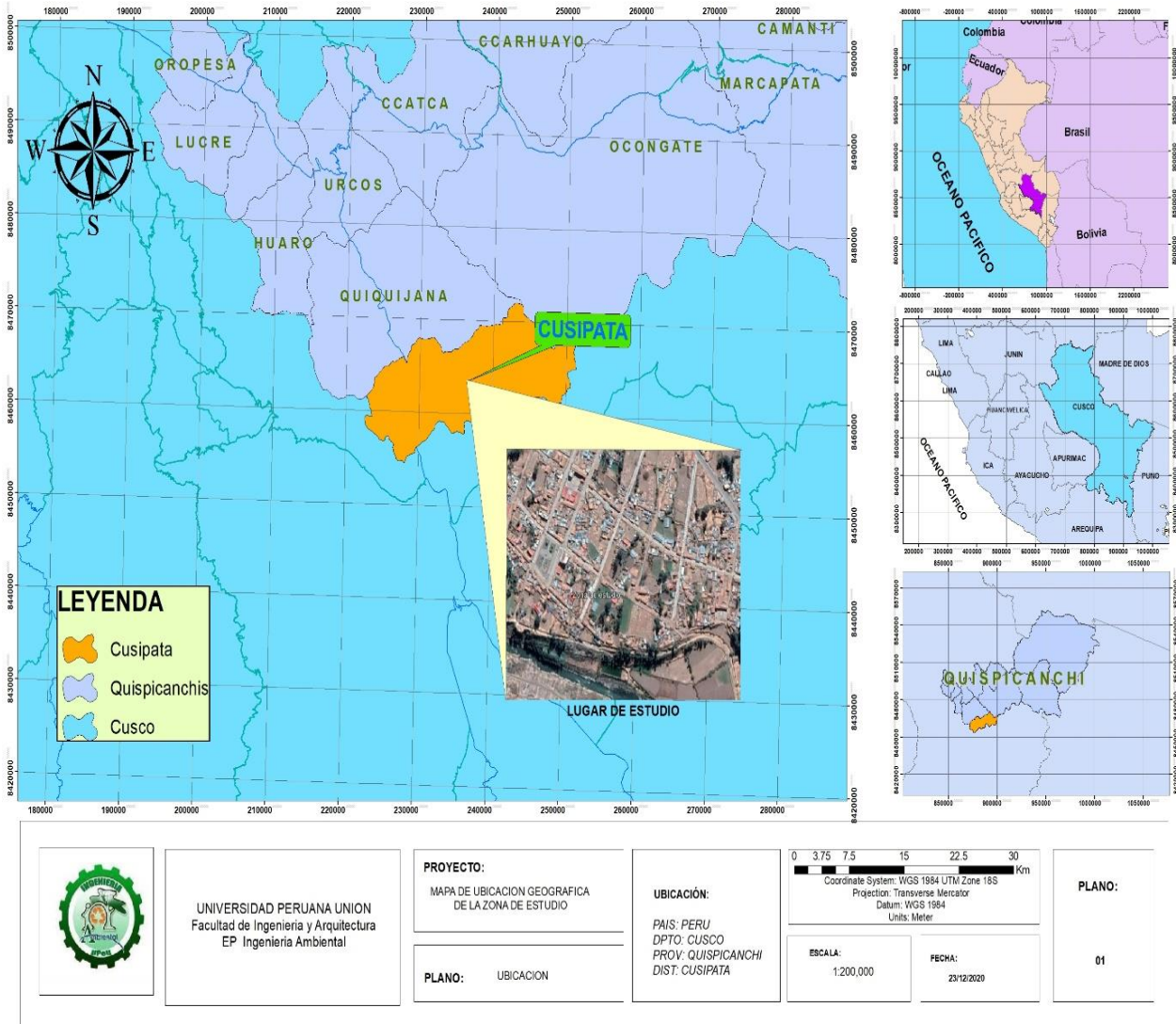


Figura 5. Ubicación del lugar de ejecución.

### 3.2. Diagrama general de proceso

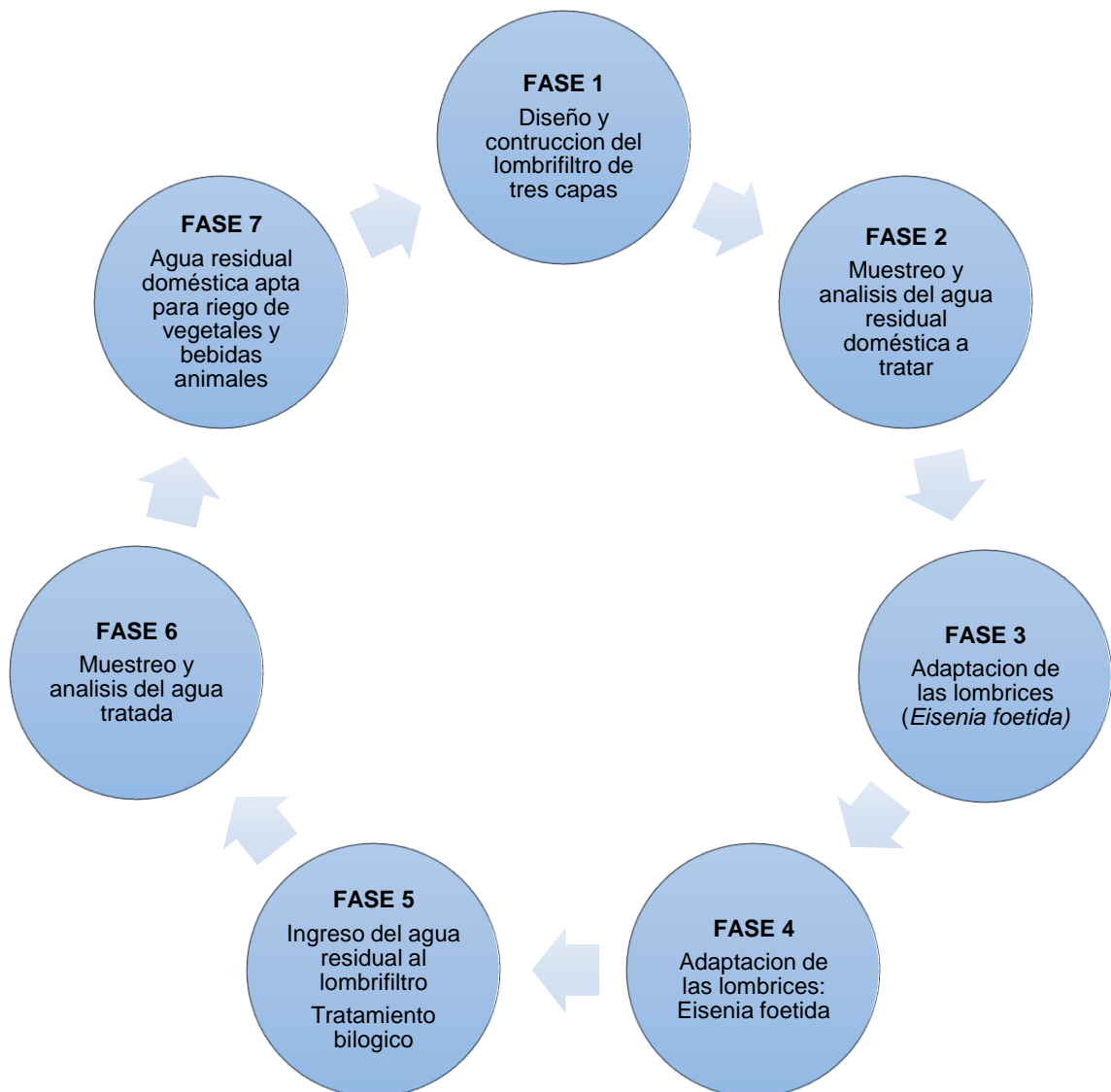


Figura 6. Diagrama de flujo del tratamiento del agua residual por medio del lombrifiltro.

### 3.3. Materiales, instrumentos y Equipos

En los siguientes cuadros se detallarán los materiales, instrumentos y equipos a utilizar en la construcción de los sistemas de biofiltros.

Tabla 3

*Materiales que se utilizaran en la investigación*

Materiales	Cantidad	Unidad
Piedra de río	1	m3
Grava pequeña	1	m3
Arena	1	m3
Baldes grandes	6	Unid.
Baldes pequeños	4	Unid.
Tanque de agua	1	Unid.
Llaves de control	5	Unid.
Cooler	1	Unid.
Malla Rachel	5	Unid.
Tubos de 2"	3	Unid.
Galones	5	Unid.
Tubos de 4"	2	Unid.
Tubo T de 2"	3	Unid.
Pegamento	2	Unid.
Teflón	2	Unid.
Silicona	1	Unid.
Balde de 20L	6	Unid.
Codos de 2 y 4	8	Unid.
Pico	1	Unid.
Guantes	1	Unid.
Madera	5	Unid.
Pala	1	Unid.
Mascarilla	2	Unid.
Cilindro de plástico	2	Unid.

Tabla 4

*Material biológico.*

Materiales	Cantidad	Unidad	Marca
Eisenia foetida	2	2kg	---

Tabla 5

*Equipos.*

Materiales	Cantidad	Unidad	Marca
pH metro	1	Unid.	

### **3.4. Variables de estudio**

#### **3.4.1. Variable independiente**

Sistema de lombrifiltro.

#### **3.4.2. Variable dependiente**

Tratamiento de agua residual doméstica.

### **3.5. Estudio y tipo de diseño de la investigación**

El siguiente proyecto está orientada a una investigación cuantitativa, de diseño experimental, debido a que a que se manipularan las variables de estudio, en este caso los parámetros del agua residual; esta investigación sigue una serie de procesos secuenciales para llegar a la finalidad, además de necesitar de un análisis para poder comprobar si los resultados son acertados, dicha recolección de datos se fundamenta en la medición de los parámetros físico-químicos y microbiológicos.

### **3.6. Análisis estadístico**

Los datos recopilados serán introducidos y analizados por el Software estadístico SPSS 25. Además, se aplicó la prueba T de student (Flores et al., 2017) para una muestra con un nivel de significancia del 95% y una vez procesado los resultados estos se compararon con el Decreto Supremo N°004-2027-MINAM.

### **3.7. Recolección de los componentes del lombrifiltro**

- Se tomó 2 Kg de Eisenia foetida (Lombriz roja californiana) para el diseño del lombrifiltro, se realizó una excavación de aproximadamente 10 cm de profundidad en la respectiva cama de compost, donde se recolectó a los organismos mediante una lampa.
- El aserrín se recolecto de una carpintería aproximadamente 10 kilos.
- Las piedras, grava mediana de (2 cm) se recolectaron de un río.



### 3.8. Construcción del lombrifiltro

- Tanque de almacenamiento: Se compró y adaptó un tanque de agua de 500 L, para almacenar y permitir el ingreso a los sistemas el agua residual doméstica del distrito de Cusipata.
- Fuente de ingreso: Se construyó con tubos PVC, dos llaves de ingreso y 3 llave de control para los tres sistemas, según medida de la estructura de los baldes.
- Construcción de las estructuras del balde: Se adecuó 6 baldes industriales, para el tratamiento de las aguas residuales, en las cuales se realizaron 3 compartimentos con dimensiones de 15cm de profundidad para la primera capa, 15cm la segunda capa y la tercera capa. Las mismas que se encontraran con el material biológico *Eisenia foetida* y se adecuó un espacio en entre cada capa, para agregar aserrín con una altura de 4cm, los respectivos compartimientos tienen esta medida de separación para que exista ventilación entre ellos. La cuarta capa (capa final) tiene 19 cm en ella se contiene las piedras de río, grava mediana y arena. Tiene las dimensiones de 4cm, 5cm y 10cm respectivamente, además fueron previamente lavadas y finalmente se encuentra el recipiente de almacenamiento donde se recoge el agua ya tratada para su posterior análisis final.
- Construcción de las estructuras de madera: se construyó 1 estructura de madera para el tratamiento de las aguas residuales, se hizo dos compartimientos con las mediciones de 1.50 m de altura x 30 cm de ancho, dicho compartimiento contenía el balde de 38 cm con la primero y segunda capa, el segundo compartimiento contenía el segundo balde, con la tercera capa y finalmente la capa final donde se encontraba la piedra de río, grava mediana y arena.

### 3.9. Capas del lombrifiltro

Para la instalación de los medios filtrantes se realizó a partir del diseño presentado en el trabajo de realizado por (Saboya Rios, 2017). Para esto, de manera manual se adecuo y separo cada capa con la malla Rachell, realizando orificios de 0.5cm (Saboya Rios, 2017) en la base de los baldes y se colocándose la malla para evitar que las lombrices escapen a otras capas. Cada capa contiene lo siguiente:

Tabla 6

*Dimensiones de las capas del lombrifiltro*

Descripción	Altura (cm)	Altura (m)
Capa 1 (Eisenia foetida + aserrín)	19	0.15
Capa 2 (Eisenia foetida + aserrín)	19	0.15
Capa 3 (Eisenia foetida + aserrín)	19	0.15
Capa final (Piedra de rio)	4	0.04
Capa final (grava mediana)	5	0.05
Capa final (arena)	10	0.10

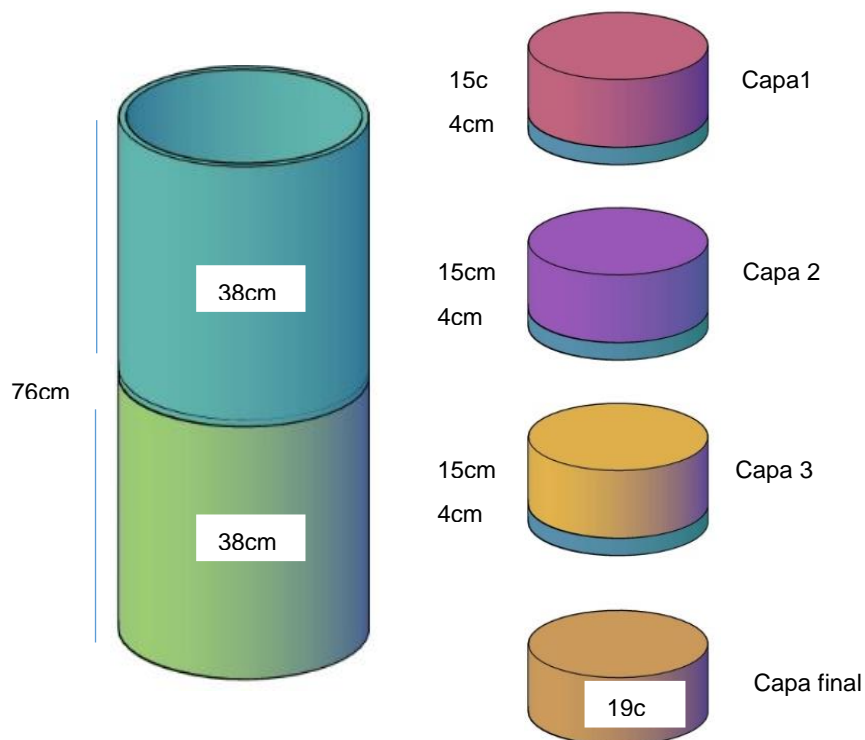


Figura 7. Medidas del lombrifiltro.

### 3.10. Adaptación de las lombrices

Previamente del tratamiento, se hizo el proceso de adaptación de las lombrices, de esta manera para que tratamiento del agua residual resulte efectivo. Las razones por la que se hará la adaptación, debido a que su piel es muy sensible a cambios bruscos (Perez, 2010), principalmente porque el agua residual posee contaminantes y las lombrices estarán expuestos a ellos (Saboya Ríos, 2018). Para el proceso de adaptación se tomó como referencia a (Mendieta Bravo, 2012) donde nos menciona que la aclimatación adoptada para dicha investigación, fue de 10 días, pero se observó que al día 7 las lombrices estaban adaptadas al agua residual doméstica.

- La adaptación de la *Eisenia foetida* se llevó a cabo en un ensayo etiquetado respectivamente, para las tres repeticiones.



Figura 8. Adaptación de las lombrices.

- En cada balde respectivamente se realizarán agujeros y se colocarán en una malla tipo Rachell en el fondo. Luego se preparó el sustrato, para ello se procedió a regar con 1L de agua residual diario, además se realizó la prueba de puño para verificar el porcentaje de humedad (Martin, 2017), que es uno de los aspectos más importantes para la supervivencia de las lombrices; y se dio la inoculación de las

lombrices en cada recipiente; este proceso de adaptación duro 7 días (Saboya Rios, 2017).

Tabla 7

*Adaptación de Eisenia Foetida*

Día	Hora	Temperatura (°C)
1	8:00 - 16:00	17 - 12
2	9:00 – 17.00	18.6 - 10
3	8:00 – 16.00	20 - 9
4	8:30 – 16:30	22.4 - 12
5	9:00 – 17:00	19- 10
6	8:00 – 16:30	23 - 9
7	10:00 -16:00	19.4 - 13

### 3.11. Medición del caudal y tiempo de retención hidráulico

Para evaluar el caudal se medirá la cantidad de agua que se pueda recolectar durante 1 minuto en un recipiente de 1L, posteriormente se repetirá este procedimiento 3 o más veces para tener resultados correctos. Para determinar el tiempo de retención hidráulico, de acuerdo al caudal se estimará el tiempo en el cual llega el agua residual a la última capa (Castillo & Chimbo, 2021).

Para la medición del caudal, se realizó 3 repeticiones con los distintos lombrifiltros, llenando un recipiente de 1L durante un minuto (tabla 8) Anexo 7.

Tabla 8

*Caudal del lombrifiltro.*

Caudal (Q)	Promedio del caudal (ml/min)
Q1	77.22
Q2	44.49
Q3	112.03

De la tabla 8 observamos que, para Caudal de depuración de aguas residuales domésticas el caudal óptimo para el tratamiento es de 77.22 ml/min, este distribuye el agua homogéneamente en el lombrifiltro y el TRH será de 8h como se muestra en la (tabla 8).

Tabla 9

*Tiempo de retención hidráulica (TRH) para el lombrifiltro*

Descripción	TRH 1	TRH 2	TRH 3
Capa 1 (Eisenia foetida + aserrín)	1h	1h	30min
Capa 2 (Eisenia foetida + aserrín)	1h	2h	20 min
Capa 2 (Eisenia foetida + aserrín)	1h	2h	20 min
Capa final (Piedras de río, grava chancada y fina)	3h	3h	3h
TOTAL	6H	8h	4h 10 min

### 3.12. Muestreo del Agua Residual Doméstica a tratar

La toma de muestras se llevó a cabo en el sector Mayobamba del distrito de Cusipata y se eligió el horario de 7:00 am – 8:00 am, ya que (Garcia, 2012) recomienda elegir la hora donde existe un mayor valor de DQO, se eligió ese horario debido a que es la hora donde existe mayor actividad y movimiento de las personas, para que la concentración de materia orgánica del agua residual sea la adecuada para el tratamiento.

El efluente se fue cambiando cada 3 días, tomándose una muestra de agua residual de 80 L en cada ocasión, posterior a cada muestreo se alimentó el lombrifiltro con el agua residual domestica observando la coloración para finalmente hacer el muestreo del afluente.

### 3.13. Muestreo del agua residual tratada para el análisis de los parámetros

El procedimiento utilizado para el muestreo se hizo con base al Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado mediante Resolución de Jefatura N° 010-2016-ANA.

Para hacer el muestro de los respectivos parámetros de agua residual doméstica, se recogió material esterilizado y desinfectado del Laboratorio certificado, para la evaluación de los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, *Escherichia Coli*, pH, nitritos y SST.

- a. Para el DBO<sub>5</sub> y DQO, se usó una botella de 300 mL y se agregó preservante H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para finalmente enviarlo al laboratorio.
- b. Para el parámetro de *Escherichia Coli*, se tomó la muestra en una botella de plástico de 300 mL, dejando ¼ de espacio sin llenar completamente la botella.
- c. Para muestrear el nitrito se utilizó frascos de plástico de 200 mL, se añadió el preservante H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para la conservación de la muestra.
- d. Para el parámetro de SST se utilizó un frasco de plástico de 300 mL.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de los resultados

Los informes de laboratorio para cada parámetro se muestran en el (Anexo 2,3 y 4).

Tabla 10

*Caracterización del agua residual inicial*

Parámetros	Parámetros físico-químicos					Parámetro microbiológico
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Nitritos	pH	E. coli
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/L		NM/100 ml
	33.58	60.23	<5	1.81	7.79	13.80x10 <sup>4</sup>

#### 4.2. Resultados de parámetros durante el tratamiento

Los análisis físico-químicos y microbiológicos (DQO, DBO<sub>5</sub>, pH, SST, *Escherichia Coli* y nitritos), antes y después del tratamiento mediante el método de lombrifiltro, fueron realizados por el laboratorio de ensayo acreditado por INACAL-DA con registro N°LE-042 (ver Anexos 2, 3 y 4).

Tabla 11

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos antes del tratamiento mediante el sistema de lombrifiltro de tres capas.*

Parámetros	Parámetros físico-químicos					Parámetro microbiológico
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Nitritos	pH	<i>Escherichia coli</i>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/L		NM/100 ml
Resultados	287.74mg/L	452.53	110.5	0.08	7.84	17x10 <sup>7</sup>

Tabla 12

*Parámetros físico-químicos y microbiológicos después del tratamiento mediante el sistema de lombrifiltro de tres capas.*

Tratamientos (Análisis)	Parámetros físico-químicos					Parámetro microbiológico
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Nitritos	pH	<i>Escherichia coli</i>
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/L		NM/100 ml

Análisis 1	71.63	105.60	<5	0.33	7.79	24x10 <sup>3</sup>
Análisis 2	17.91	47.12	<5	2.52	8.16	16x10 <sup>2</sup>
Análisis 3	11.19	27.96	<5	2.59	7.42	46x10 <sup>2</sup>

### 4.3. Comparación de parámetros antes y después del tratamiento.

#### 4.3.1. Demanda química de oxígeno (DQO)

De la figura 10 observamos la diferencia para el parámetro de Demanda química de Oxígeno (DQO) con la concentración inicial de agua residual doméstica que ingresa al lombrifiltro, este tiene el valor de 452.53mg/L, el agua residual doméstica en el análisis 1 del DQO, presenta el valor de 105.68 mg/L, para el análisis 2 el valor del DQO es de 47.12 mg/L; el análisis 3 de DQO obtuvo un valor de 27.96 mg/L. Esta reducción se debe a que las capas del lombrifiltro absorben y digieren la materia orgánica reduciendo la carga contaminante, las que son tratadas por mecanismos naturales que actúan simultáneamente, tales como: filtración lenta y pasiva; absorción, adsorción e intercambio iónico; biodegradación y desinfección. (Garzón et al., 2012).

La reducción del DQO se debe a que las lombrices poseen la capacidad de asimilar diferentes sustancias contaminantes y de favorecer la implantación de microorganismos que son capaces de biodegradarlas en CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O ello (Garzón et al., 2012).

Con respecto a la diferencia en la reducción del DQO es importante mencionar que la población de la especie *Eisenia foetida* aumentó significativamente durante el tratamiento, ya que estas son más adaptables a los cambios de temperatura y pH (Saboya Ríos, 2018). Los análisis se dieron en lapsos de un mes, dos meses y seis meses respectivamente. Se inició con el análisis de línea base el mes de setiembre, luego el primer análisis del agua residual del lombrifiltro se dio el mes octubre, el segundo análisis se dio el mes de noviembre y finalmente el tercer análisis se dio el mes de febrero a seis meses de la instalación del lombrifiltro.



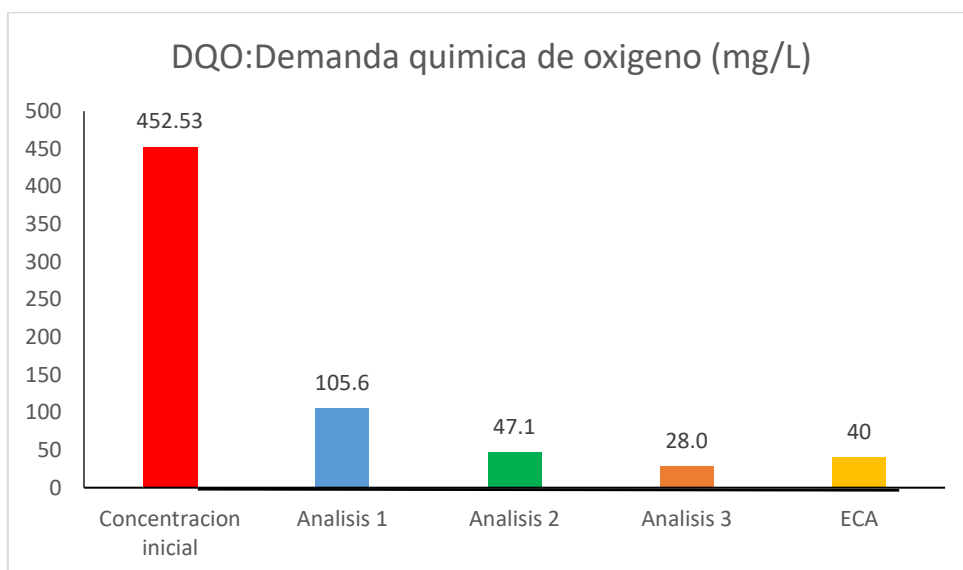


Figura 9. Comparación del parámetro químico DQO durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida*.

Así mismo, en lo que respecta a la remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el análisis 1 del lombrifiltro se removió un valor de 105.6 mg/l con una remoción de 77%, el análisis 2 se removió un valor de 47.1 mg/l con una remoción de 90%, y el análisis 3 fue de un valor de 28 mg/l con una remoción del 94%, en los tres casos los resultados son favorables para el tratamiento y se tuvo un porcentaje de remoción promedio de 86.69% para DQO. Por otra parte (Vicente Reyes, 2016) en su investigación determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales, logro un 70.15% de remoción de DQO. Por otro lado, (Manrique & Piñeros, 2016) obtuvo una remoción de 79.56% en DQO, otra investigación desarrollada por (Quispe, 2018) consiguió una eficiencia mayor del 97.48% en DQO.

La concentración de DQO en agua residual se redujo de 452 mg/l a 105.6 mg/l en el análisis 1, siendo todavía superior al nivel aceptado por la norma, el análisis dos 47.1 mg/l se aprecia una alta remoción, se observa que sigue siendo superior a la norma, el análisis 3 el valor es de 28mg/l donde se aprecia una alta y eficaz remoción de dicho

parámetro, donde se encuentra dentro de la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (Agua para riego no restringido y restringido), determinados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

#### 4.3.2. DBO<sub>5</sub>

En la figura 11 observamos la diferencia de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con el agua residual domestica que ingreso al lombrifiltro, el valor de la concentración inicial del agua residual doméstica es de 287.74 mg/L, en el análisis 1 la DBO<sub>5</sub> se redujo a 71.63 mg/L; el análisis 2 obtuvo el valor de 17.91 mg/L y finalmente el análisis 3 la DBO<sub>5</sub> es de 11.19 mg/l, se puede observar una reducción considerable con respecto a la concentración inicial.

La reducción se debe principalmente a la actividad simbiótica de las lombrices y microorganismos aerobios que aceleran y optimizan la descomposición de la materia orgánica, ello se debe a que las lombrices trabajan como catalizadores biológicos que resultan de las reacciones bioquímicas (Saboya Ríos, 2018).

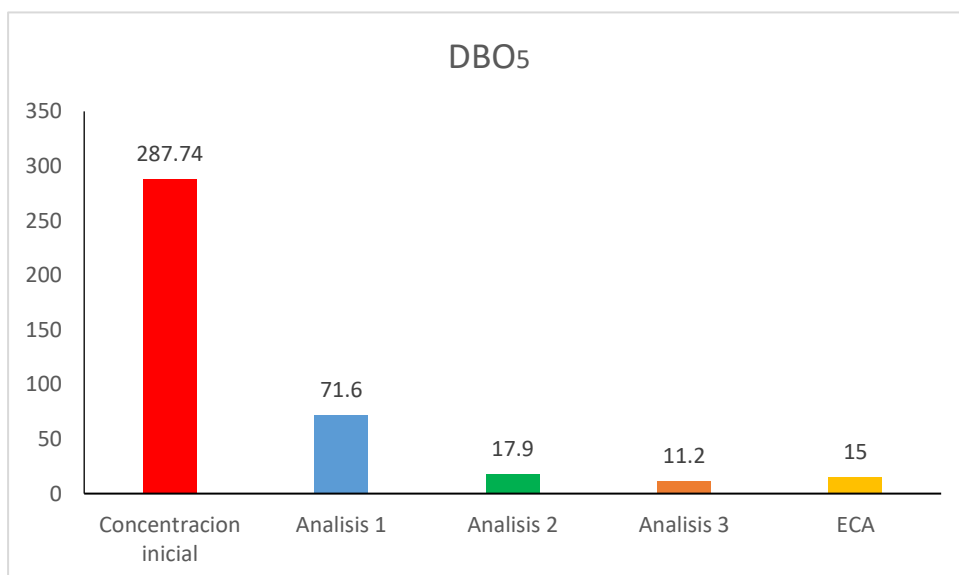


Figura 10. Comparación del parámetro químico DBO<sub>5</sub> durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida*.

Respecto a la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el análisis 1 del lombrifiltro tuvo un valor de 71.6 mg/L con un 75% de remoción, el análisis 2 tiene un valor de 17.9 mg/L con un 94% de remoción, y el análisis 3 posee un valor de 11.2 mg/L con un 96% de remoción, en los tres análisis los resultados fueron favorables, existe una gran diferencia a considerar de que el tratamiento tuvo un resultado positivo después del tiempo de arranque, además de tener un porcentaje de remoción promedio del 88.33% para DBO<sub>5</sub>. Sin embargo esta remoción fue mayor a las mostradas en las investigaciones de (Cáceres et al., 2018) quien consiguió un 50.14% de reducción, también mayor al de (Vicente Reyes, 2016) quien obtuvo una remoción de 80.50% en DBO<sub>5</sub> empleando a la especie *Eisenia foetida*.

La remoción de DBO<sub>5</sub> en el agua residual se redujo de 287 mg/l a 71.6 mg/l en el primer ensayo, de siendo superior a lo estipulado en la norma, se evidencia una alta remoción, en el segundo ensayo el valor fue de 17.9 mg/l se visualiza una al reducción del DBO<sub>5</sub> pero sigue siendo superior a la norma, el tercer ensayo presenta el valor es de 11.2 mg/l la remoción del DBO<sub>5</sub> es alta y se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), dentro de la categoría Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (Agua para riego no restringido y restringido), determinados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

#### **4.3.3. Nitratos**

Para el caso del nitrito se obtuvo como dato a comparación control agua residual sin tratar de 0.08., en el análisis 1 se presenta un resultado de 0.33 mg N-NO<sub>3</sub>/L /l. el segundo análisis de la investigación tuvo un valor de 2.52 mg N-NO<sub>3</sub>/L /L y finalmente el análisis 3 presento un valor de 2.59 mg N-NO<sub>3</sub>/L a pesar de que se observa un aumento de la concentración de nitratos al pasar el tiempo de uso del filtro se encuentra por debajo del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM ya que el límite máximo es de 100mg/L para riego de vegetales restringidos y no restringidos, como para la bebida de animales;

demostrándose así la eficiencia en la remoción de nitrógeno mediante el método de lombrifiltro.

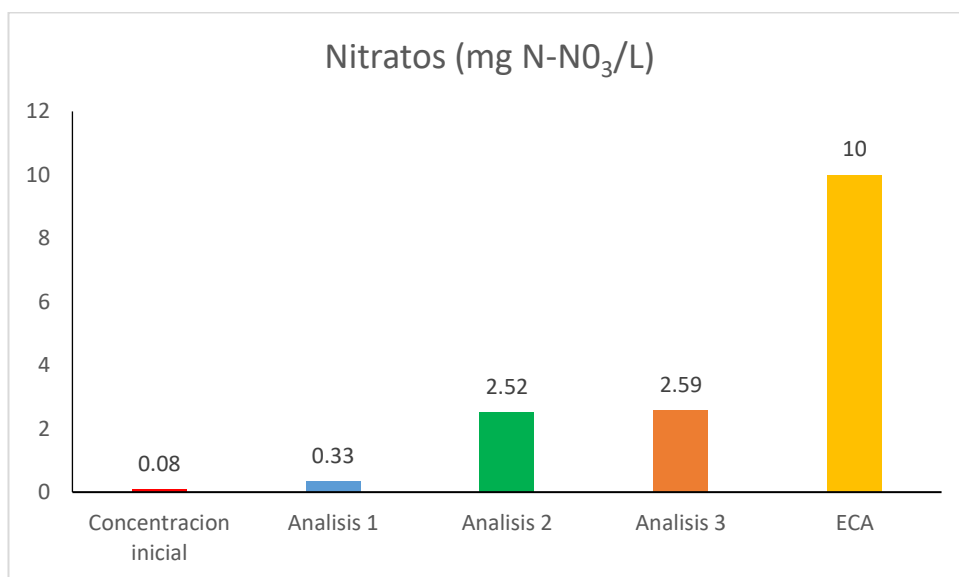


Figura 11. Comparación del parámetro nitritos durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida*.

La cantidad de nitritos aumento de 0.08 mg N-NO<sub>3</sub>/L a 0.33 mg N-NO<sub>3</sub>/L en el primer análisis, el análisis dos presenta 2.52 mg N-NO<sub>3</sub>/L y el análisis 3 de 2.59 mg N-NO<sub>3</sub>/L, los valores de dicho parámetro presentan un aumento significativo, la norma admite valores de 10 mg/l por lo tanto está dentro de los valores. El aumento del nitrato se debe principalmente a que la concentración de este depende del pH del agua de manera directa (Cárdenas & Sánchez, 2013).

El material filtrante de las capas del lombrifiltro tienen un papel muy importante en el desarrollo de la nitrificación, normalmente dicho procedimiento se lleva a cabo uno detrás del otro en un ambiente aerobio intervenido por dos grupos de bacterias autótrofas quimiosintetizadoras. Las bacterias oxidantes del nitrógeno incluyen géneros como Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus y Nitrosovibrio. Aquellos oxidantes de nitritos comprenden géneros como Nitrobacter, Nitrococcus y Nitrospira. Dichos

organismos se fijan a medios filtrantes formando una biopelícula que tiene como función la remoción del nitrógeno en el agua residual (Gallego & García, 2017).

#### **4.3.4. *Escherichia Coli***

En el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM el rango máximo de *Escherichia Coli* para riego de vegetales restringido es de 2000 NMP/100ml, para los nos restringidos y bebida de animales es de 1000 NMP/100ml. El valor obtenido para la concentración inicial del agua residual es de 170000000 NMP/100ml, después de pasar por el sistema de depuración el análisis 1 obtuvo un valor de 37666 NMP/100ml, el análisis 2 es de 633 NMP/100ml y el análisis 3 es de 3106.17 NMP/100ml.

Siendo el análisis 2 la única medición que cumple los estándares normativos, indicando que al primer análisis el filtro no es eficiente y el tercer análisis presenta un desgaste que lo hace también no aplicable ya que excede con creces el valor permitido por la norma.

Los biofiltros aerobios que utilizan lombrices de tierra como *Eisenia foetida* son muy eficaces en la eliminación de materia orgánica y patógenos, principalmente por sus propiedades físicas y estructura. La aplicación intermitente de agua residual y el drenaje vertical en el lecho permiten que las reacciones aeróbicas se produzcan con rapidez (Vizcaíno & Fuentes, 2016) , es por ello que se evidencia la remoción de dicho parámetro.

Se observa el aumento de EC, esto podría ser debido a que el lombrifiltro contiene macro y microorganismos según (Carmona, 2010) los cuales pueden estar presentes en el aserrín, arena y materia orgánica orgánica generada por los mismos, lo que hizo que tenga mayor valor en el análisis 3.

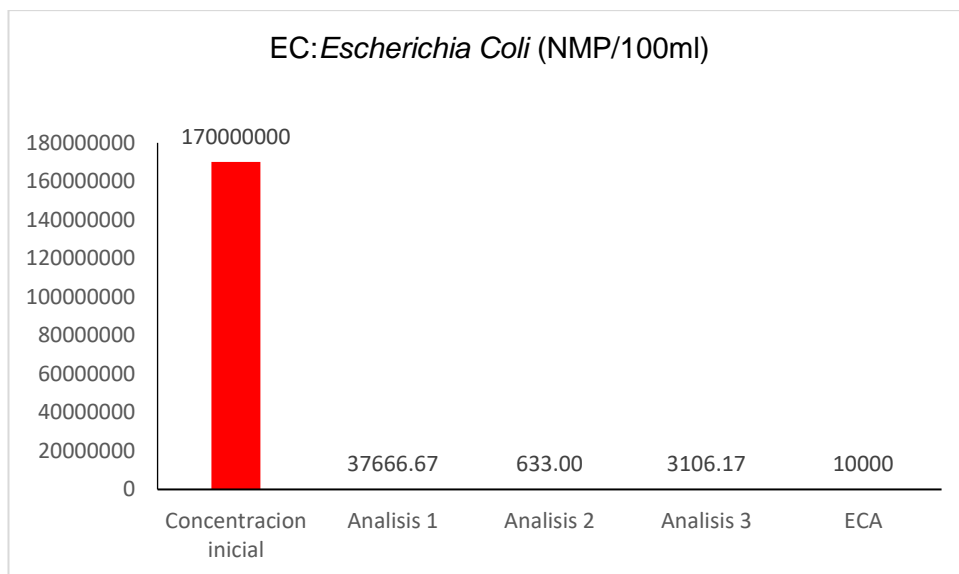


Figura 12. Comparación del parámetro EC durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida*.

Por otra lado, con respecto a la remoción de *Escherichia coli* se observó una reducción resaltante, donde el valor de remoción que se obtuvo en el primer análisis de *Escherichia Coli* fue de  $37.66 \times 10^3$  NMP/100 ml, el segundo análisis fue de 633 NMP/100 ml, y el tercer análisis tiene un valor de  $31.06 \times 10^2$  elevando su valor en contraste con el segundo ensayo, además de encontrarse por encima del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM donde el valor mínimo permisible es de 1000 NMP/100 ml para riego no restringido y 2000 NMP/100 ml para riego restringido, el incremento es debido a que la calidad del tratamiento del lombrifiltro en el sexto mes fue menor, además de sobrepasar por un rango menor el tiempo de retención hidráulica (Rojas Higuera et al., 2010), pese a ello la tasa de eficiencia de remoción fue de 99%, estos resultados son corroborados por (Arango, 2003) en su estudio de investigación evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas, donde la especie *Eisenia foetida* tuvo una eficiencia de remoción del 80% para los coliformes totales, otra investigación desarrollado por (Reyes & Acuña, 2017) obtuvo una remoción del 98.80% para *Escherichia coli*.

#### 4.3.5. Potencial de Hidrogeno (pH)

El agua residual inicial se encuentra con un pH promedio de 7.84, el agua residual doméstico en el análisis 1 presenta un pH de 7.79, el análisis 2 presenta un pH alcalino y su valor es de 8.16. Finalmente, el tercer análisis el pH tiene el valor de este 7.42.

Durante el proceso tratamiento, el valor del pH aumento inicialmente y luego se estabilizó en el rango neutro, esto confirma la notable capacidad inherente de las lombrices de aumentar el nivel de mineralización del compuesto orgánico a CO<sub>2</sub> y otras sales mineralizadas. Asimismo, la ligera diferencia entre el valor de pH de entrada y de salida está relacionada con la eliminación de biocontaminantes por parte de las lombrices y su conversión posterior en vermicompost (Castillo & Chimbo, 2021).

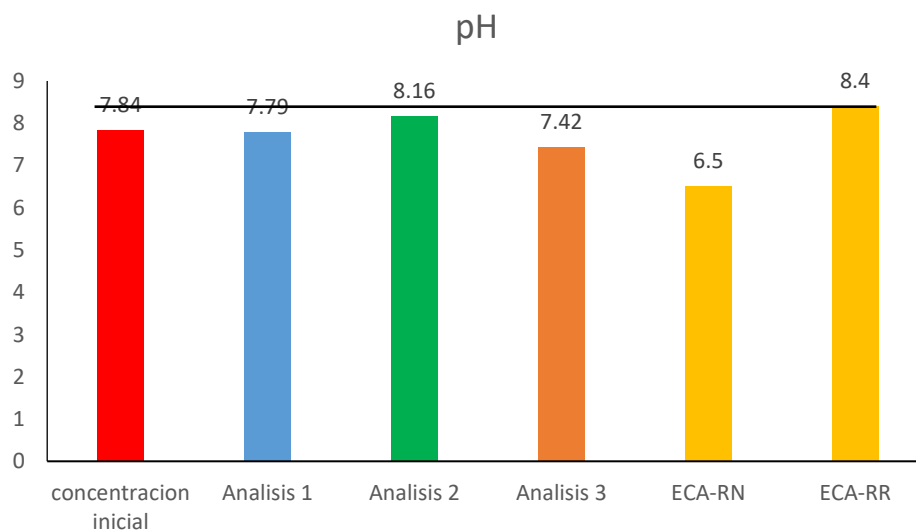


Figura 13. Comparación del parámetro pH durante el tratamiento mediante el lombrifiltro con la especie *Eisenia foetida*.

El pH presento muy baja reducción, pero se encuentra dentro de los parámetros aceptables, el primer análisis tuvo un valor de 7.79, el segundo análisis 8.16 y el tercer

análisis 7.42, hecho que evidencia que se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), el pH se encuentra dentro del rango de 6.4 – 8.4 mínimo o mayores a estos son perjudiciales para la vida de las lombrices, un pH ácido es mortal para las lombrices, mientras que un pH alcalino influye directamente en su alimentación las cuales suelen ser lentas (Huiza & Ordoñez, 2018).

También se puede observar que el valor de pH fluctúa; esto se debe a que las lombrices poseen la capacidad de estabilizar la acidez del agua, todo esto gracias a sus glándulas calcíferas que se encuentran en su esófago. Cuando el material orgánico llega al estómago de la lombriz, unas glándulas especiales se encargan de segregar carbonato cálcico, el cual tiene la finalidad de neutralizar los ácidos presentes en su comida ingerida, mismos que después de atravesar el aparato digestivo son expulsados (defecado), de esta manera es como las lombrices van añadiendo poco a poco calcio al agua residual, haciendo que el pH del agua residual se equilibre (Chavez & Fuentes, 2013).

#### **4.3.6. SST**

En la muestra control de agua residual para SST se encontró valores de 110.5 mg/L y en las muestras experimentales las mediciones resultaron ser inferiores a <5 mg/L nivel más bajo de medición con el equipo de laboratorio usado, indicando que el lombrifiltro presenta una remoción casi total de SST.

- La concentración de SST resulta en una remoción positiva pasando de 110 a menos de <5.

#### **4.4. Determinación de la eficiencia del lombrifiltro de tres capas**

Para evaluar la remoción del lombrifiltro de tres capas con la especie (*Eisenia foetida*) se determinó el porcentaje de eficiencia de los parámetros analizados con la ecuación propuesta por (Caicedo, 2017), la cual es la siguiente:

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentracion\ inicial)-(Concentracion\ final)}{(Concentracion\ inicial)} * 100$$



#### 4.4.1. Eficiencia en la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, *Escherichia Coli*, pH y Nitritos en el experimento

Para evaluar el funcionamiento del lombrifiltro de tres capas con la especie *Eisenia foetida*, se determinó el porcentaje de remoción de los parámetros analizados.

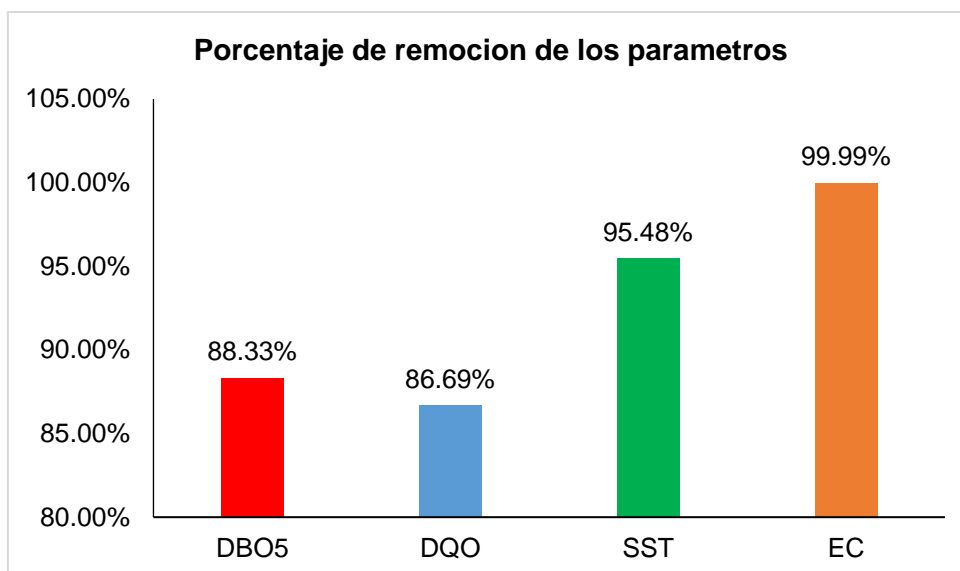


Figura 14. Porcentaje de remoción de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, *Escherichia Coli* en el experimento.

De la figura 15 observamos que la remoción en el experimento es del 88% para el parámetro DBO<sub>5</sub>, el 86% es de parámetro DQO, el 95% el SST y un 99% para el parámetro *Escherichia Coli*.

La eficiencia obtenida para el parámetro DBO<sub>5</sub> es inferior a la publicada por (Saboya Ríos, 2018), aplicando también el sistema de lombrifiltros con *Eisenia foetida*, cuyo porcentaje fue de 92%. Sin embargo, los resultados obtenidos se asemejan a los obtenidos por (Loro, 2018), lo cuales tuvieron una eficiencia del 88%.

Con respecto a la eficiencia obtenida en la remoción de DQO, tenemos un valor de 86%, cuyo valor es alto. La cual podemos corroborar con la investigación realizada por (Coronel, 2015), donde se obtuvo una eficiencia del 51% para DQO donde se utilizó *Eisenia foetida* para el tratamiento de aguas residuales.

Al realizar el análisis para SST, se comprueba que no existen diferencias significativas en los respectivos análisis ya que el valor obtenido para este parámetro fue de <5. Sin embargo con respecto al valor de la concentración inicial si existe una diferencia marcada, de esta manera se obtuvo una remoción del 95% para SST, la cual es mayor a la obtenida por (Castillo & Chimbo, 2021), quienes consiguieron una eficiencia del 66%.

La eficiencia obtenida en la remoción de EC fue del 99%, porcentaje que nos indica que el tratamiento utilizado en este estudio es muy eficiente, este resultado se corrobora con el estudio realizado por (Reyes & Acuña, 2017) que obtuvo un 98% de eficiencia de remoción en EC; así como también se contrasta con el estudio de (Arias & Tiquillahuanca, 2018) que tuvo una eficiencia del 95% en el tratamiento.

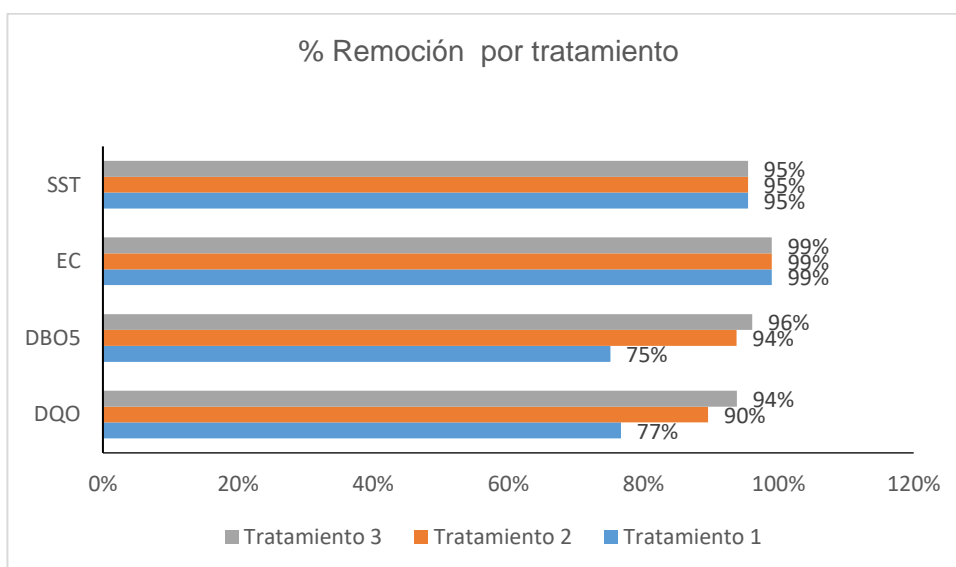


Figura 15. Porcentaje de remoción de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, E.Coli, pH y Nitritos en el experimento por recolección.

De la figura 16 observamos que, para las 3 mediciones temporales experimentales en los periodos la eficiencia de remoción de SST y *Escherichia Coli* es pareja, no existiendo una disminución ni aumento notable.

#### 4.4.2. Prueba T – Student para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, Comparación de la media experimental con el caso control.

##### 4.4.2.1. Prueba T – Student para el DBO<sub>5</sub>

Tabla 13

###### *Estadística descriptiva DBO<sub>5</sub>*

---

	N	Media	Desvi.Est	t	gl	Sig. (bilateral)
DBO <sub>5</sub>	9	60.22	36.10	-18.90	8	0.000

Fuente: Software SPSS 25.

- Hipótesis nula  $H_0: \mu = 287.74$
- Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 287.74$
- Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

#### **Conclusión:**

Con un valor sig de 0.00 inferior al nivel de significancia, se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) que la media de concentración de DBO<sub>5</sub> en el agua difiere de 287.74. El lombrifiltro tiene un efecto significativo en las concentraciones de DBO<sub>5</sub> logrando reducir la concentración a un 60.22 % promedio.

##### 4.4.2.2. Prueba T – Student para el DQO

Tabla 14

###### *Estadística descriptiva DQO*

---

	N	Media	Desvi.Est	t	gl	Sig. (bilateral)
DQO	9	33.57	29.47	-42.64	8	0.000

Fuente: Software SPSS 25.

- Hipótesis nula  $H_0: \mu = 452.53$

- Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 452.53$
- Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

**Conclusión:**

Con un valor sig de 0.00 inferior al nivel de significancia se acepta la hipótesis alterna, donde la media de concentración de DQO en el agua residual difiere de 452.53. El filtro tiene un efecto significativo en las concentraciones de DQO logrando reducir la concentración a un 33.57 % promedio.

**4.4.2.3. Prueba T – Student para SST**

- Hipótesis nula  $H_0: \mu = 110.5$
- Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 110.5$

Dado que la medición en SST es la mínima posible registrada de <5 no se puede realizar la prueba de hipótesis, pero se puede concluir que 5 difiere notablemente de 110.5 indicando que existe una remoción efectiva de SST.

**4.4.2.1. Prueba T – Student para pH**

Tabla 15

*Estadística descriptiva pH*

---

	N	Media	Desvi.Est	t	gl	Sig. (bilateral)
DQO	9	7.79	0.33	-0.41	8	0.687

---

Fuente: Software SPSS 25.

- Hipótesis nula  $H_0: \mu = 7.84$
- Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 7.84$
- Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

**Conclusión:**

Con un valor sig de 0.68 superior al nivel de significancia se acepta la hipótesis nula que la medida de pH en el agua no difiere. El lombrifiltro no tiene un efecto significativo en el pH del experimento, por otro lado, es importante remarcar que el pH fluctúa por el proceso de nitrificación y no es necesario hacer pruebas para pH.

**4.4.2.2. Prueba T – Student para Nitratos**

Tabla 16

*Estadística descriptiva Nitratos*

---

	N	Media	Desvi.Est	t	gl	Sig. (bilateral)
DQO	9	1.81	1.11	45544434.2	8	0.000

Fuente: Software SPSS 25.

- Hipótesis nula  $H_0: \mu = 0.08$
- Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 0.08$
- Nivel de significancia  $\alpha = 0.05$

**Conclusión:**

Con un valor sig de 0.00 inferior al nivel de significancia se acepta la hipótesis alterna que la media de concentración de nitratos en el agua residual difiere de 0.08. El lombrifiltro tiene un efecto significativo en las concentraciones de nitrato logrando aumentar de 0.08 en agua residual a 1.81 en el promedio del experimento.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El lombrifiltro de tres capas demostró eficaz remoción en los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y *Escherichia Coli* alcanzando una eficiencia del 92% con la especie *Eisenia Foetida* (lombriz roja) respecto a la demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub>, la demanda química de oxígeno DQO fue de 88 % y 86 %; en los SST 95 %; *Escherichia Coli* 99% que se dio principalmente durante la ejecución del proyecto.
- Los valores establecidos para los parámetros fisicoquímicos se hallan por debajo de los valores establecidos por el Decreto Supremo N°004-2027-MINAM. La DBO<sub>5</sub> fue de 11.2 mg/L por debajo del valor máximo del D.S que es 15 mg/L; La DQO fue de 28 mg/L, y en el D.S su valor máximo es de 40mg/L. En el caso de los nitritos el valor fue de 2.59 mg/L la norma menciona un valor máximo de 10 mg/L. El pH fue de 7.42 encontrándose dentro de los rangos permitidos por la norma (6.5-8.5).
- Los parámetros microbiológicos se encuentran por debajo de los valores determinados por el Decreto Supremo N°004-2027-MINAM. Para el parámetro de *Escherichia Coli* el máximo en el DS N°004-2017-MINAM es de 2000 NMP/100 mL para riego restringido y 1000 NMP/100 mL para riego no restringido y bebidas de animales, los resultados obtenidos y considerados fueron de 13801 NMP/100 mL, como promedio experimental encontrándose fuera de los estándares permitidos por el decreto. Pero la medición al segundo mes de uso del lombrifiltro es de 633 NMP/100 mL inferior al máximo permitido, observándose que cuando el lombrifiltro posee una alta población de lombrices la remoción de *Escherichia Coli* es mayor. El lombrifiltro de tres capas demostró una efectiva remoción en el parámetro *Escherichia Coli* en el segundo mes. Concluyendo así, que dicha agua tratada es apta para ser utilizada en el regadío de vegetales no restringido y restringido en

ciertas condiciones, como para bebida de animales, siendo esta una opción para formar parte del tratamiento de aguas residuales domesticas del distrito de Cusipata, además de ello el efluente no presentaba ningún olor desagradable ni la proliferación de vectores.

- El sistema del lombrifiltro de tres capas se desarrolló con los datos que influyen directamente en el resultado, el caudal fue 77.22 ml/min un caudal que permitió la alimentación adecuada para las lombrices; donde el actor principal en la degradación de la materia orgánica fue la especie *Eisenia foetida*, su elección fue debido a su alta eficiencia en la remoción de los contaminantes sobre todo en la materia orgánica, principalmente porque se adapta eficazmente a cualquier el entorno o medio.

## **5.2. Recomendaciones**

- Para obtener de una mayor eficiencia se recomienda el uso de otro tipo de alimentación externa para las lombrices como restos orgánicos o aserrín de maderas que sean más blandas, también emplear y extender las altura de las capas para poder remover de forma adecuada y eficiente los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, asimismo al final del lombrifiltro colocar una capa extra o un filtro de carbón activado para que exista una mayor remoción del agua residual doméstica que requiera las otras categorías del DS N°004-2017-MINAN.
- Se recomienda hacer los análisis de laboratorio cuando el lombrifiltro posea una alta población de *Eisenia foetida*, ya que afecta directamente en la remoción de los parámetros, además es importante considerar el tiempo de los análisis; se debe establecer un cronograma de lapsos de un mes o menores a estos.

- Considerar la temperatura del ambiente, debido a que este afecta directamente a las lombrices, se recomienda una temperatura de 18°C a 25°C para que no exista ninguna alteración en la remoción de contaminantes del agua residual doméstica.
- También se recomienda para futuras investigaciones realizar estudios donde se priorice los parámetros de mercurio, arsénico, cadmio y plomo que no fueron incluidos en este trabajo.



## REFERENCIAS

- Acuña, J., and Reyes, J. (2015). *Eficiencia de Lumbricus Terrestris y Eisenia Foetida en el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- AGROFLOR. (1993). *Introducción Manual de Lombricultura*.
- Arango, J. (2003). *Evaluación ambiental del Sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas* [Universidad de Chile].  
[http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Arango Jessica.pdf](http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Arango%20Jessica.pdf)
- Arias, Y., and Tiquillahuanca, Y. (2018). *Aplicación del sistema toha para el tratamiento de riles generados en la planta agromar industrial S.A. Sullana-2012*. Universidad Señor de Sipan.
- Bermúdez, G. (2019). Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines. *Universidad San Pedro*, 1–19. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/12476>
- Cáceres, D., Calisaya, M., and Bedoya, E. (2018). Eficiencia de la lombriz roja californiana (eisenia foetida) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista ciencia y tecnología Para El Desarrollo-UJCM* 2018, 4, 13–23.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.37260/rctd.v4i0.115>
- Caicedo, J. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca , Riobamba 2015. *Infopl.net*, 2–145.  
[http://www.infopl.net/files/descargas/schneider/infopl\\_net\\_18t00436.pdf](http://www.infopl.net/files/descargas/schneider/infopl_net_18t00436.pdf)
- Cárdenas, G., and Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y

mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72–88.

Carmona, C. (2010). *Estudio del Comportamiento de una Mezcla de Aserrín y Grasa Láctea de Desecho*. Universidad Austral de Chile.

Castillo, J., and Chimbo, J. (2021). Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. *Enfoque UTE*, 12(2), 80–99. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.746>

Chavez, C., and Fuentes, A. (2013). *Determinacion de parametros fisicoquimicos y microbiologicos del lixiviado obtenido del estiércol de bovino utilizando Eisenia foetida (LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA)* [Universidad de el Salvador facultad de quimica y farmacia]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3255>

Coronel, N. (2015). *Escuela superior politécnica de chimborazo “ diseño e implementación a escala de un biofiltro*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4802/1/236T0150.pdf>

Díaz, E. (2002). *Guía de lombricultura*.

EPA. (2012). Guidelines for Water Reuse. *Development*, 26(September), 252. <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.pdf>

Espinares, M., and Pérez, J. (1986). Aguas Residuales Composición. In U. de Granada (Ed.), *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Flores, E., Miranda, M., and Villasís, M. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. *Revista Alergia México*, 64(3), 364. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>

- Gallego, I., and García, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 08(1), 81–93.  
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-06>
- Garzón, M., Buelna, G., and Moeller, G. (2012). La Biofiltración Sobre Materiales Orgánicos, Nueva Tecnología Sustentable Para Tratar Agua Residual en Pequeñas Comunidades e Industrias. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 3(3), 153–161.
- Huiza, J., and Ordoñez, N. (2018). “Eficiencia de lombrifiltro implementando la técnica de pared caliente en el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado de Huaylacucho del distrito de Huancavelica-2018” [Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2429>
- Jiang, L., Liu, Y., Hu, X., Zeng, G., Wang, H., Zhou, L., Tan, X., Huang, B., Liu, S., and Liu, S. (2016). The use of microbial-earthworm ecofilters for wastewater treatment with special attention to influencing factors in performance: A review. *Bioresource Technology*, 200, 999–1007. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.11.011>
- Kusanovic, M. (2009). *Planta de tratamiento de riles*. Universidad de Magallanes.
- Larios, F., Gonzales, C., and Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2, 9–25.
- Loro, A. (2018). *Facultad de ciencias ambientales* [Universidad Científica del Sur]. [http://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/UCS/567/TL-Loro\\_Ocampos.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/UCS/567/TL-Loro_Ocampos.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Martin, E. C. (2017). Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego. *College of Agriculture, University of Arizona (Tucson, AZ), September*.  
<http://hdl.handle.net/10150/625275>
- Meiyan, X., Xiaowei, L., and Jian, Y. (2010). Treatment performance of small-scale

vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. *African Journal of Biotechnology*, 9(44), 7513–7520. <https://doi.org/10.5897/ajb10.811>

Méndez, J., and Marchán, J. (2008). Diagnóstico Situacional De Los Sistemas De Tratamiento De Aguas Residuales En Las Eps Del Perú Y Propuestas De Solución. In SUNASS. [http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro\\_PTAR.pdf](http://www.proagua.org.pe/files/de62b65581b727d66847f48aa52fbbfd/Libro_PTAR.pdf)

Mendieta Bravo, J. S. (2012). *Tratabilidad de las aguas residuales industriales de una empacadora de camarón en la degradación de la materia orgánica mediante la adaptación y aplicación de lombrices acuáticas* (Vol. 7). Universidad de Guayaquil.

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental En Aguas Residuales*. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Paco, G., Loza, M., Mamani, F., and Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 2(2), 2–16. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2072-92942011000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942011000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Paredes, J. (2019). *Derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, estudio del caso río Huatanay Cusco-2016*. Universidad nacional de san antonio abad del Cusco.

Perez, A. (2010). *Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Residuales Para Localidad De Santa Bárbara Usando*. Universidad de Chile.

Quispe, A. (2018). *Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el*

*tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho- Chosica. Universidad Nacional Federico Villarreal.*

Ramón, J., León, J., and Castillo, N. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. *Revista Mutis*, 5(1 SE-Artículos), 46–54.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.21789/22561498.1018>

Reina-Valera. (1960). *Santa Biblia* (Issue 1569).

Reyes, J., and Acuña, J. (2017). *Eficiencia de lumbricus terrestris y eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015.*  
Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Rojas Higuera, N., Sánchez Garibello, A., Matiz Villamil, A., Salcedo Reyes, J. C., Carrascal Camacho, A. K., and Pedroza Rodríguez, A. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica , empleada para riego Introducción Materiales y métodos Muestreo de agua residual El agua residual doméstica se obtuvo de una planta de. *Universitas Scientiarum*, 15(2), 139–149.

Saboya Rios, X. V. (2017). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas Amazonas. In *Universidad Peruana Unión*.

Schuldt, M. (2006). *Lombricultura. Teoría y práctica* (p. 20). Mundi-Prensa Libros.

Somarriba, R., and Guzman, F. (2004). *Guía de lombricultura* (Issue 4).

UNESCO. (2017). *Aguas Residuales* (Issue 051).

Vicente, J. A. (2014). *Universidad tecnológica equinoccial* [Universidad Tecnológica Equinoccial]. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/4690>

Vicente Reyes, J. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 7(3), 41–56.

<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.104>

Vizcaíno, L., and Fuentes, N. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos EFFECTS. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19, 189–198.

WSP. (2006). *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades*.

## ANEXOS

### Anexo 1. Panel fotográfico



Figura 16. Toma de muestra del agua residual doméstica



Figura 17. Selección de *Eisenia foetida*.



Figura 18. Construcción del lombrifiltro.



Figura 19. Adaptación de Eisenia foetida.





Figura 20. Aforo de los baldes con materia orgánica.



Figura 21. Lombrifiltro de tres capas con dos repeticiones



Figura 22. Lombrifiltro de tres capas.



Figura 23. Recolección de agua residual domestica para el lombrifiltro.




Figura 24. Muestreo del agua residual tratada en el lombrifiltro.




Figura 25. Coloración del agua residual después del tratamiento en el lombrifiltro

## Anexo 2. Resultados de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica (Afluente-Pre-Análisis)



**LABORATORIO LOUIS PASTEUR**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-042



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-3352-2019**  
**SO-1083-2019**

Registro N° LE - 042

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
Dirección Legal: Distrito Cusipata – Sector Mayobamba

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
Nombre del Producto: Agua residual  
Matriz microbiológico: Agua residual  
Matriz química: Agua residual  
Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/09/11  
Fecha de Ensayo: 2019/09/11

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
Fecha de Toma de Muestra: 2019/09/11  
Hora de toma de muestra: 08:29  
Procedencia de la Muestra: Sector Moyobamba – Desembocadura de desagüe  
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 500ml estéril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L, frasco de vidrio de 1L; transportado en cadena de frío.  
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/09/18  
Referencia: Nro. De Cotización: 03-09

**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	17x10 <sup>6</sup>


**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	287,74
DQO	mg/L	452,53
Sólidos totales en suspensión	mg/L	110,50

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA

**Métodos de Referencia:**

<i>Escherichia coli</i>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.7, <i>Escherichia coli</i> Procedure using fluorogenic substrate, 23rd Ed (2017)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (2017)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)
Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. (2017)



**Dra. Rosa Luz Pacheco Venero**  
CDA N° 15




Figura 26. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica (Afluente-Pre-Análisis).

**Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.**

Urb. Velasco Astete D-18-B  
 Wanchaq - Cusco  
 Telefax: 084-234727  
 Celular: 975 713500 - 974787151  
 laboratorio@louispasteur@yahoo.es  
 www.lablouispasteur.pe



**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-4007-2019**  
**SO-1319-2019**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
 Dirección Legal: Av. 5 de Octubre - Cusipata

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

Nombre del Producto: Agua residual  
 Matriz química: Agua residual  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/09/11  
 Fecha de Ensayo: 2019/09/11

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**

Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
 Fecha de Toma de Muestra: 2019/09/11  
 Hora de toma de muestra: 08:29  
 Procedencia de la Muestra: Sector Moyobamba – Cusipata.  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 250ml, transportado en cadena de frío.  
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/09/11  
 Referencia: No. De Cotización: 79-10

**RESULTADOS QUÍMICOS**

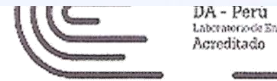
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
pH <sup>R</sup>	-	7,84

<sup>R</sup> Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.

Métodos de Referencia:

SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H- B, 23rd Ed. (2017)

PH:



Registro N° LE - 001

**Información General**

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 41500 (Set-094)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Desembocadura de Desagüe - Sector Moyobamba - Distrito de Cusipata - Provincia de Quispicanchi - Cusco

Identificación de Laboratorio: S-0001643108  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Industrial  
 Identificación de Muestra: RI  
 Fecha y Hora de Muestreo: 2019-09-11 08:32  
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2019-09-13  
 Fecha de Inicio de análisis: 2019-09-17

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	0,08	mg/L

Figura 27. Informe de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica (Afluente-Pre-Análisis - pH y Nitrato).

### Anexo 3. Resultados del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la Especie Eisenia foetida

#### a. Muestras del lombrifiltro N°1

## INFORME DE ENSAYO

### LLP-0523-2020

### SO-0138-2020

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
 Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
 Dirección Legal: Av. 5 de Octubre – Cusipata.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
 Nombre del Producto: Agua residual  
 Matriz química: Agua residual  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2020/02/27  
 Fecha de Ensayo: 2020/02/27

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
 Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
 Fecha de Toma de Muestra: 2020/02/27  
 Hora de toma de muestra: 07:22  
 Procedencia de la Muestra: 1 - Av. 5 de Octubre – Cusipata.  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 500ml esteril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L, transportado en cadena de frío.  
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2020/03/05  
**Datos declarados por el cliente**

Referencia: Nro. De Cotización: 104-02-2020  
*Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió*

#### RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS


Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Escherichia coli (*)	NMP/100ml	24x10 <sup>3</sup>

#### RESULTADOS QUÍMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	64,57
DQO	mg/L	102,40
pH <sup>R</sup>	-	7,73
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA  
<sup>R</sup> Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.





INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayos  
Acreditado

Registro N° LE - 001

**Información General**  
 Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 42153 (Feb-180)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Av. 5 de Octubre - Cusipata

---

Identificación de Laboratorio: S-0001690213  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: RD  
 Fecha y Hora de Muestreo: 2020-02-27 07:32  
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2020-02-28  
 Fecha de Inicio de análisis: 2020-02-28

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	0,3	mg N- NO3 /L

Figura 28. Informe del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°1.

**b. Muestras del lombrifiltro N°2**

Registro N°LE - 042

## INFORME DE ENSAYO LLP-0524-2020 SO-0138-2020

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
Dirección Legal: Av. 5 de Octubre – Cusipata.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
Nombre del Producto: Agua residual  
Matriz química: Agua residual  
Fecha de Ingreso de Muestra: 2020/02/27  
Fecha de Ensayo: 2020/02/27

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
Fecha de Toma de Muestra: 2020/02/27  
Hora de toma de muestra: 07:23  
Procedencia de la Muestra: 2 - Av. 5 de Octubre – Cusipata.  
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 500ml esteril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L; transportado en cadena de frío.  
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2020/03/05

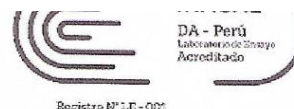
**Datos declarados por el cliente**

Referencia: Nro. De Cotización: 104-02-2020  
*Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió*

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	35x10 <sup>3</sup>

RESULTADOS QUÍMICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	85,43
DQO	mg/L	108,80
pH <sup>R</sup>	-	7,81
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA  
Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.



**Información General**

Matriz: Agua  
Solicitud de Análisis: Cotización N° 42153 (Feb-181)  
Muestreado por: Cliente  
Procedencia: Av. 5 de Octubre - Cusipata

Identificación de Laboratorio: S-0001690247  
Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
Identificación de Muestra: RD  
Fecha y Hora de Muestreo: 2020-02-27 07:33  
Fecha de Recepción de la Muestra: 2020-02-28  
Fecha de Inicio de análisis: 2020-02-28

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	0,5	mg N- NO3 /L

Figura 29. Informe del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°2.

### c. Muestras del lombrifiltro N°3

LABORATORIO LOUIS PASTEUR

Laboratorio  
Acreditado

## INFORME DE ENSAYO

LLP-0525-2020  
SO-0138-2020

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
Dirección Legal: Av. 5 de Octubre – Cusipata.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
Nombre del Producto: Agua residual  
Matriz química: Agua residual  
Fecha de Ingreso de Muestra: 2020/02/27  
Fecha de Ensayo: 2020/02/27

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
Fecha de Toma de Muestra: 2020/02/27  
Hora de toma de muestra: 07:24  
Procedencia de la Muestra: 3 - Av. 5 de Octubre – Cusipata.  
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 500ml esteril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L; transportado en cadena de frío.  
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2020/03/05

**Datos declarados por el cliente**  
Referencia: Nro. De Cotización: 104-02-2020  
*Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió*


**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	54x10 <sup>3</sup>

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	64,90
DQO	mg/L	105,60
pH <sup>R</sup>	-	7,84
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA  
R Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.





Registro N°LE - 001

**Información General**  
Matriz: Agua  
Solicitud de Análisis: Cotización N° 42153 (Feb-182)  
Muestreado por: Cliente  
Procedencia: Av. 5 de Octubre - Cusipata

---

Identificación de Laboratorio: S-0001690251  
Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
Identificación de Muestra: RD  
Fecha y Hora de Muestreo: 2020-02-27 07:34  
Fecha de Recepción de la Muestra: 2020-02-28  
Fecha de Inicio de análisis: 2020-02-28

Análisis	Resultado	Unidad
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrate	0,2	mg N- NO3 /L

Figura 30. Informe del primer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°3.



## Anexo 4. Resultados del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la Especie Eisenia foetida

### a. Muestras del lombrifiltro N°1

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

### INFORME DE ENSAYO

#### LLP-4004-2019 SO-1319-2019

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
 Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
 Dirección Legal: Av. 5 de Octubre - Cusipata

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
 Nombre del Producto: Agua residual - 1  
 Matriz química: Agua residual  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/10/24  
 Fecha de Ensayo: 2019/10/24


**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
 Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
 Fecha de Toma de Muestra: 2019/10/24  
 Hora de toma de muestra: 07:30  
 Procedencia de la Muestra: Agua Procedente del Biofiltro - Av. 5 de Octubre – Cusipata.  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno esteril de 500ml, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L; transportado en cadena de frío.  
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/11/02  
 Referencia: Nro. De Cotización: 76-10


RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	16x10 <sup>2</sup>

RESULTADOS QUÍMICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	11,25
DQO	mg/L	61,04
pH <sup>R</sup>	-	8,28
Sólidos totales en suspension	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL– DA  
 Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.





Registro N° LE - 001

**Información General**  
 Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 41692 (Oct-230)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Av. 5 de Octubre - Distrito Cusipata - Provincia Quispicanchi - Cusco

---

Identificación de Laboratorio:	S-0001655735
Tipo de Muestra:	Agua Residual
Identificación de Muestra:	RD
Fecha y Hora de Muestreo:	2019-10-24 07:40
Fecha de Recepción de la Muestra:	2019-10-25
Fecha de Inicio de análisis:	2019-10-25

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	2,23	mg/L

Figura 31. Informe del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie *Eisenia foetida*, muestra del lombrifiltro N°1.

## b. Muestras del lombrifiltro N°2

### INFORME DE ENSAYO LLP-4005-2019 SO-1319-2019

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

#### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
Dirección Legal: Av. 5 de Octubre - Cusipata

#### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual - 2  
Matriz química: Agua residual  
Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/10/24  
Fecha de Ensayo: 2019/10/24

#### INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS

Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
Fecha de Toma de Muestra: 2019/10/24  
Hora de toma de muestra: 07:38  
Procedencia de la Muestra: Agua Procedente del Biofiltro - Av. 5 de Octubre - Cusipata.  
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno esteril de 500ml, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L; transportado en cadena de frío.  
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/11/02  
Referencia: Nro. De Cotización: 76-10

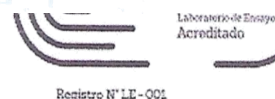
#### RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	79

#### RESULTADOS QUÍMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	23,10
DQO	mg/L	28,92
pH <sup>R</sup>	-	8,06
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL - DA



#### Información General

Matriz: Agua  
Solicitud de Análisis: Cotización N° 41692 (Oct-229)  
Muestreado por: Cliente  
Procedencia: Av. 5 de Octubre - Distrito Cusipata - Provincia Quispicanchi - Cusco

Identificación de Laboratorio: S-0001655734  
Tipo de Muestra: Agua Residual  
Identificación de Muestra: RD  
Fecha y Hora de Muestreo: 2019-10-24 07:52  
Fecha de Recepción de la Muestra: 2019-10-25  
Fecha de Inicio de análisis: 2019-10-25

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	2,66	mg/L

Figura 32. Informe del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie *Eisenia foetida*, muestra del lombrifiltro N°2.

### c. Muestras del lombrifiltro N°3

## INFORME DE ENSAYO LLP-4006-2019 SO-1319-2019

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

#### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
Dirección Legal: Av. 5 de Octubre - Cusipata

#### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual – 3  
Matriz química: Agua residual  
Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/10/24  
Fecha de Ensayo: 2019/10/24

#### INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS

Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
Fecha de Toma de Muestra: 2019/10/24  
Hora de toma de muestra: 07:45  
Procedencia de la Muestra: Agua Procedente del Biofiltro - Av. 5 de Octubre – Cusipata.  
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno esteril de 500ml, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L; transportado en cadena de frío.  
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/11/02  
Referencia: Nro. De Cotización: 76-10

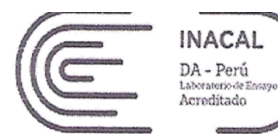
#### RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Escherichia coli (*)	NMP/100ml	220

#### RESULTADOS QUÍMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	19,37
DQO	mg/L	51,41
pH <sup>R</sup>	-	8,15
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA  
Resultados referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.  
Métodos de Referencia:



Registro N° LE - 001

#### Información General

Matriz: Agua  
Solicitud de Análisis: Cotización N° 41692 (Oct-229)  
Muestreado por: Cliente  
Procedencia: Av. 5 de Octubre - Distrito Cusipata - Provincia Quispicanchi - Cusco

Identificación de Laboratorio:	S-0001655734
Tipo de Muestra:	Agua Residual
Identificación de Muestra:	RD
Fecha y Hora de Muestreo:	2019-10-24 07:52
Fecha de Recepción de la Muestra:	2019-10-25
Fecha de Inicio de análisis:	2019-10-25

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato, Agua, EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983, Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	2,66	mg/L

Figura 33. Informe del segundo análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°3.

## Anexo 5. Resultados del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la Especie Eisenia foetida

### a. Muestras del lombrifiltro N°1



**LABORATORIO LOUIS PASTEUR**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-4352-2019**  
**SO-1446-2019**



INACAL  
 DA - Perú  
 Laboratorio de Ensayo  
 Acreditado

Registro N° LE - 042

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
 Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
 Dirección Legal: Av. 5 de Octubre – Cusipata – Quispicanchi - Cusco

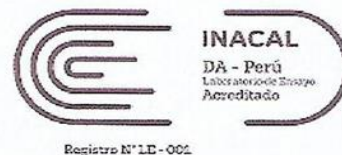
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
 Nombre del Producto: Agua residual  
 Matriz química: Agua residual  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/11/22  
 Fecha de Ensayo: 2019/11/22

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
 Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
 Fecha de Toma de Muestra: 2019/11/22  
 Hora de toma de muestra: 07:14  
 Procedencia de la Muestra: Av. 5 de Octubre – (1°)  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 250ml esteril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L, frasco de vidrio de 1L; transportado en cadena de frío.  
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/11/29  
 Referencia: Nro. De Cotización: 76-10

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	46x10 <sup>2</sup>

RESULTADOS QUÍMICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	11,32
DQO	mg/L	32,26
pH <sup>R</sup>	-	7,32
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA  
 R Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.



#### Información General

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 41809 (Nov-227)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Av. 5 de Octubre  
 Referencia: Distrito Cusipata - Provincia Quispicanchi - Departamento Cusco

Identificación de Laboratorio: S-0001664872  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: RD  
 Fecha y Hora de Muestreo: 2019-11-22 07:20  
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2019-11-25  
 Fecha de Inicio de análisis: 2019-11-28

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	2.61	mg/L

Figura 34. Informe del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°1.

## b. Muestras del lombrifiltro N°2

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-4354-2019**  
**SO-1446-2019**

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
 Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
 Dirección Legal: Av. 5 de Octubre – Cusipata – Quispicanchi - Cusco

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
 Nombre del Producto: Agua residual  
 Matriz química: Agua residual  
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/11/22  
 Fecha de Ensayo: 2019/11/22

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
 Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
 Fecha de Toma de Muestra: 2019/11/22  
 Hora de toma de muestra: 07:14  
 Procedencia de la Muestra: Av. 5 de Octubre – (3°)  
 Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 250ml esteril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L, frasco de vidrio de 1L; transportado en cadena de frío.  
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/11/29  
 Referencia: Nro. De Cotización: 76-10

**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	92x10 <sup>3</sup>

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	12,52
DQO	mg/L	29,03
pH <sup>R</sup>	-	7,35
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL DA



### Información General

Matriz: Agua  
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 41809 (Nov-227)  
 Muestreado por: Cliente  
 Procedencia: Av. 5 de Octubre  
 Referencia: Distrito Cusipata - Provincia Quispicanchi - Departamento Cusco

Identificación de Laboratorio: S-0001664872  
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
 Identificación de Muestra: RD  
 Fecha y Hora de Muestreo: 2019-11-22 07:20  
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2019-11-25  
 Fecha de Inicio de análisis: 2019-11-28

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)	25	mg/L

Figura 35. Informe del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°2.

### c. Muestras del lombrifiltro N°3



**LABORATORIO LOUIS PASTEUR**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-042



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-4353-2019**  
**SO-1446-2019**

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
Solicitante: Edison Irwin Umasi Thea  
Dirección Legal: Av. 5 de Octubre – Cusipata – Quispicanchi - Cusco

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
Nombre del Producto: Agua residual  
Matriz química: Agua residual  
Fecha de Ingreso de Muestra: 2019/11/22  
Fecha de Ensayo: 2019/11/22

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS**  
Toma de muestra realizada por: Sr. Edison Irwin Umasi Thea  
Fecha de Toma de Muestra: 2019/11/22  
Hora de toma de muestra: 07:14  
Procedencia de la Muestra: Av. 5 de Octubre – (2°)  
Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno de 250ml esteril, Frascos de polietileno de 250ml, 500ml, 1L, frasco de vidrio de 1L; transportado en cadena de frío.  
Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2019/11/29  
Referencia: Nro. De Cotización: 76-10

**RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
<i>Escherichia coli</i> (*)	NMP/100ml	79

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO <sub>5</sub>	mg/L	9,73
DQO	mg/L	22,58
pH <sup>R</sup>	-	7,60
Sólidos totales en suspensión	mg/L	<5

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL- DA  
R Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.



**Información General**

Matriz: Agua  
Solicitud de Análisis: Cotización N° 41809 (Nov-227)  
Muestreado por: Cliente  
Procedencia: Av. 5 de Octubre  
Referencia: Distrito Cusipata - Provincia Quispicanchi - Departamento Cusco

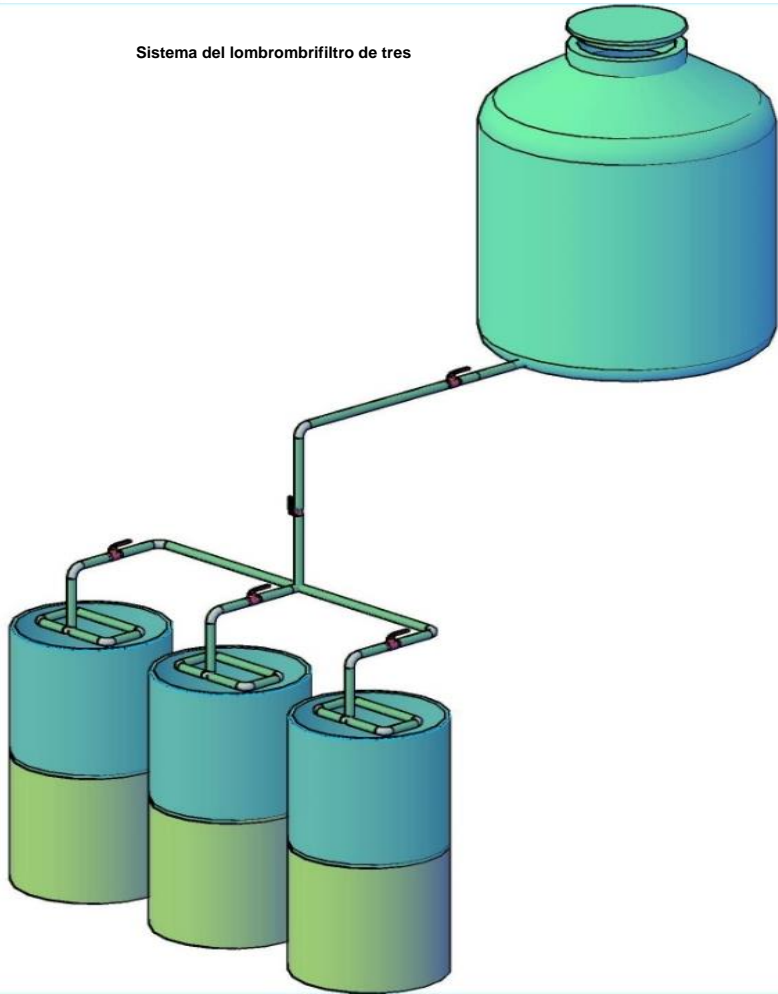
Identificación de Laboratorio: S-0001664872  
Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica  
Identificación de Muestra: RD  
Fecha y Hora de Muestreo: 2019-11-22 07:20  
Fecha de Recepción de la Muestra: 2019-11-25  
Fecha de Inicio de análisis: 2019-11-28

Análisis	Resultado	Unidad
<b>Química</b>		
N-Nitrato. Agua. EPA Method 352.1 600/4-79-020, Revised March 1983. Nitrogen, Nitrate (Colorimetric Brucine)		
N - Nitrato	2,65	mg/L

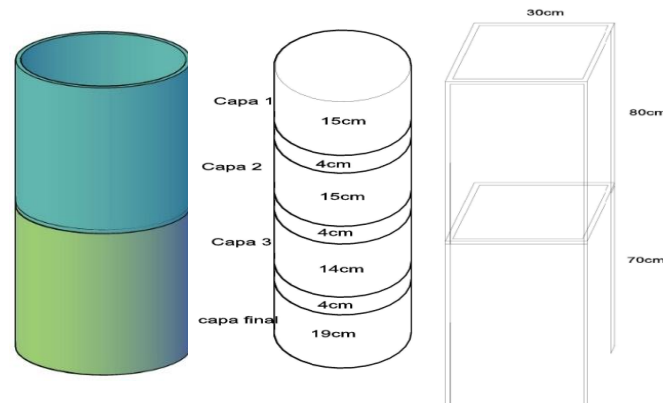
Figura 36. Informe del tercer análisis de los parámetros químicos y microbiológicos del Agua Residual domestica con la especie Eisenia foetida, muestra del lombrifiltro N°3.

### Anexo 6. Plano del lombrifiltro

Sistema del lombrifiltro de tres



Soporte del lombrifiltro



Medidas de las capas del lombrifiltro

CAPA 1	Eisenia foetida	15cm	
	aserrín	4cm	
CAPA 2	Eisenia foetida	15cm	
	aserrín	4cm	
CAPA 3	Eisenia foetida	15cm	
	aserrín	4cm	
Capa final	pedra de río	4cm	
	grava mediana	5cm	
	arena	10cm	



**UNIVERSIDAD PERUANA UNION**  
**Facultad de Ingeniería y Arquitectura**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

TESIS: **Evaluación de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en el distrito de Cusipata-Cusco**

SISTEMA DE LOMBRIFILTRO DE TRES CAPAS

ELABORADO POR: Bach. EDISON IRWIN UMASI THEA

ESCALA:  
1/50

FECHA: Diciembre - 2020

REVISADO POR: MSc. Rose Adeline Callata Chura

DPTO: CUSCO

PROVINCIA:  
QUISPICANCHI

DISTRITO  
CUSIPATA

**Anexo 7. Caudales usados para el TRH del lombrifiltro**

Caudal (Q)	Mediciones (ml/min)	Promedio del caudal (ml/min)
Q1	76.92	77.22
	71.42	
	83.33	
Q2	50	44.49
	40	
	43.47	
Q3	100	112.03
	43.47	
	100	



