

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**DETERMINACIÓN DE LOS SUSTRATOS ÓPTIMOS DE DISEÑO DE UN
LOMBRIFILTRO COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS
RESIDUALES DEL FUNDO LA BANDA HUASACACHE DE LA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

Tesis presentada por el Bachiller:
Zúñiga Portilla Enrique Manuel
para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Asesor:
M.Sc. Ing. Paredes Zavala Joshelyn
Mariangela

Arequipa- Perú

2020

DICTAMEN APROBATORIO DE BORRADOR DE TESIS

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA AMBIENTAL
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 26 de Junio del 2020

Dictamen: 000640-C-EPIA-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000640, presentado por:

2013800381 - ZUÑIGA PORTILLA ENRIQUE MANUEL

Titulado:

**DETERMINACIÓN DE LOS SUSTRATOS ÓPTIMOS DE DISEÑO DE UN LOMBRIFILTRO COMO
TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL FUNDO LA BANDA
HUASACACHE DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**3043 - PAREDES ZAVALA JOSHELYN MARIANGELA
DICTAMINADOR**



**3124 - CAMPOS OLAZAVAL LIZBETH MARIANELLA
DICTAMINADOR**



DEDICATORIA

El trabajo realizado está dedicado a Dios, la Virgen María, San José y a mis abuelitos que son mis Ángeles de la Guarda, pues son todos ellos quienes siempre me cuidan y guían en mi camino.



AGRADECIMIENTO



A mis padres y hermanas, por ser la mejor familia, pues a pesar de la distancia, siempre el amor, la motivación y el apoyo, han sido incondicionales.

A mis mejores amigos, enamorada y todas las personas que siempre me acompañaron y motivaron en el proceso de elaboración del trabajo.

Finalmente, a mis profesores, por formarme como una persona íntegra, preparado para la vida y motivado en mi profesión.

RESUMEN

Las aguas residuales del Campus universitario: Fundo La Banda Huasacache, son clasificadas como mixtas debido a su procedencia doméstica y de laboratorios por las actividades académicas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola, así como de la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Dichas aguas, no reciben el tratamiento adecuado previo a su vertimiento al ambiente, pudiendo ocasionar contaminación al mismo. El presente trabajo de investigación experimental tuvo como objetivo general determinar los sustratos óptimos de diseño de un lombrifiltro como tratamiento biológico secundario de las aguas residuales del Fundo. Primero, se determinó la composición idónea del sustrato para el desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida* en criaderos. Seguido, se caracterizó las aguas residuales universitarias crudas en los parámetros de estudio. A continuación, se construyó el modulo experimental el cual presentó dos lombrifiltros a escala de laboratorio, el primero (LB1), conformado por viruta de madera, piedra pómez y cascajo, igual configuración que el instalado en la sede universitaria, y el segundo (LB2), compuesto de astillas de madera, piedra volcánica y piedra de río redonda. Ambos inoculados en el primer medio filtrante por 200 lombrices de la especie *Eisenia foetida*, las que convierten a este primer nivel como la capa activa y principal responsable de la remoción de la carga orgánica de las aguas residuales. Finalmente, se determinó la calidad de los efluentes en los parámetros de DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes termotolerantes, pH, conductividad y oxígeno disuelto. El LB2 presento mayor eficiencia en la remoción de los parámetros más significativos para un lombrifiltro que es un tratamiento biológico secundario. Por lo tanto, los medios filtrantes alternativos propuestos por el presente estudio, se consideran más óptimos que los presentados por el lombrifiltro 1.

Palabras claves: Aguas residuales, lombrifiltro, medios filtrantes, lombriz.

ABSTRACT

The residual waters of the University Campus: Fundo La Banda Huasacache, are classified as mixed because they present domestic and laboratory, origin by the academic activities of the Professional School of Agronomic and Agricultural Engineering, as well as the Professional School of Veterinary Medicine and Zootechnics. The waters do not receive the appropriate treatment prior to their discharge into the environment, and may cause contamination to it. The purpose of this experimental research work was to determine the optimal design substrates of a lumbrifilter as a secondary biological treatment of Fundo wastewater. First, the ideal composition of the substrate for the development of the *Eisenia foetida* in the worm farm was determined. Then, the raw university wastewater was characterized in the study parameters. Next, the experimental module was built, which presented two lumbrifilter on a laboratory scale, the first (LB1), consisting of wood chips, pumice and gravel, the same configuration as the one installed at the university headquarters, and the second (LB2), composed of wood chips, volcanic stone and round river stone. Both inoculated in the first filter layer by 200 worms of the species *Eisenia foetida*, which make this first level as the active and main layer responsible for the removal of the organic load of wastewater. Finally, the quality of the effluents was determined in the parameters of BOD, COD, total nitrogen, total phosphorus, thermotolerant coliforms, pH, conductivity and dissolved oxygen. The LB2 presented greater efficiency in removing the most significant parameters for a vermicomposter that is a secondary biological treatment. Therefore, the alternative filter media proposed by the present study are considered more optimal than those presented by the lombrifilter 1.

Keywords: Wastewaters, lumbrifilter, filter substrates, worm.

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son un problema de prioridad a nivel mundial, esto por las consecuencias directas en el ambiente, en todos los niveles ecológicos. Por lo que el tratamiento previo a su vertimiento es de suma importancia, esto evitaría principalmente la contaminación de los cuerpos de agua naturales, los cuales posteriormente funcionan como hábitats, fuentes de agua para potabilización y desarrollo de actividades humanas. (Diem Trang, y otros, 2010)

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2019) informó que en el 2018 se brindaba el servicio de agua potable al 57.44% de la población nacional, mientras que solo el 53.57% cuentan con servicio de alcantarillado, de las cuales un poco más del 50% se encuentran en la capital, Lima. Demostrando la limitada capacidad de brindar el servicio de saneamiento así como el tratamiento adecuado de las aguas servidas producidas en el país, situación que enfatiza la necesidad de desarrollar tecnologías nuevas para cubrir dicho déficit.

El saneamiento de las aguas residuales del Fundo la Banda Huasacache, sede de la Universidad Católica de Santa María en Arequipa, se desarrollaba a través de pozos sépticos, los cuales en el 2018 fueron caracterizados como colmatados, por lo que dejaron de cumplir su finalidad eficientemente, estos se ubican próximos al río Socabaya, por lo que un posible derrame podría llegar al cuerpo de agua. (TAMPU Ingeniería, 2019)

Por tal motivo, en el año 2019, se instalan dos nuevos sistemas que funcionarían paralelamente, en el mes de febrero se instaló un biodigestor, y en septiembre una PTAR. Esta planta, presenta un lombrifiltro como tratamiento biológico secundario, del cual, su medio filtrante está compuesto por viruta de madera con lombrices rojas californianas, piedra pómez y cascajo, en ese orden descendentemente.

El lombrifiltro es un filtro biológico, tipo percolador, que presenta un medio filtrante conformado por lombrices y microorganismos los cuales conviven en una simbiosis para lograr la degradación del material orgánico presente en el agua residual. (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013) Con el tratamiento se obtiene agua limpia (efluente tratado) y un residuo sólido denominado lodo o biosólido, este puede llegar a ser reutilizado como abono para la vegetación, al ser estable y presentar características de humus de lombriz, contribuyendo a la recuperación de los recursos y a disminuir los impactos en la salud y el ambiente. (Ramón, León, & Castillo, 2015) Por esto su uso en el campus de Huasacache, permitirá reutilizar las aguas y el residuo sólido como insumos para la agricultura que se realiza en dicho lugar.

En el presente estudio se comparará dos lombrifiltros, de los cuales, el primero (LB1) está configurado con los mismos materiales filtrantes que el instalado en la PTAR del Fundo Huasacache, y el segundo (LB2), presenta una composición de medios filtrantes alternativos, que son astillas de madera, piedra volcánica y piedra ovalada de río. Con la finalidad de evaluar cual presenta mejor calidad en su efluente, evaluado a través de la eficiencia en la remoción de DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes termotolerantes, y la calidad del agua en los parámetros de pH, turbidez, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.



ÍNDICE

<i>DICTAMEN APROBATORIO DE BORRADOR DE TESIS</i>	<i>i</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>ii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>iii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>v</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>vi</i>
<i>ÍNDICE</i>	<i>viii</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>xi</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>xiii</i>
<i>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
A. Diagnóstico situacional	1
B. Formulación del problema	4
C. Hipótesis	4
D. Variable independiente y dependiente	4
1) Variable independiente	4
2) Variable dependiente	5
3) Operacionalización de las variables	5
E. Objetivos	6
1) Objetivo general	6
2) Objetivos específicos	6
<i>CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO</i>	<i>7</i>
A. Marco legal	7
1) Internacional	7
2) Nacional	10

B. Marco teórico _____	15
1) Aguas residuales. _____	15
2) Tratamiento de aguas residuales _____	21
3) Lombrifiltro _____	24
4) Lombriz roja californiana _____	30
C. Antecedentes y Estado del Arte _____	32
1) Antecedentes _____	32
2) Estado del Arte _____	33
<i>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</i> _____	39
A. Tipo de investigación _____	39
1) Nivel de investigación _____	39
1) Metodología de la investigación _____	39
B. Campo de verificación _____	39
C. Determinación de muestra y muestreo _____	40
1) Muestra _____	40
2) Muestreo _____	40
D. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos _____	40
1) Técnicas _____	41
2) Instrumentos _____	41
E. Materiales y equipos _____	41
1) Material biológico _____	41
2) Material inerte _____	41
3) Reactivos e insumos _____	42
F. Metodología _____	42
1) Determinación de las condiciones adecuadas de la crianza de la lombriz Eisenia foetida en la ciudad de Arequipa _____	42
2) Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales sin tratar del Fundo La Banda Huasacache _____	44

3) Implementación de 2 lombrifiltros con diferentes sustratos filtrantes para el tratamiento secundario biológico de las aguas residuales _____	45
4) Determinación de la eficacia de cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los parámetros evaluados, de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache _____	48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	50
A. Determinación de las condiciones adecuadas de la crianza de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> _____	50
1) Construcción de criaderos _____	50
2) Sustrato para la alimentación _____	51
B. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales sin tratar del Fundo La Banda Huasacache _____	55
C. Implementación de 2 lombrifiltros con diferentes sustratos filtrantes para el tratamiento secundario biológico de las aguas residuales _____	58
D. Determinación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los parámetros evaluados, de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache _____	59
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	74
A. Conclusiones _____	74
B. Recomendaciones _____	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	77
MATERIAL COMPLEMENTARIO _____	85
Anexo I: Ubicación de los campos de verificación en Google Earth _____	85
Anexo II: Diseño virtual del sistema de tratamiento de aguas residuales. _____	86
Anexo III: Informes del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María _____	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población diaria estimada en el segundo semestre 2019 en el Fundo La Banda Huasacache	2
Tabla 2: Operacionalización de variables.....	5
Tabla 3: Categoría 3 del D.S. 004-2017-MINAM.....	14
Tabla 4: Valores de agua residual universitaria.....	17
Tabla 5: Características de la viruta y astillas de mezquite.....	27
Tabla 6: Taxonomía de la lombriz roja californiana	30
Tabla 7: Coordenadas campos de verificación.....	40
Tabla 8: Cubierta de criaderos.....	42
Tabla 9: Llenado de criaderos	43
Tabla 10: Porcentajes de los sustratos en cada composición.....	44
Tabla 11: Parámetros evaluados de la crianza de lombriz roja californiana en diferentes composiciones de sustrato.	51
Tabla 12: Análisis de varianza de sustratos para la determinación de condiciones óptimas de crianza lombriz roja californiana.....	53
Tabla 13: Caracterización fisicoquímica y microbiológica del afluente	56
Tabla 14: Comparación DBO y DQO entre afluente y VMA´s	56
Tabla 15: Clasificación del afluente según Metcalf & Eddy.....	57
Tabla 16: Resultados muestreos de calidad.....	60
Tabla 17: Análisis estadístico de turbidez, DQO, nitrógeno y fósforo total, y DBO.....	62
Tabla 18: Comparación estadística de Numeración de coliformes, conductividad, pH y OD..	65
Tabla 19: Propiedades del compost y astillas de madera	66

Tabla 20: Valores de remoción usando astillas de madera.....	67
Tabla 21: Propiedad físicas y químicas del tezontle.....	68
Tabla 22: Remoción de parámetros en presencia de piedra volcánica.....	69
Tabla 23: Remoción de parámetros en presencia de piedra ovalada de río.....	70
Tabla 24: Comparación lombrifiltros escala laboratorio (LB2) y escala real (LF).....	71
Tabla 25: Comparación LB2 y ECA 3.....	72



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema hidráulico.....	46
Figura 2: Cuadrado de repartición de agua.....	46
Figura 3: Medios filtrantes de cada lombrifiltro.....	48
Figura 4: Esquema de construcción de criaderos.	50
Figura 5: Gráfica de medias para los parámetros de crianza de lombriz roja californiana	52
Figura 6: Combinación de compost, restos orgánicos y hojarasca.....	55
Figura 7: Sistema de tratamiento completo	58
Figura 8: Agua post lavado de filtros	59
Figura 9: Porcentaje de remoción de los parámetros de turbidez, DQO, fósforo total y DBO en los efluentes LB1 y LB2.....	61
Figura 10: Promedios de los valores de numeración de coliformes, conductividad, pH y OD de los efluentes LB1 y LB2.....	64
Figura 11: Georreferenciación de los campos de verificación	85
Figura 12: Modelación virtual del sistema de tratamiento	86

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A. Diagnóstico situacional

Las universidades congregan un gran número de personas, en ellas se dan actividades académicas, recreacionales, laborales, alimenticias, etc., todas estas producen aguas residuales de distintas características, que al estar mezcladas en un único efluente, hace inevitable la presencia de un tratamiento eficiente de estas previo a su vertimiento.

El Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María no presenta un tratamiento adecuado de sus aguas residuales, lo que convierte a éstas en una fuente de contaminación para el ambiente. Para identificar los distintos agentes contaminantes se debe tener en cuenta las actividades que se realizan en dicho Fundo, como la crianza de animales, desarrollo de cultivos, y principalmente las actividades académicas de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola, así como de la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Por lo tanto, las aguas residuales se consideran mixtas, presentan una fracción de aguas domésticas, las cuales normalmente presentan materia orgánica que demanda oxígeno para su biodegradación, sedimentos, grasas, aceites, espumas, bacterias patógenas, virus, sales, nutrientes de algas (Manahan, 2011); así como también presenta un porcentaje de aguas residuales de los laboratorios, las cuales en su mayoría presentan residuos líquidos peligrosos.

El Fundo La Banda Huasacache presenta un área de 45 179.20 m² (TAMPU Ingeniería, 2019), exhibiendo zonas como: playa de estacionamiento, puente de ingreso, áreas verdes, de descanso, patios, losas deportivas, establos, criaderos de cuyes, terrenos agrícolas, quiosco, librería, posta médica, y principalmente cuenta con 3 pabellones de los cuales el más antiguo data de 1993.

La población diaria presente en el fundo, durante el segundo semestre del año 2019, se podría dividir en dos grupos, una población fija y una variable.

La población fija está compuesta por 3 personas de mantenimiento, 2 de limpieza, 5 vigilantes (3 diurnos y 2 nocturnos), 1 especialista de la salud, 2 personas que atienden el quiosco, 1 en la librería y 4 administrativos pertenecientes a las dos Escuelas Profesionales, conformando en total un grupo de 18 personas. Asimismo, encontramos la población variante, el alumnado y los docentes, está es de suma importancia ya que conforma la mayoría de la población del Fundo, al realizar una aproximación de la cantidad de alumnos y profesores que se dirigen al campus durante el semestre indicado, basado en las clases dictadas en el lugar, se obtuvo los datos descritos en la Tabla 1.

Tabla 1: *Población diaria estimada en el segundo semestre 2019 en el Fundo La Banda Huasacache*

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola	90	90	90	134	134	30
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia	320	320	240	300	180	80
Catedráticos	11	12	11	13	10	3
Total	421	422	341	447	324	113

Fuente: Elaboración propia

El sistema de saneamiento de aguas residuales del Fundo en el año 2019 sufrió diversos cambios. El primer sistema que presentaba eran pozos sépticos, los cuales en el 2018 fueron identificados como colmatados, por lo que dejaron de realizar su finalidad eficientemente, estos se ubican próximos al río Socabaya, por lo que un posible derrame podría llegar al cuerpo de agua. Es por esa razón que en enero del 2019 se presentó y realizó un proyecto que involucraba renovar el sistema de tuberías de alcantarillado, y la implementación de un biodigestor de 7000 L previo a la llegada del agua a los pozos sépticos. (TAMPU Ingeniería, 2019)

Asimismo, en el año 2019, se inició la implementación y puesta en marcha del Proyecto INNOQUA – “Innovative Ecological on-site Sanitation System for Water and Resource Savings”, financiado por Horizonte 2020 de la Unión Europea, cuya finalidad a nivel nacional es construir y operar una Planta de tratamiento de aguas residuales en el Fundo La Banda Huasacache, de la Universidad Católica de Santa María. Dicha Planta presenta tratamientos biológicos que son un Lombrifiltro, un Daphnia filtro, un Purificador Bio-Solar, y una lámpara UV. La planta se encuentra en fase experimental desde septiembre del 2019, y esta debería durar hasta noviembre de 2020, por esta razón, el tratamiento aún no se realiza de manera estable y continua.

El no presentar un tratamiento eficiente para las aguas residuales genera un foco de contaminación con alta repercusión en el ecosistema, tanto para factores bióticos como abióticos. De manera directa tiene consecuencias negativas en los suelos, por ejemplo, generando una afectación del paisaje al degradarlo, provocando un desequilibrio en el hábitat, tanto para la flora como su fauna, finalmente modificando los ciclos biogeoquímicos. (Jiménez Ballesta, 2017) Asimismo, también hay contaminación al cuerpo de agua receptor, en el caso de las aguas del Fundo La Banda Huasacache, éstas presentaban filtración y consecuentemente podían desembocar al Río Socabaya, afectando principalmente en la disminución drásticas del oxígeno disuelto, por la oxidación de material orgánico ingresante, y la dificultad para que las algas realicen su proceso de fotosíntesis debido a la presencia de los sólidos suspendidos depositados, que obstruyen el ingreso de rayos solares a las aguas; este afluente presenta cargas altas de nitrógeno, lo que provoca el crecimiento acelerado de bacterias, que a su vez también consumen oxígeno, contribuyendo a la disminución de este. (Ramalho, 1996)

En el Fundo La Banda Huasacache se desarrollan las actividades de ganadería y agricultura, dos actividades que se pueden ver afectadas directamente por la exposición a aguas residuales al ambiente, en un primer momento la contaminación de las tierras y sus efectos pueden generar

consecuencias negativas para los cultivos, disminuir la producción, enfermar los plantones, y a través de un proceso de biomagnificación, ascender por la cadena trófica. Simultáneamente, los animales que toman agua de fuentes naturales próximas, pueden verse afectados por la descarga de dichas aguas.

Las actividades de la ganadería, y agricultura principalmente, presentan una demanda de agua significativa, la cual no puede ser reducida si el tratamiento de las aguas residuales producidas en el Fundo es deficiente.

B. Formulación del problema

En el campus universitario Fundo La Banda Huasacache de la UCSM, se realizan distintas actividades: académicas, de las escuelas profesionales de Ingeniería Agronómica y Agrícola y Medicina Veterinaria y Zootecnia; comerciales, como la venta de alimentos y materiales de estudio; y por último, de producción, como son la agricultura y la ganadería; todas estas acciones antropogénicas generan actualmente aguas residuales, las cuales no presentan un tratamiento adecuado previo a su vertimiento al ecosistema, por lo que estas aguas son expuestas directamente al ambiente, generando afectación al suelo, agua, flora, fauna y a la población.

C. Hipótesis

Dado que actualmente las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María no cuentan con un adecuado tratamiento que permita el cumplimiento de estándares de calidad ambiental, es probable que la aplicación de un lombrifiltro con sustratos alternativos en el medio filtrante, permita aumentar la eficiencia del tratamiento para cumplir con los estándares de calidad ambiental.

D. Variable independiente y dependiente

1) Variable independiente

a) Conceptualización de variable

- **Medio filtrante:** Se refiere a los distintos materiales que componen los niveles de cada lombrifiltro. Siendo estos para el Sistema 1: Viruta de madera, piedra pómez, cascajo de construcción; y los del Sistema 2: Astillas de madera, piedra volcánica, piedra ovalada de río.

2) *Variable dependiente*

a) *Conceptualización de variable*

- **Eficiencia de remoción de contaminantes:** Es el porcentaje de remoción de cada parámetro en el agua residual, los parámetros a evaluar son los siguientes: demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo y nitrógeno total, coliformes termotolerantes, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, y turbidez.

3) *Operacionalización de las variables*

Tabla 2: *Operacionalización de variables*

Tipo de variable	Variable	Indicador	Unidad
Variable independiente	Medio Filtrante	Composición del medio filtrante	-
Variable dependiente	Eficiencia de remoción de contaminantes	Porcentaje de remoción de DBO	mg/L
		Porcentaje de remoción de DQO	mg/L
		Porcentaje de remoción de fósforo total	mg/L
		Porcentaje de remoción de nitrógeno total	mg/L
		Porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml
		Porcentaje de remoción de turbidez	NTU
		Calidad de oxígeno disuelto	mg/L
		Calidad de conductividad	μS/cm
		Calidad de pH	Unidad de pH

Fuente: Elaboración propia

E. Objetivos

1) *Objetivo general*

Determinar los sustratos óptimos de diseño de un lombrifiltro como tratamiento secundario de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María.

2) *Objetivos específicos*

- Determinar las condiciones adecuadas para la crianza de la lombriz *Eisenia foetida* en la ciudad de Arequipa.
- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales sin tratamiento del Fundo La Banda Huasacache.
- Implementar dos lombrifiltros con diferentes sustratos filtrantes para el tratamiento secundario biológico de aguas residuales.
- Determinar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los parámetros evaluados, de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María.



CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Marco legal

1) *Internacional*

a) *Objetivos del Desarrollo Sostenible*

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) fueron establecidos por las Naciones Unidas como parte de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Se establecieron nuevos 17 objetivos y 169 metas, los cuales involucran temas como la innovación, la paz y la justicia, el cambio climático, el consumo sostenible, el agua y saneamiento, así como otros. Estos se deben cumplir entre los años 2015 y 2030.

Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

El Objetivo 6 busca tener agua libre de impurezas y accesible para todas las personas, situación necesaria para el mundo. Actualmente el principal problema es el reparto inadecuado del agua para todos. Entre las principales metas, al 2030 se espera alcanzar el servicio de saneamiento para todos y así erradicar la defecación al aire libre, esto a partir de incrementar la cooperación internacional y apoyo a países en desarrollo, en la creación de capacidades para el desarrollo de actividades y programas relativos al saneamiento y el uso sostenible del recurso hídrico. (Naciones Unidas, 2018)

b) *Comparativa internacional ambiental en el cuidado del agua*

Perú

En el Perú, con relación al cuidado del agua y medio ambiente, tenemos al Ministerio del Medio Ambiente, entidad que nos da las pautas para el cuidado de este mismo y su preservación; es así que actualmente nos regimos con el Decreto Supremo Nro. 004-2017-MINAM, publicado el 07 de

junio del 2017; constando de 9 artículos, 3 disposiciones complementarias finales, 3 disposiciones complementarias transitorias y una disposición complementaria derogatoria.

En este decreto, se desprende la correcta aprobación de los estándares de calidad ambiental para el agua (ECA), dividiendo de esta forma los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en 4 categorías; la categoría en relación a la población y recreacional; la categoría de extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales; la categoría de riego de vegetales y bebida de animales; y finalmente la cuarta categoría se da en relación a la conservación del ambiente acuático. Es así que por medio de este Decreto, es que el Perú desde mediados del año 2017 tiene como referencia obligatoria estos respectivos estándares de Calidad Ambiental para el Agua; y a la vez señalando ciertas excepciones para esta aplicación.

Chile

En Chile, el organismo descentralizado encargado de velar por el medio ambiente y la protección del agua; se llama “Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)”, la cual tiene personalidad jurídica y patrimonio propio, creada bajo la Ley Nro. 20417; es así, que esta superintendencia le corresponde ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las Resoluciones de Calificación Ambiental, de las medidas de los Planes de Prevención y/o de Descontaminación Ambiental, del contenido de las Normas de Calidad Ambiental y Normas de Emisión, y de los Planes de Manejo, cuando corresponda, y de todos aquellos otros instrumentos de carácter ambiental que establezca la Ley; y esta función la realiza de manera directa, por medio de los organismos sectoriales mediante terceros acreditados; iniciando actividades en el 2010.

En relación al agua, Chile tiene una página más detallada posiblemente que otros países, señalando medidas previsionales; en donde se encuentra la fiscalización que esta misma realiza, señalando la entidad fiscalizadora y las multas correspondientes a su incumplimiento; con un procedimiento sancionador detallado y el seguimiento ambiental RCA debidamente expresado;

inclusive se encuentran estadísticas y la normativa ambiental del país; y aquí se encuentran las normas de calidad en referencia al agua.

Estados Unidos

En Estados Unidos, la agencia encargada por velar el medio ambiente y la protección del agua; se llama “Environmental Protection Agency (EPA)”, que traduciendo al español esta sería la “Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (EPA)”, la cual en la actualidad tiene legislaciones referidas al aire, agua y suelo.

En relación al agua, esta agencia de protección ambiental actualmente cuenta con 11 leyes que preservan el cuidado de esta misma; cada una de año diferente; adaptados a los cambios climáticos que el país y mundo haya venido teniendo; las cuales son:

- 1948: Water Pollution Control Act PL 80-845
- 1965: Water Quality Act PL 89-234
- 1966: Clean Waters Restoration Act PL 89-753
- 1969: National Environmental Policy Act PL 91-190
- 1970: Creación de la National Oceanic and Atmospheric Administration
- 1970: Water Quality Improvement Act PL 91-224
- 1972: Water Pollution Control Act PL 92-500
- 1974: Safe Drinking Water Act PL 93-523
- 1976: Toxic Substances Control Act PL 94-469
- 1977: Clean Water Act PL 95-21
- 1987: Water Quality Act PL 100-4

En general, en todas las leyes expuestas, se vino cambiando y mejorando una tras otra; en un comienzo se desarrollaron programas integrales para el control de la contaminación del agua,

otorgar subvenciones a los Estados y agencias interestatales para ayudar en el desarrollo de dichos programas y construir instalaciones de tratamiento, estableciendo medidas de aplicación para la contaminación de las aguas interestatales; de igual forma que se tocaron los temas de los estándares de calidad, generando así un secretariado de salud, protección y bienestar, finalmente; en relación a las leyes más actuales se tiene el Programa Nacional de los Grandes Lagos dentro de la EPA y una Oficina de Investigación de los Grandes Lagos dentro de NOAA; de igual forma y muy importante es que Estados Unidos pone requisitos de que la EPA, junto con el Servicio de Pesca y Vida Silvestre y NOAA, realice investigaciones, como parte del Programa de los Grandes Lagos, sobre los efectos nocivos de los contaminantes en la salud y el bienestar general; y de los requisitos en relación a que los estados desarrollen estrategias para la limpieza de tóxicos en aguas; se aumentaron las sanciones por infracción de los permisos; y se destina un buen fondo monetario para programas que desarrollen e implementen, a nivel de cuenca, programas de gestión y control de fuentes no puntuales.

2) *Nacional*

a) *Constitución Política del Perú 1993*

Documento base del sistema jurídico de la Nación, en donde su Artículo 2, Inciso 22, presenta los Derechos Fundamentales de la persona, el cual cita: “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”, haciendo referencia a que toda persona tiene el derecho de vivir en un ambiente adecuado para su bienestar. (Constitución Política del Perú, 1993)

El capítulo 11 del Título 111 denominado “Del Ambiente y los Recursos Naturales”, nos indica en el artículo 66 que el Estado es soberano en el aprovechamiento de los recursos naturales renovables y no renovables, debido a que estos son patrimonio de la Nación. Los artículos 67, 68,

y 69 establecen que el Estado debe encargarse de promover el uso sostenible y la conservación de sus recursos naturales. (Constitución Política del Perú, 1993)

b) Ley N° 28611. Ley General del Ambiente

El objetivo de la ley es implementar el desarrollo sostenible en la Nación, a través de gestiones públicas y privadas, adecuada al ambiente, basada en la sostenibilidad, la preservación, y protección de la diversidad.

El artículo 1, presenta el derecho y deber fundamental, el cual cito a continuación: “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país” (Ley N° 28611, 2005)

c) Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

La OEFA es el ente rector del Sistema de Evaluación y Fiscalización Ambiental, el cual es un organismo público técnico especializado, adscrito al MINAM. Se encarga de la supervisión, fiscalización, evaluación, control y sanción en materia ambiental. (Ley N° 29325, 2009)

La OEFA cumple la función de fiscalización de las EFA (Entidad de Fiscalización Ambiental), las cuales son los gobiernos regionales, municipales y locales, el ANA y Ministerios, que tienen entre sus responsabilidades el sistema de saneamiento.

d) Ley N° 29338 de Recursos Hídricos y su reglamento

Esta ley se crea con la intención de regular el uso del agua, así como los bienes asociados a él, tanto si son naturales (cauces, glaciares, etc.), como los bienes artificiales (captaciones, saneamiento, recreación, etc.). Lo cual es indicado en el reglamento de la ley en el Artículo 1, del objeto y ámbito de aplicación, nos indica: “El Reglamento tiene por objeto regular el uso y gestión

de los recursos hídricos que comprenden al agua continental: superficial y subterránea, y los bienes asociados a esta; asimismo, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión”.

(Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338, 2010)

e) Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento

A través del Decreto Ley N° 25965 se crea la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass), organismo público adscrito al Ministerio de la Presidencia. Su principal función es normar, supervisar, regular y fiscalizar la dotación del servicio de saneamiento, cuidando de forma imparcial y objetiva, los intereses del Estado, inversionistas y usuarios. (Decreto Ley N° 25965, 1992)

f) Ley N° 26338. Ley General de Servicio de Saneamiento

La ley establece la normativa gubernamental sobre proveer el servicio de saneamiento a nivel nacional. Está indica la obligación de proveer un servicio regular de agua potable, alcantarillado de aguas pluviales y residuales, y la disposición final de excretas, tanto en el rubro urbano como rural. (Ley N° 26338, 1994)

g) Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA. - TUO del Reglamento L.G.S.S. N° 26338

El presente Decreto Supremo presenta el Texto Único Ordenado del reglamento de la Ley 26338, por lo que incluye disposiciones relacionadas con: (Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA, 2005)

- Condiciones necesarias para la prestación de un servicio regular de saneamiento.
- Las atribuciones, funciones, responsabilidades, obligaciones y derechos de las entidades encargadas de la prestación del servicio.
- Los derechos y obligaciones de los usuarios del sistema de saneamiento.

- Regímenes corporativos, regulación tarifaria, participación del sector privado, uso de propiedad pública y de terceros para la prestación del servicio de saneamiento.

h) Ley N° 27867.- Ley Orgánica de Gobiernos Regionales

En su Artículo 58 presenta las funciones en temas de saneamiento, las cuales son: Formular, aprobar y evaluar los Planes y Políticas en materia de saneamiento, promocionar, capacitar y dar asistencia técnica, científica y tecnológica para proyectos de saneamiento. Apoyar financieramente a los gobiernos locales y asumir la ejecución cuando corresponda. (Ley N° 27867, 2002)

i) Ley N° 27972.- Ley Orgánica de Municipalidades

El Artículo 80 indica que las municipales tienen la función de proveer el servicio de saneamiento. En cuanto a zonas rurales, se debe velar por el saneamiento, salubridad y salud. (Ley N° 27972, 2003)

j) Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

El Decreto supremo presenta el agua en condición de cuerpo receptor y actor principal de los ecosistemas acuáticos, estableciendo los valores máximos de concentraciones en el agua para elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, para no representar un riesgo para la salud de las de las personas ni para el ambiente.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Esta categoría establece los valores que se deben respetar para tener un agua que sirva para riego de vegetales y como bebida para los animales. Estableciendo los siguientes estándares mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3: *Categoría 3 del D.S. 004-2017-MINAM*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000		1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000		**
Huevos de Helminfos	Huevos/L	1		**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,005		1

Cromo total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,001
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24

ORGÁNICO

Bifenilos Policlorados	µg/L	0,004	0,045
------------------------	------	-------	-------

PLAGUICIDAS

Paratión	µg/L	35	35
<u>Organoclorados</u>			
Aldrín	µg/L	0,004	0,7
Clordano	µg/L	0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001	30
Dieldrín	µg/L	0,5	0,5
Endosulfán	µg/L	0,01	0,01
Endrin	µg/L	0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01	0,03
Lindano	µg/L	4	4
<u>Carbamato</u>			
Aldicarb	µg/L	1	11

Fuente: Decreto Supremo N° 004, 2017

k) Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. - Aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

El Reglamento establece los parámetros para los Valores Máximos Admisibles (VMA) así como la regularización del procedimiento para fiscalizar las descargas de aguas residuales no domésticas al alcantarillado sanitario.

B. Marco teórico

1) Aguas residuales.

Las aguas residuales son aquellas que han sufrido una variación de sus características originales por haber sido utilizadas en actividades industriales, ganaderas, agrícolas, domésticas de los seres humanos, entre otras actividades. Estas se caracterizan por presentar grasas, detergentes, materia orgánica, residuos industriales, así como también herbicidas, plaguicidas y sustancias tóxicas utilizadas en alguna actividad humana. (Ramón, León, & Castillo, 2015).

Por esta razón requieren de un tratamiento previo a su vertimiento a un cuerpo de agua receptor o para su reutilización.

a) Clasificación de las aguas residuales

Según la OEFA (2014) las aguas residuales se clasifican de la siguiente manera:

Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son el resultado de las actividades humanas domésticas, las cuales pueden ser residenciales, comerciales e institucionales, estas presentan principalmente residuos fisiológicos y domésticos o similares producidos por las actividades netamente humanas. (Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338, 2010)

Aguas residuales industriales

Estas aguas son la parte líquida de los residuos de los procesos de distintas industrias, como la textil, la papelera, el curtido, extractivas, ganaderas, etc., cada una aportando contaminantes, que muchas veces son persistentes en el ambiente, como microbios patógenos, metales pesados, materia orgánica persistente, pesticidas y fertilizantes, además de afectar físicamente la cuenca receptora, principalmente aumentando la temperatura del cuerpo de agua. (López del Pino & Calderón, 2017)

Aguas residuales municipales

Las aguas residuales municipales o mixtas son el resultado de la mezcla de aguas residuales domésticas, con aguas de drenaje pluvial y aguas de origen industrial, siempre que estas últimas

cumplan con los estándares para ser admitidas en los sistemas de desagües de la ciudad donde serán vertidas. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014)

Aguas residuales universitarias

Las universidades son instituciones que agrupan un gran número de personas en un solo lugar, razón por la que descargan cantidades significativas de aguas residuales. Dentro de una universidad se dan diferentes actividades que producen distintos tipos de aguas residuales, ya que no solo se dan dictados de clases teóricas, si no también encontramos las descargas de laboratorios de distintas especialidades, por esta razón podríamos considerar dichas aguas como mixtas o municipales, donde se debe tener especial cuidado de la composición de las segundas, debido que estas alteran sensiblemente las propiedades y características de dichas aguas. (López del Pino & Calderón, 2017)

El estudio de Crombet et al., (2016) caracterizó el agua residual de la comunidad universitaria Antonio Maceo de la Universidad de Oriente, en Cuba, obteniendo los resultados presentados en la Tabla 4:

Tabla 4: *Valores de agua residual universitaria*

Parámetro	Rango
pH	6.8-7.7
Temperatura (°C)	22-28
Turbidez (NTU)	41-102
Conductividad eléctrica (mS/cm)	606-772
Sólidos totales (mg/L)	476-1197
Sólidos totales fijos (mg/L)	276-850
Sólidos totales volátiles	194-358
Sólidos sedimentables (mg/L)	2.0-4.5
Sólidos suspendidos totales (g/L)	107.07
Sólidos suspendidos volátiles (g/L)	34.6
Demanda bioquímica de oxígenos	59-112
Demanda química de oxígeno	190-306
Fosfato (mg/L)	2.0-18.8
Aceites y grasas (mg/L)	33.2-67.9
Sulfuro (mg/L)	0-23.2

Bacterias coliformes fecales (NMP/100mL)	36×10^5
Bacterias coliformes totales (NMP/100mL)	72×10^5
Amonio (mg/L)	1.3-3.7

Fuente: Crombet Grillet, Abalos Rodríguez, Rodríguez Pérez, & Pérez Pompa, 2016

b) Parámetros del agua residual domestica

Las aguas residuales domesticas son las resultantes de actividades humanas domésticas, presentando dos fuentes principales: Excreciones (deposiciones humanas sólidas y líquidas) y residuos domésticos (todos aquellos generados por actividades en el hogar y similares producidos en servicios e industrias). (López del Pino & Calderón, 2017)

Parámetros físicos

Partículas sólidas

Los sólidos son las partículas que se encuentran presentes en el agua, en el caso de las aguas residuales domésticas, los sólidos totales le otorgan características como olor putrefacto y color marrón oscuro. La presencia de solidos suspendidos, aceites y grasas y demás residuos, indican la eficiencia que debe presentarse en una primera etapa para su tratamiento. (Metcalf & Eddy, INC., 2003)

Temperatura

La importancia de la temperatura radica en el efecto que tiene sobre los distintos procesos y fenómenos que se dan en el agua, ejemplos de estos, es la solubilidad de líquidos y gases, la sedimentación y las reacciones biológicas, todo esto requiere de temperaturas óptimas para llevarse a cabo. (Salazar Miranda, 2005)

Turbidez

Esta propiedad nos permite identificar la calidad del agua residual por su relación directa con sus componentes, la turbidez principalmente es causada por materia inorgánica coloidal suspendida

como el limo y arcilla, así como también por materia orgánica como el plancton y otros organismos microscópicos. (Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 2017)

Parámetros químicos

PH

El pH es un condicionante importante en el desarrollo de los fenómenos internos del agua, tanto biológicos o físicos, existiendo un rango reducido el óptimo para el desarrollo de estos. Una concentración de iones de hidrogeno, diferente a la esperada, disminuye la eficiencia de un tratamiento biológico al agua, asimismo, el efluente de la planta afecta las concentraciones y condiciones naturales del cuerpo receptor. (Salazar Miranda, 2005)

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es la cantidad de oxígeno usada para oxidar la materia orgánica o la descomposición de la misma. Esto nos permite cuantificar la porción biodegradable de la materia orgánica presente en la muestra. En el caso de utilizar esta agua como alimento para un sistema biológico, la DBO sería un indicador indispensable. (Ramalho, 1996)

Su descarga al ambiente sin ser estabilizada previamente, podría ocasionar el agotamiento del oxígeno en el recurso natural y el desarrollo de condiciones anaeróbicas. (Metcalf & Eddy, INC., 1995)

El análisis comúnmente realizado es de la DBO realizado por 5 días de incubación (DBO5), este se utiliza para evaluar la carga orgánica de aguas residuales de cualquier tipo, sin tratar y tratadas. (Salazar Miranda, 2005)

Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) indica la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar químicamente todos los compuestos (orgánicos e inorgánicos) de una muestra de agua. Su principal ventaja frente a la DBO es la velocidad y confiabilidad del resultado. (Orozco Jaramillo, 2005)

Existe una relación directa entre los valores de la DQO y la DBO, siendo siempre mayor la primera, esto debido a que existen componentes en el agua que solo podrán ser descompuestos biológicamente, pero todos pueden ser oxidados químicamente.

Demanda química de oxígeno filtrada

La DQO para un análisis más preciso de las tasas de degradación, se puede fraccionar, según la IAWQ (International Association of Water Quality), encontramos la siguiente clasificación: DQO fácilmente biodegradable, DQO lentamente biodegradable, DQO soluble no biodegradable y DQO particulada no biodegradable. (Menéndez Gutiérrez & Dueñas Moreno, 2018)

La DQO soluble no biodegradable es también llamada DQO filtrada, esta fracción no se ve afectada por tratamientos biológicos, al igual que pequeñas cantidades de sólidos coloidales, esta no se adhiere a la biomasa, es decir, no presenta cambios durante el tratamiento y es proyectada junto con el efluente. En el caso de ser la fracción mayoritaria en el efluente, los procesos biológicos quedan descartados. Para su cálculo la muestra es filtrada por una membrana de 0.45 μm . (Pire Sierra, y otros, 2011)

Fósforo total y nitrógeno total

Las aguas residuales contienen una gran cantidad de elementos que son considerados como nutrientes básicos para el crecimiento de cualquier organismo, dentro de estos encontramos el nitrógeno, fósforo y el potasio, tomando importancia en el mismo orden respectivamente. La alta cantidad de estos puede generar el desarrollo y crecimiento de algas, que generaría una deficiencia de oxígeno, así como también el fenómeno de la eutrofización. A su vez, la escasez de alguno de estos elementos durante el proceso de la planta de tratamiento, puede tener consecuencias negativas en tratamiento secundario (biológico), por falta de alimento para los organismos. (Quispe Pulido, 2018)

El vertimiento de aguas residuales sin tratar con presencia alta de nutrientes, como el fósforo y nitrógeno (nutrientes esenciales), al llegar al cuerpo de agua receptor favorecen el desarrollo de vida acuática no deseada, de igual forma, al tener contacto con el suelo, estas aguas pueden contaminar el agua subterránea. (Metcalf & Eddy, INC., 1995)

Parámetros biológicos

Las características biológicas del agua se basan en la presencia de micro y macro organismos, donde su presencia y concentración son indicadores de la calidad del agua. Dichos organismos pueden causar daños a la flora, fauna y escalar a través de la cadena alimenticia llegando al ser humano.

Organismos patógenos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales domesticas proceden principalmente de los deshechos humanos, infectados o portadores de alguna enfermedad. Existe una gran cantidad de organismos patógenos presentes, en pequeñas cantidades y difíciles de aislar e identificar, por esa razón, se utilizan los organismos coliformes como evaluador de la calidad del agua. Estos se encuentran en el tracto intestinal humano como bacterias de forma de bastoncillos. (Metcalf & Eddy, INC., 1995)

2) *Tratamiento de aguas residuales*

El tratamiento de aguas puede dividirse en tres categorías, para uso doméstico o potabilización, uso industrial con características específicas, y el tratamiento de aguas residuales para alcanzar niveles aceptables para su vertimiento o reutilización. (Manahan, 2011)

El tratamiento de aguas residuales se da en tres procesos principalmente: primario, donde se dan procesos físicos como la sedimentación, cribado, etc.; en un segundo momento están los procesos secundarios o biológicos, donde se busca biodegradar la materia orgánica presente; por último,

están los procesos terciarios, momento donde ocurren tratamientos químicos para alcanzar el estándar deseado por el agua tratada. (Manahan, 2011)

Las opciones de procesos y operaciones para utilizar en una planta de tratamiento de agua residual son variadas, cada una otorga distintas características al efluente de cada sistema. Es entonces que para definir la serie de procesos de tratamiento a utilizar, dependen de algunos factores, Ramalho (1996) presenta los siguientes:

- Las características que presenta el agua residual para cada parámetro a evaluar.
- Calidad del efluente deseado.
- Área disponible para la planta de tratamiento, por ejemplo, algunos tratamientos biológicos son económicos pero requieren grandes extensiones, como el lagunaje o estanques de estabilización.
- Considerar futuros requerimientos, legales o ampliación de caudal, que se puedan dar y poder cumplirlos.
- Coste local del agua y servicio de saneamiento, precios bajos, limitan el uso de algunos tratamientos más sofisticados pero también de mayor precio.

a) Tratamientos primarios

La primera etapa para el tratamiento de aguas residuales busca la eliminación de la materia insoluble, como son las grasas, espumas del agua y arenas. Para esto se utiliza operaciones físicas unitarias, las cuales cambian las características y propiedades del afluente gracias a la aplicación de fuerzas físicas. (Metcalf & Eddy, INC., 1995)

Las más comunes operaciones utilizadas en los tratamientos primarios del agua residual son: desbaste, dilaceración, mezclado, sedimentación simple y acelerada, floculación, filtración, flotación, transferencia de gases y volatilización y arrastre de gases. (Metcalf & Eddy, INC., 1995)

b) Tratamientos secundarios

Son considerados tratamientos secundarios todos los procesos biológicos realizados en la planta de tratamiento, tanto los aerobios como anaerobios. (Muñoz Cruz, 2008)

El tratamiento secundario se implementa con la única intención de eliminar la materia orgánica que es medida como DBO, este parámetro es el efecto más llamativo y rápido para identificar consecuencias de la materia orgánica biodegradable en el agua residual. Para lograr dicho objetivo, se busca simular los procesos oxidativos que consumirían el oxígeno en el cuerpo de agua receptor del vertimiento. (Manahan, 2011)

Los procesos biológicos desarrollados para el tratamiento de aguas residuales se pueden categorizar en tres grupos: procesos aerobios, procesos anaeróbicos, y procesos combinados (aerobios – anaerobios). Todos permiten alcanzar los mismos objetivos en el tratamiento del agua, que son la disminución de la DBO y DQO, se desarrollen procesos de nitrificación y desnitrificación, la eliminación de fósforo, y finalmente la estabilización de los fangos. (Metcalf & Eddy, INC., 1995)

El tratamiento secundario por un proceso biológico aerobio se fundamenta en la acción metabólica de los microorganismos, donde se añade oxígeno, para completar la degradación del material orgánico que se encuentra en solución o suspensión hasta alcanzar los valores aceptables de DBO en la muestra. (Manahan, 2011)

Filtros biológicos

Los filtros biológicos son biorreactores de lecho fijo con la finalidad de disminuir la cantidad de materia orgánica disuelta a partir de la acción de microorganismos que han formado biopelículas en las superficies del material de soporte del filtro. (Galindo, Toncel, & Rincón, 2016)

Para el funcionamiento de un filtro, se requiere distribuir intermitentemente la corriente de agua residual sobre la columna de lechos o materiales de soporte. Estos lechos por lo general son de un material poroso que permite la adhesión de la materia orgánica a la superficie y se dé la destrucción

biológica de la misma. Se produce una descomposición total de la materia orgánica hasta obtener CO_2 y agua. (Muñoz Cruz, 2008)

c) Tratamientos terciarios

Los tratamientos terciarios o también llamados tratamientos avanzados o específicos, son un conjunto de procedimientos que buscan mejorar la calidad del efluente proveniente de los sistemas secundarios. Este requerimiento de calidad aparece a partir de la necesidad de reutilizar las aguas tratadas para el consumo de personas, en Europa, algunos municipios procesan 50% o más de sus aguas usadas, por lo que es de vital importancia hacer análisis de presencia de organismos patógenos o sustancias tóxicas o recalcitrantes. (Manahan, 2011)

Los contaminantes a remover en este nivel del tratamiento se pueden agrupar en tres categorías: sólidos en suspensión, materiales inorgánicos disueltos y compuestos orgánicos disueltos. (Manahan, 2011) Para la eliminación de dicha contaminación, los principales tratamientos terciarios son la separación de sólidos en suspensión, adsorción en carbón activado, intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis, oxidación química (cloración y ozonificación) y métodos de eliminación de nutrientes (eliminación de nitrógeno y fósforo). (Ramalho, 1996)

d) Tratamiento edáfico de aguas residuales

Virtualmente todos los compuestos cuya eliminación se realiza en plantas de tratamiento convenientemente diseñadas, pueden ser absorbidos por, o degradados en el suelo. Los desechos que pueden tratarse mediante el suelo son las sustancias orgánicas fácilmente biodegradables, particularmente las contenidas en aguas residuales municipales y en el agua residual de procesos industriales procesadores de alimentos. Los microorganismos en el suelo exhiben diversas actividades enzimáticas que les permiten degradar sustancias sintéticas. (Manahan, 2011)

3) Lombrifiltro

Un lombrifiltro, también llamado vermifiltro, o Sistema Tohá, es una alternativa biológica de tratamiento de agua residual. Consiste en una serie de procesos que tienen como objetivo eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos que poseen tanto las aguas servidas como los residuos industriales líquidos. Con el tratamiento se obtiene agua limpia (efluente tratado) y un residuo sólido denominado lodo o biosólido, que se debe disponer de una manera segura para evitar contaminación y malos olores, contribuyendo a la recuperación del recurso y a disminuir los impactos en la salud y el ambiente. (Ramón, León, & Castillo, 2015)

El lombrifiltro es un filtro biológico, tipo percolador, que presenta un medio filtrante conformado por lombrices y microorganismos los cuales conviven en una simbiosis para lograr la degradación del material orgánico presente en el agua residual. (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013)

El tratamiento a partir de un vermifiltro se puede aplicar a cualquier tipo de agua residual, tanto domésticas, industriales o municipales, debido a que este sistema permite la remoción de metales pesados y restos orgánicos líquidos y sólidos presentes en el agua a través de las acciones de las lombrices. (Manyuchi, Kadzungura, & Boka, 2013)

Los lombrices cumplen una doble función en esta simbiosis que se genera, la primera es la de actuar como aereadores, ellas se mueven por todo el sustrato filtrante, excavando galerías que permiten el flujo de oxígeno, esto favorece al crecimiento microbiano, además de mantener las condiciones aerobias de todo el material de soporte; la segunda función de las lombrices como material biológico filtrante, es que estas actúan como pequeños biodigestores, se alimentan del material orgánico retenido del agua residual, al pasar por su sistema digestivo se llevan a cabo reacciones bio y fisicoquímicas debido a las acciones enzimáticas, ácidos digestivos y microorganismos, para finalmente obtener como excreta un material biológico degradado. (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013)

a) Medio filtrante

El medio filtrante, material de soporte, o substrato del filtro, son las diferentes capas que presenta el biofiltro, el cual por lo general está compuesto por materiales sólidos los cuales se caracterizan por presentar una alta porosidad y diversidad geométrica, pudiendo ser circulares, cuadrados, romboides, etc. (Galindo, Toncel, & Rincón, 2016)

En el medio filtrante se dan procesos físicos de sedimentación y retención de material orgánico proveniente de las aguas residuales, a través de mecanismos de adsorción y absorción, los que permiten la creación de la biopelícula en la superficie del material de soporte. (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013)

Los estratos del filtro cumplen las siguientes funciones principalmente: La acumulación de biomasa en grandes cantidades, consecuentemente, el aumento de tiempos de retención celular; comportarse como barrera física de sólidos conducidos por el agua residual; y por último, optimizar el contacto entre el material orgánico del afluente y los sólidos biológicos del filtro. (Dorado, Lafuente, Gabriel, & Gamisans, 2010)

El sistema está compuesto por distintos sustratos, la elección de los que se usara depende de factores como su disponibilidad local, propiedades mecánicas, densidad, rugosidad, volumen de la capa, y costo. (Galindo, Toncel, & Rincón, 2016) Para Jiménez (2016) el sistema está compuesto por tres capas principales, la superior se compone de un substrato que permita el desarrollo biológico de las lombrices, como es la madera en distintas presentación, como astillas, aserrín o viruta, junto con un fino manto de humus o compost que contiene las lombrices. Seguido se presentan capas de piedras de distintas procedencias, inicialmente se utilizó rocas volcánicas, o de río, que presenten las características deseadas. (Galindo, Toncel, & Rincón, 2016) Finalmente, la última capa, presenta piedras de mayor tamaño, cumpliendo funciones de soporte y filtrado. (Saboya Rios, 2018)

Viruta y astillas de madera

El nivel superior del filtro, los principales componentes suelen ser aserrín, viruta o astillas de madera. Estos son el desperdicio orgánico de los aserraderos, puesto que es considerada como un desecho para esa industria, sin embargo, para procesos de filtración es considerado por su alta capacidad de absorción, además de tener un bajo costo comercial y es factible adquirirlo en abundancia a nivel local. (Guaman Quinaloa, 2017)

Las características más importantes de las astillas y la viruta, con la finalidad de filtración de aguas residuales, son las presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5: *Características de la viruta y astillas de mezquite*

	Aserrín	Viruta	Astillas de mezquite
Densidad aparente (g/cm ³)	0.1 – 0.45	1.55 – 1.90	0.281
Absorción de agua (%)	42	43	-
Porosidad (%)	80	70-90	84

Fuente: Cevallos Zurita, 2015 y Sosa Hernández, 2015

Tanto la viruta como las astillas cumplen además con una función en caso de ser necesaria, si la carga orgánica del afluente disminuye o por alguna razón se detiene el caudal, este compuesto orgánico sirve como alimento para las lombrices, así ellas no detienen su capacidad metabólica. (Saboya Rios, 2018)

Una vez consumida las astillas o la viruta por las lombrices, y con el paso del tiempo, por las distintas acciones fisicoquímicas que se llevarán a cabo en el medio filtrante, este puede ser removido del biofiltro y ser aplicado en jardines o para la agricultura como un abono, ya que este se encontrará estable y con alto contenido de nutrientes. Las lombrices y las simbiosis desarrolladas, se encargan de remover cualquier agente patógeno presente. (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013)

Compost

El compost es un compuesto orgánico que surge a partir de la descomposición natural de la materia orgánica presente en el suelo del ambiente, dicho proceso es realizado por organismos descomponedores como hongos y bacterias, y animales pequeños detritívoros, como los escarabajos y lombrices. (Amigos de la Tierra, 2004)

La especie de lombriz *Eisenia foetida* es la de mayor uso comercial a nivel mundial, por su capacidad de adaptación a diversos ambientes, aunque de igual forma, existen condiciones ambientales que son las más óptimas para su desarrollo, estas por lo general coinciden con las que presenta un compost maduro, como un pH entre 6.5 y 7.5, una temperatura entre 19 y 25 °C, humedad relativa de 80%, y una relación correcta C:N. (Roman, Martínez, & Pantoja, 2013)

Roca volcánica

El segundo estrato del medio filtrante se caracteriza por presentar rocas que presenten cualidades para poder filtrar, este es el caso de las rocas volcánicas. Las rocas volcánicas se encuentran dentro de la clasificación de rocas ígneas, éstas presentan como origen el proceso de enfriamiento que sufre la materia líquida de composición silicatada que procede del interior de la Tierra. También denominadas rocas ígneas extrusivas, se caracterizan por su textura vesicular, las cavidades vesiculares se forman a partir del vapor de agua y gases que quedan atrapados en el interior de la lava al momento de enfriarse. (Carenas Fernández, Giner Robles, González Yélamos, & Pozo Rodríguez, 2014)

Los filtros de rocas fueron muy usados durante sus primeros años, la década de 1970, por la eficiencia que presentaban para reducir las cantidades de DBO₅ y los sólidos totales en suspensión de muestras de agua, porque induce la descomposición de la materia orgánica en sus superficies activas biológicamente, a partir del asentamiento de la materia orgánica y microfauna en ella. (Bowman, Middlebrooks, & Reed, 2002)

Las rocas volcánicas utilizadas como medio filtrantes se caracterizan por presentar una alta porosidad, dando la particularidad de ser esponjosas, permitiendo la adhesión y adsorción de material orgánico.

Piedra pómez

Es una roca ígnea extrusiva de color blanca a gris compuesta principalmente por sílice (70% SiO_2) y alúmina (13% Al_2O_3), presenta una densidad aparente de 0.71 g/cm^3 , lo que indica su alto nivel de porosidad, siendo tan ligera que puede flotar en el agua. Por sus características es aplicada como material flotante y absorbente en el ámbito de tratamiento de aguas, y en la agricultura, como elemento aireador y capaz de retener agua por largos periodos. (Cevallos Zurita, 2015)

Roca roja lava

La roca roja lava, o simplemente llamada piedra volcánica, son pedazos de roca volcánica de distintos tamaños, desde rocas grandes hasta finas partículas, se caracterizan por ser porosas, de textura vesicular. Por las cualidades de la roca estas pueden ser utilizadas de manera exitosa como medio de soporte de filtros aeróbicos de agua residual. (Segovia Sampedro, 2017)

Grava y piedra redonda de río

Son rocas presentes en las orillas de los ríos presentes por la estructura natural del suelo. El paso del río y la materia arrastrada por el mismo, se encargan de dar la forma a las piedras, a partir de un proceso de erosión y desgaste por fricción entre las mismas, otorgando una superficie lisa y figuradamente redonda. Estas cualidades son aprovechadas en el tratamiento por filtros de agua residual, su extensa superficie de contacto permiten la formación de una biopelícula de microorganismos. (Cevallos Zurita, 2015)

b) Ventajas del lombrifiltro

- Los Lombrifiltros pueden ser considerados como el único sistema de tratamiento de residuos industriales líquidos y aguas servidas que proporciona un ingreso, esto por la generación de

lombrices, humus y agua, lo que revaloriza al agua residual en el mercado. (Fundación Chile, 2013)

- La vermifiltración es un método eficiente en el tratamiento de aguas residuales que se caracteriza por ser de bajo costo, no presenta olores y no requiere recurso humano continuo para su operación. El efluente resultante es agua limpia y suficientemente desinfectada para reusarla para el riego en la agricultura, parques y jardines. (Manyuchi, Kadzungura, & Boka, 2013)
- Otra ventaja de este sistema es su simplicidad y facilidad para operarla, además de los bajos costos de operación y mantenimiento durante el proyecto, la planta presenta una relación ecológica – económica buena, debido a su no requerimiento de aditivos químicos, ni generación de lodos contaminados, redundando en el reducido uso de energía para su funcionamiento. (Garkal, Mapara, & Prabhune, 2015)

4) *Lombriz roja californiana*

La lombriz roja californiana, tiene el nombre científico *Eisenia foetida*, y el nombre común es debido a que su estudio a gran profundidad se inició en la ciudad con el mismo nombre, esté se basó en el efecto beneficioso sobre la porción orgánica del suelo y el estiércol. (Saboya Rios, 2018)

La descripción taxonómica de la especie se presenta en la Tabla 6:

Tabla 6: *Taxonomía de la lombriz roja californiana*

Reino	<i>Animal</i>
Tipo	<i>Anélido</i>
Clase	<i>Oligoqueto</i>
Orden	<i>Opistoporo</i>
Familia	<i>Lombricidae</i>
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>E. foetida</i>

Fuente: Gonzales Condori, 2016

La lombriz es un invertebrado que presenta un cuerpo largo conformado por anillos (94 – 96 anillos), presentan un tamaño de 1 a 5 mm, y una coloración blanca al momento de nacer, el cual cambia al pasar a una etapa juvenil, momento en el que son de un tono rosa y miden entre 2 y 5 cm. Finalmente alcanza su característico color rojo oscuro a los 15 o 20 días de nacidos, momento en el que miden entre 6 y 8 cm. (Cevallos Zurita, 2015)

Alcanzan la madurez sexual a los 3 meses de nacidas, y se puede visualizar un anillo diferente, en color y tamaño, llamado clitelo. Momento en que si se encuentra en un ambiente óptimo de desarrollo, se aparea cada 7 días, durante la copulación una lombriz recibe el esperma de otra, reteniéndolo en su espermateca hasta el momento de la fecundación. Posterior a este momento, la lombriz libera del clitelo los cocones o capullos, capsula donde están contenidas de 2 a 4 lombrices por cada uno, al cabo de 23 días después de ser liberados estos eclosionan. (Gonzales Condori, 2016)

Su sistema digestivo consta básicamente de boca, faringe y un buche, que funciona como órgano de almacenamiento temporal. Para poder ingerir los alimentos, su primera función es liberar mucus para humedecer y suavizar previamente su alimento. Presentan glándulas calcáreas que producen calcio, acción que es importante para un suelo agrícola debido a que regula el pH. (Saboya Rios, 2018)

En el estudio de Monroy, Aira & Domínguez (2009) se indica la influencia de las lombrices en el sustrato que estas se desarrollen, pudiendo alterar las características del suelo: físicamente a través de su capacidad de agregar partículas y porosidad, debido a que la lombriz realiza excavaciones al moverse; la modificación de las características biológicas y químicas se da gracias a la degradación de materia orgánica, alterar la disponibilidad de los nutrientes, y el poder generar relaciones simbióticas con otros microorganismos del suelo.

La lombriz roja californiana es seleccionada para los tratamientos de aguas residuales por biofiltros porque su capacidad de adaptación es amplia y coincide con las características que deben presentar las lombrices para dichos sistemas, como son: variaciones de temperatura entre 15 y 25 °C en promedio, un rango de pH de 7 a 8, presentar una alta tasa de reproducción, y longevidad, dentro de sus formas de vida, debe estar la posibilidad de desarrollarse en un ambiente con una alta densidad poblacional, y finalmente, no ser vector de enfermedades. (Durán & Henríquez, 2009)

a) Lombriz – Descomposición materia orgánica

La descomposición es un conjunto de procesos que tienen como objetivo la transformación física y química de la materia orgánica muerta hasta alcanzar dos acciones: una primera parte del recurso se mineralizara, y la segunda se depositara como humus. (Dominguez, Aira, & Gomez-Brandón, 2009)

La relación entre la descomposición de la materia orgánica y la acción biológica de la lombriz, se da en dos etapas, una primera que es activa o directa, ya que la lombriz procesara la materia orgánica, transformando sus propiedades físicas y microbianas, la duración de esta etapa, depende directamente de factores como la especie de lombriz, sus tasas de alimentación y procesamiento de materia orgánica, así como la población de lombrices. La segunda etapa, de maduración o indirecta, en la que los microorganismos empiezan a actuar para completar la descomposición del material previamente procesado por las lombrices. (Dominguez, Aira, & Gomez-Brandón, 2009)

C. Antecedentes y Estado del Arte

1) Antecedentes

El Fundo La Banda Huasacache presentaba un sistema de alcantarillado compuesto por tuberías de 4 pulgadas de PVC y cajas de registro de 0.40 x 0.40 metros ubicadas en la zona del patio. Este se encargaba del transporte de aguas residuales y posibles infiltraciones pluviales, con dirección

hacia unos pozos sépticos, ubicados en la parte más baja (cercana al río) del Fundo. (TAMPU Ingeniería, 2019)

El problema identificado en diciembre del 2018, es que los pozos habían sido colmatados, un mal diseño inicial y la falta de mantenimiento de los mismos, fueron las causas para que se vuelvan ineficientes para el tratamiento de aguas residuales. Esto podría generar sanciones impuestas por la OEFA.

En enero del 2019, se presenta el proyecto “Mejoramiento del Sistema de Desagüe del Fundo La Banda Huasacache – Hunter – Universidad Católica de Santa María”, el cual plantea que ante esta problemática se debe construir optimas redes de alcantarillado, así como la instalación de un Biodigestor de 7000 L. Esto considerando que en paralelo se encontraba programado la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con tecnología de filtros biológicos. (TAMPU Ingeniería, 2019)

En la actualidad, octubre de 2019, se encuentra instalado y funcionando el biodigestor, así como también construida la PTAR, aunque esta segunda tecnología, se encuentra aún en proceso experimental.

2) *Estado del Arte*

En la Universidad de Pamplona, en Colombia se estudió la eficiencia de un lombrifiltro en remover la carga orgánica de aguas residuales domésticas e industriales o comerciales. Esté se construyó de 5 substratos: aserrín y *Eisenia foetida*, carbón activado, grava de piedra y finalmente una cama de piedra de río de gran tamaño. Se controló factores del biofiltro como el tiempo de retención hidráulico, temperatura, caudal, pH, concentración de biomasa, cantidad de lombrices y la remoción producida en substrato. Finalmente, el sistema demostró un 92% de eficiencia en remoción de materia orgánica del afluente, permitiendo obtener un efluente de mejor calidad. (Ramón, León, & Castillo, 2015)

En la India, Garkal et al., (2015) realizaron una investigación correspondiente a la eficiencia de un vermifiltro con el objetivo de tratar agua residual domestica hasta alcanzar los estándares nacionales permitidos para su reúso no potable. Su hipótesis fue correcta, pues se logró una reducción del 68.52% del DQO, 72.05% de DBO y 15.42% de TDS, porcentajes suficientes para estar dentro de sus estándares que permiten usar el agua para el riego. Este estudio mostró las ventajas del sistema frente a los tratamientos convencionales, como son el bajo uso energético, sencilla implementación y manejo, costos bajos del proyecto en todas sus etapas, la no producción de lodos contaminados y el posible uso de su estrato primario como fertilizante, además de la revalorización del agua. Factores que presentan el tratamiento como una posibilidad para muchas ciudades de la India.

La investigación de Galindo et al., (2016) estudió el desarrollo de un biofiltro como post tratamiento del efluente de un tratamiento anaerobio-aerobio de aguas residuales municipales. Lo característico de esta experimentación es el uso de conchas marinas como material de soporte o material filtrante, sus propiedades, tales como porosidad y resistencia en su estructura física, facilitaron la adhesión de biomasa a su superficie formando la biopelícula, la cual tuvo su fuente de nutrientes en la estructura calcárea y composición de la misma. Los resultados de la experimentación fueron positivos, se lograron eficiencias de remoción de coliformes totales del 97.24% y de coliformes fecales del 94.63%, así como la disminución de la DQO total en un 51.5%, DBO₅ en 39.2% y TSS en 29%. Por lo tanto, el sistema se presenta como una alternativa de bajo costo, y el uso de conchas marinas presenta otra opción para componer el material filtrante.

En Bogotá, se llevó a cabo la comparación en la eficiencia al tratar aguas residuales de la industria láctea, los sistemas comparados fueron un lombrifiltro y un geofiltro de iguales componentes filtrantes, con la excepción de no colocar lombrices en el segundo sistema. Los materiales filtrantes para ambos sistemas fueron grava, gravilla y piedras de río, agregando en el

primero, un primer nivel con lombrices *Eisenia foetida*. Entre los parámetros evaluados, la principal diferencia se dio en la reducción de la demanda química de oxígeno, el sistema con lombrices tuvo una reducción de 79.56%, mientras que en el geofiltro solo alcanzo el porcentaje de 55.18%. Lo que demuestra la acción depuradora que realiza la lombriz roja californiana y su influencia en un sistema biológico de tratamiento de aguas residuales. (Manrique Delgado & Piñeros Castañeda, 2016)

En la Universidad de Las Américas (Quito) en el año 2015, se realizó una experimentación con el objetivo de comparar la eficiencia de un lombrifiltro variando los estratos filtrantes, los filtros utilizados fueron: rocas de rio, piedra pómez, grava, hojas de eucalipto, aserrín, viruta de pino y lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), mientras que el efluente fue proveniente de la Empresa de Rastro del Distrito Metropolitano de Quito, empresa encargada del faenamamiento y comercialización de carnes animales. Los mejores resultados fueron al utilizar la piedra pómez, obteniendo resultados de remoción entre el 90-93% de DBO₅, 84% de DQO, 56-81% de nitrógeno total y 98-99% de TSS. (Cevallos Zurita, 2015)

Nataranjan & Kannadasan (2015) realizaron una investigación de tratamiento de agua residual de la industria de la destilería, la producción de etanol y azúcar generan residuos líquidos con altas cargas orgánicas, metales pesados, tintes, etc., por lo que su vertimiento sin tratar, ocasiona problemas de altos niveles de contaminación. Es entonces que la aplicación de un vermifiltro como tratamiento se presenta como una gran oportunidad, en efecto, los resultados fueron positivos, obteniendo reducción del 90%, 94%, 88% y 82% en la DBO, DQO, TSS, y TDS respectivamente. El sistema estuvo compuesto por tres capas de filtros, la inferior presentaba grava, ascendiendo, la siguiente era arena, y la superior era tierra de jardín, esta también presentaba las lombrices, para el estudio se usó la especie *Eudrilus eugeniae*.

La investigación realizada por Vizcaíno Mendoza & Fuentes Molina (2016) en Colombia, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de tres modelos de sistemas para tratamiento de agua residual doméstica. El primer sistema fue un lombrifiltro inoculado de la lombriz *Eisenia foetida*, el segundo es un sistema de flujo horizontal con la planta *Eichhomia crassipes*, y finalmente el tercer sistema es la combinación de ambos de forma lineal. Los resultados mostraron el sistema 1 como el mejor para remover la DQO, el sistema 2 removi6 el 100% de los SST, mientras que en el resto de parámetros evaluados, fue el sistema 3 el más eficiente. Este trabajo muestra la alta eficiencia de un lombrifiltro para reducir la materia orgánica de un afluente.

En Zimbabue (2013) se realizó una investigación basada en el tratamiento de aguas residuales domésticas usando un vermifiltro implementado con la lombriz *Eisenia foetida*. Se utilizaron 500 lombrices de tierra en el vermifiltro durante un período de 5 días. El pH del agua tratada se neutralizó, los parámetros biológicos analizados disminuyeron, la DBO5 en un 98%, la DQO en 70%, mientras que los parámetros físicos disminuyeron de la siguiente manera: los sólidos disueltos y solubles (TDSS) en un 95%, y la turbidez disminuyeron en un 98%, a través de la vermifiltración. Las aguas residuales tratadas cumplieron con los estándares de agua para riego, además que el sistema de vermifiltro, no generó lodos ni desechos. (Manyuchi, Kadzungura, & Boka, 2013)

En México, los investigadores Cardoso et al., (2013), implementaron un vermifiltro a escala piloto, donde se inoculó lombrices de tierra del género *Eisenia sp.* y se alimentó con agua residual sanitaria con un flujo continuo. Los mejores resultados se obtuvieron en su primera evaluación (Etapa 1), donde la tasa de filtración fue de $0.180 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ y una carga orgánica superficial de $108 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; obteniendo como resultado una remoción del 92 % de DQO, 99 % de DBO, 97 % en SST. En cuanto a nitr6geno total y coliformes fecales se obtuvieron valores por debajo de la normativa vigente del momento en México (NOM001-SEMARNAT-1996), para la protección de la vida acuática y uso en riego agrícola.

A nivel nacional encontramos una tesis de la Universidad Peruana Unión, en la cual se comparó la eficiencia de un lombrifiltro al usar dos especies de lombrices distintas, la *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida*, para el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Chachapoyas. Los resultados fueron favorables para la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en promedio esta redujo en un 87% los parámetros analizados (DBO₅, DQO, nitrógeno total, coliformes totales, turbidez y pH), mientras que la *Lumbricus terrestris* los redujo en un 85%. Igualmente se concluyó que ambas opciones son viables para el tratamiento de aguas residuales, haciéndolas aceptables para el riego de vegetales no restringido y restringido, al igual que su uso como bebida de animales, según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. (Saboya Rios, 2018)

En la ciudad de Lima se realizó un estudio donde se evalúa la eficiencia de dos sistemas de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de cumplir los estándares nacionales para agua de riego. Los sistemas de tratamiento estaban compuestos por un canal de desbaste, tanque séptico, humedal sub superficial de flujo vertical inoculado por las especies *Cyperus papyrus* y *Alocasia macrorrhiza* y un humedal superficial con la especie *Eichhornia crassipes*; la diferencia entre ambos, en el segundo sistema se añadió un lombrifiltro antes de los humedales, que usaba *Eisenia foetida* como especie de lombriz. Los resultados entregados fueron que el primer sistema presentó mayor remoción en los parámetros de SST, DBO₅ y coliformes termotolerantes, mientras que el segundo sistema presentó más remoción de fosfatos. Ambos sistemas entregaron un efluente que cumple con los estándares nacionales de calidad ambiental, a excepción de los parámetros: fosfatos y coliformes termotolerantes. (Quispe Pulido, 2018)

Acuña Marrufo & Reyes Sánchez (2017) realizaron la investigación comparativa de dos lombrifiltros usando diferentes especies de lombrices. En el primer sistema se inoculó *Lumbricus terrestris*, mientras que en el segundo se colocó *Eisenia foetida*; los restantes sustratos de los biofiltros fueron bolones, grava, aserrín y compost, este último como medio de soporte para las

lombrices, además de presentar los microorganismos correspondientes. Se trató agua residual en condiciones ambientales de la ciudad de Bagua tomando en cuenta parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Como conclusión se obtuvo un porcentaje mayor de remoción promedio en el tratamiento con la lombriz roja californiana, siendo un 73%, mientras que con la lombriz de tierra, el promedio de remoción fue de 63%.

En la Universidad Privada del Norte, se presentó el trabajo de investigación titulado “Implementación de un lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales procedentes del camal municipal de Cajamarca en 2017”, en cual se implementó un sistema piloto con la importancia de tratar el efluente y hacerlo óptimo para su descarga en el ambiente. Los mejores resultados fueron obtenidos en la segunda repetición de la experimentación, estos son una reducción del 96.96% del DBO, de 93.94% en DQO, valores finales de 7.23 en pH, 7.25 mg/L en OD y una temperatura de 19.80; los valores finales del agua, se encontraron dentro de los VMA. (Díaz Revilla & Zafra Olano, 2018)



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

A. Tipo de investigación

El presente estudio, de acuerdo al tipo de trabajo realizado, es considerado una investigación experimental del tipo cuantitativa aplicada.

1) *Nivel de investigación*

Por el desarrollo de la investigación, esta es considerada de nivel explicativo, presenta una variable independiente, y otra dependiente.

1) *Metodología de la investigación*

La investigación es experimental, por lo que se llevó a cabo a escala de laboratorio presentando dos sistemas comparados.

B. Campo de verificación

- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, presenta el tratamiento de Lombrifiltro a escala real, se encuentra ubicada en el Fundo La Banda Huasacache perteneciente a la Universidad Católica de Santa María, en el distrito de Hunter, provincia y departamento de Arequipa. La ubicación en Google Earth se puede observar en el Anexo I, así como sus coordenadas en el sistema UTM WGS-84 correspondientes en la Tabla 7.
- El sistema a escala de laboratorio compuesto por los dos lombrifiltros a comparar, el tanque de alimentación y la gasfitería correspondiente, se ubicó en un domicilio familiar, por motivos de espacio y facilidad para su control y manejo, el cual estuvo ubicado en el distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa. La ubicación en Google Earth se puede observar en el Anexo I, así como sus coordenadas en el sistema UTM WGS-84 correspondientes en la Tabla 7.

- Las muestras de agua residual sin tratamiento y post tratamiento fueron enviadas al Laboratorio de Ensayo y Control de calidad de la Universidad Católica de Santa María, ubicado en el segundo piso del Pabellón H de dicha universidad. La ubicación en Google Earth se puede observar en el Anexo I, así como sus coordenadas en el sistema UTM WGS-84 correspondientes en la Tabla 7.

Tabla 7: *Coordenadas campos de verificación*

Campo de verificación	Zona	Norte	Este
PTARD del Fundo La Banda Huasacache	19 L	8178658	226064
Lombrifiltros a escala de laboratorio	19 L	8186905	226693
Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM	19 L	8184493	227801

Fuente: Elaboración propia

C. Determinación de muestra y muestreo

1) Muestra

La muestra fue de 2 litros, tomados en las distintas etapas de tratamiento de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache perteneciente a la Universidad Católica de Santa María,

2) Muestreo

Para el desarrollo del presente trabajo se planificaron tres muestreos del agua residual, cruda y post tratamiento. Los muestreos se llevaron a cabo cada 7 días. El primero fue a los 7 días de funcionamiento del lombrifiltro, el segundo a los 14 días de tratamiento y finalmente, el último a los 21 días.

El criterio para la selección de los muestreos fue la experiencia que presentó el lombrifiltro a escala real instalado en el Fundo La Banda Huasacache.

D. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

1) *Técnicas*

- Muestreo de agua
- Análisis fisicoquímico y microbiológico por laboratorio contratado.
- Análisis estadístico

2) *Instrumentos*

- Bandeja de recepción de agua
- Jarra
- Cuaderno de campo
- Informes de laboratorio

E. Materiales y equipos

1) *Material biológico*

El recurso biológico utilizado fueron 400 lombrices rojas californianas, la especie fue *Eisenia foetida*.

2) *Material inerte*

Para la crianza se utilizó 5 cajas de plástico de 60L y 120 kilos de compost en la crianza de lombrices.

Para los biofiltros se usaron 12L de viruta, 12L de astillas de madera, 2L de compost, 3L de piedra pómez, 3L de piedra volcánica, 3L de cascajo y 3L de piedra ovalada de río pequeña.

Para el sistema de alimentación y soporte, se utilizó 2 armazones de madera con cuatro compartimientos, 6 cajas de plástico de 10L y 2 cajas plástica de 15L. Además se usó un tanque plástico con tapa de 50L, 3m de tubo de PVC de 1 pulgada, 3 llaves de paso, 13 codos de PVC de 1 pulgada, 3 conexiones T de PVC de 1 pulgada, 2 conexiones universales de 1 pulgada, y finalmente se utilizó dos baldes de 20L con tapa.

En el muestreo se empleó 1 balde de 20 litros, 1 jarra de 2 litros, y 18 botellas de 1L.

3) *Reactivos e insumos*

Los reactivos utilizados fueron los establecidos por el laboratorio contratado, para la preservación y análisis de las muestras tratadas.

F. Metodología

1) *Determinación de las condiciones adecuadas de la crianza de la lombriz Eisenia foetida en la ciudad de Arequipa*

La determinación de las condiciones adecuadas se realizó mediante una adaptación de las lombrices rojas californianas a las condiciones del sustrato presente en la localidad. Para el proceso de crianza se tomó como guía el Manual Lombricultura de Agroflor (Mejía Araya, 2018).

a) *Construcción de criaderos*

Se construyó un total de 6 criaderos de diferentes sustratos escogidos: compost, hojarasca húmeda y restos orgánicos domésticos.

Para esto, se utilizaron cajas de plástico de 60 litros (60cm x 40cm x 25cm), realizando orificios de 2-3 mm de diámetro en la base con la finalidad de permitir el drenaje del agua. Seguido a esto, se cubrió las cuatro caras laterales y la base de las cajas con cartón con las siguientes medidas presentadas en la tabla 8.

Tabla 8: *Cubierta de criaderos*

Criaderos	Cartón
1, 2, 3, 4, 5, 6	Laterales: 4 cartones de 60 x 40cm; Base: 1 cartón de 60 x 25 cm.

Fuente: Elaboración propia

Para el posterior llenado de los criaderos, el procedimiento fue el mismo en todos. Se colocó tierra seca compacta como primera capa de altura 5 cm, después tierra de jardín húmeda de altura 5 cm,

finalmente se introdujo la composición de sustratos a estudiar y comparar, en una altura de 10 cm. Una vez completado el llenado del criadero, se inoculó las lombrices, al final, los criaderos quedaron conformados como se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9: *Llenado de criaderos*

Criadero	1° capa	2° capa	3° capa
1, 2, 3, 4, 5, 6	Tierra seca compacta (5 cm)	Tierra de jardín húmeda (5 cm)	Composición de sustratos (10 cm) y lombrices

Fuente: Elaboración propia

b) Alimentación

Para la alimentación de las lombrices se empleó tres sustratos: compost, broza, y restos orgánicos. El compost, fue comprado a un lombricultor local quien lo producía a partir de la mezcla de excretas de origen bobino, porcino, de conejos y aves, adicionándole restos orgánicos como troncos, hojarasca y papel. La segunda fuente de alimentación para los criaderos fue broza, conformada por hierbas verdes largas, como pasto arrancado de raíz y hojarasca húmeda. Finalmente, el tercer sustrato fue restos orgánicos de cocina.

Para determinar el mejor sustrato, se realizó 6 composiciones en porcentajes de los tres alimentos, esto fue realizado en 3 repeticiones de cada composición. La evaluación se realizó en base a los siguientes criterios:

- Tiempo de ingreso al alimento: Este factor se refiere al tiempo que debe transcurrir para que la lombriz ingrese al nuevo sustrato expresado en días.
- Motilidad: Al momento de ingresar al sustrato, la lombriz debe moverse por la totalidad (100%) del área del nuevo alimento, esto se evaluó al séptimo día de haber colocado el alimento.
- Tiempo de consumo: Es el tiempo, en días, que demoran las lombrices en degradar todo el nuevo alimento.

Las composiciones estuvieron conformadas por distintos porcentajes de los tres sustratos, como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10: *Porcentajes de los sustratos en cada composición.*

Composición	Sustrato		
	Compost	Broza	Restos orgánicos domésticos
1	75 %	25 %	-
2	50 %	35 %	15 %
3	50 %	25 %	25 %
4	50 %	-	50%
5	75 %	25 %	-
6	60 %	20 %	20 %

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se obtuvo todos los datos del estudio, se realizó el procesamiento estadístico, realizando un análisis de varianza ANOVA, y la prueba de múltiples rangos de Tukey.

2) *Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales sin tratar del Fundo La Banda Huasacache*

La caracterización del agua residual sin tratamiento se realizó para los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total, fósforo total, numeración de coliformes termotolerantes, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, y turbidez.

a) *Toma de muestra*

El muestreo del agua residual se realizó en el primer tanque de almacenamiento de la PTAR del Fundo la Banda Huasacache, ubicado previo al lombrifiltro instalado en la planta. El procedimiento para la toma de muestra fue: primero, llenar 10L en el balde para tener una muestra homogénea, luego, desde este se alimentó a la jarra para llenar las botellas. Cada botella primero fue enjuagada

2 veces con la misma agua, y recién se procedió a llenarla y sellarla. Las botellas fueron colocadas en una caja térmica para su traslado al laboratorio.

Se tomaron tres muestras, a los 7, 14 y 21 días de funcionamiento del sistema de tratamiento evaluado.

b) Análisis de la muestra

El análisis de las muestras fue llevado a cabo por el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María, de acuerdo a los siguientes procedimientos:

- DBO: NMX-AA-028-SCFI-2001.
- DQO: NMX-AA-030-SCFI-2001.
- Fósforo total: Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES).
- Nitrógeno total: NMX-AA-026-SCFI-2001.
- Coliformes termotolerantes: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C Pag. 9-87.

3) *Implementación de 2 lombrifiltros con diferentes sustratos filtrantes para el tratamiento secundario biológico de las aguas residuales*

La implementación de los lombrifiltros se realizó a partir del diseño presentado en el trabajo realizado por Saboya Ríos (2018).

a) Sistema hidráulico

El sistema hidráulico para la alimentación y distribución del agua en ambos lombrifiltros se constituyó de un tanque de almacenamiento de 50 litros, ubicado a una altura de 225 cm desde el suelo, con un orificio de salida donde se conectó un tubo de PVC de una pulgada el que conectaba

con los sistemas de dispersión en cada lombrifiltro, la caída del tubo era de 105 cm hasta alcanzar el nivel del primer sustrato del biofiltro, como se puede observar en la Figura 1.

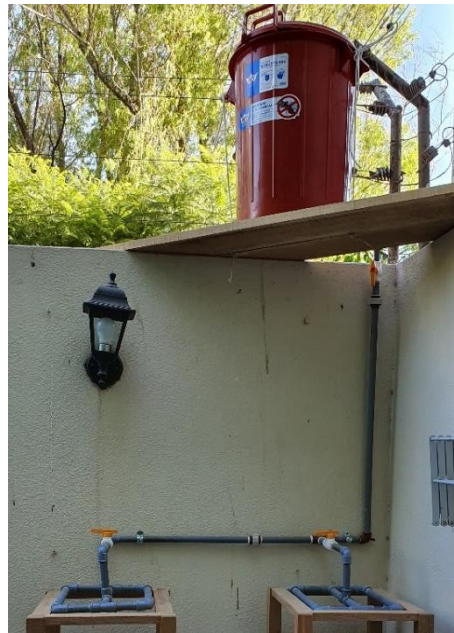


Figura 1: Sistema hidráulico

Para la repartición uniforme del agua en toda la superficie del primer medio filtrante se construyó dos cuadrados (uno por cada sistema) con tubos de una pulgada atravesado a la mitad por otro adicional, como se presenta en la Figura 2, estos presentaban agujeros de 3 mm en dirección al lombrifiltro con separación de 5 cm. aproximadamente.



Figura 2: Cuadrado de repartición de agua

El sistema presentaba tres llaves de paso, la primera ubicada a la salida del tanque de almacenamiento, y las dos restantes, una antes de cada cuadrado de repartición de agua.

b) Construcción de lombrifiltros

Los medios filtrantes fueron montados en una estructura de madera independiente para cada sistema, la estructura fue construida por un carpintero local, se compraron 6 cajas de 10 litros y 2 de 15 litros, y los medios filtrantes fueron obtenidos en la localidad.

Primero se realizó agujeros en la base de las cajas de plástico, del mismo modo que en los criaderos de lombrices, de 2-3 mm para permitir el flujo del agua. A excepción de dos cajas que funcionaran como recipientes de almacenamiento del agua filtrada. Se procedió a llenar las cajas con los medios filtrantes como se muestra en la Figura 3. Una vez llenos los recipientes, estos se colocaron en su posición final dentro de las estructuras de madera, siguiendo el orden que indica la Figura 3. Cada sistema se encontraba alineado por debajo del sistema de alimentación y repartición de agua.

c) Lavado de medios filtrantes

El primer pasó una vez instalado el sistema, fue empezar a fluir agua de grifo directamente por los medios, esto con el objetivo de lavar los materiales de material particulado y cualquier suciedad que pudieran presentar e influya en el efluente a otorgar. Este proceso de lavado se realizó durante 7 días a un caudal de 40 L/día por cada sistema.

*d) Inoculación de lombriz *Eisenia foetida**

La lombriz roja californiana fue obtenida de los criaderos descritos en la primera etapa de la experimentación, se utilizó lombrices en etapa adulta. En cada depósito, de viruta y astillas de madera, se inoculo 200 lombrices junto con la cantidad de compost en el que estas se encontraban.

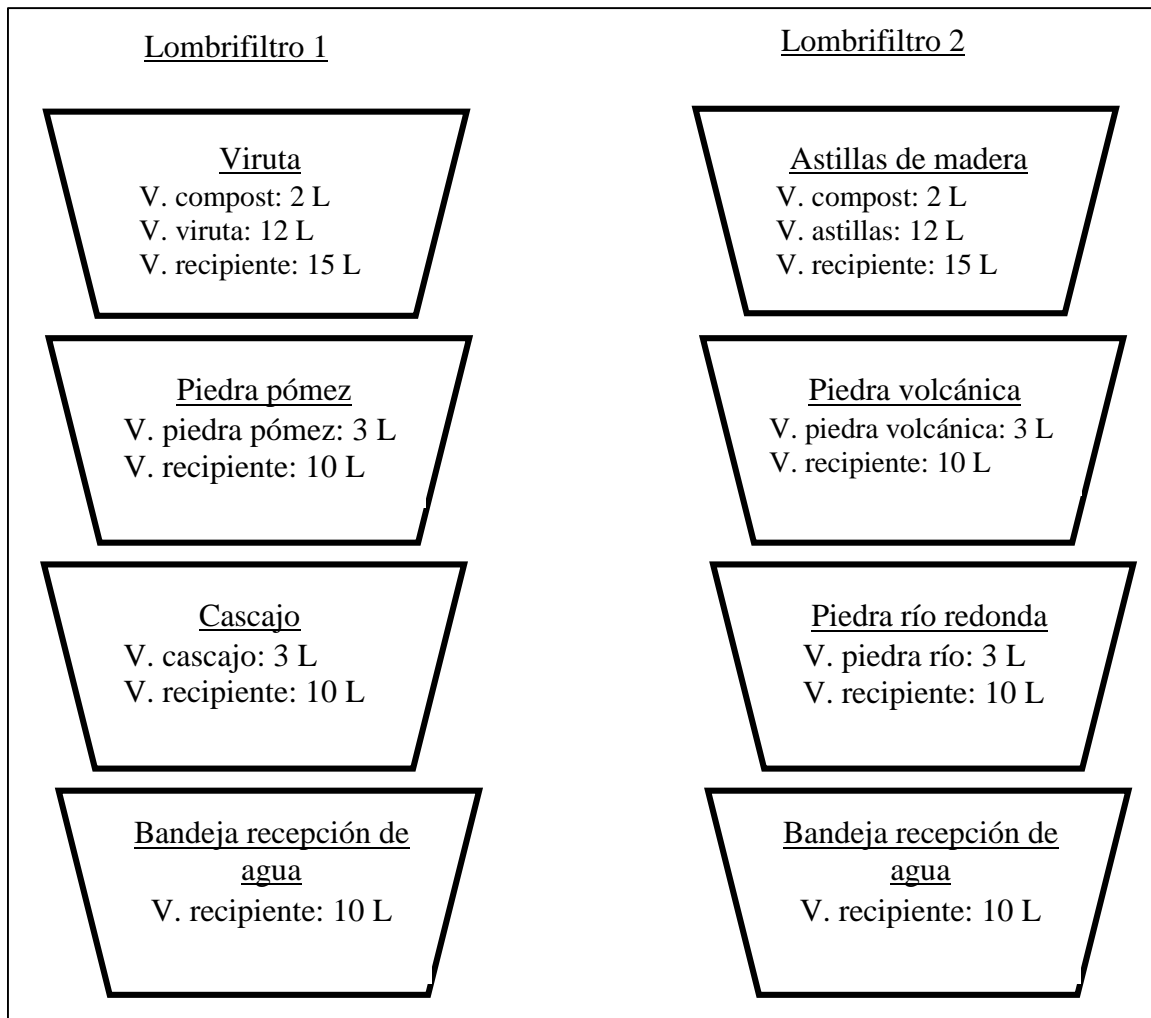


Figura 3: Medios filtrantes de cada lombrifiltro

4) Determinación de la eficacia de cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los parámetros evaluados, de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache

Diariamente fue alimentado el tanque de alimentación de ambos lombrifiltros con 18 litros de agua tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas ubicada en el Fundo La Banda Huasacache, la muestra de agua fue extraída del tanque ubicado previo al lombrifiltro, punto del muestreo para caracterización de aguas sin tratar.

Se estableció el caudal con el que trabajarían los sistemas de tratamiento hasta el final del presente estudio, el flujo seleccionado fue de 9 litros/día en cada lombrifiltro.

Se determinó un tiempo de estabilización del medio filtrante el cual duro 7 días, tiempo durante el que se alimentó con agua residual cruda en el caudal establecido. Una vez culminados este tiempo, se empezó la contabilización de días de tratamiento.

Se monitoreo el sistema durante 21 días, se tomó muestras por triplicado del afluente y efluente. Se realizó el muestreo correspondiente de cada sistema para evaluar los parámetros de DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes termotolerantes, turbidez, pH, oxígeno disuelto, y conductividad eléctrica. Se siguió los protocolos mencionados en la segunda metodología del presente trabajos, los cuales fueron otorgados por el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María, por lo cual las muestras fueron trasladadas al mismo laboratorio. Los resultados del laboratorio, fueron entregados 5 días hábiles después.

Una vez que se tuvo la caracterización de la calidad del agua, con los valores de cada parámetro, se procedió a hacer los cálculos del porcentaje de remoción. Para esto se usó la Ecuación 1, la cual permite calcular la eficiencia de remoción, la cual presenta la siguiente relación (Gutierrez Guzmán, Valencia Granada, & Aragón Calderón, 2014):

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{(\text{Concentración entrada} - \text{Concentración salida})}{\text{Concentración entrada}} \times 100$$

Ecuación 1: *Remoción del contaminante*

Posteriormente se procedió a realizar los análisis estadísticos de los resultados, utilizando la metodología t-Student y Mann-Whitney.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Determinación de las condiciones adecuadas de la crianza de la lombriz *Eisenia foetida*

1) Construcción de criaderos

Se obtuvo 6 criaderos que presentaron una cubierta interna para cada cara de cartón, y en el interior las diferentes composiciones de sustratos a comparar, como se indica en la Figura 4.

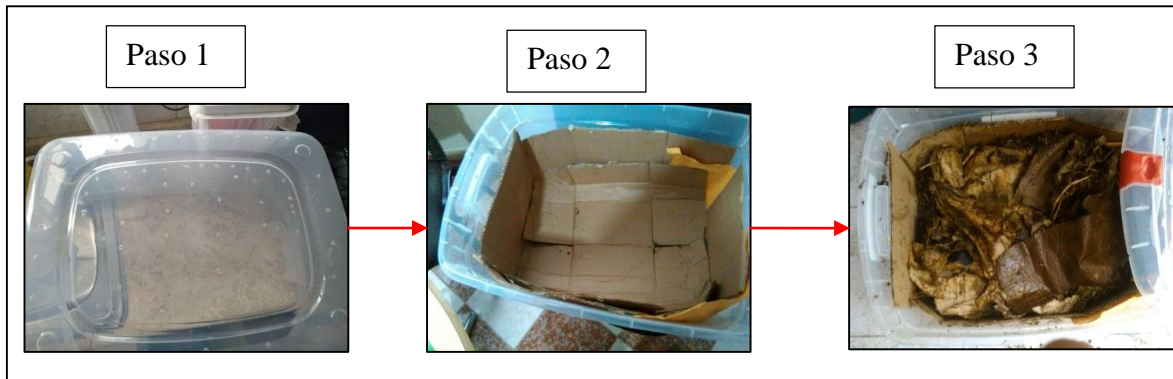


Figura 4: Esquema de construcción de criaderos.

Los criaderos 2, 3 y 4, presentaron al cabo de un mes aproximadamente el mismo problema, un mal drenaje del agua, razón por la cual se observó primero colmatación del sustrato inferior por el líquido, y posteriormente la formación de charcos en las esquinas de las cajas. Estas áreas de los criaderos presentaron un olor azufrado, indicador de falta de oxígeno. Indicando que posiblemente el cartón no permitía la correcta evacuación del agua hacia el exterior de la caja. Según Querol (2015), la capacidad de absorción de agua por metro cuadrado de cartón es de 0.3028 gramos, la cual es significativamente menor a la de un papel, correspondiente a 30.0110 gramos. Este estudio sustenta la baja eficiencia del cartón de la base para permitir que el agua se infiltre fuera del criadero, y por el contrario, la retenga.

Asimismo, los manuales de Lombricultura de Agroflore (2018) y Agrolanzarote (2014) indican que al momento de armar el lecho para las lombrices, se debe colocar una capa base de un material

grosso, como pasto seco, trozos de madera, piedras, etc. esto ayuda a evitar la formación de charcos por exceso de agua, debido a la mejora del drenaje de la misma.

2) *Sustrato para la alimentación*

Se comparó 6 composiciones de diferentes porcentajes de los tres sustratos: compost, hojarasca húmeda y restos orgánicos domésticos. Los resultados se expresan en la Tabla 11.

Tabla 11: *Parámetros evaluados de la crianza de lombriz roja californiana en diferentes composiciones de sustrato.*

Composiciones	Sustratos	Ingreso al alimento (días)	Motilidad (%)	Tiempo de consumo (días)
1	Compost (75%), hojarasca (25%)	1	100	7
		2	70	6
		1	80	9
2	Compost (50%), hojarasca (35%) y restos orgánicos domésticos (15%)	3	50	15
		3	45	12
		2	60	16
3	Compost (50%), hojarasca (25%) y restos orgánicos domésticos (25%)	2	60	15
		1	60	13
		3	50	17
4	Compost (50%) y restos orgánicos domésticos (50%)	2	100	7
		3	90	6
		1	90	10
5	Compost (75%) y hierbas verdes con hojarasca (25%)	2	70	12
		2	60	10
		3	80	12
6	Compost (60%), restos orgánicos domésticos (20%) y hojarasca húmeda (20%)	2	100	5
		1	90	6
		1	90	4

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se observa las gráficas de medias o promedios de los parámetros de ingreso al alimento, motilidad y tiempo de consumo del alimento.

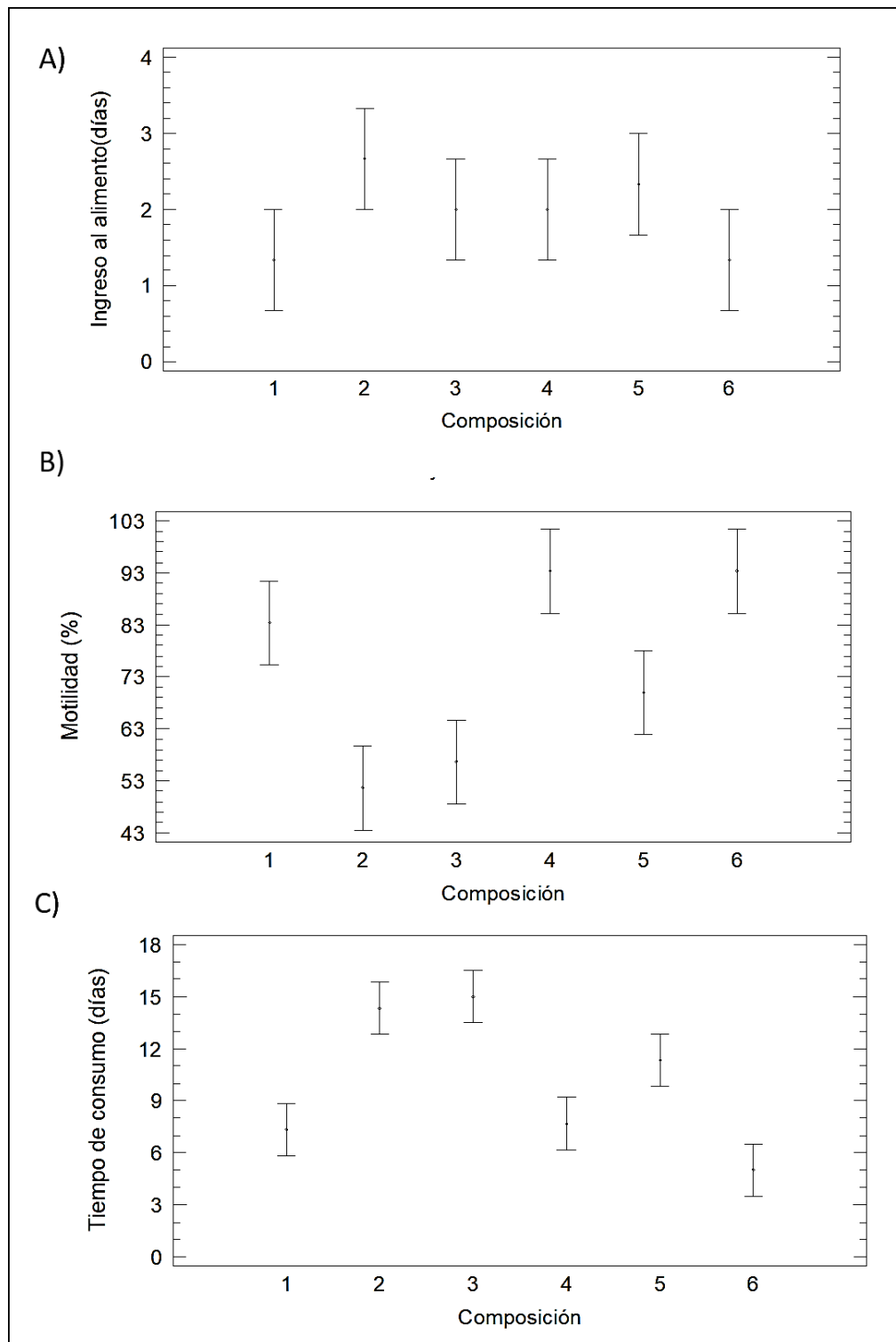


Figura 5: Gráfica de medias para los parámetros de crianza de lombriz roja californiana

Para todos los parámetros evaluados, ingreso al alimento, motilidad y tiempo de consumo, de las 6 composiciones se realizó el análisis estadístico respectivo mostrado en la Tabla 12.

Tabla 12: *Análisis estadístico de sustratos para la determinación de condiciones óptimas de crianza lombriz roja californiana*

Criterios	Ingreso al alimento	Motilidad	Tiempo de Consumo
Composición 1	1.33+/-0.57	B 83.33+/-15.27	AB 7.33+/-1.52
Composición 2	2.66+/-0.57	A 51.66+/-14.78	C 14.33+/-2.08
Composición 3	2.00+/-1.00	A 56.66+/-5.77	C 15.00+/-2.00
Composición 4	2.00+/-1.00	B 93.33+/-5.77	AB 7.66+/-2.08
Composición 5	2.33+/-0.57	AB 70.00+/-10.00	BC 11.33+/-1.15
Composición 6	1.33+/-0.57	B 93.33+/-5.77	A 5.00+/-1.0
Valor-P	0.2497	0.0002	0.0000

Fuente: Elaboración propia

Se identificó que no existe diferencia significativa (valor-p=0.2497) en el tiempo de ingreso al alimento por parte de la lombriz roja californiana respecto a los sustratos, indicando que ninguna composición es rechazada. Por su parte, si se evidenció diferencia significativa en torno a la motilidad y el tiempo de consumo de las composiciones (valor-p <0.05), la composición 3 fue la que permitió menos motilidad con un promedio de 56.66+/-5.77% y mayor tiempo de consumo con 15.00+/-2.00 días, así mismo, la composición 4 y 6 presentaron mayor motilidad con 93.33+/-5.77% y 93.33+/-5.77% respectivamente, sin embargo la composición 6 fue el sustrato seleccionado debido a que presenta la mayor motilidad y el menor tiempo de consumo simultáneamente (5.00+/-1.0 días). Se puede observar por lo tanto que el parámetro porcentaje de motilidad y tiempo de consumo son inversamente proporcionales, pues a mayor motilidad existirá menor tiempo de consumo.

La mejor composición fue la N°6 (Figura 6), la cual estuvo compuesta por tres componentes de los cuales, cada uno cumple una función específica. El primero y en mayor proporción (60%), es

el compost, el cual es eficientemente procesado por la lombriz *Eisenia foetida*. Acorde con los resultados encontrados, los manuales de crianza de esta especie, proponen la utilización del compost como el principal sustrato para alimentar a las lombrices, teniendo en cuenta consideraciones como contar con un pH neutro, y trabajar en condiciones aerobias, utilizando principalmente guano vacuno, de caballo, conejo y en baja cantidad de aves. (Mejía Araya, 2018)

Se observó también que las lombrices se introducen rápidamente al contacto con el alimento, así como también una distribución uniforme a lo largo de toda la superficie del sustrato. Al respecto, Fogar, Iglesias & Cracogna (1999) demostraron que la combinación de compost y cachaza (residuo orgánico de la caña de azúcar) en proporción de 2:1 respectivamente, es la recomendada debido a que favorece la presencia de cocones, así como también un mejor aspecto y distribución de la lombriz roja californiana en la totalidad del sustrato.

El segundo sustrato de la Composición 6, presente en un 20%, corresponde a restos orgánicos, los cuales pueden provenir de residuos de cocina y jardinería. Entre las características de los restos orgánicos utilizados en el presente estudio se tiene una coloración verde, así como una textura húmeda. Estos residuos estuvieron compuestos en su mayoría por restos de frutas, verduras, cáscaras e infusiones, los cuales presentan una alta concentración de nitrógeno, lo que favorece su descomposición y facilita, posteriormente, su consumo y aprovechamiento por la lombriz. (Equipo Técnico de Educación Ambiental, 2018)

Finalmente, la hojarasca húmeda implementada como tercer sustrato, en una proporción del 20%, representa también un sustrato correcto para la especie. Al respecto, Durán & Henríquez (2009), compararon el desarrollo de *Eisenia foetida* en cinco sustratos diferentes. Su estudio consideró una población inicial de 600 individuos y un periodo de evaluación de 90 días, demostrando que la broza (u hojarasca) permite un crecimiento porcentual de la población en un 2816%, demostrando ser el sustrato con el mejor crecimiento poblacional.



Figura 6: Combinación de compost, restos orgánicos y hojarasca

Una crianza óptima de la lombriz roja californiana permite obtener mejores índices de reproducción de la especie y por ende aumentar la población. Para lograr este objetivo, se debe usar criaderos con drenaje de agua eficiente, así como implementar una base de sustrato grueso que permita la aeración y flujo de agua. Adicionalmente, se debe utilizar un sustrato adecuado para el desarrollo, el cual debe presentar compost en mayor proporción, así como también restos orgánicos y hojarasca, sustratos que sirven como alimento, protección y ambiente adecuado para la reproducción de la *Eisenia foetida*.

B. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales sin tratar del Fundo La Banda Huasacache

La caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluente se llevó a cabo con el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María, presentando los resultados en la Tabla 13. El informe completo se presenta en el Anexo III.

Tabla 13: *Caracterización fisicoquímica y microbiológica del afluente*

Parámetro	Unidades	Afluente
Turbidez	NTU	23.53
Demanda Química de Oxígeno	DQO mg/L	3,483.27
Nitrógeno total	mg/L	1,600.00
Fósforo total	mg/L	11.62
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5 mg/L	970.00
Numeración de Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	3,650.00
Conductividad	uS cm-1	1,799.00
pH	Unidades pH	7.54
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.51

Fuente: Análisis de laboratorio

Para la caracterización del afluente, se tomó en cuenta los valores promedio obtenidos de los muestreos realizado, a excepción del nitrógeno total, para el que se usó como referencia el dato del primer muestreo, ya que en los dos siguientes no estuvo dentro de los valores detectables por el laboratorio.

La caracterización del afluente permite evaluar los valores de la DBO y la DQO respecto a los valores establecidos en el D. S. N° 010- (2019)-VIVIENDA, donde se indican los valores máximos admisibles de algunos parámetros para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado, la comparación se presenta en la Tabla 14. Se puede observar que los valores otorgados por el laboratorio, superan a los establecidos por la normativa.

Tabla 14: *Comparación DBO y DQO entre afluente y VMA's*

Parámetro	Unidad	LF-1	Valor Máximo Admisible (VMA)
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	3,483.27	1,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	970.00	500

Fuente: Análisis de laboratorio y Decreto Supremo N° 010, 2019

La DBO y DQO de las aguas residuales crudas superan por 470 mg/L y 2483.27 mg/L respectivamente sus correspondientes valores admisibles en el alcantarillado, demostrando la importancia de un tratamiento secundario previo a su vertimiento.

Según Metcalf & Eddy (2003), las aguas residuales se clasifican como aguas débiles, medias y fuertes. Al comparar los valores en la Tabla 15 de DBO₅, DQO y Nitrógeno total, obtenidos del afluente, con los rangos de clasificación otorgados por el autor, podemos indicar que se está trabajando con “agua fuerte”, lo que implica la necesidad de contar con tratamientos de alta eficiencia. Con respecto al fósforo total, la muestra se clasificaría como agua de nivel ‘medio’, debido a que el resultado se ubica en el rango entre 8 y 15 mg/L.

Tabla 15: *Clasificación del afluente según Metcalf & Eddy*

Parámetro	Unidad	Metcalf & Eddy			Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad
		Débil	Media	Fuerte	
DQO	mg/L	250	500	1,000	3,483.27
DBO ₅	mg/L	110	220	400	970.00
Nitrógeno total	mg/L	20	40	85	1,600.00
Fósforo total	mg/L	4	8	15	11.62

Fuente: Análisis de laboratorio y Metcalf & Eddy, INC., 2003

La cantidad de coliformes termotolerantes es inferior a las aguas residuales crudas caracterizadas por Quispe Pullido (2018), las cuales presentaron 4.9×10^6 NMP/100ml, a comparación con el valor obtenido por las aguas residuales crudas del campus universitario, que es de 3650 NMP/100ml. Cabe mencionar que la investigación anteriormente mencionada trabajó con aguas residuales domesticas distritales, considerando una mayor población a la que presenta el campus universitario, Fundo La Banda Huasacache.

Por lo tanto, se determinó que el agua residual cruda del Fundo La Banda Huasacache presenta una carga orgánica elevada, razón por la cual se hace totalmente necesaria la implementación de

un tratamiento de aguas residuales que funcione de manera eficiente, permita la reducción de los valores de los parámetros de calidad, y genere menor impacto ambiental.

C. Implementación de 2 lombrifiltros con diferentes sustratos filtrantes para el tratamiento secundario biológico de las aguas residuales

La construcción del sistema de tratamiento secundario a escala de laboratorio se realizó en un domicilio familiar, el diseño digital del mismo se presenta en el Anexo II, esto facilitó su implementación en la realidad como se muestra en la Figura 7, obteniendo un sistema de correcto funcionamiento que permitió su sencilla manipulación.



Figura 7: Sistema de tratamiento completo

Durante 7 días de lavado de los medios, se observó que al momento de fluir agua potable de grifo por los medios filtrantes, el efluente contenía partículas, sedimentos, y un color ámbar, como se observa en la Figura 8. Los sólidos presentes se deben al material particulado de la piedra pómez, piedra volcánica, cascajo y piedra de río.

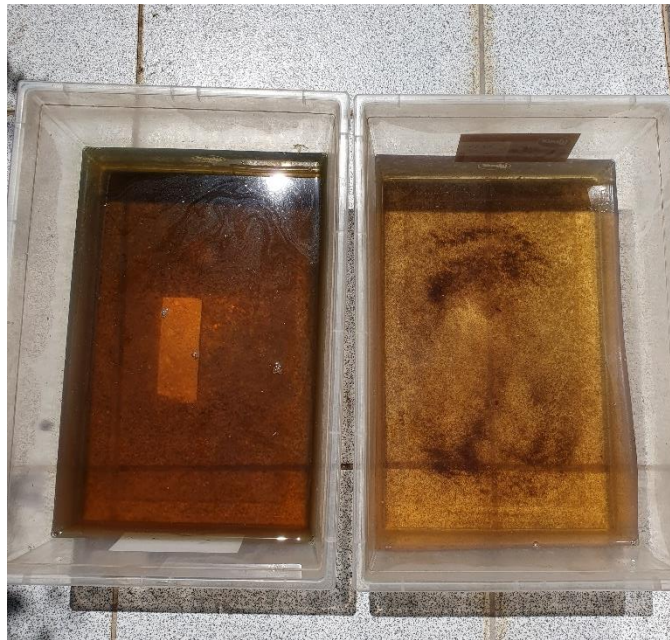


Figura 8: Agua post lavado de filtros

El color ámbar que presentó esta agua inicialmente es debido a la presencia de taninos en la madera, los taninos son metabolitos secundarios polifenólicos de origen vegetal, presentes en los troncos, tanto en la corteza como en su interior. Estos influyen en el agua en tres aspectos importantes, tienen la capacidad de teñir el agua en una amplia gama, desde un amarillo pálido hasta un marrón oscuro, acidifican el agua y reducen la dureza de la misma. (Palacios Huayta, 2014)

D. Determinación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los parámetros evaluados, de las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache

En la Tabla 16 se observa los resultados de los muestreos, para el análisis estadístico se cuenta con datos normales, por lo que se trabajó con promedios para los análisis correspondientes

Tabla 16: Resultados muestreos de calidad

Parámetros	Unidades	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3		
		Afluyente	Efluentes		Afluyente	Efluentes		Afluyente	Efluentes	
		LF-1	LB1-S1	LB2-S1	LF-2	LB1-S2	LB2-S2	LF-3	LB1-S3	LB2-S3
Turbidez	NTU	20.10	9.71	14.01	33.40	12.00	5.92	17.10	3.94	4.32
Demanda química de oxígeno	DQO mg/L	3,821.15	3,658.00	3,957.54	5,702.05	1,301.23	1,731.11	926.61	821.97	498.52
Nitrógeno total	mg/L	1,600.00	1,100.00	1,300.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00	< 1.00
Fosforo total	mg/L	12.12	12.89	12.38	11.85	9.35	11.37	10.89	6.30	8.64
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5 mg/L	1,836.00	1,483.00	1,502.00	627.00	306.36	332.90	447.00	410.42	205.23
Numeración coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	170.00	210.00	160.00	1,300.00	1,100.00	7,000.00	6,000.00	9,000.00	8,000.00
Conductividad	uS cm-1	-	-	-	1,792.00	1,545.00	1,568.00	1,806.00	1,650.00	1,325.00
pH	Unidades pH	-	-	-	7.67	7.20	7.50	7.40	6.40	6.20
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	-	-	0.11	0.55	0.19	0.90	0.90	1.50

Fuente: Elaboración propia & Análisis de laboratorio

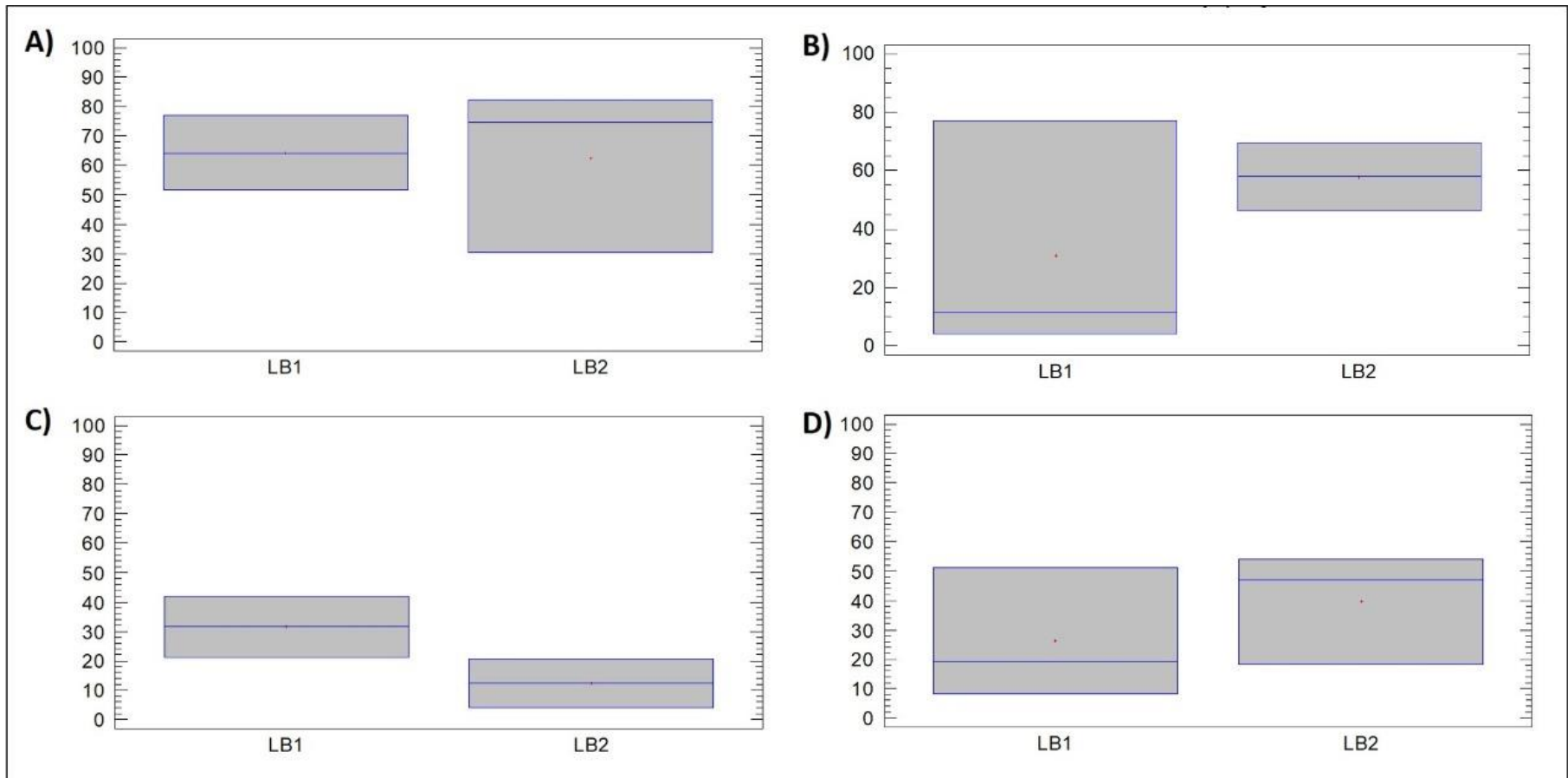


Figura 9: Porcentaje de remoción de los parámetros de turbidez, DQO, fósforo total y DBO en los efluentes LB1 y LB2

Dónde: A) Turbidez, B) Demanda química de oxígeno, C) Fósforo total y D) Demanda bioquímica de oxígeno

En la Figura 9, se muestra las gráficas de medias para los parámetros turbidez, demanda química de oxígeno, fosforo total y demanda bioquímica de oxígeno. El promedio del porcentaje de remoción de turbidez para el LB1 fue de 64.24+/-12.63%, ligeramente superior al 62.44+/-28.08% del LB2, para la DQO los promedios fueron 30.91+/-40.22% y 57.92+/-16.57%, para el LB1 y LB2 respectivamente. Asimismo, para el Fósforo total los datos obtenidos fueron para el LB1 31.18+/-22.30% y para el LB2 12.35+/-11.74%, finalmente, para la DBO se obtuvo remociones promedio de 26.18+/-22.30% y 39.73+/-18.99%, para el LB1 y LB2 respectivamente. Sin embargo en ningún parámetro se identificó diferencia significativa según los métodos estadísticos t-Student y Mann-Whitney. Los valor-P se presentan a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17: *Análisis estadístico de turbidez, DQO, nitrógeno y fósforo total, y DBO*

Parámetros	Unidades	%Remoción		t-Student Valor-P	Mann-Whitney Valor-P
		LB1	LB2		
Turbidez	NTU	64.24+/-12.63	62.44+/-28.08	0.92	1.00
Demanda química de oxígeno	DQO mg/L	30.91+/-40.22	57.92+/-16.57	0.73	0.69
Fósforo total	mg/L	31.64+/-14.8	12.35+/-11.74	0.29	1.00
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5 mg/L	26.18+/-22.30	39.73+/-18.99	0.47	0.66

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación estadística de ambos lombrifiltros se realizó la comparación de los parámetros turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y fosforo total, en términos de porcentajes de remoción debido a que las concentraciones iniciales de dichos parámetros en el afluente fueron variables y podían generar una covarianza en

el análisis. Para todos los casos no se evidenció diferencia estadísticamente significativa a un 95% de confianza ($\text{valor-}p > 0.05$), razón por la cual para definir el lombrifiltro y su composición más óptima, se evaluara el porcentaje de remoción promedio de los parámetros más importante para este tipo y nivel de tratamiento de aguas residuales.

Se comparó los factores orgánicos de DQO, Nitrógeno, Fosforo y DBO debido a que el tratamiento de aguas residuales mediante lombrifiltros es categorizado como un tratamiento secundario al ser de procesos biológicos, y la principal finalidad de dichos tratamientos es la eliminación de la carga orgánica. El nitrógeno total no se evaluó, debido a que en el segundo y tercer muestro, salió por debajo de los límites de detección.

Los parámetros adicionales estudiados: Numeración de coliformes termotolerantes, conductividad, pH y oxígeno disuelto, se compararon estadísticamente sus valores en los efluentes muestreados, determinándolos como factores de la calidad del agua obtenida post tratamiento. El análisis estadístico se presenta en la Tabla 18 y sus respectivas gráficas en la Figura 10.

El promedio de calidad para Numeración de coliformes termotolerantes en el LB1 fue de 5050 ± 5586 NMP/100ml y para el LB2 7500 ± 707 NMP/100ml, así como en la conductividad fue de 1597.5 ± 74.24 uS/cm y 1446.5 ± 172 uS/cm para el LB1 y LB2 respectivamente. La calidad del pH en ambos tratamientos fue neutra, presentando valores de 6.8 ± 0.56 en el LB1 y 6.85 ± 0.91 en el LB2. El oxígeno disuelto aumento en ambos procesos, obteniendo valores de 0.73 ± 0.24 mg/L y 0.84 ± 0.92 mg/L para los lombrifiltros LB1 y LB2 respectivamente. En todos los casos no se evidenció diferencia estadísticamente significativa a un 95% de confianza ($\text{valor-}p > 0.05$).

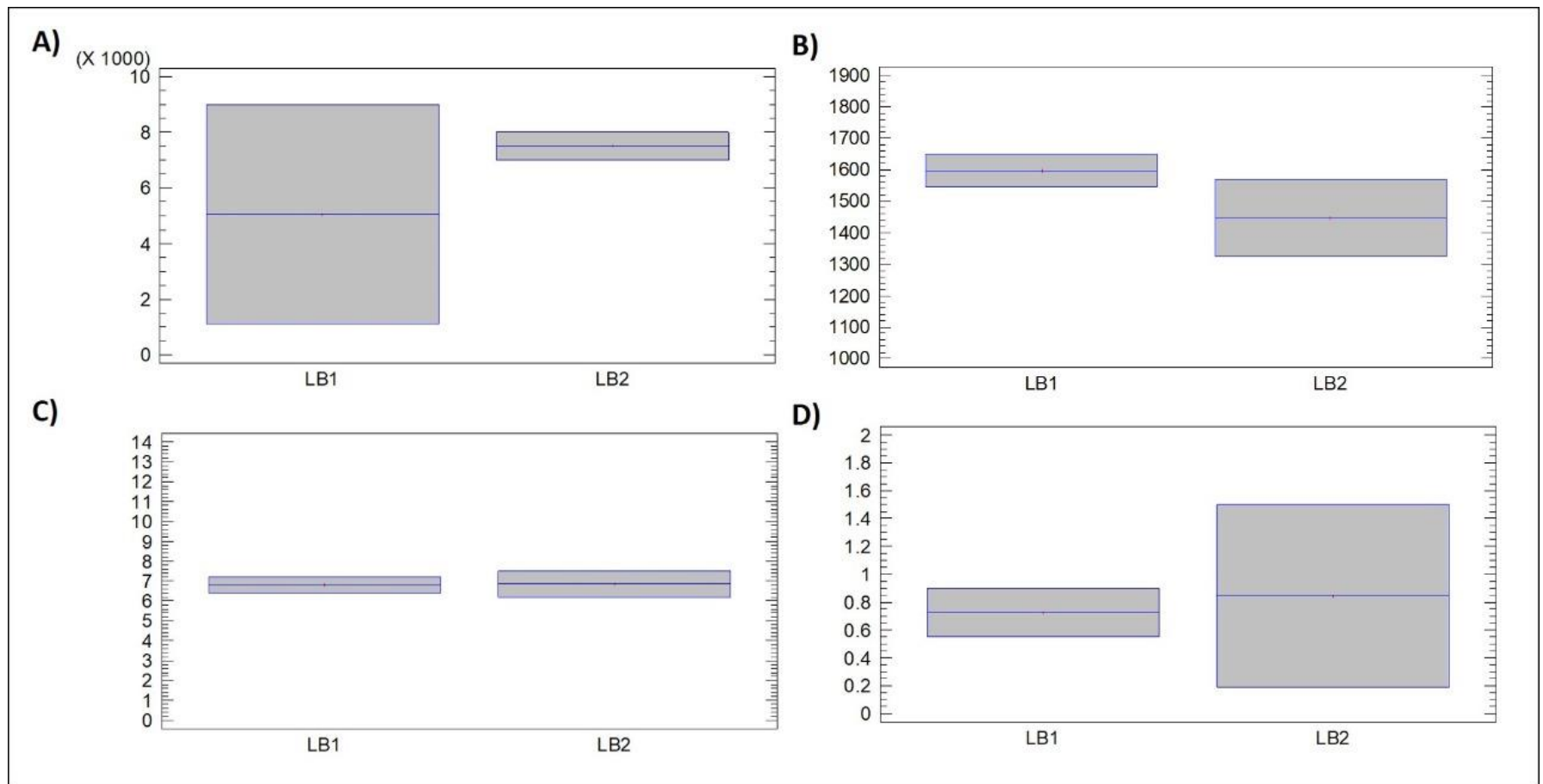


Figura 10: Promedios de los valores de numeración de coliformes, conductividad, pH y OD de los efluentes LB1 y LB2

Dónde: A) Num. Coliformes termotolerantes, B) Conductividad, C) pH y D) Oxígeno disuelto

Tabla 18: *Comparación estadística de Numeración de coliformes, conductividad, pH y OD*

Parámetros	Unidades	LB1	LB2	t-Student Valor-P	Mann-Whitney Valor-P
Numeración coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	5,050+/-5,586	7,500+/-7,071.07	0.60	0.69
Conductividad	uS cm ⁻¹	1,597.5+/-74.24	1,446.50+/-171.82	0.37	0.69
pH	Unidades pH	6.8+/-0.56	6.85+/-0.91	0.95	0.69
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.73+/-0.24	0.84+/-0.92	0.88	0.69

Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos secundarios y biológicos tienen como principal finalidad la remoción de la materia orgánica biodegradable, el efecto más importante causado por esta en las aguas residuales es la DQO y DBO (Manahan, 2011), razón por lo que al presentar en estos parámetros un mayor promedio de remoción el LB2 (57.92% y 39.73% respectivamente) sobre el LB1 (30.91% y 26.18% respectivamente), se optó por seleccionar al LB2 como el lombrifiltro más óptimo para el tratamiento.

El LB2 presentó como estratos filtrantes los siguientes materiales: astillas de madera, piedra volcánica roja, y piedras de río redondas, el conjunto de estos materiales presentó un mayor porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, y mejor calidad de agua en los parámetros de conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto, por estas razones se determina que presentó un tratamiento más eficiente. La optimización de un tratamiento

se puede dar a través de las propiedades que presenta cada sustrato del que está compuesto el lombrifiltro.

El primer medio filtrante del LB2 estuvo compuesto por 14.3% de compost y 85.7% de astillas de maderas, por lo tanto, este sustrato cumplió con dos funciones, servir como el ambiente adecuado para el desarrollo de la lombriz y la filtración del agua. En la primera etapa del presente estudio se demostró el desarrollo óptimo de la especie *Eisenia foetida* en un sustrato compuesto por compost, restos orgánicos y hojarasca, tales como lo son las astillas de madera mojadas. En el ambiente correcto, las lombrices rojas californianas tienen la capacidad de consumir mayor carga orgánica presente en el agua.

Esta primera capa de filtración además presenta propiedades adecuadas para funcionar como un medio filtrante óptimo como se muestra en la Tabla 19. La densidad aparente del compost de lombriz es de 0.52 g/cm^3 y de las astillas de madera es 0.28 g/cm^3 , ambas son densidades bajas, lo cual es un indicativo de un sustrato de alta porosidad, aireado y un drenaje correcto de agua, lo cual significa también una buena retención de materia orgánica (Sosa Hernández, 2015), logrando reducir los valores de DBO, DQO y los nutrientes como son el nitrógeno y fósforo total.

Tabla 19: *Propiedades del compost y astillas de madera*

Propiedades	Compost	Astillas de madera
Granulometría (mm)	5 – 10	Largo: 25 – 35; Ancho: 5 – 15
Densidad aparente (g/cm^3)	0.52	0.28
Porosidad (%)	Micro: 70; Macro: 30	84

Fuente: Cardoso Vigueros, Ramírez Camperos, & Garzón Zúñiga, 2013 & Sosa Hernández, 2015

La remoción de la turbidez, la DBO y la DQO, principalmente la biodegradable, se debe a las propiedades de porosidad y microporosidad. Por lo tanto, la porosidad es un factor importante para

identificar la capacidad de retención de materia orgánica por el medio filtrante, esta queda retenida en los espacios libres del sustrato, por eso una porosidad del 84% como la de las astillas de madera, representa un espacio adecuado para capturar dicho material. El compost presenta una microporosidad de 70%, esto indica la capacidad de este medio para retener las partículas más pequeñas del afluente. (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013)

Las astillas de madera se presentan como un adecuado filtro para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, en la Tabla 20 se puede observar resultados de dos estudios donde se utilizó como único medio filtrante las astillas de maderas, Garzón-Zúñiga et al., (2008) trabajo con árboles tropicales obteniendo resultados altos de remoción, similar valor en la remoción de la DBO₅ presentan Piet N, Piet M., Lode, & Willy H., (1994) en su estudio, en el cual compararon la filtración a través de corteza, turba y astillas de madera, demostrando que en esta última se da también remoción de los parámetros estudiados.

Tabla 20: *Valores de remoción usando astillas de madera*

Parámetro	Valor promedio de remoción	
	Garzón-Zúñiga, y otros, 2008	Piet N, Piet M., Lode, & Willy H., 1994
DBO ₅ (%)	Mayor a 98.70	91.07
DQO (%)	Mayor a 84.00	-
Coliformes totales (%)	Mayor a 99.99	18.60
Nitrógeno total (%)	-	38.33

Fuente: (Garzón-Zúñiga, y otros, 2008) & (Piet N, Piet M., Lode, & Willy H., 1994)

El segundo nivel de filtración del LB2 estuvo comprendido únicamente por piedra volcánica roja, también llamada tezontle o roca roja lava. Este material es ampliamente utilizado para el filtrado de agua, tanto en acuarios, como en filtros artesanales residenciales. Esto debido a las

propiedades que presenta, expresadas en la en la Tabla 21, el material se encarga de la retención de material orgánico, es decir la remoción de la DBO, DQO, nutrientes y coliformes.

Tabla 21: *Propiedad físicas y químicas del tezontle*

Propiedad	Valor	Autor(es)
<u>Físicas</u>		
Granulometría (mm)	12.7 – 25	Cardoso-Vigueros et al. (2013)
Densidad aparente (g/cm ³)	0.68	Cardoso-Vigueros et al. (2013)
Porosidad total (%)	61.92 ± 1.48	Ramírez Chaire, (2014)
Micro y macro porosidad (%)	micro: 17; macro: 83	Cardoso-Vigueros et al. (2013)
Porosidad de aireación (%)	43.96 ± 0.42	Ramírez Chaire, (2014)
Retención de humedad (%)	43.10	Rodríguez et al. (2013)
<u>Químicas</u>		
pH	7.35	Trejo-Téllez et al. (2013)
Conductividad Eléctrica (uS cm ⁻¹)	150	Trejo-Téllez et al. (2013)

Fuente: (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013); (Rodríguez Días, Salcedo Pérez, Rodríguez Macias, González Eguiarte, & Mena Munguía, 2013) & (Ramírez Chaire, 2014)

El tamaño de partícula de la piedra volcánica influye directamente en las propiedades más importantes como medio filtrante, esta presenta una relación inversamente proporcional con la capacidad de retención de agua, la cual es de 43.10% (Rodríguez Días, Salcedo Pérez, Rodríguez Macias, González Eguiarte, & Mena Munguía, 2013), indicativo de la capacidad de retención de agua y materia orgánica que puede ser retenida y tratada en el medio. Un aumento de esta capacidad, reduce la densidad aparente del material, la misma que es de 0.68 g/cm³ (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013), como se indicó en las astillas de madera, un valor bajo de esta propiedad, indica un drenaje correcto de agua, un medio aireado y una porosidad alta. Lo que permite la remoción de la DBO, DQO, y el aumento de oxígeno disuelto.

La porosidad total indica la cantidad de espacios disponibles que presenta el sólido para aire y agua, la piedra volcánica presenta un $61.92 \% \pm 1.48$ de esta propiedad, la cual es mayor a la de corteza compostada. (Ramírez Chaire, 2014) De este valor se desprende que el 83% es macro porosidad (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013), los poros de mayor tamaño presentan aire principalmente en su interior, permitiendo un drenaje correcto del agua. Evitando colmataciones en el material que podrían influir negativamente en la DBO.

El tezontle mantiene características químicas estables al estar rodeado de agua, como en este caso, al actuar como un medio filtrante. El sustrato mantiene un pH neutro alcalino de 7.35 (Trejo-Téllez, y otros, 2013), lo que permite neutralizar las aguas residuales domésticas, las cuales suelen ser ligeramente ácidas. (Manahan, 2011). La conductividad eléctrica, de la piedra volcánica es de 150 uS cm^{-1} , lo que indica su baja o nula afectación en el efluente, al no subir el valor del parámetro. (Trejo-Téllez, y otros, 2013)

Los estudios de Cardoso-Vigueros et al., (2013) y Segovia Sampedro, (2017) experimentan el tratamiento de aguas residuales usando biofiltros, en ambos casos un material filtrante es la piedra volcánica. Ambos estudios presentan resultados favorables, mostrados en la Tabla 22, podemos observar parámetros químicos como la DQO y el nitrógeno total, y biológico como es la DBO, en los que se demostró la eficiencia del medio filtrante.

Tabla 22: *Remoción de parámetros en presencia de piedra volcánica*

Parámetro	Valor promedio de remoción	
	Cardoso-Vigueros et al. (2013)	Segovia Sampedro (2017)
DBO ₅ (%)	99	89
DQO (%)	92	89
Nitrógeno total (%)	73	-

Fuente: (Cardoso-Vigueros, Ramírez-Camperos, & Garzón-Zúñiga, 2013) & (Segovia Sampedro, 2017)

El tercer sustrato de filtración fueron piedras de río redondas u ovaladas. Este sustrato tiene como principal función la del drenaje y aireación del agua, aunque son más influyentes en lombrifiltros en los que los sustratos se encuentran uno sobre otro. Salazar Miranda, (2005) en su estudio concluyo que las piedras bola añaden propiedades al biofiltro, la primera es que dan soporte al sistema, lo segundo es que permiten la aireación por la cantidad de espacios de aire que posee el sustrato lo que a su vez aumenta el drenaje del sistema, finalmente, la tercera función es generar una biosuperficie en la roca, que digiera la carga orgánica que llega a este nivel. Esto ayuda en la remoción de DBO, DQO, y aumentar del oxígeno disuelto presente en el agua.

Las piedras redondas de río fueron aplicadas en los lombrifiltros experimentales de Acuña & Reyes, (2017), y de Cevallos Zurita (2015), ambos estudios presentaron valores de remoción altos, expuestos en la Tabla 23. Los primeros obtuvieron valores superiores al 97% en los parámetros de DBO y DQO, mientras que el segundo, presentó valores de remoción del 78.78% y 64.15% para la DBO y DQO respectivamente. Esto demuestra que el uso de la piedra ovalada de río, tiene repercusiones positivas al usarla para la remoción de DBO y DQO.

Tabla 23: *Remoción de parámetros en presencia de piedra ovalada de río*

Parámetro	Valor promedio de remoción	
	Acuña Marrufo & Reyes Sánchez, (2017)	Cevallos Zurita, (2015)
DBO ₅ (%)	97.07	78.78
DQO (%)	97.28	64.15

Fuente: (Acuña Marrufo & Reyes Sánchez, 2017) & (Cevallos Zurita, 2015)

El Fundo La Banda Huasacache inicio el funcionamiento de su Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el mes de octubre del año 2019, de la cual su primera etapa es un lombrifiltro (LF) el cual está compuesto de los mismos medios filtrantes que el LB1 (viruta, piedra pómez y cascajo)

el usado en el presente trabajo. Los porcentajes de los volúmenes de los sustratos utilizados en los lombrifiltros a escala laboratorio de la presente investigación (LB1 y LB2) son proporcionales a los que presenta el LF.

Asimismo, en la PTAR se encuentra el tanque almacenamiento, ubicado previa al lombrifiltro (LF), lugar de donde se tomó el agua residual cruda para el presente trabajo. El día 29/11/2019 (fecha del tercer muestreo del presente trabajo) se muestreo el lombrifiltro (LF) a escala real y el de escala laboratorio (LB2), por lo tanto, el afluente fue el mismo para ambos, pero los efluentes presentaron diferencias expuestas en la Tabla 24, lo cual significo diferentes niveles de remoción.

Tabla 24: *Comparación lombrifiltros escala laboratorio (LB2) y escala real (LF)*

Parámetros	Unidades	Afluente		Efluentes		Lombrifiltro más óptimo	
		LF	LB2	Remoción (%)	LF		Remoción (%)
Turbidez	NTU	17.10	4.32	74.74	2.32	86.43	LF-S
Demanda química de oxígeno	DQO mg/L	926.61	498.52	46.20	850.16	8.25	LB2
Nitrógeno total	mg/L	< 1.00	< 1.00	-	< 1.00	-	-
Fosforo total	mg/L	10.89	8.64	20.66	11.08	-1.74	LB2
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5 mg/L	447.00	205.23	54.09	693.00	-55.03	LB2
Conductividad	uS/cm	1,806.00	1,325.00	26.63	1,490.00	17.50	LB2
pH	Unidades pH	7.40	6.20		7.20		LF-S
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.90	1.50		1.20		LB2

Fuente: Elaboración propia & Análisis de laboratorio

Se observa en la Tabla 24 que el Lombrifiltro a escala real (LF) presento mayor eficiencia de remoción en el parámetro de turbidez, así como un pH más neutro, condiciones no tan consideradas al momento de tratar agua residual con la intención de alcanzar un ECA 3. En cambio, el

lombrifiltro (LB2) estudiado, escala de laboratorio, demostró mejores tasas de eficiencia de remoción de DBO, DQO, fósforo total y conductividad, y una mejor calidad en referencia del oxígeno disuelto presente en el efluente. A excepción del fósforo total, todos los parámetros donde demostró ser más óptimo el LB2 son evaluados dentro de la calidad de agua para el ECA categoría 3, la cual indica la posibilidad de reusar el agua para riego de vegetales y consumo animal. Es por eso, que se considera más importante el presentar mejores resultados en esos parámetros.

Los medios filtrantes que componen el LF son: Viruta de madera, piedra pómez y cascajo, como se puede observar, la composición es idéntica a la presentada por el lombrifiltro a escala de laboratorio del presente estudio (LB1). Razón por la cual, la composición de sustratos alternativos del LB2, sigue demostrando mejores valores de eficiencia en la remoción de contaminantes.

En la Tabla 25 se muestra la comparación entre los valores más óptimos de los parámetros del efluente proveniente del Lombrifiltro 2 (LB2) y los valores requeridos para el ECA categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales.

Tabla 25: Comparación LB2 y ECA 3

Parámetros	ECA Categoría 3		LB2
	Riego de vegetales	Bebida de animales	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	15	15	205.23
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	40	40	498.52
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	1000	1000	7,000.00
Oxígeno Disuelto (mg/L)	≥4	≥5	1.50
pH (Unidad de pH)	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4	7.50
Conductividad (μS/cm)	2500	5000	1,325.00

Fuente: Decreto Supremo N° 004, (2017) & elaboración propia

Como se observa, los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes termotolerantes presentan valores en el efluente del LB2 por encima de lo permitido en la normativa Peruana, asimismo la cantidad de oxígeno disuelto es menor a la que requiere el ECA categoría 3. Los parámetros de pH y conductividad son los únicos que cumplen con la normativa correspondiente. Esto nos indica la necesidad de implementar tratamientos complementarios al lombrifiltro, como terciarios y secundarios, con la finalidad de alcanzar los estándares requeridos.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

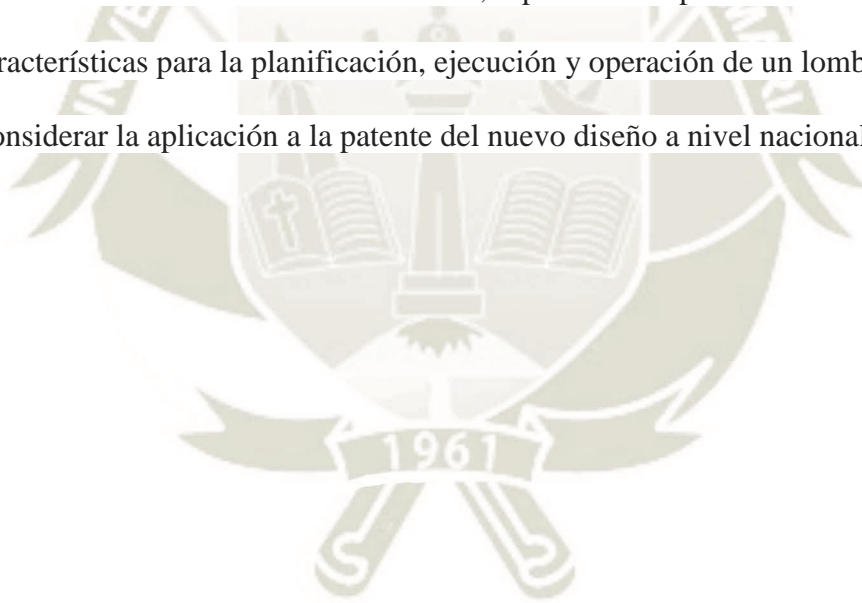
1. Las condiciones más óptimas para la crianza de la lombriz roja californiana en la ciudad de Arequipa está supeditado en primer lugar por un correcto drenaje del agua, a partir de un sustrato base que permita la aeración y flujo de la misma. Adicionalmente, se debe utilizar un sustrato adecuado presentando compost en mayor porcentaje, así como también restos orgánicos y hojarasca, los cuales sirven como alimento, protección y ambiente adecuado para la reproducción de la *Eisenia foetida*.
2. Las aguas residuales del Fundo La Banda Huasacache son consideradas mixtas por su procedencia doméstica y de laboratorios. Es por eso que muestra valores fisicoquímicos considerables, como: 3483.27 mg/L de DQO, 970.00 mg/L de DBO₅, 1600.00 mg/L de nitrógeno total, 11.62 mg/L de fósforo total, una conductividad de 1799.00 uS/cm, 7.54 de pH, 0.51 mg/L de OD y una turbidez de 23.53 NTU. Asimismo en el parámetro microbiológico, Numeración de Coliformes Termotolerantes, se obtuvo una concentración de 3650 NMP/100ml. Al presentar valores altos de contaminación, aumenta la necesidad de un tratamiento eficiente de aguas residuales.
3. Se identificó que al implementar los lombrifiltros un factor importante es la presión para poder alimentar homogéneamente los dos sistemas a la vez, y la correcta distribución del agua a través de toda la superficie del lombrifiltro. Asimismo, se debe lavar los materiales a utilizar, principalmente el sustrato para lombrices, para evitar la afectación hacia las mismas, como por ejemplo la presencia de taninos en la madera.
4. El lombrifiltro 2 (LB2) presento mayor porcentaje de remoción en los parámetros de DQO, DBO y conductividad, obteniendo valores de 57.92%, 39.73% y 19.57

respectivamente. Mientras que el lombrifiltro 1 (LB1) tuvo porcentajes más altos en turbidez y fosforo total, siendo estos 64.24% y 31.64% respectivamente. En cuanto al pH y OD, el LB2 demostró mejores valores promedio de calidad, siendo 6.85 pH y 0.85 mg/L respectivamente. Dado los datos encontrados, se determinó al LB2 como más eficiente para el tratamiento de aguas. Se logró encontrar un diseño de lombrifiltro que mejora la eficiencia del lombrifiltro instalado en la en la PTAR del Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María.

B. Recomendaciones

1. El uso de un diseño experimental como técnica estadística, con la intención de evaluar distintas composiciones de medios filtrantes, para comparar cada nivel de la composición y determinar el mejor sustrato para cada nivel.
2. Evaluar una mayor cantidad de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al utilizar aguas universitarias residuales, como aceites y grasas, metales, dureza, solidos totales, *Escherichia coli*, huevos de helmintos, etc., esto debido a la compleja composición y concentración de contaminantes que pueden llegar a presentar dichas aguas por las distintas fuentes que presentan.
3. El uso de restos de madera blanca para la capa activa donde se desarrollara la vida de la lombriz, esta madera presenta una menor o nula cantidad de taninos, los cuales son tóxicos para la *Eisenia foetida* y otorgan un color ámbar al agua, lo cual demora la estabilización del sistema de tratamiento.
4. Evaluar en el diseño del lombrifiltro, el volumen de agua y por lo tanto de personas que podrían ser beneficiarias con esta tecnología, teniendo en consideración los volúmenes para cada sustrato y las dimensiones para el soporte del sistema.

5. Realizar estudios donde se complemente un lombrifiltro con tratamientos terciarios o avanzados, con la finalidad de obtener una mejor calidad y alcanzar el estándar del ECA deseado, establecido por normativa nacional.
6. Caracterizar la lombriz utilizada en el proceso, con la intención de obtener la clasificación taxonómica de la especie *Eisenia* utilizada en el bioproceso.
7. Realizar un análisis de Ciclo de vida de ambos lombrifiltros: el instalado en la PTAR del Fundo La Banda Huasacache por el proyecto INNOQUA, y el propuesto por el trabajo. Para poder comparar los impactos producidos por cada uno y determinar el más óptimo.
8. La elaboración de un manual de usuario, especificando procedimientos y características para la planificación, ejecución y operación de un lombrifiltro.
9. Considerar la aplicación a la patente del nuevo diseño a nivel nacional e internacional.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña Marrufo, J. E., & Reyes Sánchez, J. J. (2017). Eficiencia de *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua-Amazonas, 2015. Bagua, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Agralanzarote. (2014). *Manual Práctico para la Lombricultura*. España.
- Amigos de la Tierra. (2004). *Manual Básico para hacer Compost*. Madrid, España: Ministerio del Medio Ambiente.
- Bowman, R. H., Middlebrooks, E. J., & Reed, S. (2002). Wastewater Technology Fact Sheet: Rock Media Polishing Filter for Lagoons. United States: Environmental Protection Agency (EPA).
- Cardoso-Vigueros, L., Ramírez-Camperos, E., & Garzón-Zúñiga, M. (2013). Evaluation of pilot vermifilter for the treatment of wastewater. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5(2), 33-44. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.10.003>
- Carenas Fernández, M. B., Giner Robles, J. L., González Yélamos, J., & Pozo Rodríguez, M. (2014). *Geología*. España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Cevallos Zurita, F. D. (2015). Evaluación de eficiencia de Sistemas de biofiltración en aguas residuales industriales. Quito: Universidad de las Américas.
- Constitución Política del Perú. (1993). Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.
- Crombet Grillet, S., Abalos Rodríguez, A., Rodríguez Pérez, S., & Pérez Pompa, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaeróbico de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 49-56. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57715>

- Decreto Ley N° 25965. (1992). *Crean la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*. Lima: El Peruano.
- Decreto Supremo N° 004. (2017). Lima, Perú: MINAM.
- Decreto Supremo N° 010. (2019). Lima, Perú: VIVIENDA.
- Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA. (2005). *Aprueban el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338*. Lima: El Peruano.
- Díaz Revilla, L. E., & Zafra Olano, A. K. (2018). Implementacion de un lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales procedentes del camal municipal de Cajamarca en 2017. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Diem Trang, N. T., Konnerup, D., Schierup, H.-H., Huu Chiem, N., Tuan, L. A., & Brix, H. (2010). Ecological Engineering. En Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: Effects hydraulic loading rate. *Ecological Engineering*, 36(4), 527-535.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.11.022>
- Dominguez, J., Aira, M., & Gomez-Brandón, M. (Mayo de 2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18, 2, 20-31. Obtenido de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=601>
- Dorado, A. D., Lafuente, F. J., Gabriel, D., & Gamisans, X. (2010). A comparative study based on physical characteristics of suitable packing materials in biofiltration. *Environmental Technology*, 31(2), 193-204. doi:10.1080/09593330903426687
- Durán, L., & Henríquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281.
Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=436/43613279011>

- Equipo Técnico de Educación Ambiental. (2018). *Manual de Vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos*. Montevideo: Departamento de Desarrollo Ambiental de la Intendencia de Montevideo (IM).
- Fogar, M. N., Cracogna, M. F., & Iglesias, M. C. (1999). Respuesta de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) frente a diferentes alimentos. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 5.
- Fundación Chile. (2013). *Tecnologías Emergentes & No Convencionales*. Santa Cruz, Bolivia.
- Galindo, A., Toncel, E., & Rincón, N. (2016). Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte. *Ion*, 29(2), 39-50. doi:10.18273/revion.v29n2-2016003
- Garkal, D. J., Mapara, J. V., & Prabhune, M. (2015). Domestic waste water treatment by bio-filtration: A case study. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4(1), 140-145.
- Garzón-Zúñiga, M. A., Tomasini-Ortíz, A. C., Moeller-Chavez, G., Hornuelas-Uribe, Y., Buelna, G., & Mijaylova-Nacheva, P. (2008). Enhanced pathogen removal in on-site biofiltration systems over organic filtration materials. *Water Practice & Technology*, 3(2). doi:<https://doi.org/10.2166/wpt.2008.053>
- Gonzales Condori, E. G. (2016). Evaluación del desempeño de *Eisenia foetida* (Lombriz roja californiana) en la degradación de los pesticidas organofosforados clorpirifos y profenofos en suelos, Arequipa - 2014. Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- Guaman Quinaloa, D. P. (2017). Análisis del aserrín como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos Monster Wash ubicada en el Cantón Ambato. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

- Gutiérrez Guzmán, N., Valencia Granada, E., & Aragón Calderón, R. A. (2014). Eficiencia de remoción de DBO5 y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arabica*). *Colombia Forestal*, 17(2), 151 - 159.
- Jiménez Ballesta, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Jiménez Coral, A. S. (2016). Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de una fábrica de embutidos. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ley N° 26338. (1994). *Ley General de Servicios de Saneamiento*. Lima: EL Peruano.
- Ley N° 27867. (2002). *Ley Orgánica de Gobiernos Regionales*. Lima: El Peruano.
- Ley N° 27972. (2003). *Ley Orgánica de Municipalidades*. Lima: El Peruano.
- Ley N° 28611. (2005). *Ley General del Ambiente*. Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.
- Ley N° 29325. (2009). *Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental*. Lima: El Peruano.
- López del Pino, S. J., & Calderón, S. M. (2017). *UF1666: Depuración de aguas residuales* (5.1 ed.). España: Editorial Elearning S.L.
- Manahan, S. E. (2011). *Introducción a la química ambiental*. México D.F.: Reverté UNAM.
- Manrique Delgado, E. P., & Piñeros Castañeda, J. (2016). Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio. Bogotá: Fundación Universidad de América.
- Manyuchi, M. M., Kadzungura, L., & Boka, S. (2013). Vermifiltration of Sewage Wastewater for Potential Use in Irrigation Purposes Using *Eisenia foetida* Earthworms. *World Academy of Science, Engineering and Technology*(78), 538-542.
- Mejía Araya, P. (2018). *Agroflor Manual Lombricultura*. La Araucanía: Agroflor Lombricultura.

- Menéndez Gutiérrez, C., & Dueñas Moreno, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIX(3), 97-107.
- Metcalf & Eddy, INC. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. España: McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy, INC. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Muñoz Cruz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Naciones Unidas. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago: LC/G.2681-P/Rev.3.
- Natarajan, N., & Kannadasan, N. (2015). Effect of Earthworms on Distillery Effluent Treatment through Vermifiltration. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(12), 102-106.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Lima.
- Orozco Jaramillo, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales: Teoría y diseño*. Colombia: Acodal.
- Palacios Huayta, S. M. (2014). Estudio Microbiológico e Histopatológico en Neon tetra (*Paracheirodon innesi*) procedente de la Amazonía peruana. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Piet N, L., Piet M., V., Lode, S., & Willy H., V. (1994). Direct treatment of domestic wastewater by percolation over peat, bark, and woodchips. *Water Research*, 28(1), 17-26.

- Pire Sierra, M., Rodríguez Sargent, K., Fuenmayor Reyes, M., Fuenmayor, Y., Acevedo, H., Carrasquero Ferrer, S., & Díaz Montiel, A. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 5-19.
- Querol, E. (2015). Protocolo de validación de materiales con base de papel y cartón de uso alimentario. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Quispe Pulido, A. E. (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. Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de AGUAS RESIDUALES*. España: Editorial Reverté, S.A.
- Ramírez Chaire, E. J. (2014). Uso de tezontle como sustrato alternativo para producción de mezquite (*Prosopis laevigata* (H.B. Ex Willd.) Johnst. M.C) en vivero. Durango, México: Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Ramón, J. A., León, J. A., & 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*. *Mutis*, 5(1), 46-54.
doi:<https://doi.org/10.21789/22561498.1018>
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338. (2010). Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.
- Rodríguez Días, E., Salcedo Pérez, E., Rodríguez Macias, R., González Eguiarte, D. R., & Mena Munguía, S. (2013). Reúso del tezontle: Efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*, 275-284.

- Roman, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Saboya Rios, X. V. (2018). Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas - Amazonas. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Salazar Miranda, P. (2005). Sistema Tohá: Una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Segovia Sampedro, C. P. (2017). Evaluación de un filtro artesanal de efluentes generados por una lubricadora en la ciudad de Latacunga, a base de piedra volcánica, piedra pomez, carbonato de calcio y algas. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Somarriba Reyes, R. J., & Guzmán Guillén, F. (2004). *Guía de Lombricultura*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Sosa Hernández, D. B. (2015). *Uso de astillas de madera de mezquite (Prosopis) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales*. Ciudad de Mexico, Mexico: Instituto Politécnico Nacional.
- Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. (2017). 2130 TURBIDITY. doi:10.2105/SMWW.2882.018
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2019). *Benchmarking Regulatorio de las Empresas Prestadoras (EP) 2019*. Lima: Dirección de Fiscalización. Obtenido de https://www.sunass.gob.pe/benchmark/benchmarking_regulatorio_eps_2019.pdf
- TAMPU Ingeniería. (Enero de 2019). "Mejoramiento del Sistema de Desagüe del Fundo La Banda Huasacache - Hunter". Arequipa.

Trejo-Téllez, L. I., Ramírez-Martínez, M., Gómez-Merino, F. C., García-Albarado, J., Baca-

Castillo, G. A., & Tejeda-Sartorius, O. (2013). Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(5), 863-876.

Vizcaíno Mendoza, L., & Fuentes Molina, N. (2016). Effects of *Eisenia foetida* and *Eichhornia crassipes* in the removal of organic matter, nutrients and coliforms in domestic wastewater. *Artículo Científico Vizcaíno Mendoza*, 19(1), 189-196.



MATERIAL COMPLEMENTARIO

Anexo I: Ubicación de los campos de verificación en Google Earth

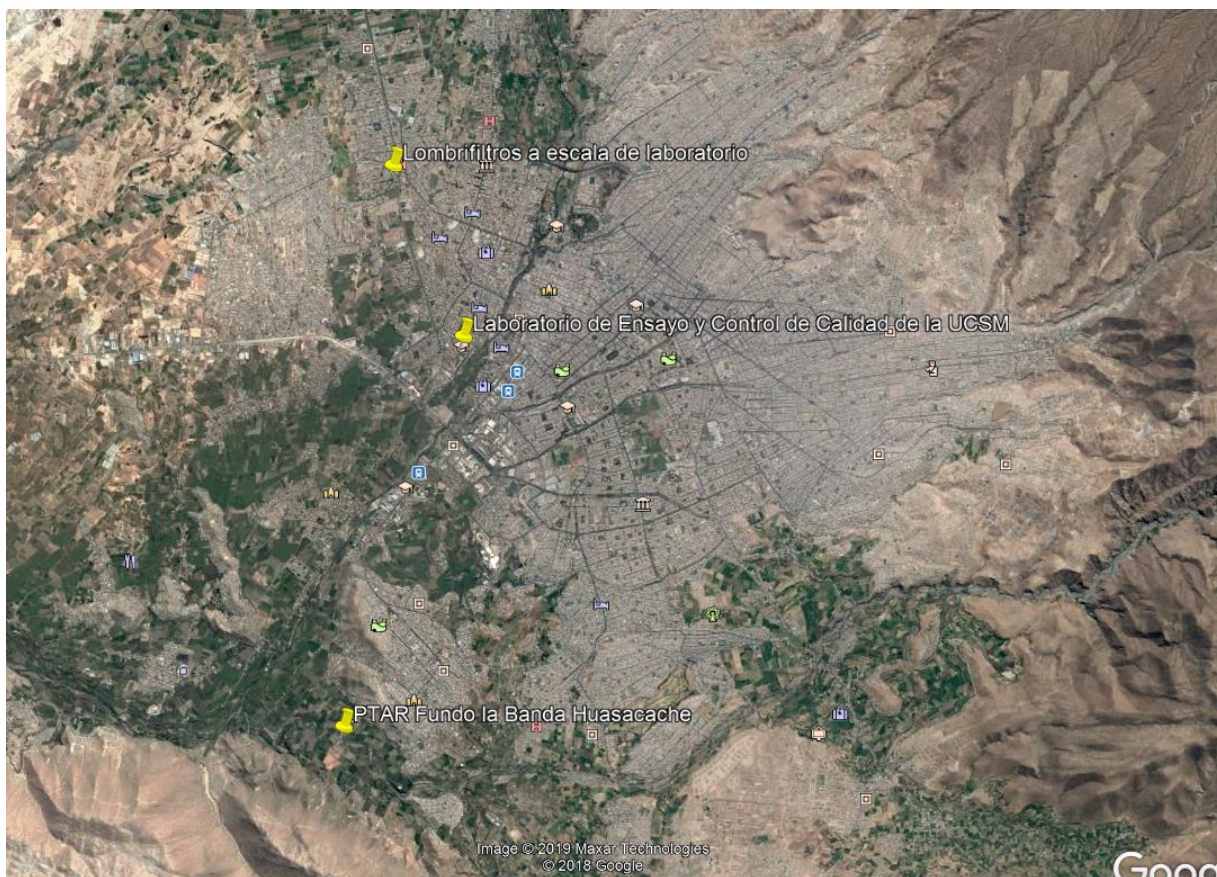


Figura 11: Georreferenciación de los campos de verificación
Fuente: Google Earth (2019)

Anexo II: Diseño virtual del sistema de tratamiento de aguas residuales.

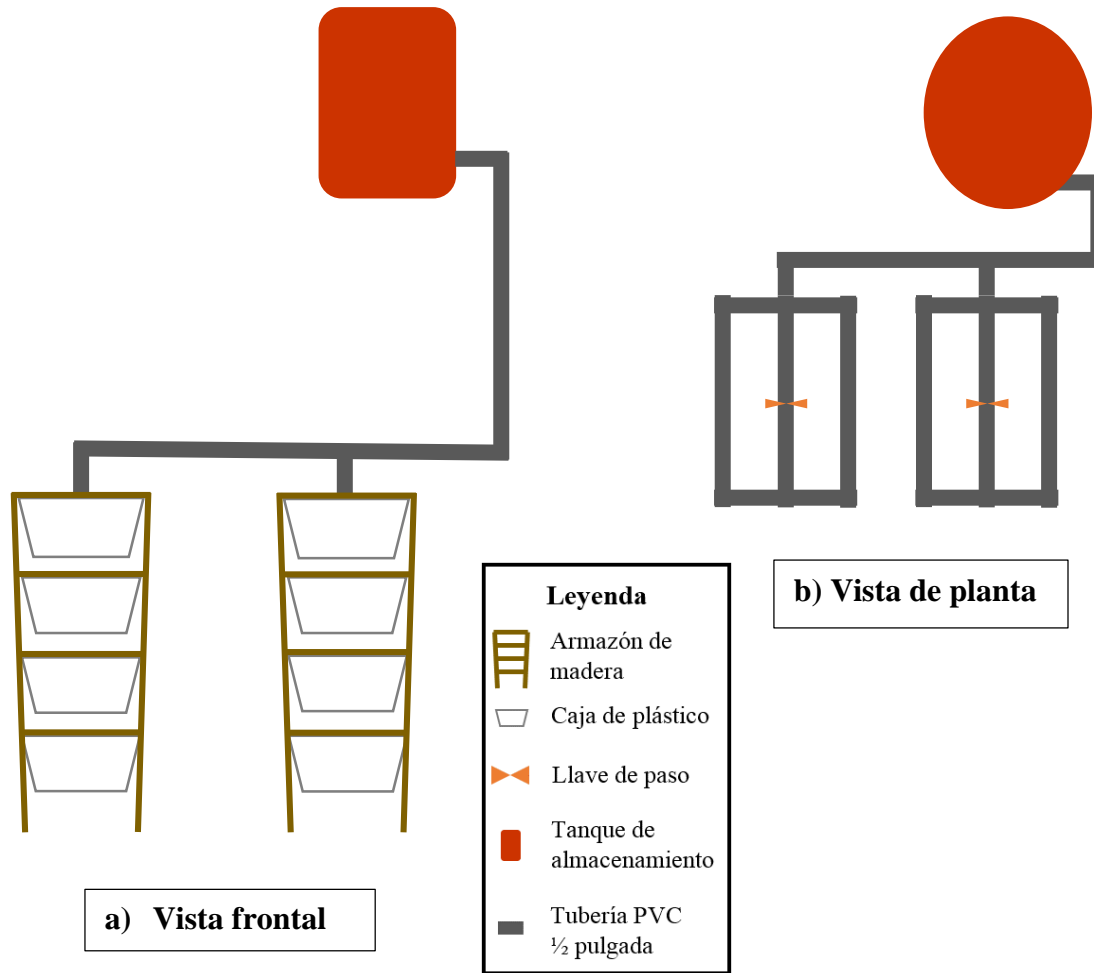


Figura 12: Modelación virtual del sistema de tratamiento
Fuente: Elaboración propia

Anexo III: Informes del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad

Católica de Santa María

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe http://www.ucsm.edu.pe Apdo. 1350
 AREQUIPA - PERU

INFORME DE ENSAYO N° ANA06K19.004359

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
 Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo
 RUC : 20141637941
 Identificación del contacto : Enrique Zuñiga Portilla
 Descripción de la muestra : Muestra LF-1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
 Tamaño de muestra : 1500 mL
 Fecha de recepción : 06/11/2019
 Fecha de ejecución de ensayo : 06/11/2019 al 13/11/2019
 Fecha de emisión de informe : 13/11/2019
 Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD POR MÉTODO NEFELOMÉTRICO Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	20,10
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	3821,15
DETERMINACIÓN DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrogeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	1600,00
DETERMINACIÓN DE FOSFORO Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	mg/L	12,120

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - Método De Prueba NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 ppm	1836,00
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C Pag 9-87	NMP/100 mL a 44,5 °C	17 x 10

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril-Ramírez
 CCFFDA 00824
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA13K19.004369A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zuñiga Portilla
Descripción de la muestra : Muestra LB1-S1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1500 mL
Fecha de recepción : 13/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/11/2019 al 20/11/2019
Fecha de emisión de informe : 20/11/2019
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD POR MÉTODO NEFELOMÉTRICO Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	9,71
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	3658,00
DETERMINACIÓN DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrogeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	1100,00
DETERMINACIÓN DE FOSFORO Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	mg/L	12,890

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - Método De Prueba NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 ppm	1483,00
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C Pag 9-87	NMP/100 mL a 44,5 °C	21 x 10

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEÚTICAS, BIOQUÍMICAS Y BIOTECNOLÓGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA13K19.004369B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Muestra LB2-S1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 1500 mL
Fecha de recepción : 13/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/11/2019 al 20/11/2019
Fecha de emisión de informe : 20/11/2019
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD POR MÉTODO NEFELOMÉTRICO Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	14,01
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	3957,54
DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrogeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	1300,00
DETERMINACIÓN DE FOSFORO Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7	mg/L	12,380

II. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - Método De Prueba NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 ppm	1502,00
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C Pag 9-87	NMP/100 mL a 44,5 °C	16 x 10

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Apdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA15K19.004384A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB1-S2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 20/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 20/11/2019 al 27/11/2019
Fecha de emisión de informe : 28/11/2019
Página : 1 de 2

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	12,00
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, Método B Pag 2-65	uS cm-1	1545,00
DETERMINACIÓN DE pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.	Unidades de pH a 25 °C	7,20
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	1301,23
DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	0,11
DETERMINACION DE FOSFORO Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES)	mg/L	9,345
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 4500 O- Método G Pag 4-179	mg/L	0,55





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA15K19.004384A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB1-S2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 20/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 20/11/2019 al 27/11/2019
Fecha de emisión de informe : 28/11/2019
Página : 2 de 2

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	306,36
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C Pag 9-87	NMP/100 mL a 44,5 °C	11 x 10 ²

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
COFIDA 00824
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA15K19.004384B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB2-S2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 20/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 20/11/2019 al 27/11/2019
Fecha de emisión de informe : 28/11/2019
Página : 1 de 2

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	5,92
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, Método B Pag 2-65	uS cm-1	1568,00
DETERMINACIÓN DE pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.	Unidades de pH a 25 °C	7,50
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX -AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	1731,11
DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	0,12
DETERMINACION DE FOSFORO Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES)	mg/L	11,37
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 4500 O- Método G Pag 4-179	mg/L	0,19





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA15K19.004384B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB2-S2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 20/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 20/11/2019 al 27/11/2019
Fecha de emisión de informe : 28/11/2019
Página : 2 de 2

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	332,90
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método C Pag 9-87	NMP/100 mL a 44,5 °C	70 x 10 ⁴

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
COFDA 00824
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA29K19.004403D

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LF-1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 29/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 29/11/2019 al 06/12/2019
Fecha de emisión de informe : 06/12/2019
Página : 1 de 2

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	17,10
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, Método B Pag 2-65	uS cm-1	1806,00
DETERMINACIÓN DE pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.	Unidades de pH a 25 °C	7,40
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	926,61
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO FILTRADA NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	559,10
DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	< 1,00
DETERMINACION DE NITROGENO AMONICAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	< 1,00
DETERMINACION DE NITRATOS Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 4500 NO3- Método B Pag 4-149	mg/L	0,02
DETERMINACIÓN DE NITRITOS (mg/L) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition 1998, 4500-NO2- B Colorimetric Method.	mg/L	0,29





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA29K19.004403D

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LF-1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 29/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 29/11/2019 al 06/12/2019
Fecha de emisión de informe : 06/12/2019
Página : 2 de 2

DETERMINACION DE FOSFORO		
Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptica (OES)	mg/L	10,89
DETERMINACION DE FOSFATOS (como ortofosfato)		
NTP 214.027.2000, Método Espectrofotométrico del Ácido Ascórbico	mg/L	33,39
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO		
Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 4500 O- Método G Pag 4-179	mg/L	0,90

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	447,00

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

DE ENSAYO Y CONTROL
DE SANTA MARÍA P.P. FARMACIA



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA29K19.004406B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB1-S3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 29/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 29/11/2019 al 06/12/2019
Fecha de emisión de informe : 06/12/2019
Página : 1 de 2

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	3,94
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, Método B Pag 2-65	uS cm-1	1650,00
DETERMINACIÓN DE pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.	Unidades de pH a 25 °C	6,40
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	821,97
DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	< 1,00
DETERMINACION DE FOSFORO Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES)	mg/L	6,30
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 4500 O- Método G Pag 4-179	mg/L	0,90





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA29K19.004406B

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB1-S3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 29/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 29/11/2019 al 06/12/2019
Fecha de emisión de informe : 06/12/2019
Página : 2 de 2

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	410,42
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método B Pag 9-80	NMP/100 mL a 35 °C	90 x 10 ²

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA29K19.004406C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB2-S3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 29/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 29/11/2019 al 06/12/2019
Fecha de emisión de informe : 06/12/2019
Página : 1 de 2

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACION DE TURBIDEZ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part. 2130-B: Nephelometric Method.	NTU	4,32
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, Método B Pag 2-65	uS cm-1	1325,00
DETERMINACIÓN DE pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed.	Unidades de pH a 25 °C	6,20
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO NMX -AA-030-SCFI-2001	DQO mg/L	498,52
DETERMINACION DE NITROGENO TOTAL NMX-AA-026-SCFI-2001 Determinación de Nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas	mg/L	< 1,00
DETERMINACION DE FOSFORO Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES)	mg/L	8,64
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 4500 O- Método G Pag 4-179	mg/L	1,50





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA29K19.004406C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José s/n Umacollo
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Enrique Zúñiga Portilla
Descripción de la muestra : Agua residual LB2-S3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

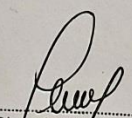
Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 2000 mL
Fecha de recepción : 29/11/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 29/11/2019 al 06/12/2019
Fecha de emisión de informe : 06/12/2019
Página : 2 de 2

II. ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5 mg/L	205,23
NUMERACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, 9221 Método B Pag 9-80	NMP/100 mL a 35 °C	80 x 10 ²

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00824
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC

