

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“COMPARACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DBO Y DQO EN
FILTROS PERCOLADORES CON *Eisenia Foetida* Y *Lumbricus
Terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN
TUYURURI-2019”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA SANITARIA

Tesista: Br. GABRIELA RUTH OLIVERA ANGELES

Asesor: Ing. MARTIN MIGUEL HUAMAN CARRANZA

Huaraz – Perú

2021





**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“COMPARACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DBO Y DQO EN
FILTROS PERCOLADORES CON *Eisenia Foetida* Y *Lumbricus
Terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN
TUYURURI-2019”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA SANITARIA

Tesista: Br. GABRIELA RUTH OLIVERA ANGELES

Asesor: Ing. MARTIN MIGUEL HUAMAN CARRANZA

Huaraz – Perú

2021



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

1. Datos del autor:

Apellidos y Nombres: _____

Código de alumno: _____ Teléfono: _____

E-mail: _____ D.N.I. n°: _____

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Para optar el Título Profesional de:

4. Título del trabajo de investigación:

5. Facultad de: _____

6. Escuela o Carrera: _____

7. Asesor:

Apellidos y nombres _____ D.N.I n°: _____

E-mail: _____ ID ORCID: _____

8. Referencia bibliográfica: _____

9. Tipo de acceso al Documento:

Acceso público* al contenido completo. Acceso

restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:



10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

11. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

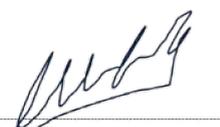
12. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:




Varillas William Eduardo
Asistente en Informática y Sistemas
- UNASAM -

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS, PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en la sala virtual de la FCAM-UNASAM, para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta la Bachiller: **OLIVERA ANGELES GABRIELA RUTH**

Tesis Titulada: "**COMPARACION DE LA REMOCION DE LA DBO Y DQO EN FILTROS PERCOLADORES CON *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE TUYURURI - 2019**".

En seguida, después de haber atendida la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:

DIECISEIS (16)

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Dr. César Manuel Gregorio Dávila Paredes
Presidente

MSc. Kiko Félix Depaz Celi
Segundo Miembro

Huaraz, 20 de Agosto del 2021.

M. Sc. Rosario Adriana Polo Salazar
Primer Miembro

MSc. Martín Miguel Huamán Carranza
Asesor

DEDICATORIA

A Dios

Por su eterno amor y misericordia,
por guiarme y permitirme cumplir
mis objetivos.

A mis padres

Enrique y Zenaida por su amor,
esfuerzo y apoyo incondicional
sin esperar nada a cambio. Por su enorme
trabajo para brindarme todo lo necesario para
terminar mi carrera profesional, asimismo a mis
hermanos por toda su ayuda y comprensión.

A mi novio

José por ser mi apoyo en los
buenos y malos momentos, por ser
mi ayuda idónea y compañero de vida.

AGRADECIMIENTO

A toda la plana de docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Sanitaria (EPIS) por haberme brindado todos sus conocimientos y experiencias.

Al Ing. Martin Huamán Carranza por brindarnos su confianza y apoyo en el progreso de mi Tesis; a través de sus recomendaciones y su paciencia.

A todos los trabajadores del Centro Experimental Ecológico de Investigación Forestal y Agroforestal Tuyururi, UNASAM, quienes me apoyaron en la realización de la presente tesis.

A mis amigos por su estima y ayuda incondicional.

Gabriela Ruth Olivera Angeles

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Olivera Angeles Gabriela Ruth, estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería sanitaria de la facultad de ciencias del ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, declaro que el trabajo académico titulado **“COMPARACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DBO Y DQO EN FILTROS PERCOLADORES CON *Eisenia Foetida* Y *Lumbricus Terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN TUYURURI-2019”** presentado en 152 folios, para la obtención del título profesional de Ingeniero Sanitario, es de mi autoría.

Por lo tanto, declaro lo siguiente:

- He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes de acuerdo a lo establecido por las normas de elaboración de trabajo académico.
- No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresadamente señaladas en este trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
- Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios.
- De encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

Huaraz, 22 de setiembre del 2021



Br. Gabriela Ruth Olivera Angeles

Código U. N° 112.0704.041

DNI:70209865

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iv
ÍNDICE	v
RELACIÓN DE FIGURAS.....	ix
RELACIÓN DE TABLAS	xii
RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS.....	xv
Resumen	xvii
Abstract.....	xix
I. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Variables	2
1.3.1. <i>Variable Independiente</i>	2
1.3.2. <i>Variable Dependiente</i>	3
1.3.3. <i>Operacionalización de variables</i>	3
II. Marco Teórico.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. <i>Nivel Internacional</i>	4
2.1.2. <i>Nivel Nacional</i>	6
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. <i>Agua Residual</i>	6
2.2.2. <i>Aguas Residuales Domésticas</i>	6

2.2.3.	<i>Composición de las Aguas residuales domésticas</i>	6
2.2.4.	<i>Filtro Percolador</i>	7
2.2.5.	<i>Sistema Tohá</i>	8
2.2.6.	<i>Biofiltro del sistema Tohá</i>	8
2.2.7.	<i>Medio filtrante</i>	10
2.2.8.	<i>Descripción de las capas del Biofiltro</i>	10
2.2.9.	<i>Eficiencia del Biofiltro</i>	11
2.2.10.	<i>Lombriz Eisenia Foetida</i>	11
2.2.11.	<i>Lombriz de Tierra</i>	14
2.2.12.	<i>Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	15
2.2.13.	<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	16
2.2.14.	<i>Temperatura</i>	16
2.3.	<i>Definición de términos básicos</i>	17
III.	<i>Marco Metodológico</i>	20
3.1.	<i>Tipos de Investigación</i>	20
3.2.	<i>Diseño Investigación</i>	20
3.3.	<i>Métodos o técnicas</i>	21
3.3.1.	<i>Etapa de diseño de los filtros percoladores con Eisenia Foetida y Lumbricus Terrestris</i>	22
3.3.2.	<i>Etapa de construcción de los filtros percoladores con Eisenia Foetida y Lumbricus Terrestris</i>	26
3.3.3.	<i>Etapa de recolección, pre adaptación y adaptación de las lombrices Eisenia Foetida y Lumbricus Terrestris</i>	31
3.3.4.	<i>Etapa de monitoreo</i>	34
3.4.	<i>Población y muestra</i>	37
3.5.	<i>Instrumentos validos de recolección de datos</i>	38
3.6.	<i>Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información</i>	38

IV. Resultados.....	40
4.1. Resultados del diseño de los filtros percoladores con Eisenia foetida y ..	40
Lumbricus terrestris	40
4.2. Resultados de la pre adaptación de las lombrices (Eisenia foetida y	42
Lumbricus terrestris)	42
4.3. Resultados de la adaptación de las lombrices (Eisenia foetida y	42
Lumbricus terrestris) en los filtros percoladores.....	42
4.3.1. <i>Resultados de los caudales</i>	42
4.3.2. <i>Resultados de las mediciones de temperatura</i>	46
4.3.3. <i>Resultados del porcentaje de humedad</i>	50
4.3.4. <i>Resultados del pH</i>	51
4.4. Resultados del monitoreo en la etapa de tratamiento de los filtros	54
percoladores	54
4.4.1. <i>Resultados de los caudales</i>	54
4.4.2. <i>Resultados de las mediciones de temperatura</i>	57
4.4.3. <i>Resultados de los porcentajes de humedad</i>	59
4.4.4. <i>Resultados de pH</i>	60
4.4.5. <i>Resultados del tiempo de retención hidráulico (TRH)</i>	62
4.4.6. <i>Resultados del análisis del laboratorio de la demanda bioquímica de</i>	
<i>oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO)</i>	63
4.4.7. <i>Resultados de las eficiencias de remoción de la Demanda bioquímica</i>	
<i>de oxígeno (DBO5)</i>	81
4.4.8. <i>Resultados de las eficiencias de remoción de la Demanda química de</i>	
<i>oxígeno (DQO)</i>	83
4.4.9. <i>Evaluación de los resultados de la DBO5 Y DQO con respecto al ECA</i>	
<i>(categoría 3)</i>	86
4.4.10. Resultado del análisis de la constante de asimilación	90

4.4.11. Resultados del análisis estadístico	92
V. Discusión de resultados	95
VI. Conclusiones y recomendaciones	98
6.1. Conclusiones	98
6.2. Recomendaciones	99
VII. Referencias bibliográficas	100
ANEXOS	1
ANEXO N° 01: Panel fotográfico.....	2
ANEXO N° 02: Estándares de calidad ambiental.....	8
ANEXO N° 03: Resultados de laboratorio	9
ANEXO N° 04: Plano de detalles de los filtros percoladores con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris	27

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1 <i>Composición de agua residual doméstica</i>	7
Figura 2 <i>Corte Esquemático del filtro percolador con Lombrices</i>	9
Figura 3 <i>Capas del Biofiltro</i>	10
Figura 4 <i>Anatomía de la Lombriz Roja Californias</i>	13
Figura 5 <i>Lombriz de Tierra (L. Terrestris)</i>	14
Figura 6 <i>Etapas del desarrollo de la metodología</i>	21
Figura 7 <i>Vista panorámica de ubicación del proyecto</i>	22
Figura 8 <i>Esquema del sistema de distribución</i>	25
Figura 9 <i>Puntos de monitoreo</i>	34
Figura 10 <i>Caudales (m³/día) vs tiempo en la etapa de adaptación</i>	44
Figura 11 <i>Caudales (m³/día) vs tiempo en la etapa de adaptación</i>	46
Figura 12 <i>Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de adaptación</i>	48
Figura 13 <i>Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de adaptación</i>	49
Figura 14 <i>Humedad (%) con respecto al tiempo</i>	51
Figura 15 <i>pH vs tiempo en la etapa de adaptación</i>	52
Figura 16 <i>pH vs tiempo en la etapa de adaptación</i>	54
Figura 17 <i>Caudales (m³/día) vs tiempo en la etapa de tratamiento</i>	55
Figura 18 <i>Caudales (m³/día) vs tiempo en la etapa de tratamiento</i>	56
Figura 19 <i>Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de tratamiento</i>	57
Figura 20 <i>Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de tratamiento</i>	58
Figura 21 <i>Humedad (%) con respecto al tiempo en la etapa de tratamiento</i>	59
Figura 22 <i>pH vs tiempo en la etapa de tratamiento</i>	60
Figura 23 <i>pH vs tiempo en la etapa de tratamiento</i>	61
Figura 24 <i>Comportamiento de la DBO₅ (mg/l) con respecto al mes de octubre</i> ..	64
Figura 25 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de octubre</i>	65

Figura 26 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de noviembre</i>	66
Figura 27 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de noviembre</i>	67
Figura 28 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de diciembre</i>	67
Figura 29 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de diciembre</i>	68
Figura 30 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de enero</i>	69
Figura 31 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de enero</i>	70
Figura 32 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de febrero</i> ...	71
Figura 33 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de febrero</i>	72
Figura 34 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de octubre</i> ..	73
Figura 35 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de octubre</i>	74
Figura 36 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de noviembre</i>	75
Figura 37 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de noviembre</i>	76
Figura 38 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de diciembre</i>	76
Figura 39 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de diciembre</i>	77
Figura 40 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de enero</i>	78
Figura 41 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de enero</i>	79
Figura 42 <i>Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de febrero</i> ...	79
Figura 43 <i>Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de febrero</i>	80
Figura 44 <i>Porcentajes de remociones de la DBO5 en el filtro percolador con Lumbricus Terrestris</i>	81
Figura 45 <i>Porcentajes de remociones de la DBO5 en el filtro percolador con Eisenia foetida</i>	82

Figura 46 <i>Eficiencias de remoción promedio de la DBO5</i>	82
Figura 47 <i>Porcentajes de remociones de la DQO en el filtro percolador con Lumbricus Terrestris</i>	83
Figura 48 <i>Porcentajes de remociones de la DQO en el filtro percolador con Eisenia foetida</i>	84
Figura 49 <i>Eficiencias de remoción promedio de la DQO</i>	85
Figura 50 <i>Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DBO5</i>	86
Figura 51 <i>Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DQO</i>	87
Figura 52 <i>Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DBO5</i>	88
Figura 53 <i>Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DQO</i>	89

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1 <i>Identificación de variables</i>	3
Tabla 2 <i>Índice de eficiencias</i>	11
Tabla 3 <i>Clasificación Zoológica de la Lombriz Roja Californiana</i>	12
Tabla 4 <i>Periodos del proyecto de investigación</i>	34
Tabla 5 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	38
Tabla 6 <i>Pruebas Estadísticas</i>	39
Tabla 7 <i>Diseño del tanque y sistema de drenaje de los filtros</i>	40
Tabla 8 <i>Diseño del sistema de entrada</i>	40
Tabla 9 <i>Diseño del sistema de distribución de los filtros percoladores</i>	41
Tabla 10 <i>Caudales medidos en el filtro percolador con Lumbricus terrestris en la adaptación</i>	43
Tabla 11 <i>Promedio de caudales (m3/día)</i>	43
Tabla 12 <i>Caudales medidos en el filtro percolador con Eisenia foetida en la adaptación</i>	44
Tabla 13 <i>Promedio de caudales (m3/día)</i>	45
Tabla 14 <i>Temperaturas medidas en el filtro percolador con Lumbricus terrestris en la adaptación</i>	47
Tabla 15 <i>Promedio de temperaturas (°C)</i>	47
Tabla 16 <i>Temperaturas medidas en el filtro percolador con Eisenia foetida en la adaptación</i>	48
Tabla 17 <i>Promedio de temperaturas (°C)</i>	49
Tabla 18 <i>Porcentaje de humedad en la adaptación de las especies de lombrices en los filtros percoladores</i>	50
Tabla 19 <i>pH medido en el filtro percolador con Lumbricus Terrestris en la adaptación</i>	51
Tabla 20 <i>pH promedios</i>	52
Tabla 21 <i>pH medido en el filtro percolador con Eisenia foetida en la adaptación</i>	53
Tabla 22 <i>pH promedios</i>	53
Tabla 23 <i>Caudales medidos en el filtro percolador con Lumbricus terrestris en el tratamiento</i>	54

Tabla 24 Caudales medidos en el filtro percolador con <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento.....	56
Tabla 25 Temperaturas medidas en el filtro percolador con <i>Lumbricus terrestris</i> en el tratamiento.....	57
Tabla 26 Temperaturas medidas en el filtro percolador con <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento.....	58
Tabla 27 Porcentaje de humedad en el tratamiento de los filtros percoladores....	59
Tabla 28 pH medido en el filtro percolador con <i>Lumbricus Terrestris</i> en el tratamiento.....	60
Tabla 29 pH medido en el filtro percolador con <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento	61
Tabla 30 TRH medidos en el tratamiento.....	62
Tabla 31 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al primer mes	63
Tabla 32 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al primer mes	64
Tabla 33 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al segundo mes	65
Tabla 34 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al segundo mes	66
Tabla 35 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al tercer mes	67
Tabla 36 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al tercer mes	68
Tabla 37 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al cuarto mes	69
Tabla 38 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al cuarto mes	69
Tabla 39 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al quinto mes.....	70
Tabla 40 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al quinto mes	71
Tabla 41 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al primer mes	72
Tabla 42 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al primer mes.....	73
Tabla 43 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al segundo mes	74
Tabla 44 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al segundo mes	75
Tabla 45 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al tercer mes	76
Tabla 46 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al tercer mes	77
Tabla 47 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al cuarto mes	78
Tabla 48 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al cuarto mes	78
Tabla 49 Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al quinto mes.....	79
Tabla 50 Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al quinto mes	80
Tabla 51 Constante de asimilación del filtro percolador con <i>Lumbricus Terrestris</i>	90
Tabla 52 Constante de asimilación del filtro percolador con <i>Eisenia foetida</i>	91

Tabla 53 <i>Eficiencia de los filtros percoladores</i>	92
Tabla 54 <i>Prueba T Student para DBO5</i>	93
Tabla 55 <i>Eficiencia de los filtros percoladores</i>	93
Tabla 56 <i>Prueba T Student para DQO</i>	94



RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Planta de tratamiento de aguas residuales de Humedales a escala piloto en el centro experimental Tuyururi	22
Fotografía 2 Cámara de distribución de caudales, donde se observa en su interior los vertederos para cada filtro.....	27
Fotografía 3 Se muestra la construcción de los filtros percoladores	28
Fotografía 4 Observamos los drenajes de los filtros y el soporte de malla metálica.....	28
Fotografía 5 Cámara de muestreo o monitoreo	29
Fotografía 6 Observamos las tuberías del sistema de distribución y ventilación de los filtros.....	30
Fotografía 7 Colocación de la malla raschel en los filtros	31
Fotografía 8 Recolección de las lombrices	32
Fotografía 9 Se observan las lombrices en la etapa de pre adaptación, colocadas en tinas.	32
Fotografía 10 Proceso de adaptación de las lombrices.....	33
Fotografía 11 Realización del muestreo para el análisis del proyecto de investigación.....	35
Fotografía 12 Monitoreo de los parámetros de control (pH, temperatura y humedad).....	36
Fotografía 13 Monitoreo de los contaminantes bioquímicos	37
Fotografía 14 Resultado del crecimiento y reproducción de las especies de lombrices	42
Fotografía 15 Construcción de los filtros percoladores	2
Fotografía 16 Construcción de la cámara de distribución N°03	2
Fotografía 17 Colocación de las gravas	3
Fotografía 18 Colocación de las lombrices en los filtros	3

Fotografía 19 Medición de los parámetros de control	4
Fotografía 20 Registro de datos de los parámetros de control	4
Fotografía 21 Realizando la prueba del puño	5
Fotografía 22 Monitoreo de los contaminantes bioquímicos	5
Fotografía 23 Crecimiento de las lombrices	6
Fotografía 24 Prueba de trazadores para TRH.....	6
Fotografía 25 Vista panorámica de los filtros	7
Fotografía 26 Visita de campo con el asesor	7



Resumen

La falta de conciencia ambiental y los altos costos de operación y mantenimiento, son un gran problema en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en especial en centros poblados rurales, los cuales no cuentan con los recursos necesarios para dicha actividad, a partir de esto es necesario dar alternativas de solución.

En la búsqueda de encontrar una opción tecnológica de tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas se estudió en la investigación a las lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* para determinar cuál de estas lombrices tiene mayor remoción de la carga orgánica, teniendo en cuenta que la *Lumbricus terrestris* es una especie que abunda en la zona de investigación y que la lombriz *Eisenia foetida* ha sido utilizada en el tratamiento de las aguas residuales, es por ello que la presente investigación tiene como objetivo principal comparar la remoción de la DBO y DQO en filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris* de las aguas residuales domésticas en Tuyururi, los filtros percoladores fueron diseñados con características y condiciones ambientales iguales, donde la única variación son las especies de lombrices, se construyó a escala piloto para un caudal de 0.3 m³/día cada filtro, tasa de percolación de 0.83 m³/m²/día, área superficial de 0.36 m² y profundidad de 1.05m. Las lombrices pasaron por un proceso de pre adaptación y adaptación durante un tiempo total de 30 días, en donde se midieron los parámetros de control (pH, temperatura, humedad y caudal), una vez adaptadas se procedió al monitoreo de los contaminantes bioquímicos (DBO5 y DQO) en la etapa de tratamiento, durante los meses de octubre del 2019 y febrero del 2020.

Los factores que intervinieron directamente en la remoción de la materia orgánica fueron la temperatura, humedad, pH, tiempo de retención hidráulico, caudal y la constante de asimilación, de acuerdo a esto, el filtro percolador con la especie *Eisenia foetida* alcanzo un porcentaje de remoción promedio

de la DBO5 de 58.62% y DQO de 73.34%, donde el filtro estuvo sometida a una temperatura promedio de 20.30°C, humedad de 71.20% y pH de 6.64, mientras que el filtro percolador con la especie *Lumbricus terrestris* alcanzo un porcentaje de remoción promedio de la DBO5 de 51.03% y DQO de 81.07%, donde se tuvo una temperatura promedio de 20.50°C, humedad de 69.50% y pH de 6.64.

Según los resultados obtenidos se pudo concluir que el filtro percolador con *Eisenia foetida* tiene mayor eficiencia de remoción de la DBO5 y el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* tiene mayor eficiencia en la remoción de la DQO.

Palabras claves: Filtro percolador, Eisenia foetida, Lumbricus terrestris, Filtración, Aguas residuales.

Abstract

The lack of environmental awareness and the high costs of operation and maintenance are a great problem in the treatment of domestic wastewater, especially in rural populated centers, which do not have the necessary resources for this activity, from this it is necessary to provide alternative solutions.

In the search to find a technological option for the secondary treatment of domestic wastewater, the research on the worms *Eisenia foetida* and *Lumbricus terrestris* was studied to determine which of these worms has greater removal of the organic load, taking into account that the *Lumbricus terrestris* is a species that abounds in the research area and that the *Eisenia foetida* earthworm has been used in the treatment of wastewater, that is why the main objective of this research is to compare the removal of BOD and COD in trickling filters with *Eisenia Foetida* and *Lumbricus Terrestris* from domestic wastewater in Tuyururi, trickling filters were designed with the same characteristics and environmental conditions, where the only variation is the earthworm species, each filter was built on a pilot scale for a flow rate of 0.3 m³ / day. , percolation rate of 0.83 m³ / m² / day, surface area of 0.36 m² and depth 1.05m. The worms went through a pre-adaptation and adaptation process for a total time of 30 days, where the control parameters (pH, temperature, humidity and flow) were measured, once adapted, the biochemical contaminants (BOD₅) were monitored. and COD) in the treatment stage, during the months of October 2019 and February 2020.

The factors that intervened directly in the removal of organic matter were temperature, humidity, pH, hydraulic retention time, flow rate and the assimilation constant, according to this, the trickling filter with the *Eisenia foetida* species reached a percentage removal of average BOD₅ of 58.62% and COD of 73.34%, where the filter was subjected to an average temperature of 20.30 ° C, humidity of 71.20% and pH of 6.64, while the trickling filter with

the *Lumbricus terrestris* species reached a average removal percentage of BOD5 of 51.03% and COD of 81.07%, where there was an average temperature of 20.50 ° C, humidity of 69.50% and pH of 6.64.

According to the results obtained, it was possible to conclude that the trickling filter with *Eisenia foetida* has a higher removal efficiency of DBO5 and the trickling filter with *Lumbricus terrestris* has greater efficiency in removing DQO.

Keywords: Trickling Filter, *Eisenia foetida*, *Lumbricus terrestris*, Filtration, Wastewater.

I. Introducción

El agua residual tratada, constituye un valioso recurso que podría sustituir un importante volumen de agua de primer uso, en actividades que no requieren de la calidad de agua potable. El impacto de dicho tratamiento incidirá principalmente en la reducción de los riesgos para la salud pública, la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación; la conservación original de la calidad de las aguas en las fuentes naturales superficiales y subterráneas y un mejor aprovechamiento por su disponibilidad continúa. Es evidente que las limitadas prácticas de manejo de las aguas residuales no son planeadas ni controladas adecuadamente y generan volúmenes considerables. Las aguas residuales, están compuestas por materias orgánicas e inorgánicas que sin tratamiento apropiado constituyen un elevado riesgo para la salud pública y para el ambiente. (Fernández Estela, 2015)

El Biofiltro o más conocido como Lombrifiltro, es un sistema de tratamiento biológico de cultivo fijo, en base a lombrices y bacterias combinado con diferentes materiales filtrantes la aplicación de Lombrifiltros obedece al proceso de depuración de aguas residuales, en el cual el cultivo de lombrices mejora la eficiencia de la remoción y reduce la producción de lodos, como producto del proceso, se tiene la reducción de carga orgánica del agua residual, al mismo tiempo obtiene la producción de humus. (Vidal , 2013)

En la investigación se propone realizar la “Comparación de la remoción de la DBO y DQO en filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris* de las aguas residuales domesticas en Tuyururi-2019”, en la cual se realizará el diseño y construcción de los filtros percoladores a escala piloto con características y condiciones ambientales iguales, para evaluar la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Comparar la remoción de la DBO y DQO en filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris* de las aguas residuales domésticas en Tuyururi- 2019.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Diseñar los filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*.
- Construir a nivel piloto el filtro percolador con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*.
- Determinar los parámetros de DBO y DQO del agua residual doméstica de Tuyururi en los filtros percoladores a nivel piloto.
- Determinar cuál de las especies en el filtro percolador tiene mayor eficiencia de remoción de la DBO y DQO.

1.2. Hipótesis

En la comparación de la remoción de la DBO y DQO es más eficiente el filtro percolador con *Eisenia Foetida* que con *Lumbricus Terrestris* para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de Tuyururi-2019.

1.3. Variables

1.3.1. Variable Independiente

Filtros percoladores con medio filtrante *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*.

1.3.2. Variable Dependiente

Remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales domésticas.

1.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 1

Identificación de variables

Variables	Definición Conceptual	Indicador	Escala	Tipo de Variable
Independiente Filtros percoladores con medio filtrante <i>Eisenia Foetida</i> y <i>Lumbricus Terrestris</i> .	Filtro percolador con la especie <i>Eisenia Foetida</i> y <i>Lumbricus Terrestris</i> .	• Caudal de Diseño	m3/día	Numérica Continúa.
		• Área Superficial	m2	
		• Tasa de percolación	m3/m2/día	
		• Ph,		
		• T°	°C	
		• Especie <i>Eisenia Foetida</i> • Especie <i>Lumbricus terrestris</i>	Kg	
Dependiente Remoción de DBO Y DQO de las aguas residuales domésticas.	Presencia de los parámetros ampliamente utilizados para medir la contaminación de las mismas.	• DBO • DQO	(mg/l)	Numérica Continúa.

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nivel Internacional

La Revista Digital de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UJTL estudió el comportamiento del lombrifiltro por medio de un análisis de laboratorio a los parámetros DQO, DBO5, SST y SSV, a la entrada y salida del sistema. De igual forma, se verificó que la carga del afluente era bastante alta en comparación con la del efluente, obteniendo una eficiencia del 92,06 % de remoción de carga orgánica en el sistema de lombrifiltro. El diseño del sistema piloto de tratamiento de aguas residuales con lombrifiltros tuvo como finalidad estudiar todos los factores que intervienen directamente en el sistema como son: temperatura, pH, caudal, tiempo de retención hidráulico, constantes de remoción de sustrato y producción de biomasa, concentración de la carga orgánica, y la cantidad de lombrices ingresadas al estrato de aserrín, que permitieron altas eficiencias y rendimientos en el sistema. Cabe resaltar también que el triturado utilizado seguido de piedra de río, intervienen mucho en la remoción y oxigenación del agua filtrada (Ramón, León, & Castillo, 2015).

La Universidad de Guayaquil investigó sobre la viabilidad de implementación de lombrifiltros en las PTARD, los parámetros físicos como STS, los químicos como el DBO5 y el DQO y biológico como los coliformes fecales totales poseen una eficiencia de remoción mayor al 89% con un rango de temperatura entre 25 a 30 °C en un agua residual domestica con alta carga orgánica. En otras palabras, los parámetros climáticos son determinantes para la viabilidad del lombrifiltro, lo que implica que la temperatura tiene una contribución significativa a la eficacia de eliminación de patógenos. Tanto la temperatura como la humedad juegan un papel importante en el desempeño biológico del sistema (lombrices), y estas condiciones se cumplen en las

ciudadelas de la Vía Samborondón con un promedio de temperatura media de 26 °C y una humedad relativa del 65% al 85% (Castro Mejía, 2016).

En BOGOTÁ D.C se realizó la evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia Foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio, el diseño del sistema de depuración biológica con lombrices de tierra *Eisenia Foetida* con respecto a porcentaje de remoción en DQO fue de 79.56% su máximo valor en el lombrifiltro a los 21 días de iniciada la experimentación y de 55.18% en el geofiltro a los 7 días, pero en ambos sistemas después de haber obtenido la máxima remoción, aumentó el contenido de materia orgánica debido al arrastre de sustrato hacia el efluente. (Manrique Delgado & Piñeros Casteñeda, 2016)

Se implementó en la Escuela Superior Politécnica Chimborazo un biofiltro Tohá a escala piloto (biofiltro aeróbico dinámico) para el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube se caracterizó mediante un análisis físico-químico las aguas residuales antes y después del tratamiento biológico, se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de DBO5 en el primer tratamiento dando como resultado el análisis de cruda un pH de 6.97, conductividad de 1520 μ Siems/cm, turbiedad 70.36 UNT, amonios 17.0 mg/L, DQO 472 mg/L, DBO5 448 mg/L, nitratos 20.5 mg/L, fosfatos 19.6 mg/L y sólidos disueltos totales 810 mg/L mientras que la caracterización del agua tratada dio como resultado un pH de 7.03, conductividad de 1040 μ Siems/cm, turbiedad 15. UNT, amonios 5.4 mg/L, DQO 228 mg/L, DBO5 70 mg/L, nitratos 4.1 mg/L, fosfatos 5.2 mg/L y sólidos disueltos totales 624 mg/L por lo que se lograron porcentajes de remoción en los parámetros de turbiedad 77.69%, amonios del 68.24%, DQO del 51.69%, DBO5 del 84.38%, nitratos del 80.00%, fosfatos del 73.47% y sólidos disueltos totales del 22.96%, obteniéndose un promedio de eficiencia en este tratamiento de 65.49% y se obtuvo un incremento de pH de 0.06 Und., una reducción en la conductividad de 480 μ Siems/cm, para este tratamiento se utilizó un TRH de 6 horas (Coronel Pazmiño, 2015).

2.1.2. Nivel Nacional

La eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, fue comparada entre especies teniendo que E. Foetida obtuvo una remoción promedio del 73%, mientras que la L. Terrestris lo hizo en un 63%, demostrándose en esta investigación que la especie E. Foetida es más eficiente para la remoción de contaminantes. (Acuña Marrufo & Reyes Sánchez, 2015).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua Residual

La fracción líquida “Aguas Residuales” es esencialmente el agua que se desprende de la comunidad una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales Ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. (Metcalf y Eddy, 1995)

2.2.2. Aguas Residuales Domésticas

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

2.2.3. Composición de las Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales, tienen una composición variada proveniente de las descargas de los usos domésticas, que hayan sufrido degradación en su calidad natural por el uso de compuestos (Figura 1).

Figura 1

Composición de agua residual doméstica



Fuente: (Metcalf y Eddy, 1995) Aguas residuales y su composición.

2.2.4. Filtro Percolador

El filtro percolador o biofiltro es un proceso muy usado para el tratamiento de aguas residuales. El filtro biológico no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo un lecho de oxidación biológica.

Un filtro percolador tiene por objeto reducir la carga orgánica existente en aguas residuales domésticas o industriales. Consiste en un lecho de piedras u otro medio natural o sintético, sobre el cual se aplican las aguas

residuales con el consecuente crecimiento de microorganismos, lamas o películas microbiales sobre el lecho. (Romero Rojas, 2000)

2.2.5. Sistema Tohá.

El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin. Es así, que a partir de los trabajos realizados en EE.UU. a fines de la década de los 70, se manifestó la conveniencia de utilizar a las lombrices en el proceso de depuración y estabilización de las aguas residuales domésticas e industriales. Las primeras investigaciones se limitaron a usar las lombrices no en el tratamiento de aguas, sino que en el tratamiento de lodos que resultaban de la depuración de las aguas.

Actualmente se postula que las lombrices deben estar en una función directa en el tratamiento de las aguas, especialmente en la etapa de oxidación biológica, incluidas en el biofiltro de una planta de tratamiento de aguas residuales. (SALAZAR MIRANDA, 2005).

De esta manera, el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el Sistema Tohá. (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

2.2.6. Biofiltro del sistema Tohá.

Las plantas de biofiltro, son sistemas que contienen diferentes estratos filtrantes. En el estrato superior se encuentra alojadas lombrices y bacterias, las cuales efectúan una degradación de los residuos sólidos y líquidos

orgánicos. El Biofiltro Dinámico-Aeróbico es uno de los tantos biofiltros para tratamientos de aguas residuales, pero a diferencia de otros éste funciona con lombrices que son las que lo hacen ser dinámico y aeróbico por el comportamiento de este conjunto de especies, es decir lombriz (que está en constante movimiento) y microorganismos (en su mayoría aeróbicos) que lo constituyen. (HERNÁNDEZ BÓRQUEZ, 2005).

El Biofiltro o Sistema Tohá consiste en un filtro percolador el cual está compuesto por capas filtrantes, lombrices y microorganismos asociados, sistema de ventilación y doble fondo. El sistema funciona de la siguiente manera: El afluente es asperjado en la superficie del filtro, luego el agua percola a través de las diferentes capas del filtro, de ello el 95% de la materia orgánica del efluente queda retenida en la superficie y aserrín para luego ser consumida por las lombrices, oxidándola y transformándolas en anhídrido carbónico y agua, pasando una parte menor de ella a constituir masa corporal de las lombrices y otra mayor de deyecciones de las mismas; estas últimas, constituyen el llamado humus de lombriz. (HERNÁNDEZ BÓRQUEZ, 2005)

Figura 2

Corte Esquemático del filtro percolador con Lombrices



Esquema de los tanques de filtros percoladores con Eisenia Foetida y Lumbricus terrestris.

2.2.7. Medio filtrante

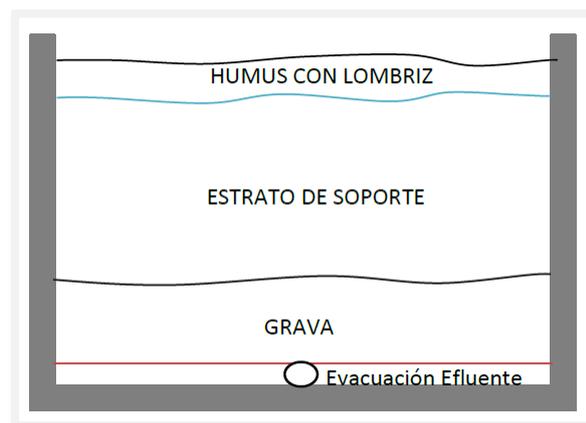
Medio filtrante es un término utilizado para describir cualquier material utilizado para filtrar partículas de la corriente de flujo de un fluido como el agua residual. Cada filtro se fabrica con el medio filtrante apropiado para brindar la protección necesaria para la aplicación para la cual se diseñó. Existen varios tipos de materiales filtrantes. Todos ellos tienen espacios vacíos, también conocidos como “poros”. Por ejemplo: Material metálico o de tela especialmente diseñado para interceptar sólidos durante la filtración de lodos. Material particulado (arena, grava o tierra de diatomea) o fibroso (tela) colocado dentro de un filtro para retener las partículas en suspensión.

2.2.8. Descripción de las capas del Biofiltro

El Biofiltro estará compuesto por un espacio libre para la evacuación del efluente, una capa de grava, una capa de soporte y una capa de humus con lombriz, tal como se muestra en la figura siguiente:

Figura 3

Capas del Biofiltro



Fuente: (CHÁVEZ RODRIGO, 2017) Esquema donde se describe las capas del biofiltro con lombriz.

2.2.9. Eficiencia del Biofiltro

Tabla 2

Índice de eficiencias

<i>Coliformes Fecales:</i>	<i>99%</i>
<i>DBO5:</i>	<i>95%</i>
<i>Sólidos Suspendidos Totales:</i>	<i>95%</i>
<i>Sólidos Suspendidos Volátiles:</i>	<i>93%</i>
<i>Nitrógeno Total:</i>	<i>60 a 80%</i>
<i>Aceites y Grasas:</i>	<i>80%</i>
<i>Fósforo Total</i>	<i>60%</i>

Fuente: (Fundacion Chile, 2000) Esta tabla muestra las eficiencias de remoción de los biofiltros.

2.2.10. *Lombriz Eisenia Foetida*

Hoy se conocen aproximadamente 8.000 variedades de lombrices, pero sólo 3.500 de ellas han sido estudiadas y clasificadas. De estas 3.500 variedades, unas pocas han sido domesticadas y adaptadas para realizar en criaderos, la función que en forma natural realizan en la tierra, trabajando en forma intensiva y generando un valioso producto, que es el HUMUS DE LOMBRIZ. De las especies domesticadas, sin duda la que ha dado mejor resultado es la EISENIA FOETIDA, variedad que encontramos en los principales criaderos de lombrices de Europa, Estados Unidos y Japón, que son países donde mayormente se han desarrollado esta actividad. En Chile, este anélido ha demostrado ser capaz de desarrollarse en excelentes condiciones, considerando las variaciones climáticas y de altitud que se presentan. (Mejía Araya, 2008).

➤ **Clasificación Zoológica.**

Tabla 3

Clasificación Zoológica de la Lombriz Roja Californiana

Reino	Animal
<i>Tipo</i>	<i>Anélido</i>
<i>Clase</i>	<i>Oligoqueto</i>
<i>Orden</i>	<i>Opisthoro</i>
<i>Familia</i>	<i>Lombricidae</i>
<i>Genero</i>	<i>Eisenia</i>
<i>Especie</i>	<i>E. Foetida</i>

Fuente: Tomado de (BARBADO, 2003).

➤ **Características Anatómo-fisiológicas.**

Vive unos quince años y puede reproducirse en una relación de una a mil doscientas al año. Tiene un cuerpo alargado y segmentado. Alcanza una longitud de 7 a 10cm, un diámetro de 2 a 4mm y un peso de 1 a 1.5gr. tiene dos capas musculares una circular externa y otra longitudinal interna. (Chacon, 1996).

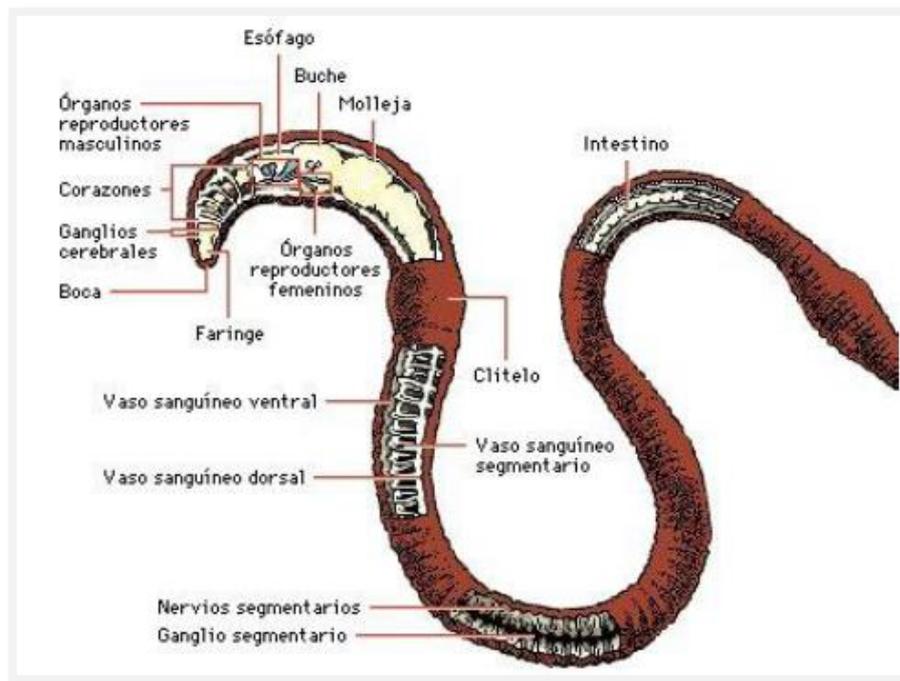
Al nacer son blancas, a los 5 o 6 días de nacidas se vuelven rosadas y a los 120 días ya son de color rojizo y sexualmente adultas. Es hermafrodita, pero a pesar de tener órganos sexuales masculinos y femeninos en el cuerpo necesita aparearse con otro individuo para la reproducción. La copula se da cada 7 o 10 días. Desde el momento que nacen pueden alimentarle por sí mismas.

Su aparato circulatorio está formado por vasos sanguíneos, uno dorsal y otro ventral.

Posee vasos sanguíneos que transportan la sangre por todo el cuerpo y cinco pares corazones. Su sistema nervioso es ganglionar, posee dos ganglios supra esofágicos. El aparato excretor está formado por nefritos y posee seis riñones. (BARBADO, 2003).

Figura 4

Anatomía de la Lombriz Roja Californias



Fuente: Tomado de (BARBADO, 2003).

➤ Tratamiento del agua residual con *Eisenia Foetida*.

Las lombrices consumen todo tipo de materia orgánica, llegando a digerir el equivalente de su peso en un día, incorporando un 20% para su sostenimiento y eliminando el 80% como humus. La lombriz se alimenta de desechos orgánicos, pero no es el único elemento que puede degradar. Por ejemplo, se puede utilizar un lecho de lombrices para procesos biológicos involucrados en la filtración de agua residual que con la ayuda de los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.)

presentes en el sustrato, degradan la materia orgánica en más de un 50%. (LORO OCAMPOS, 2018)

2.2.11. Lombriz de Tierra

La lombriz de tierra tiene una longitud de 12 a 20 centímetros. Habita preferentemente en terrenos con un contenido de humedad que oscila alrededor del 40% y cuya temperatura es de 10 a 12 grados centígrados. Estas exigencias de hábitat la incitan a vivir en galerías cuya profundidad puede superar los dos metros, ya que la mayor o menor profundidad en donde se desenvuelve depende de las condiciones del ambiente exterior.

La especie *L. Terrestris* tiene una vida media de unos cuatro años. Durante el tiempo frío queda aletargada, reiniciando su actividad cuando llega la estación templada. Es poco prolífica. Deposita sus deyecciones sobre la superficie del terreno, con lo cual una parte de ellas puede ser dispersada por el viento y por el agua de lluvia o de riego. La lombriz de tierra no es apta para explotarla en cautividad. Su rendimiento en humus y en carne de lombriz es muy escaso, debido a su poca prolificidad. Además, requiere unas instalaciones muy costosas, pues este animal tiene una tendencia natural a abandonar el lugar en donde inicialmente ha sido instalado (Fuentes, 2008).

Figura 5

Lombriz de Tierra (L. Terrestris)



Las lombrices de tierra son organismos saprófitos o consumidoras de organismos muertos cuya alimentación se basa en los restos orgánicos del suelo (hojas muertas, vegetales en descomposición, heces y animales muertos, etc.). Su fecundación es cruzada, debido a que el proceso reproductivo se efectúa entre dos individuos con intercambio de espermios. Tomada de (Gonzalez, 2007).

➤ **Tratamiento del agua residual con *Lumbricus Terrestris*.**

Existe muy pocas investigaciones del tratamiento del agua residual con la especie de lombriz *Lumbricus Terrestris*, en la investigación de (Acuña Marrufo & Reyes Sánchez, 2015) las lombrices de tierra degradaron la materia orgánica teniendo eficiencias mayores al 50 %. La *Lumbricus Terrestris* de acuerdo a la investigación de (MAMANI ALEJO, 2019) indica que juega un papel muy importante como bioindicadores de suelos contaminados.

2.2.12. Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno, más conocida como DBO, es una medida que se utiliza para conocer la fuerza contaminante de las aguas de desecho o aguas residuales domésticas e industriales. Se define como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para estabilizar la materia orgánica biodegradable contenida en las aguas de desecho bajo condiciones aerobias, se expresa en mg/L de oxígeno.

Existen tres tipos de DBO: DBO total, DBO soluble y DBO suspendida. Es una práctica común no intentar medir la DBO suspendida porque es muy difícil, sino imposible, medirla directamente. La DBO total y la soluble de una muestra se determinan primero y luego, por diferencia entre ellas, se determina la DBO suspendida ya que $DBO\ total = DBO\ soluble + DBO\ suspendida$. (Norduzian, 1984)

2.2.13. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata.

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas tres horas. (Romero Rojas, 2000)

2.2.14. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50°C. A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5°C. Si se alcanzan temperaturas del orden de 2 °C, incluso las bacterias quimioheterótrofas que actúan sobre la materia carbonosa dejan de actuar. (Metcalf y Eddy, 1995)

2.3. Definición de términos básicos

- **Aerobio:** Condición en la cual hay presencia de oxígeno, (OPS/CEPIS, 2005).
- **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Agua residual doméstica:** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Biopelícula:** Película biológica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Caudal:** Volumen de agua que pasa por un punto dado por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en l/seg o m³/seg, (OPS/CEPIS, 2005).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C), (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio, (Ministerio de Vivienda, 2006).

- ***Eisenia foetida***. Es una lombriz californiana que avanza excavando en el terreno a medida que come, depositando sus deyecciones y convirtiendo este terreno en uno mucho más fértil que el que pueda lograrse con los mejores, (Ecured, 2019)
- ***Efluente***: Líquido que sale de una unidad o lugar determinado, por ejemplo, agua que sale de una laguna de estabilización, (OPS/CEPIS, 2005).
- ***Eficiencia del tratamiento***: Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ***Filtro percolador***: Sistema en el que se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o material sintético. La película de microorganismos que se desarrolla sobre el medio filtrante estabiliza la materia orgánica del agua residual, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ***Lumbricus terrestris***: Es un anélido subterráneo, su cuerpo es alargado, de color rosa o marrón, y está dividido en muchos segmentos, los cuales tienen 4 pares de quetas (similares a pelos rígidos) que le sirven para moverse por los túneles que excava, (Ceibal, 2016)
- ***Muestreo de agua***: es el análisis que se realiza a partir de muestras concretas recogidas en un lugar y un momento determinados, que presentan unas características concretas, (Fluideco, 2019)
- ***Carga superficial***: Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- ***pH***: Concentración de iones hidrógeno, (OPS/CEPIS, 2005).

- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales, (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Proceso biológico:** Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización (Ministerio de Vivienda, 2006).
- **Tratamiento Secundario:** Es el tratamiento donde se transforma la materia orgánica biodegradable por la acción biológica en materia estable. Está principalmente diseñado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos, en algunos casos se incluye desinfección en esta etapa, (iagua, 2017).

III. Marco Metodológico

3.1. Tipos de Investigación

La Investigación en estudio, es descriptivo-explicativo, que consiste en observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos, es decir se realiza descripciones comparativas entre grupos o subgrupos de indicadores, en la presente investigación se realizó la descripción y la explicación de los filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* a nivel pre-experimento, analizando los cambios y procesos que ocurren en cada filtro, apoyándonos de los análisis de parámetros bioquímicos y parámetros de control.

3.2. Diseño Investigación

El diseño de la investigación es pre experimental, debido a que se diseñó y construyó a escala piloto los filtros percoladores para comparar la eficiencia en el tratamiento del agua residual, teniéndose un enfoque cuantitativo debido a las mediciones de los parámetros de la DBO y DQO, estos datos obtenidos en campo se registrarán en una base de datos para ser analizados.

Diseño pre experimento

G1---- M1-----X1

G2-----M2-----X2

Donde:

G1: Grupo de análisis (Filtro percoladores con *Eisenia foetida*)

G2: Grupo de análisis (Filtro percoladores con *Lumbricus terrestris*)

M1, M2: Medición de los parámetros de control (pH, temperatura, humedad y TRH).

Medición de los parámetros de contaminación bioquímica (DBO Y DQO).

X: Resultados de comparación

3.3. Métodos o técnicas

Se realizaron las siguientes etapas para el desarrollo del proyecto de investigación, que a continuación se esquematiza en la siguiente figura.

Figura 6

Etapas del desarrollo de la metodología



A continuación, se detallan cada una de las etapas de desarrollo del proyecto, que se ilustran en la figura 6.

3.3.1. Etapa de diseño de los filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*

➤ Ubicación del proyecto de investigación

El proyecto de investigación se ubica en el centro experimental Tuyururi-UNASAM, Ubicado en el distrito de Marcará, Provincia de Carhuaz, Departamento de Ancash, con coordenadas UTM 18 S 214630.53, 8968396.27, con una altitud de 2767 m.s.n.m.

Figura 7

Vista panorámica de ubicación del proyecto



Fuente: Google Maps.

➤ Descripción general del sistema existente

En la identificación del terreno para realizar el proyecto se encontró un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales a escala piloto, el cual consta de las siguientes unidades:

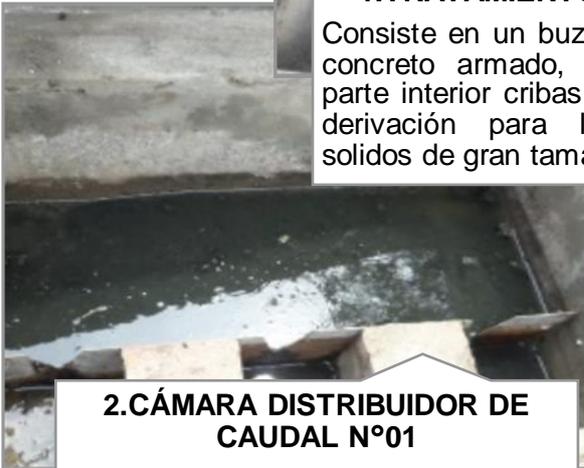
Fotografía 1

Planta de tratamiento de aguas residuales de Humedales a escala piloto en el centro experimental Tuyururi



1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Consiste en un buzón rectangular de concreto armado, que tiene en la parte interior cribas laterales hacia la derivación para la retención de sólidos de gran tamaño.



2. CÁMARA DISTRIBUIDOR DE CAUDAL N°01

Esta cámara consta de tres vertederos triangulares el cual uno de ellos distribuye hacia el biodigestor y los otros dos vertederos hacia otros proyectos de investigación.



3. TRATAMIENTO PRIMARIO

Este biodigestor es de capacidad de 600L, el cual funciona como tratamiento primario



4. CÁMARA DISTRIBUIDOR DE CAUDALES N°02

Esta cámara consta de dos vertederos triangulares los cuales distribuyen el caudal a los humedales.



5. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Consta de dos humedales artificiales uno de flujo horizontal y otro de flujo vertical el cual tiene la función de realizar la degradación de la materia orgánica.

A partir de este sistema existente, para el proyecto de investigación a realizar se tomó desde la cámara de distribución de caudales N°02, construyéndose a lado una cámara de distribución N°03 para que este pueda repartir el caudal a cada filtro percolador *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris* el cual es el objetivo de la investigación.

➤ **Criterios de diseño**

El diseño de los filtros percoladores está basado en investigaciones anteriores, teniendo en cuenta la especie de lombrices, la altura, el tipo de material de los lechos filtrantes y el caudal. Este proyecto se realizó a escala piloto, diseñándose dos (2) filtros percoladores, con la misma área, y diferenciándose en las especies de lombrices, uno con la lombriz *Eisenia Foetida* y el otro con la especie de *Lumbricus Terrestris*, realizando así una comparación entre estos.

▪ **Área Superficial**

Para el cálculo del área superficial del biofiltro se basó en la realización de un balance de masas que considera: el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a 1 m³/m²/día. (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)

Se tiene la siguiente expresión:

$$T_{perc} = \frac{Q}{A} \leq 1m^3$$

Dónde:

Tperc = Tasa de percolación (m³/m²/día)

Q = Caudal (m³/día)

A = Área (m²)

- **Sistema de drenaje**

Tiene la función de drenar toda el agua que se ha filtrado en los tanques del filtro percolador y para ello se requiere tener una pendiente adecuada.

$$S\% = \frac{Hf}{L}$$

Donde:

S = Pendiente (%)

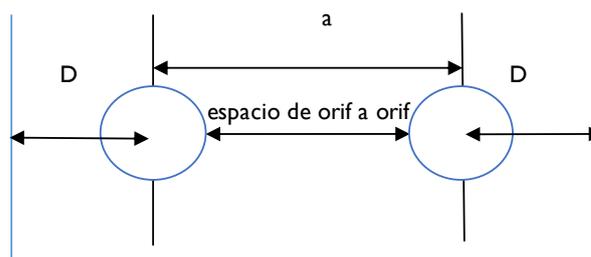
Hf = Altura de drenaje. (m)

L = Longitud de drenaje (m)

- **Sistema de distribución**

Figura 8

Esquema del sistema de distribución



Para la distribución de caudal en toda el área superficial del filtro percolador se tiene tuberías de PVC-3/4", esta a su vez cuenta con orificios a todo lo largo que permiten distribuir de manera uniforme el caudal. Se utilizaron las siguientes fórmulas:

Cálculo del número de orificios en la tubería

$$N = \frac{l - 2D}{a}$$

Dónde:

N = Número de orificios en la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería caudal (m)

a = Separación de centro a centro entre orificios (m)

Cálculo del Área de la tubería de distribución

$$A_L = \frac{AT}{N}$$

Dónde:

A_L = Área del orificio (m²)

N = Número de orificios en la tubería

AT = Área de la tubería de distribución (m²)

Cálculo del Diámetro del orificio

$$d_{teo} = \sqrt{\left(\frac{4A_L}{\pi}\right)}$$

Dónde:

d_{teo} = Diámetro del orificio(m)

A_L = Área del orificio (m²)

3.3.2. Etapa de construcción de los filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*

- Construcción de la cámara de distribución de caudales N°03

Es una caja de concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ con tapa móvil de concreto, de dimensiones de 0.40m x 0.40m x 0.40 m de volumen interno, con espesor de muro de 0.10m. Cumple la función de repartir el caudal en dos partes iguales para cada filtro percolador una con *Eisenia Foetida* y otro con *Lumbricus Terrestris*, mediante dos vertederos metálicos triangulares ubicados al mismo nivel en el interior de la caja, el caudal para cada filtro es de 0.30 m³/día. Para la construcción de esta caja de distribución de empezó con la limpieza y nivelación del terreno, después se hizo el encofrado de la estructura, para su posterior vaciado de concreto y por último el acabado final.

Fotografía 2

Cámara de distribución de caudales, donde se observa en su interior los vertederos para cada filtro



➤ Construcción de los filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*

Se construyó dos tanques de concreto armado de 0.60mx0.60m cada una y de altura 1.05m, con espesor de muro de 0.10m. Primeramente se hizo la limpieza del terreno, y luego la excavación respetando la simetría y dimensionamiento, antes de empezar con el armado del tanque se hizo la nivelación de la base y las paredes, posteriormente se realizó el encofrado para hacer el vaciado de concreto con una resistencia de $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, al cual se le añadió un aditivo impermeabilizante para evitar filtraciones en

los tanques y por último el acabado final de tarrajeo en el interior y exterior del tanque.

Fotografía 3

Se muestra la construcción de los filtros percoladores

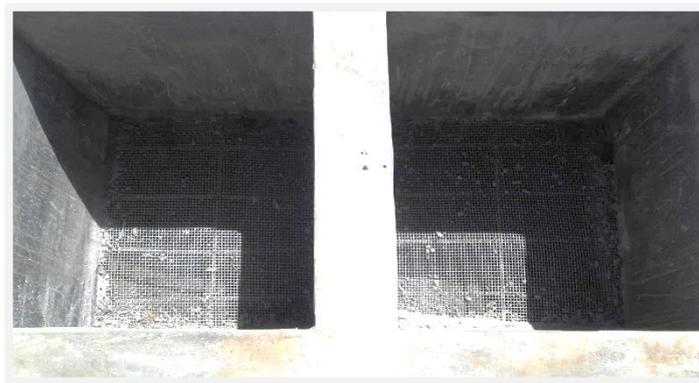


➤ **Construcción del sistema de drenaje**

El sistema de drenaje es un canal de forma trapezoidal que se ubica en la parte base de los tanques, que tiene la finalidad para drenar el agua residual ya tratada por los filtros percoladores, este canal se ha construido con una pendiente de 1.5% y tiene una resistencia de $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, este drenaje tiene una altura 0.25m.

Fotografía 4

Observamos los drenajes de los filtros y el soporte de malla metálica.



➤ **Construcción de la cámara de muestreo**

La cámara de muestreo es una caja de concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, que tiene las dimensiones de 0.40m x 0.40m x 0.95m de volumen interno, con espesor de muro de 0.10m, cuenta con tapas movibles de concreto 0.60m x 0.60m, la función de esta cámara es de poder tener accesibilidad y realizar el monitoreo del agua residual ya tratada por los filtros percoladores. La cámara de muestreo N°01 tiene como salida el efluente del tanque N°01 que contiene *Eisenia Foetida* y la cámara de muestreo N°02 tiene como salida el efluente del tanque N°02 que contiene *Lumbricus Terrestris*.

Fotografía 5

Cámara de muestreo o monitoreo



➤ **Implementación del sistema de distribución y ventilación**

El sistema de distribución empieza conectando la cámara de distribución N°03 con el filtro percolador, el cual tiene al ingreso una caja de válvula de paso de 3/4" de diámetro con el fin de evitar el ingreso del agua residual cuando se realiza la operación y mantenimiento de los filtros percoladores. Para distribuir el agua residual en todo el filtro se cuenta con

tuberías de PVC de 3/4", el cual tiene orificios de 5mm y la separación de centro a centro de orificio es de 3cm.

La ventilación consta de una tubería que tiene un diámetro de 2", que se encuentra ubicado en el interior del filtro hasta la superficie, su fin es tener el filtro aireado.

Fotografía 6

Observamos las tuberías del sistema de distribución y ventilación de los filtros.



➤ **Implementación del material filtrante**

Los filtros percoladores se rellenaron con cuatro materiales filtrantes de diferentes tamaños los cuales se adquirieron de una cantera cercana, estos materiales filtrantes están colocados sobre un soporte de malla metálica gruesa de espesor de 20 mm.

El primer material filtrante son las piedra bola de 3cm de diámetro que tiene un espesor de 7.5cm, el segundo material filtrante son las piedra bola de 2cm de diámetro que tiene un espesor de 7.5cm, seguidamente el tercer material filtrante es la grava de 1cm de diámetro que tiene un espesor de 15cm, después se tiene como cuarto material filtrante la grava de 0.5cm de diámetro que tiene un espesor de 15cm, y por último se tiene las lombrices

Eisenia Foetida para el tanque N°01 y *Lumbricus Terrestris* para el tanque N°02 con compost y tierra respectivamente cubiertas con aserrín.

Entre los estratos de aserrín y grava se dispone una malla tipo raschel, que sirve como elemento de separación y retención para el estrato de aserrín y las lombrices (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003)

Fotografía 7

Colocación de la malla raschel en los filtros



3.3.3. Etapa de recolección, pre adaptación y adaptación de las lombrices *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*

➤ Recolección de las especies de *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*

Las lombrices fueron recolectadas según la especie, en el caso la lombriz *Eisenia Foetida* se realizó la compra al área de residuos sólidos de Pongor de la municipalidad distrital de Independencia.

La recolección de la especie *Lumbricus Terrestris* se realizó en el mismo centro experimental Tuyururi, se escavó aproximadamente de 5 a 15 cm en las áreas donde se había cosechado papa.

Fotografía 8

Recolección de las lombrices



➤ **Pre adaptación de las especies de Eisenia Foetida y Lumbricus Terrestris**

Una vez recolectada las lombrices se pusieron en dos tinas, la lombriz *Eisenia Foetida* con compost se llenó en la tina de color roja y la lombriz de la especie *Lumbricus Terrestris* se colocó con una pequeña porción de tierra en la tina de color verde, esto para que las lombrices tengan una rápida pre adaptación y así preservar su estado de vida.

Cada tina tuvo 1kilo de cada especie de lombriz, alimentándoles cada 3 días con agua residual (250 ml) esto se realizó 5 veces, teniendo una duración la pre adaptación de 15 días, este proceso se realizó teniendo como referencia a (Mendieta Bravo, 2011).

Fotografía 9

Se observan las lombrices en la etapa de pre adaptación, colocadas en tinas.



➤ **Adaptación de las especies de *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris***

Una vez concluida la pre adaptación se prosiguió a pasar las lombrices de las tinas hacia los filtros percoladores, que fueron 1 kilo de cada especie, se le adiciono aserrín para cumplir con el espesor indicado en el diseño, luego se puso en funcionamiento los filtros, dejamos pasar el agua de los vertedores hacia los tanques, en esta adaptación se verifico el crecimiento y multiplicación de las lombrices durante 15 días.

Fotografía 10

Proceso de adaptación de las lombrices



3.3.4. Etapa de monitoreo

➤ Periodos del proyecto de investigación

La puesta en marcha del sistema de filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris* a escala piloto se inició el 30 de setiembre del 2019, después de 15 días de adaptación se inició con el monitoreo de los parámetros de control y parámetros analizados por el laboratorio, durante el período de adaptación se presentaron deficiencias en cuanto al funcionamiento correcto del piloto, para lo cual se realizó mejoras en dicho periodo.

Tabla 4

Periodos del proyecto de investigación

PUESTA EN MARCHA: Se inició el 30 de setiembre del 2019.

FECHA DE INICIO DEL MONITOREO: Se inició el 15 de octubre del 2019.

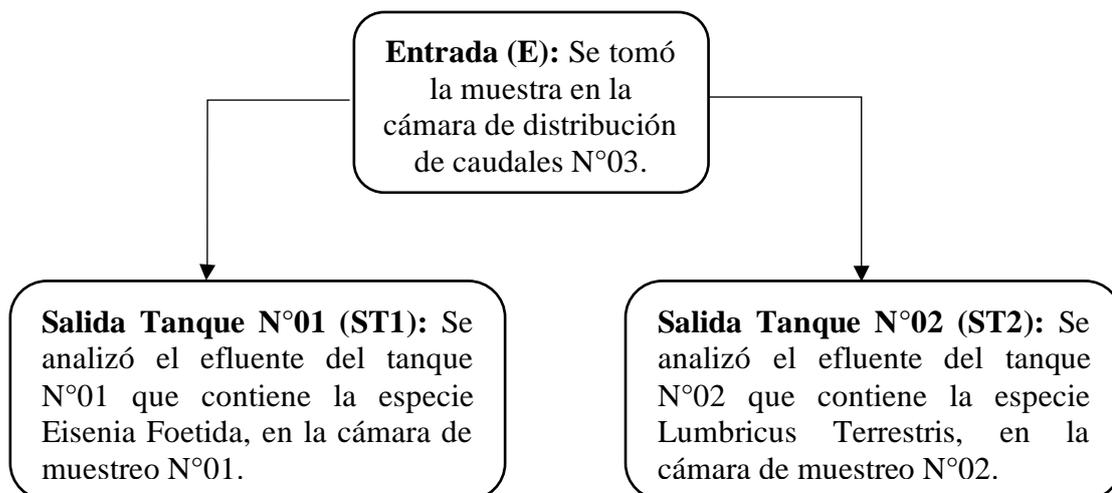
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL MONITOREO: La evaluación del proyecto culminó el 19 de febrero del 2020.

➤ Puntos de monitoreo

Para el monitoreo se tuvieron tres puntos de muestreo que se muestran en el siguiente esquema:

Figura 9

Puntos de monitoreo



Además, se tomó una muestra en la cámara de distribución N°01 para analizar con que características está ingresando el agua residual antes de pasar por el tratamiento primario, el cual posteriormente pasara a los filtros percoladores como tratamiento secundario.

Fotografía 11

Realización del muestreo para el análisis del proyecto de investigación



➤ Parámetros de medición

Para el análisis del agua residual se realizó un muestreo simple, donde la muestra tomada representa la composición del agua residual para

el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó el muestreo, se tomaron parámetros de control y parámetros de contaminación bioquímica, que se analizó en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

- **Parámetros de control**

Los parámetros de control fueron el PH, temperatura y humedad, donde la temperatura y el PH se midió con el equipo (pH metro edge de HANNA instruments). La humedad se midió mediante la prueba del puño que consiste en tomar una muestra del sustrato que pueda alcanzar un puño, el cual al apretarlo se desprendan entre 7-8 gotas de agua, el sustrato estará entre 75% y 80% de humedad aproximadamente (Somarriba Reyes & Guzmán Guillen, 2004), también se hizo la medición de tiempo de retención hidráulica para cada filtro percolador, utilizando un colorante como medio de observación del tiempo que tarda en recorrer todo el filtro.

Fotografía 12

Monitoreo de los parámetros de control (pH, temperatura y humedad)



- **Parámetros de indicadores de contaminación bioquímico**

Los indicadores de contaminantes bioquímicos analizados en el laboratorio de calidad ambiental del UNASAM fue la Demanda

bioquímica de oxígeno (DBO5) el cual se empleó el método APHA 5210 B y la Demanda química de oxígeno (DQO) con el método de oxidación ácido cromosulfúrico.

Fotografía 13

Monitoreo de los contaminantes bioquímicos



3.4. Población y muestra

➤ **Población**

Se ha determinado que la población base para realizar el proyecto es el caudal de 0.6 m³/día de agua residual doméstica tomada en la caja de distribución N°02 que proviene del tratamiento primario que es un biodigestor del Laboratorio experimental de Tuyururi-Marcara.

➤ **Muestra**

Conformada por el caudal de diseño con el que se dimensionó cada filtro percolador, que es de 0.3 m³/día de agua residual para el funcionamiento de cada filtro a escala piloto.

3.5. Instrumentos validos de recolección de datos

Tabla 5

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

ETAPAS	EVALUACIÓN	PROCEDIMIENTO	TECNICAS	INDICADOR	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
PARÁMETROS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUIMICO	Evaluación de la DBOs	Método APHA 5210 B	Análisis de laboratorio y experimentación	Concentración de DBO (mg/l)	Equipo de multiparametro.
	Evaluación de la DQO	Oxidación Ácido Cromosulfúrico	Análisis de laboratorio y experimentación	Concentración de DQO (mg/l)	Espectrofotómetro
PARÁMETROS DE CONTROL	Evaluación del pH y temperatura.	Protocolo de medición de pH y temperatura en campo	Medición en campo	Temperatura (°C) y pH (und.pH)	Medidor digital edge de HANNA instruments de pH Y temperatura
	Evaluación de la Humedad.	Prueba del puño	Medición en campo	% de Humedad	Jeringa milimetrada de 1.0 ml.
	Evaluación de los Tiempos de retención hidráulica	Prueba de trazadores	Medición en campo	TRH (Horas)	Recipiente, tinta, cronometro.
	Evaluación del caudal del sistema de biofiltros.	Protocolo de medición del caudal	Aforo volumétrico	Caudal (l/s)	Recipiente medida, cronometro.

Los instrumentos de medición para la recolección de datos de los parámetros de indicadores de contaminación bioquímica (DBO5 Y DQO) fue el equipo de multiparametro y espectrofotómetro, para los parámetros de control los instrumentos de recolección de datos fueron el medidor digital edge de HANNA instruments de Ph y temperatura, para la humedad se utilizó jeringas milimetradas de 1.0 ml, el tiempo de retención hidráulica se realizó mediante la prueba de trazadores, donde se usó recipientes, tinta, cronometro y para la medición del caudal se utilizó un recipiente con medida y cronometro.

3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

El análisis de datos consistió en procesar los resultados en el programa Excel mediante gráficas para posteriormente ser comparados y explicados. El análisis estadístico que se empleó para este sistema fue el "T Student, de dos

muestras relacionadas, se eligió esta prueba estadística en base a lo requerido por el estudio de investigación del tema, que se observan en la tabla 6.

Tabla 6

Pruebas Estadísticas

		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS		PRUEBAS PARAMÉTRICAS		
Variable Fija	Variable Aleatoria	NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	NUMÉRICAS	
Muestras Independientes	Un Grupo	X ² Bondad de Ajuste Binomial	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	ET de Student (una muestra)	
	Dos Grupos	X ² Bondad de Ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X ² de Homogeneidad	U Mann- Withney	T de Student (muestras independientes)	
	Más de dos Grupo	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	H Kruskal- Wallis	ANOVA con un factor INTER sujetos	
Muestras Relacionadas	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras relacionadas)	
	Más de dos medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetitivas (INTRA sujetos)	

Cuando se emplean métodos estadísticos o cuantitativos, se dispone de dos tipos de pruebas estadísticas: las paramétricas y las no paramétricas. Las pruebas paramétricas sirven para analizar eventos producidos por el azar o la suerte, mientras que las pruebas no paramétricas sirven para analizar eventos producidos por la intención, la voluntad o los propósitos. (Mejia Mejia, 2005). En el análisis estadístico se tomó el T Student para muestras relacionadas en el cual se compararon las eficiencias de remoción de cada filtro percolador. La tabla 6 es tomada de (Varela López, 2013).

IV. Resultados

4.1. Resultados del diseño de los filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

Tabla 7

Diseño del tanque y sistema de drenaje de los filtros

DISEÑO DEL TANQUE Y DRENAJE DE LOS FILTROS PERCOLADORES		
Diseño del Tanque		
DATOS	CÁLCULOS	UNIDADES
Caudal de diseño (Qd)	0.30	m ³ /día
Área=0.60m x 0.60m	0.36	m ²
Tasa de percolación	0.83	m ³ /m ² /día
Diámetro de Tubería	3/4	pulg
	2.65	cm
Diseño del sistema de drenaje		
DATOS	CÁLCULOS	UNIDADES
Pendiente (S)	1.5	%
Longitud (L)	0.60	m
Perdida de carga (Hf)	1.0	cm

Tabla 8

Diseño del sistema de entrada

DISEÑO DEL SISTEMA ENTRADA DE LOS FILTROS PERCOLADORES		
DATOS	CÁLCULOS	UNIDADES
Caudal de diseño (Qd)	0.30	m ³ /día
Diámetro comercial de la tubería de distribución	3/4	pulg
Área de la tubería de distribución	0.0006 m	m

Velocidad en las tuberías principales	0.0062954	m3/m2/s
--	-----------	---------

Tabla 9

Diseño del sistema de distribución de los filtros percoladores

DISEÑO DEL SISTEMA DISTRIBUCIÓN DE LOS FILTROS PERCOLADORES		
DATOS	CÁLCULOS	UNIDADES
Número de tuberías	5	Und
Caudal para cada tubería (Qu)	0.06	m3/día
Ancho del Biofiltro	0.60	m
Diámetro comercial de la tubería de distribución	3/4	pulg
Área de la tubería de distribución	0.0006	m
Velocidad en las tuberías secundarias	0.0012591	m3/m2/s
Espaciamiento entre tuberías	0.210	m
Separación de centro a centro entre orificios (a)	3.00	cm
Longitud total de la tubería (l)	0.45	m
Distancia entre la pared y el primer orificio (D)	6.00	cm
Número de Orificios en la tubería (N)	12.00	Und
Área del orificios (AL)	19.63	mm
Diámetro de los orificios (dteo)	5.00	mm

Se diseñó los filtros percoladores de acuerdo al caudal de diseño de 0.3 m3/día por cada filtro, en un área superficial de 0.36 m2. De acuerdo a los cálculos se obtuvo para el sistema de distribución un diámetro de 3/4 pulg, la cual consta de 5 tramos de tubería con 12 orificios cada una, estos orificios tienen un diámetro de 5mm. Para el sistema de drenaje se consideró una pendiente 1.5% y tiene una resistencia de $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$, este drenaje tiene una altura 0.25m.

4.2. Resultados de la pre adaptación de las lombrices (*Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*)

Durante la pre adaptación se alimentó a las lombrices cada 3 días con agua residual (250 ml) esto se realizó 5 veces durante 15 días, donde se pudo observar el crecimiento y reproducción de las lombrices, evidenciándose crecimiento en su longitud, así como también se observó la presencia de huevos de ambas especies siendo un indicador de una adecuada pre adaptación al agua residual.

Fotografía 14

Resultado del crecimiento y reproducción de las especies de lombrices



4.3. Resultados de la adaptación de las lombrices (*Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*) en los filtros percoladores.

4.3.1. Resultados de los caudales

- Adaptación del filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

Tabla 10

Caudales medidos en el filtro percolador con Lumbricus terrestris en la adaptación

FECHA	HORA	ENTRADA (m ³ /día)	SALIDA (m ³ /día)
01/10/2019	09:00	0.318	0.304
	10:00	0.321	0.308
	11:00	0.328	0.317
	12:00	0.333	0.319
	13:00	0.333	0.321
04/10/2019	09:00	0.304	0.289
	10:00	0.322	0.299
	11:00	0.334	0.310
	12:00	0.336	0.312
	13:00	0.338	0.318
07/10/2019	09:00	0.334	0.319
	10:00	0.331	0.315
	11:00	0.330	0.326
	12:00	0.334	0.310
	13:00	0.334	0.317
11/10/2019	09:00	0.327	0.317
	10:00	0.328	0.321
	11:00	0.332	0.321
	12:00	0.334	0.320
	13:00	0.334	0.321

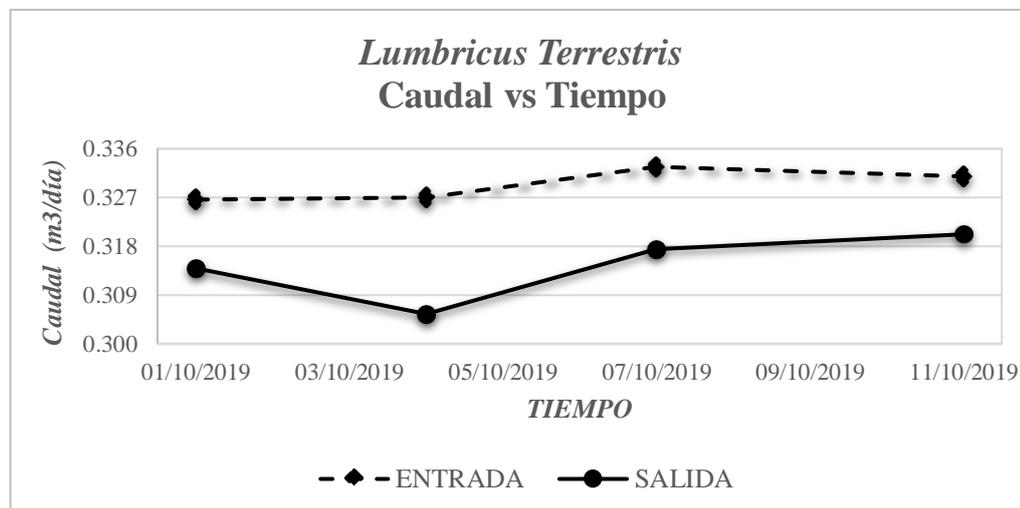
Tabla 11

Promedio de caudales (m³/día)

FECHA	CAUDALES (m ³ /día)	
	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	0.327	0.314
04/10/2019	0.327	0.306
07/10/2019	0.333	0.317
11/10/2019	0.331	0.320

Figura 10

Caudales (m³/día) vs tiempo en la etapa de adaptación



En la tabla 11, de la medición de los caudales, en la etapa de adaptación del filtro percolador con *Lumbricus terrestris* observamos que el caudal promedio mínimo obtenido en la entrada es 0.327 m³/día que se dieron en dos fechas seguidas de aforo el 01 y 04 de octubre, en la salida el caudal promedio mínimo se dio en la fecha 04 de octubre siendo este de 0.306 m³/día y el 11 de noviembre alcanzo el valor máximo del caudal promedio en la salida, siendo este de 0.320 m³/día.

En la figura 10 observamos una diferencia entre la entrada y salida, es decir una disminución del caudal, esto puede ser debido a la evaporación de agua residual por radiación solar o por la humedad que se queda en el aserrín.

➤ **Adaptación del filtro percolador con *Eisenia foetida***

Tabla 12

*Caudales medidos en el filtro percolador con *Eisenia foetida* en la adaptación*

FECHA	HORA	ENTRADA (m3/día)	SALIDA (m3/día)
01/10/2019	09:00	0.318	0.306
	10:00	0.321	0.302
	11:00	0.328	0.321
	12:00	0.333	0.313
	13:00	0.333	0.323
04/10/2019	09:00	0.304	0.301
	10:00	0.322	0.291
	11:00	0.334	0.304
	12:00	0.336	0.318
	13:00	0.338	0.327
07/10/2019	09:00	0.334	0.318
	10:00	0.331	0.312
	11:00	0.330	0.307
	12:00	0.334	0.301
	13:00	0.334	0.309
11/10/2019	09:00	0.327	0.312
	10:00	0.328	0.315
	11:00	0.332	0.310
	12:00	0.334	0.321
	13:00	0.334	0.327

Tabla 13

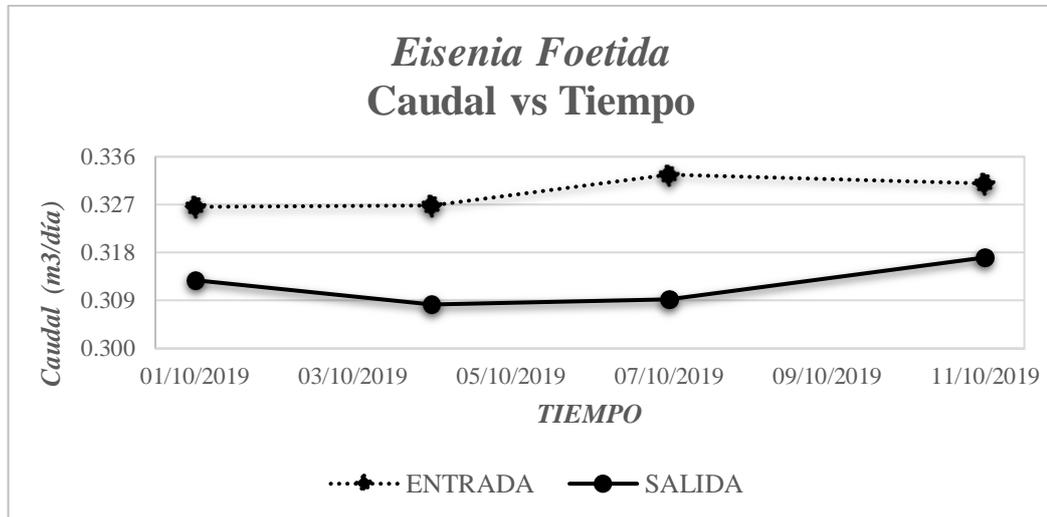
Promedio de caudales (m3/día)

Tabla 8. Promedio de caudales (m3/día)

FECHA	CAUDALES (m3/día)	
	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	0.327	0.313
04/10/2019	0.327	0.308
07/10/2019	0.333	0.309
11/10/2019	0.331	0.317

Figura 11

Caudales (m³/día) vs tiempo en la etapa de adaptación



En la tabla 13, en la medición de los caudales, de la etapa de adaptación del filtro percolador con *Eisenia foetida* observamos que el caudal promedio mínimo obtenido en la entrada es 0.327 m³/día que se dieron en dos fechas seguidas de aforo el 01 y 04 de octubre, en la salida el caudal promedio mínimo se dio en la fecha 04 de octubre siendo este de 0.308 m³/día y el 11 de octubre alcanzó el valor máximo de caudal promedio en la salida de 0.317 m³/día.

En la figura 11 observamos una diferencia entre la entrada y salida, es decir una disminución del caudal, esto puede ser debido a la evaporación de agua residual por radiación solar o por la humedad que se queda en el aserrín.

4.3.2. Resultados de las mediciones de temperatura

- **Adaptación del filtro percolador con *Lumbricus Terrestris***

Tabla 14

Temperaturas medidas en el filtro percolador con Lumbricus terrestris en la adaptación

FECHA	HORA	ENTRADA °C	SALIDA °C
01/10/2019	09:00	17.80	17.20
	10:00	18.60	17.80
	11:00	19.40	18.60
	12:00	20.00	19.30
	13:00	20.80	19.70
04/10/2019	09:00	19.50	18.70
	10:00	20.40	19.60
	11:00	20.60	19.50
	12:00	20.90	20.20
	13:00	21.40	20.70
07/10/2019	09:00	17.80	17.30
	10:00	18.50	17.60
	11:00	19.00	18.30
	12:00	19.50	18.80
	13:00	20.10	19.10
11/10/2019	09:00	19.20	18.50
	10:00	19.70	19.10
	11:00	20.50	20.40
	12:00	20.80	20.50
	13:00	21.50	20.80

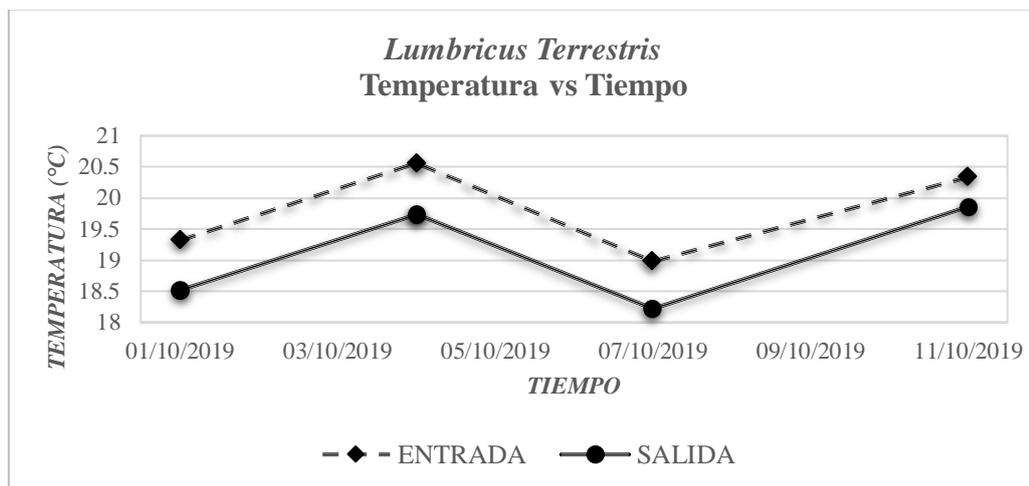
Tabla 15

Promedio de temperaturas (°C)

FECHA	TEMPERATURA ° C	
	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	19.32	18.52
04/10/2019	20.56	19.74
07/10/2019	18.98	18.22
11/10/2019	20.34	19.86

Figura 12

Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de adaptación



En la etapa de adaptación observamos que la temperatura promedio del agua residual en la entrada alcanza un valor mínimo de 18.98 °C y un valor máximo de 20.56 °C en las fechas de 07 y 04 de octubre respectivamente, asimismo en la salida la temperatura promedio más alta se dio el 11 de octubre con un valor de 19.86 °C y la mínima es de 18.22 °C de la fecha del 07 de octubre.

Podemos observar en la tabla 15, que las temperaturas promedias se mantienen en un rango de 18.22 °C a 20.56°C, siendo una diferencia mínima que no dificulta la adaptación de las lombrices de tierra.

➤ **Adaptación del filtro percolador con *Eisenia foetida***

Tabla 16

Temperaturas medidas en el filtro percolador con Eisenia foetida en la adaptación

FECHA	HORA
-------	------

		ENTRADA °C	SALIDA °C
01/10/2019	09:00	17.80	17.40
	10:00	18.60	17.90
	11:00	19.40	18.80
	12:00	20.00	19.50
	13:00	20.80	20.20
04/10/2019	09:00	19.50	19.20
	10:00	20.40	19.80
	11:00	20.60	20.30
	12:00	20.90	20.40
	13:00	21.40	20.80
07/10/2019	09:00	17.80	17.50
	10:00	18.50	17.80
	11:00	19.00	18.50
	12:00	19.50	19.20
	13:00	20.10	19.60
11/10/2019	09:00	19.20	18.70
	10:00	19.70	19.40
	11:00	20.50	19.80
	12:00	20.80	20.10
	13:00	21.50	20.30

Tabla 17

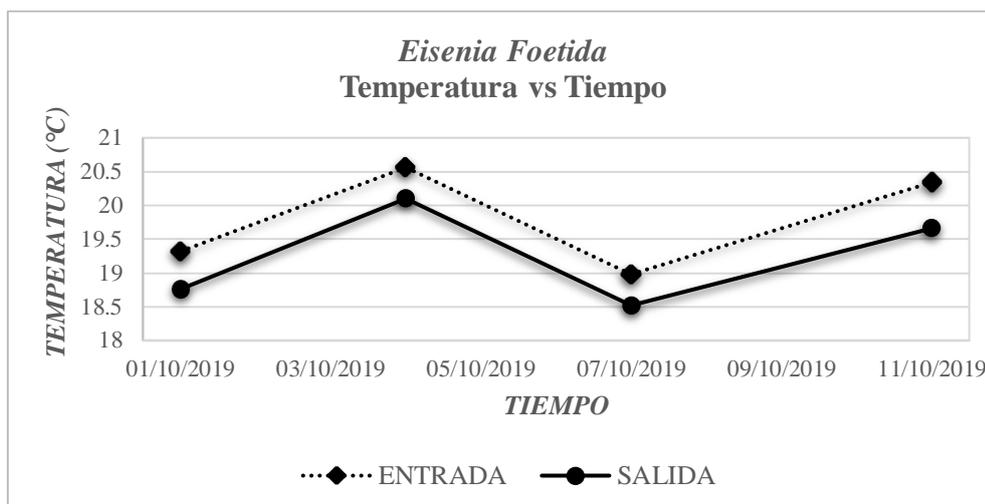
Promedio de temperaturas (°C)

Promedio de temperaturas (°C)

FECHA	TEMPERATURA ° C	
	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	19.32	18.76
04/10/2019	20.56	20.10
07/10/2019	18.98	18.52
11/10/2019	20.34	19.66

Figura 13

Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de adaptación



En la tabla 17 podemos observar que la temperatura promedio más baja obtenida, durante todo el proceso de adaptación de la lombriz, en la entrada es de 18.98 °C y en la salida es de 18.52°C, ambos se dieron el 07 de octubre, asimismo la temperatura más alta en la entrada y salida se dio el 04 de octubre, siendo de 20.56 °C y 20.10 °C respectivamente. Observamos que las temperaturas promedio se mantienen en un rango de 18.52 °C a 20.56°C, siendo una diferencia mínima que no dificulta la adaptación de las lombrices californianas.

4.3.3. Resultados del porcentaje de humedad

➤ **Filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris***

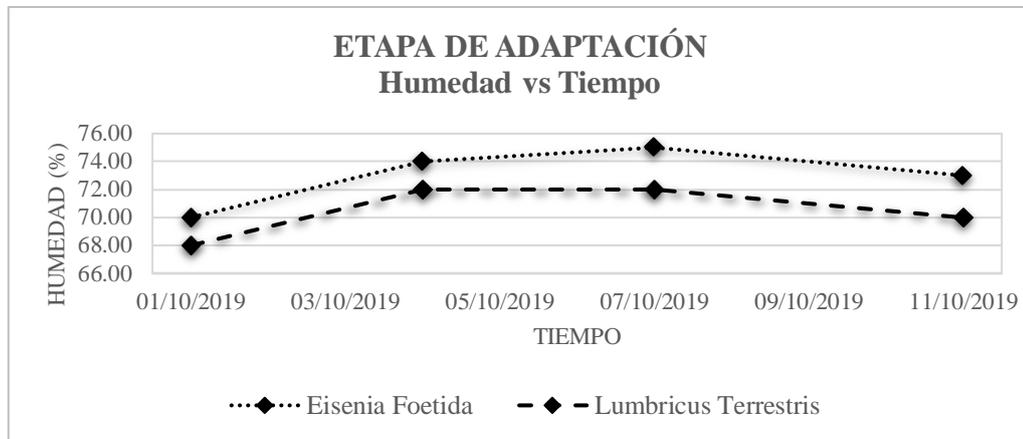
Tabla 18

Porcentaje de humedad en la adaptación de las especies de lombrices en los filtros percoladores

FECHA	Tanque N°01- E.F		Tanque N°02- L.T	
	Cant.Agua (ml)	Humedad (%)	Cant.Agua (ml)	Humedad (%)
01/10/2019	0.35	70.00	0.34	68.00
04/10/2019	0.37	74.00	0.36	72.00
07/10/2019	0.38	75.00	0.36	72.00
11/10/2019	0.37	73.00	0.35	70.00

Figura 14

Humedad (%) con respecto al tiempo



En la tabla 18 se observa que el rango de humedad (%) en el filtro percolador con *Eisenia foetida* es de 70% a 75%, y en el filtro percolador con la especie de *Lumbricus terrestris* el rango es de 68% a 72%, observándose su adaptación en el filtro percolador.

4.3.4. Resultados del pH

➤ Adaptación del filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

Tabla 19

pH medido en el filtro percolador con Lumbricus Terrestris en la adaptación

FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	09:00	6.56	6.67
	10:00	6.48	6.58
	11:00	6.54	6.71
	12:00	6.80	6.98
	13:00	6.82	7.11
04/10/2019	09:00	6.71	6.85
	10:00	6.56	6.81
	11:00	6.85	6.95
	12:00	6.75	6.93
	13:00	6.60	6.65

07/10/2019	09:00	6.83	6.94
	10:00	6.84	6.97
	11:00	6.88	7.00
	12:00	6.94	7.12
	13:00	6.87	6.98
11/10/2019	09:00	6.78	6.87
	10:00	6.95	7.00
	11:00	6.76	6.85
	12:00	6.80	6.95
	13:00	6.75	6.95

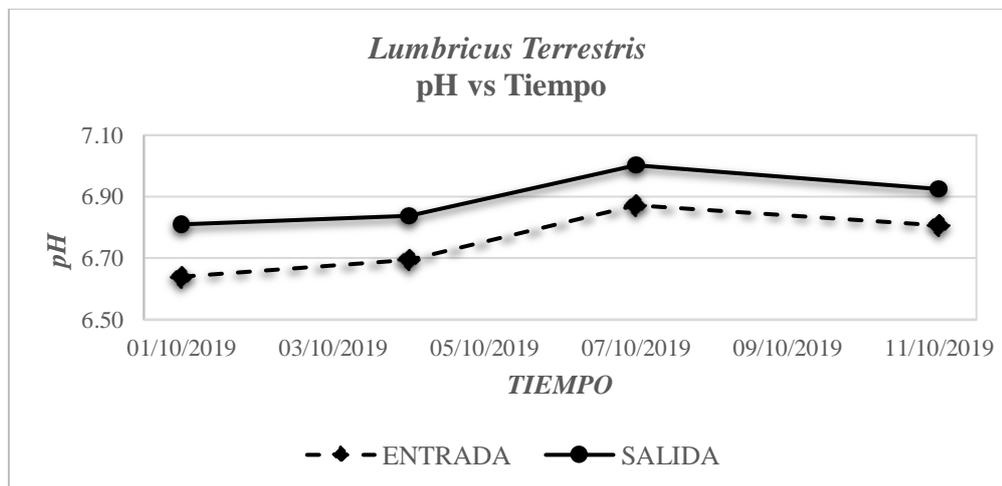
Tabla 20

pH promedios

FECHA	pH	
	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	6.64	6.81
04/10/2019	6.69	6.84
07/10/2019	6.87	7.00
11/10/2019	6.81	6.92

Figura 15

pH vs tiempo en la etapa de adaptación



Se observa en la tabla 20, que el pH promedio del agua residual en la entrada es menor que la salida, esto debido a que el pH se estabiliza en el filtro percolador. El valor mínimo del pH en la entrada es de 6.64 y el valor máximo de 6.87, en las fechas del 01 de octubre y 07 de octubre

respectivamente, en la salida el valor mínimo de pH es de 6.81 que se dio en la fecha del 01 de octubre y el 07 de octubre se obtuvo el máximo valor de 7.00.

➤ **Adaptación del filtro percolador con *Eisenia foetida***

Tabla 21

pH medido en el filtro percolador con Eisenia foetida en la adaptación

FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	09:00	6.56	6.82
	10:00	6.48	6.61
	11:00	6.54	6.84
	12:00	6.80	7.10
	13:00	6.82	7.13
04/10/2019	09:00	6.71	6.89
	10:00	6.56	6.83
	11:00	6.85	7.00
	12:00	6.75	6.93
	13:00	6.60	6.72
07/10/2019	09:00	6.83	6.95
	10:00	6.84	6.99
	11:00	6.88	7.20
	12:00	6.94	7.15
	13:00	6.87	7.12
11/10/2019	09:00	6.78	6.90
	10:00	6.95	7.10
	11:00	6.76	6.90
	12:00	6.80	7.00
	13:00	6.75	7.10

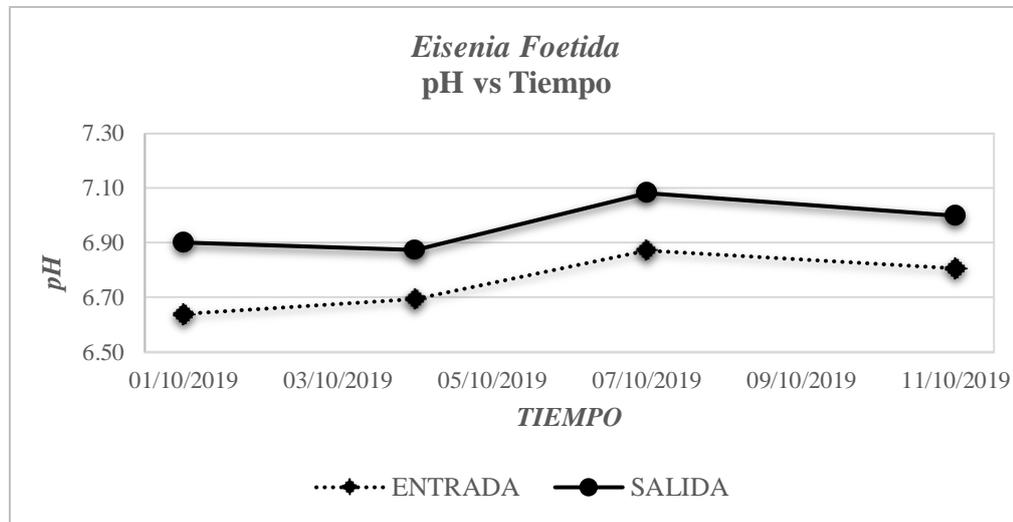
Tabla 22

pH promedios

FECHA	pH	
	ENTRADA	SALIDA
01/10/2019	6.64	6.90
04/10/2019	6.69	6.87
07/10/2019	6.87	7.08
11/10/2019	6.81	7.00

Figura 16

pH vs tiempo en la etapa de adaptación



Se observa que el pH promedio del agua residual en la entrada es menor que la salida, esto debido a que el pH se estabiliza en el filtro percolador. El valor mínimo del pH en la entrada es de 6.64 y el valor máximo de 6.87, en las fechas del 01 de octubre y 07 de octubre respectivamente, en la salida el valor mínimo de pH es de 6.87 que se dio en la fecha del 04 de octubre y el 07 de octubre se obtuvo el máximo valor de 7.08.

4.4. Resultados del monitoreo en la etapa de tratamiento de los filtros percoladores

4.4.1. Resultados de los caudales

➤ Tratamiento del filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

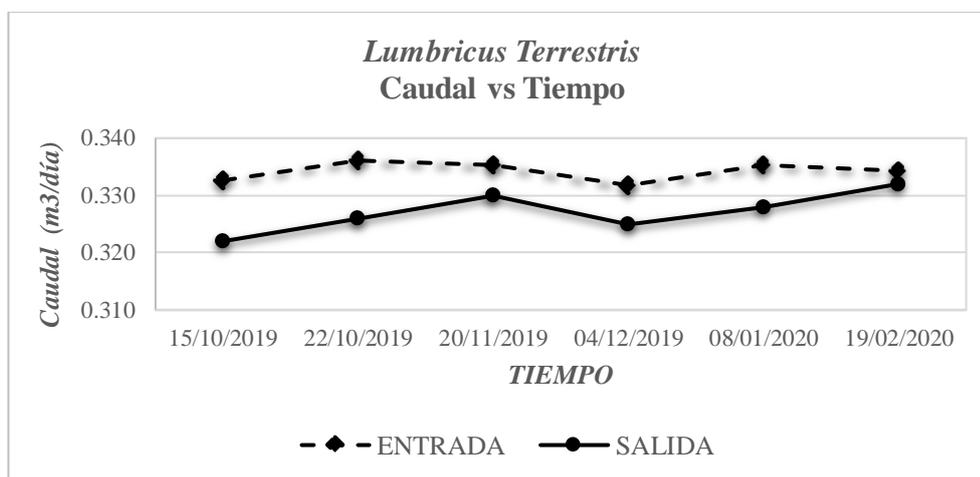
Tabla 23

*Caudales medidos en el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* en el tratamiento*

FECHA	CAUDALES (m3/día)	
	ENTRADA	SALIDA
15/10/2019	0.333	0.322
22/10/2019	0.336	0.326
20/11/2019	0.335	0.330
04/12/2019	0.332	0.325
08/01/2020	0.335	0.328
19/02/2020	0.334	0.332

Figura 17

Caudales (m3/día) vs tiempo en la etapa de tratamiento



En la tabla 23, en la medición de los caudales, de la etapa de tratamiento del filtro percolador con *Lumbricus terrestris* observamos que el caudal mínimo obtenido en la entrada es 0.332 m3/día que se dio en la fecha 04 de diciembre, mientras que en la salida el caudal mínimo se dio en la fecha 15 de octubre siendo este de 0.322 m3/día y el 22 de octubre alcanzó el valor máximo en la entrada con un valor de 0.336 m3/día, en la salida el máximo valor es de 0.332 m3/día obtenido el 19 de febrero del 2020.

En la figura 17 observamos que el filtro con *Lumbricus terrestris* presenta una diferencia de caudal entre la entrada y salida, es decir una disminución

del caudal, esto puede ser debido a la evaporación de agua residual por radiación solar o por la humedad que se queda en el aserrín.

➤ **Tratamiento del filtro percolador con *Eisenia foetida***

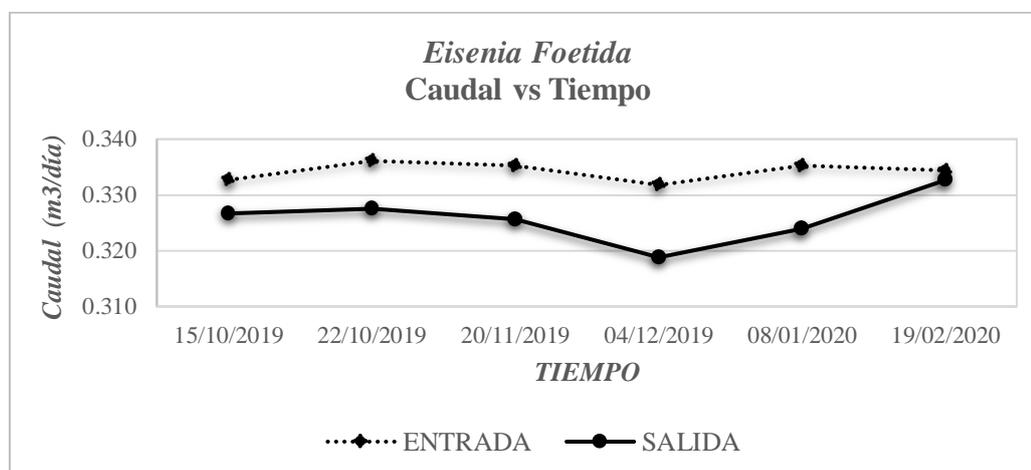
Tabla 24

Caudales medidos en el filtro percolador con Eisenia foetida en el tratamiento

FECHA	CAUDALES (m3/día)	
	ENTRADA	SALIDA
15/10/2019	0.333	0.327
22/10/2019	0.336	0.327
20/11/2019	0.335	0.326
04/12/2019	0.332	0.319
08/01/2020	0.335	0.324
19/02/2020	0.334	0.333

Figura 18

Caudales (m3/día) vs tiempo en la etapa de tratamiento



En la tabla 24, en la medición de los caudales, de la etapa de tratamiento del filtro percolador con *Eisenia foetida* observamos que el caudal mínimo obtenido en la entrada es 0.332 m3/día que se dio en la fecha 04 de diciembre, y el máximo valor fue de 0.336 m3/día obtenido el 22 de octubre, en la salida el caudal mínimo fue de 0.319 m3/día que se dio el 04 de

diciembre y el 19 de febrero del 2020 se obtuvo el máximo valor de caudal de 0.333 m³/día.

En la figura 18 observamos que el filtro con *Eisenia foetida* presenta una diferencia de caudal entre la entrada y salida, es decir una disminución de caudal, esto puede ser debido a la evaporación de agua residual por radiación solar o por la humedad que se queda en el aserrín.

4.4.2. Resultados de las mediciones de temperatura

➤ Tratamiento del filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

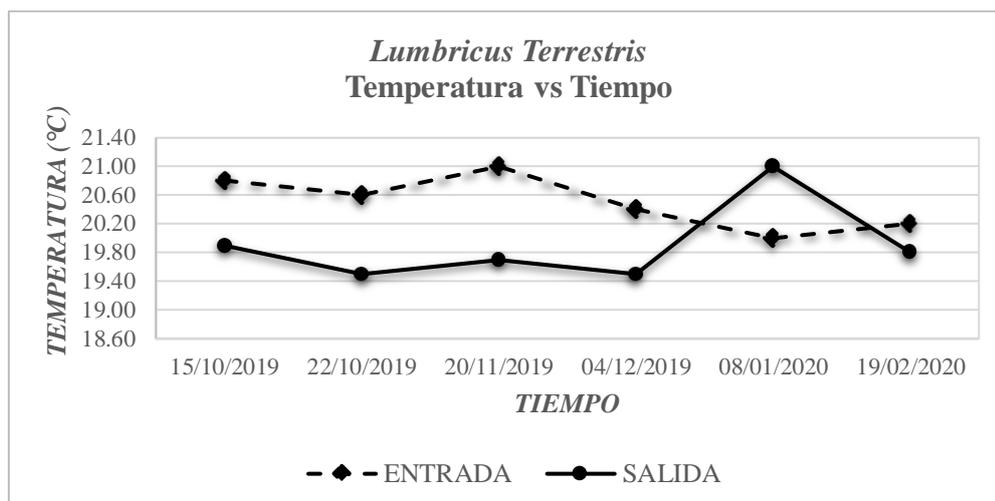
Tabla 25

Temperaturas medidas en el filtro percolador con Lumbricus terrestris en el tratamiento

FECHA	TEMPERATURA (°C)	
	ENTRADA	SALIDA
15/10/2019	20.80	19.90
22/10/2019	20.60	19.50
20/11/2019	21.00	19.70
04/12/2019	20.40	19.50
08/01/2020	20.00	21.00
19/02/2020	20.20	19.80

Figura 19

Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de tratamiento



En la etapa de tratamiento observamos que la temperatura del agua residual en la entrada alcanza un valor mínimo de 20 °C y un valor máximo de 21 °C en las fechas de 08 de enero del 2020 y 20 de noviembre del 2019 respectivamente, asimismo en la salida la temperatura más alta se dio el 08 de enero con un valor de 21 °C y la mínima es de 19.50 °C que se dio en dos fechas, el 22 de octubre y el 04 de diciembre del 2019.

Podemos observar en la tabla 25, que las temperaturas se mantienen en un rango de 19.50 °C a 21°C.

➤ **Tratamiento del filtro percolador con *Eisenia foetida***

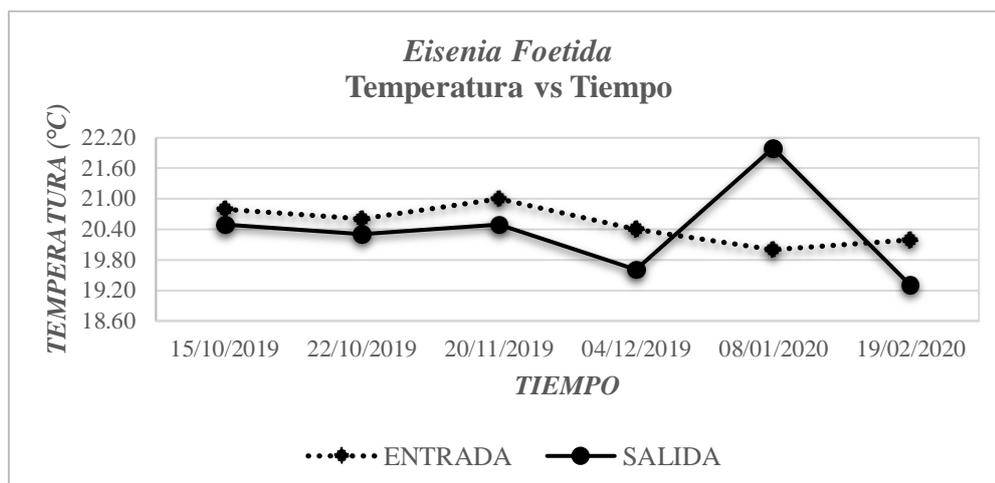
Tabla 26

Temperaturas medidas en el filtro percolador con Eisenia foetida en el tratamiento

FECHA	TEMPERATURA (°C)	
	ENTRADA	SALIDA
15/10/2019	20.80	20.50
22/10/2019	20.60	20.30
20/11/2019	21.00	20.50
04/12/2019	20.40	19.60
08/01/2020	20.00	22.00
19/02/2020	20.20	19.30

Figura 20

Temperaturas (°C) vs tiempo en la etapa de tratamiento



En la tabla 26 podemos observar que la temperatura más baja durante el proceso de tratamiento, en la entrada es de 20 °C obtenido el 08 de enero y en la salida la temperatura más baja es de 19.30°C que se dio el 19 de febrero, asimismo la temperatura más alta en la entrada se dio el 20 de noviembre con un valor de 21 °C y en la salida se dio el 08 de enero siendo este 22 °C. Observamos que las temperaturas se mantienen en un rango de 19.30 °C a 22 °C.

4.4.3. Resultados de los porcentajes de humedad

➤ Filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

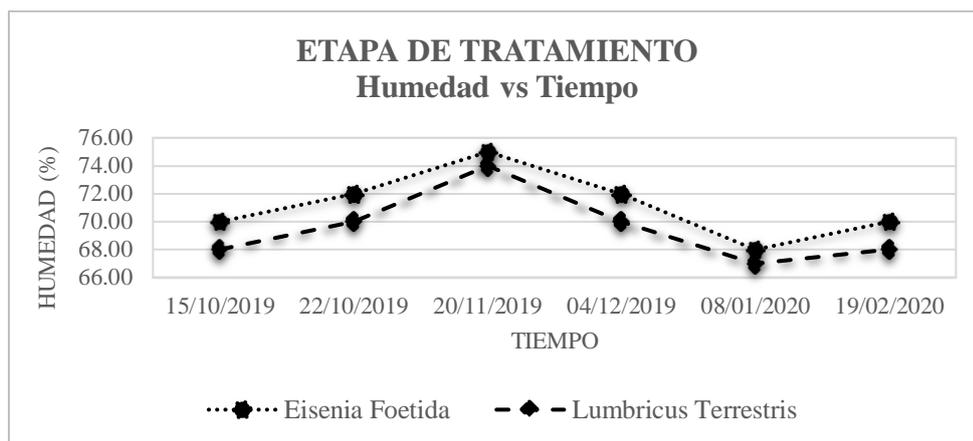
Tabla 27

Porcentaje de humedad en el tratamiento de los filtros percoladores

FECHA	Tanque N°01- E.F		Tanque N°02- L.T	
	Cant.Agua (ml)	Humedad (%)	Cant.Agua (ml)	Humedad (%)
15/10/2019	0.35	70.00	0.34	68.00
22/10/2019	0.36	72.00	0.35	70.00
20/11/2019	0.38	75.00	0.37	74.00
04/12/2019	0.36	72.00	0.35	70.00
08/01/2020	0.34	68.00	0.34	67.00
19/02/2020	0.35	70.00	0.34	68.00

Figura 21

Humedad (%) con respecto al tiempo en la etapa de tratamiento



En la tabla 27 se observa que el valor mínimo de humedad (%) en el filtro percolador con *Eisenia foetida* es de 68% y el valor máximo es de 75%, en el filtro percolador con la especie de *Lumbricus terrestris* el valor mínimo es de 67% y la humedad más alta es de 74%.

4.4.4. Resultados de pH

➤ Tratamiento del filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

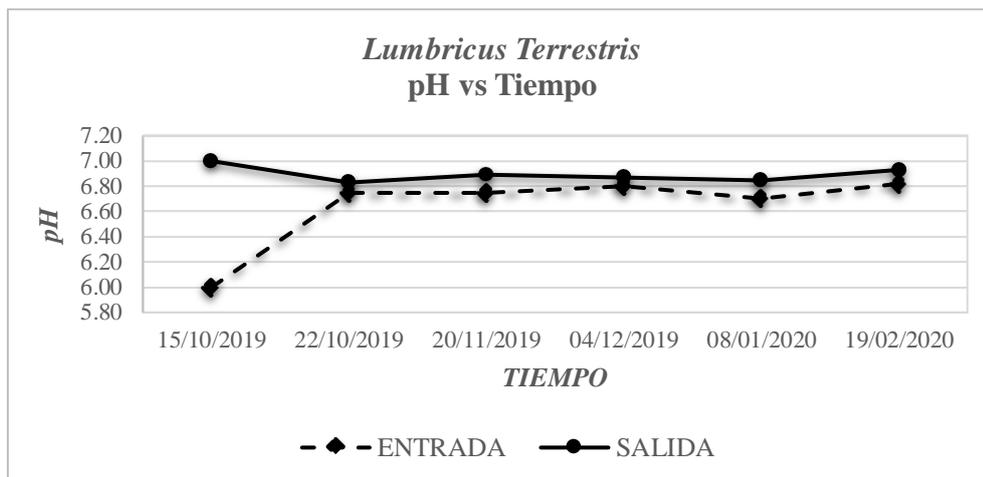
Tabla 28

pH medido en el filtro percolador con *Lumbricus Terrestris* en el tratamiento

FECHA	pH	
	ENTRADA	SALIDA
15/10/2019	6.00	7.00
22/10/2019	6.75	6.83
20/11/2019	6.75	6.89
04/12/2019	6.80	6.87
08/01/2020	6.70	6.85
19/02/2020	6.82	6.93

Figura 22

pH vs tiempo en la etapa de tratamiento



Se observa en la tabla 28, que el pH del agua residual en la entrada es menor que la salida, esto debido a que el pH se estabiliza en el filtro percolador. El valor mínimo del pH en la entrada es de 6.00 y el valor máximo de 6.82, en las fechas del 15 de octubre y 19 de febrero respectivamente, en la salida el valor mínimo de pH es de 6.83 que se dio en la fecha del 22 de octubre y el 15 de octubre se obtuvo el máximo valor de 7.00.

➤ **Tratamiento del filtro percolador con *Eisenia foetida***

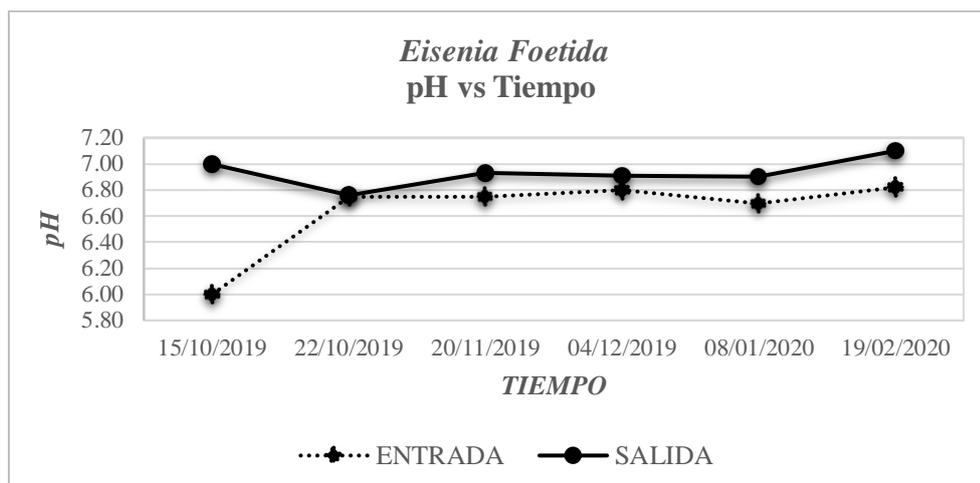
Tabla 29

pH medido en el filtro percolador con Eisenia foetida en el tratamiento

FECHA	pH	
	ENTRADA	SALIDA
15/10/2019	6.00	7.00
22/10/2019	6.75	6.76
20/11/2019	6.75	6.93
04/12/2019	6.80	6.91
08/01/2020	6.70	6.90
19/02/2020	6.82	7.10

Figura 23

pH vs tiempo en la etapa de tratamiento



Se observa en la tabla 29, que el pH del agua residual en la entrada es menor que la salida, esto debido a que el pH se estabiliza en el filtro percolador. El valor mínimo del pH en la entrada es de 6.00 y el valor máximo de 6.82, en las fechas del 15 de octubre y 19 de febrero respectivamente, en la salida el valor mínimo de pH es de 6.76 que se dio en la fecha del 22 de octubre y el 19 de febrero se obtuvo el máximo valor de 7.10.

4.4.5. Resultados del tiempo de retención hidráulico (TRH)

- Filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*
 - TRH medido en campo

Tabla 30

TRH medidos en el tratamiento

FECHA	E.F	L.T
	TRH (min)	TRH (min)
15/10/2019	13.00	11.00
22/10/2019	11.00	9.00
20/11/2019	12.00	12.00
04/12/2019	11.00	10.00
08/01/2020	10.00	9.00

▪ TRH teórico

Para la determinación del TRH teórico se tomó como referencia a (Manrique Delgado & Piñeros Casteñeda, 2016), donde se implementó un sistema de depuración biológica con lombrices a escala real, en la cual establece el cálculo del tiempo de retención mediante la siguiente expresión.

$$TRH = \frac{C' \times A_v^m \times D}{Q^n}$$

Donde:

C' = constante, 0.70

A_v = Área superficial (m²)

m = exponente, 0.75

Q = caudal m³/h

n = exponente, 0.33

D = Profundidad útil del filtro (m)

$$TRH = \frac{0.70 \times 0.36^{0.75} \times 0.57}{0.0125^{0.33}}$$

$$TRH = 47 \text{ min}$$

4.4.6. Resultados del análisis del laboratorio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO)

➤ Filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

▪ Mes N°01 – octubre

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

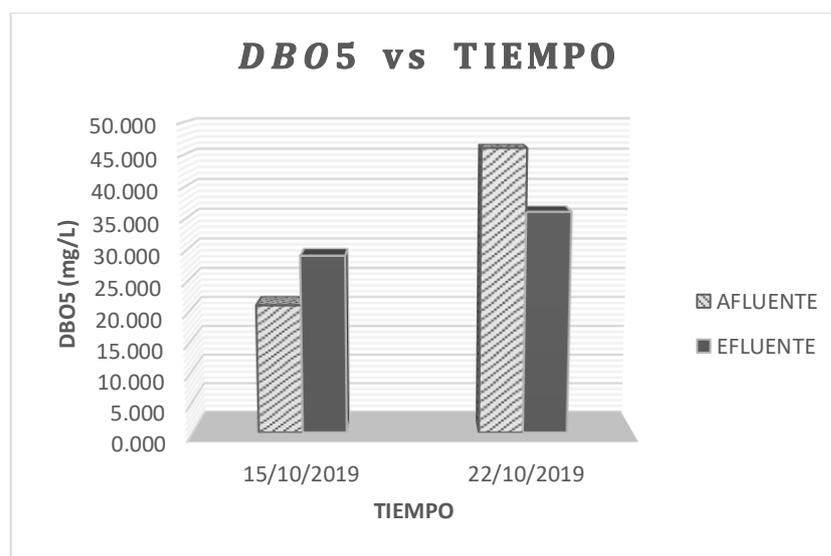
Tabla 31

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al primer mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/10/2019	21.000	29.000	0.00
22/10/2019	46.000	36.000	21.74

Figura 24

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de octubre



En la figura 24 observamos el comportamiento de la DBO5, respecto al primer mes de octubre, donde en la primera fecha de muestreo no existe disminución de la concentración de la DBO5, sin embargo, en el segundo muestreo observamos una concentración en el afluente de 46 mg/l y en el efluente de 36 mg/l, habiendo una remoción de 21.74% de DBO5.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

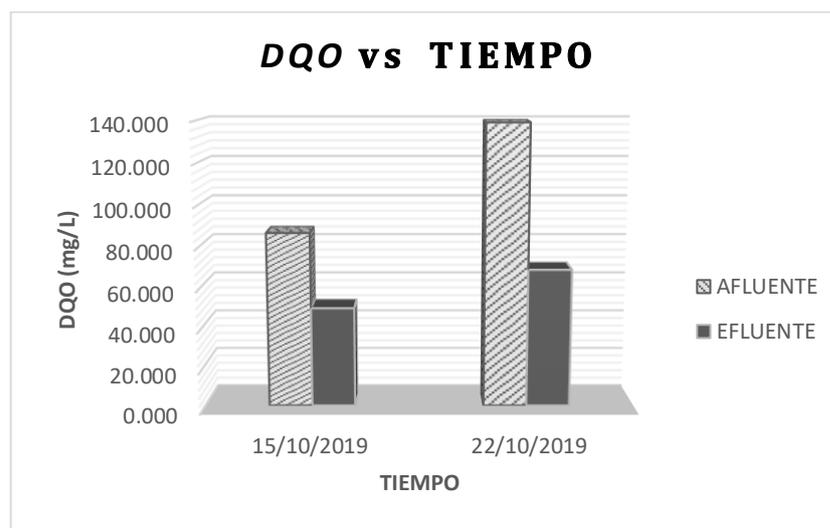
Tabla 32

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al primer mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/10/2019	86.000	49.000	43.02
22/10/2019	139.000	68.000	51.08

Figura 25

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de octubre



En la tabla 32 observamos una remoción de DQO de 43.02%, donde en el afluente se obtuvo una concentración de DQO de 86 mg/l y en el efluente la concentración fue de 49 mg/l esto realizado el 15 de octubre, asimismo observamos que en la muestra realizada el 22 de octubre la concentración en el afluente es de 139 mg/l y en el efluente es de 68 mg/l obteniéndose una mayor remoción de 51.08 % de DQO.

▪ **Mes N°02 – noviembre**

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

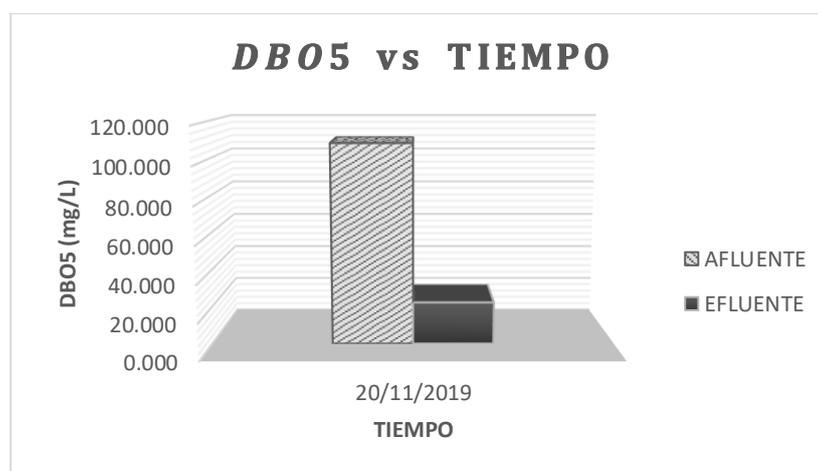
Tabla 33

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al segundo mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
20/11/2019	109.000	23.000	78.90

Figura 26

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de noviembre



En este mes de noviembre podemos observar que el porcentaje de remoción es mayor a comparación del mes anterior, como se muestra en la tabla 33, en el afluente se obtuvo una concentración de 109 mg/l y en el efluente 23 mg/l, reduciendo 86 mg/l del cual se obtiene una remoción de 78.90% de la DBO5.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

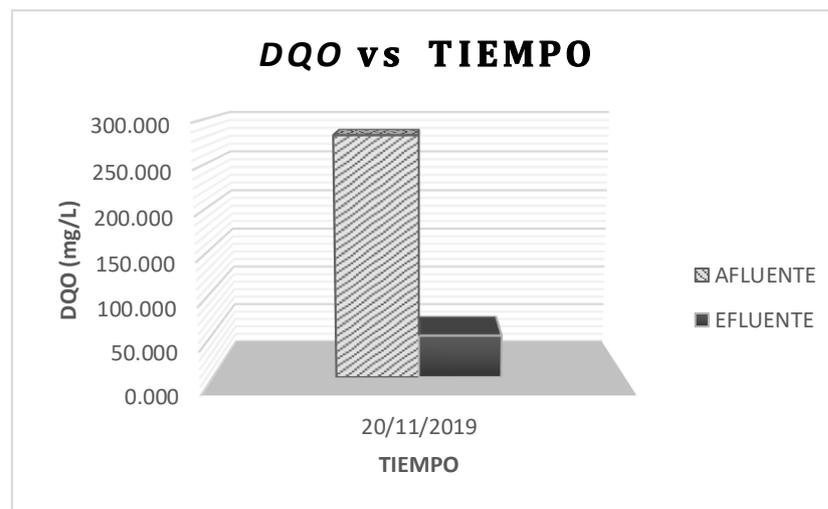
Tabla 34

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al segundo mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
20/11/2019	282.000	50.000	82.27

Figura 27

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de noviembre



En la tabla 34 observamos la concentración de DQO en el afluente es de 282 mg/l y en el efluente la concentración es de 50 mg/l, obteniéndose una remoción de 82.27% en el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* en este mes.

▪ **Mes N°03 – diciembre**

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

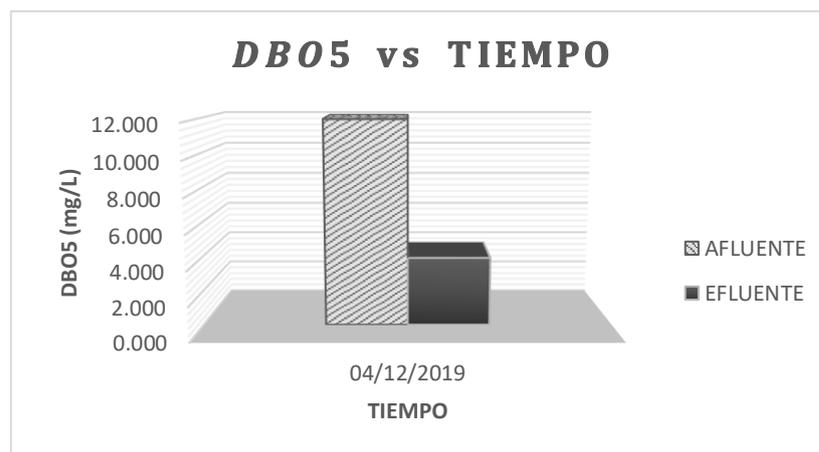
Tabla 35

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al tercer mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
04/12/2019	12.000	4.000	66.67

Figura 28

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de diciembre



En la tabla 35 se puede observar que la remoción de la DBO5 es de 66.67%, dado a que en el afluente se tiene una concentración de DBO5 de 12 mg/l y en el efluente la concentración es de 4 mg/l.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

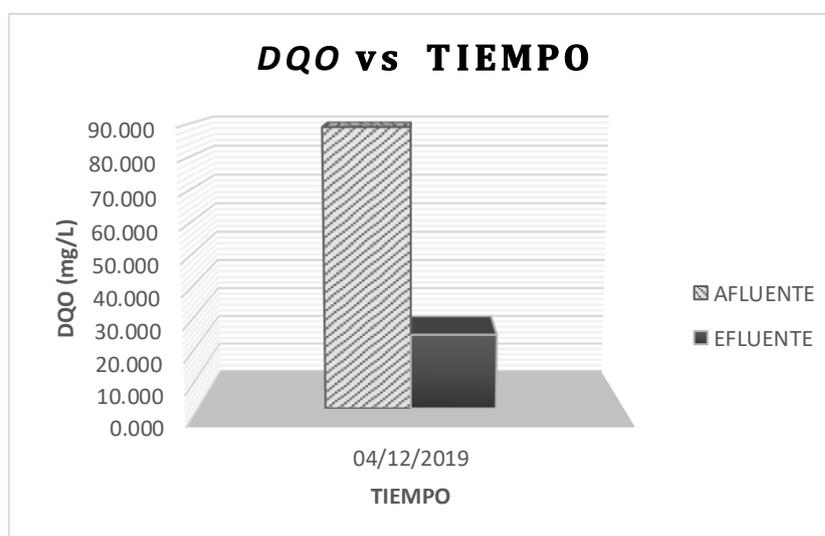
Tabla 36

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al tercer mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
04/12/2019	89.000	24.000	73.03

Figura 29

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de diciembre



Observamos que en el mes de diciembre se obtuvo una remoción de 73.03%, esto dado a que hubo una disminución de 65 mg/l, siendo la concentración en el afluente de 89 mg/l y en el efluente de 24 mg/l.

- **Mes N°04 – enero**
 - **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

Tabla 37

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al cuarto mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
08/01/2020	102.000	79.000	22.55

Figura 30

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de enero



En la tabla 37 se puede observar que la remoción de la DBO5 es de 22.55%, dado a que en el afluente se tiene una concentración de DBO5 de 102 mg/l y en el efluente la concentración es de 79 mg/l.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

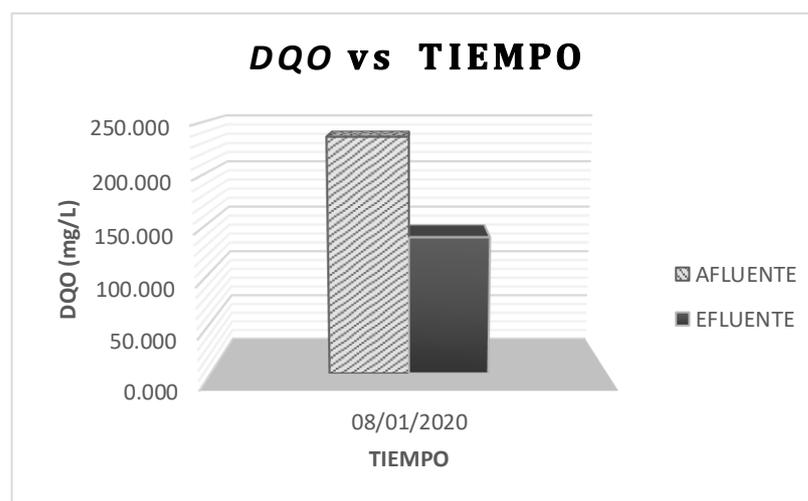
Tabla 38

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al cuarto mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
08/01/2020	236.000	138.000	41.53

Figura 31

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de enero



En la tabla 38 observamos que en el mes de enero se obtuvo una remoción de 41.53%, esto dado a que hubo una disminución de 98 mg/l, siendo la concentración en el afluente de 236 mg/l y en el efluente de 138 mg/l.

- **Mes N°05 – febrero**
 - **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

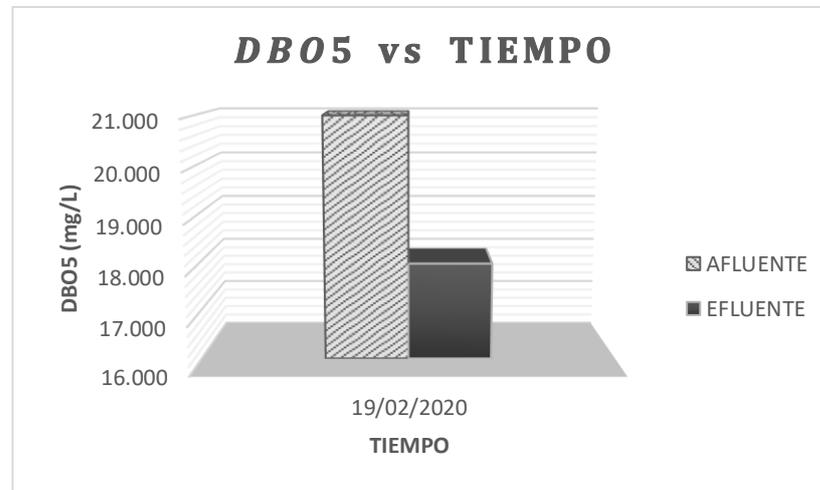
Tabla 39

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al quinto mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
19/02/2020	21.000	18.000	14.29

Figura 32

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de febrero



En la figura 32 encontramos que en el afluente la concentración de la DBO5 es de 21 mg/l y en el efluente la concentración es de 18 mg/l, obteniéndose una remoción del 14.29 % para el mes de febrero.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

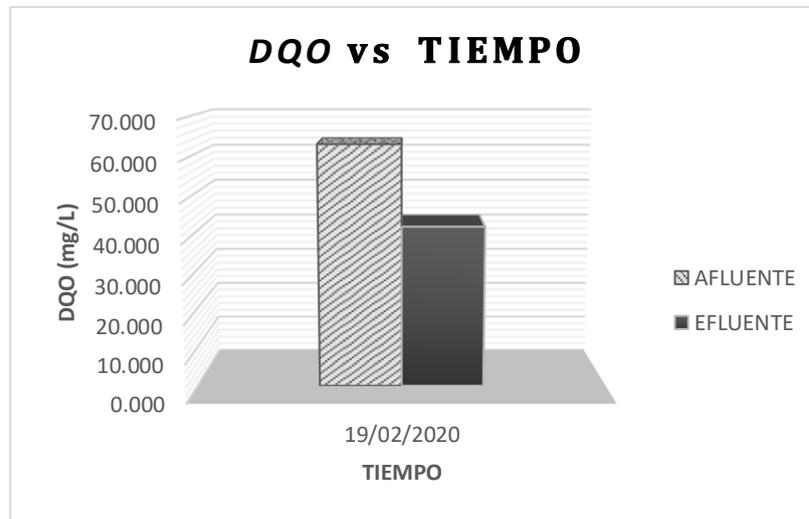
Tabla 40

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al quinto mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
19/02/2020	63.000	42.000	33.33

Figura 33

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de febrero



En la tabla 40 observamos que en el mes de febrero se obtuvo una remoción de la demanda química de oxígeno de 33.33%, esto dado a que hubo una disminución de 21 mg/l, siendo la concentración en el afluente de 63 mg/l y en el efluente de 42 mg/l.

➤ **Filtro percolador con *Eisenia foetida***

▪ **Mes N°01 – octubre**

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

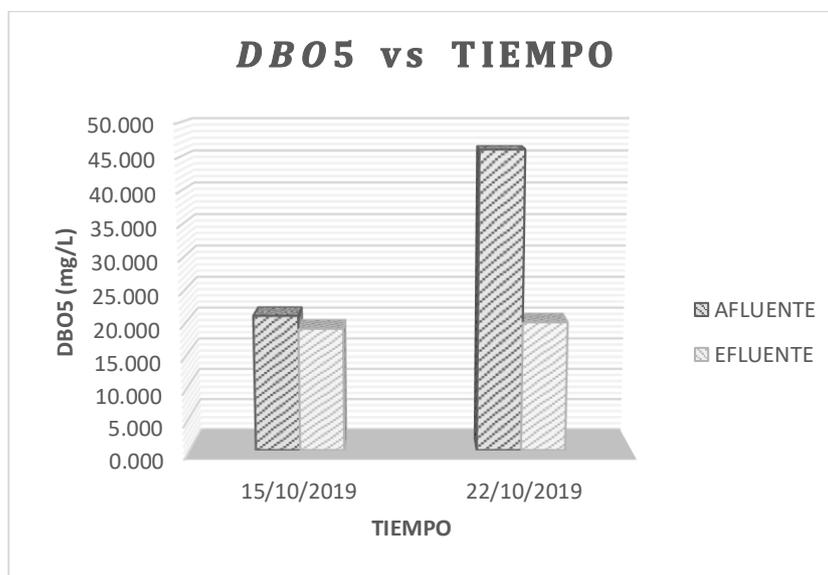
Tabla 41

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al primer mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/10/2019	21.000	19.000	9.52
22/10/2019	46.000	20.000	56.52

Figura 34

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de octubre



En la tabla 41 observamos el comportamiento de la DBO5, respecto al primer mes de octubre, donde en la primera fecha se tiene una remoción de 9.52% de la DBO5, en el segundo muestreo observamos aumento en la remoción de la DBO5 obteniéndose 56.52%, esto dado a que la concentración en el afluente es de 46 mg/l y en el efluente de 20 mg/l.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

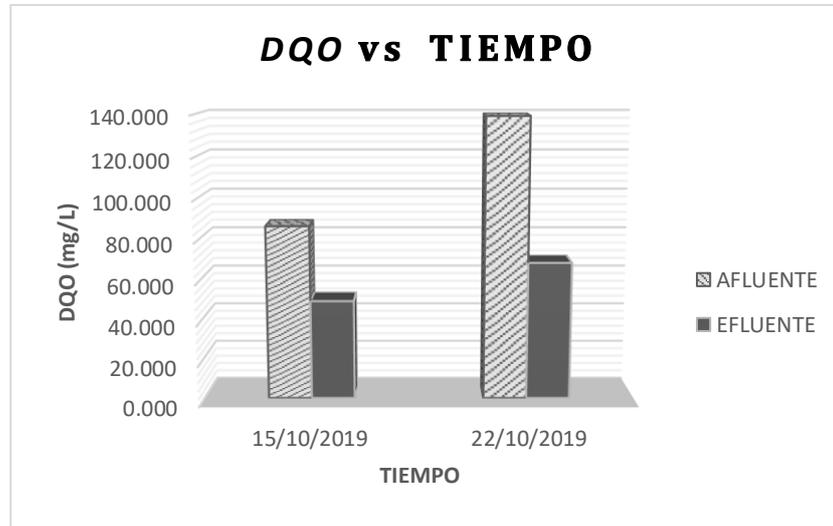
Tabla 42

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al primer mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
15/10/2019	86.000	57.000	33.72
22/10/2019	139.000	54.000	61.15

Figura 35

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de octubre



En la tabla 42 observamos una remoción de DQO de 33.72%, donde en el afluente se obtuvo una concentración de DQO de 86 mg/l y en el efluente la concentración fue de 57 mg/l esto realizado el 15 de octubre, asimismo observamos que en la muestra realizada el 22 de octubre la concentración en el afluente es de 139 mg/l y en el efluente es de 54 mg/l obteniéndose una mayor remoción de 61.15 % de DQO.

▪ **Mes N°02 – noviembre**

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

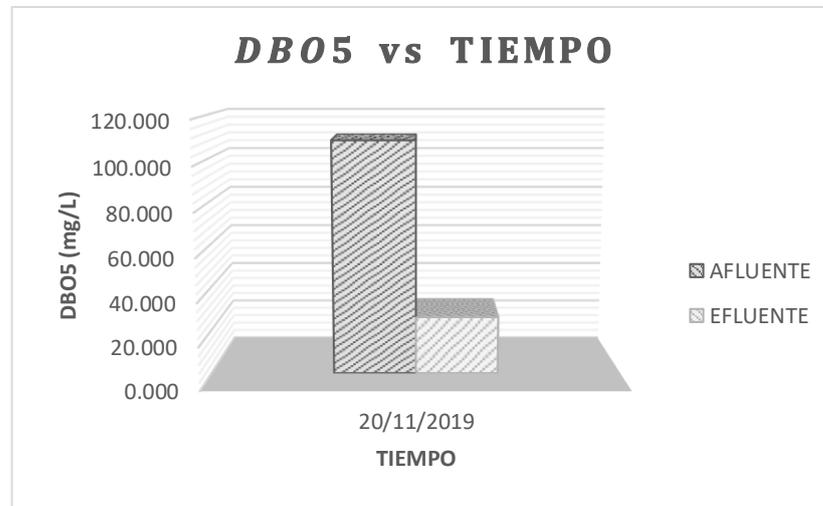
Tabla 43

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al segundo mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
20/11/2019	109.000	27.000	75.23

Figura 36

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de noviembre



En este mes de noviembre podemos observar que el porcentaje de remoción es mayor a comparación del mes anterior, como se muestra en la tabla 43, en el afluente se obtuvo una concentración de 109 mg/l y en el efluente 27 mg/l, reduciendo 82 mg/l del cual se obtiene una remoción de 75.23% de la DBO5.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

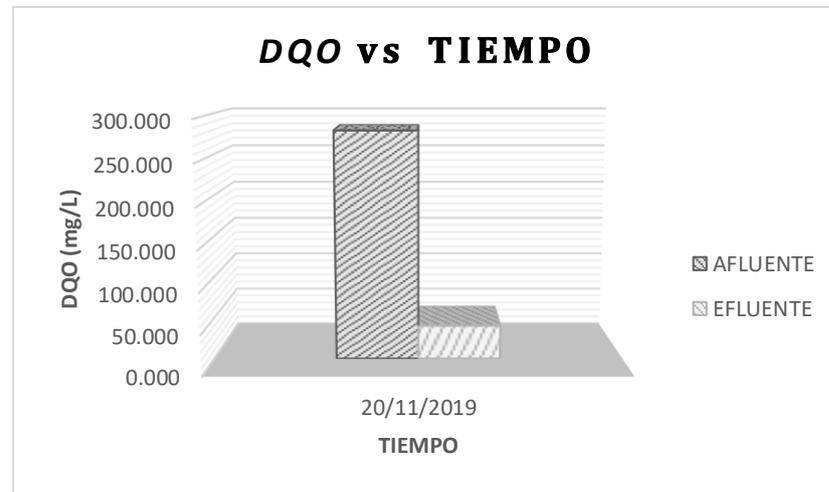
Tabla 44

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al segundo mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
20/11/2019	282.000	42.000	85.11

Figura 37

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de noviembre



En la tabla 44 observamos la concentración de DQO en el afluente es de 282 mg/l y en el efluente la concentración es de 42 mg/l, por lo tanto, existe una disminución de 240 mg/l, obteniéndose una remoción de 85.11% en el filtro percolador con *Eisenia foetida* en este mes.

▪ **Mes N°03 – diciembre**

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

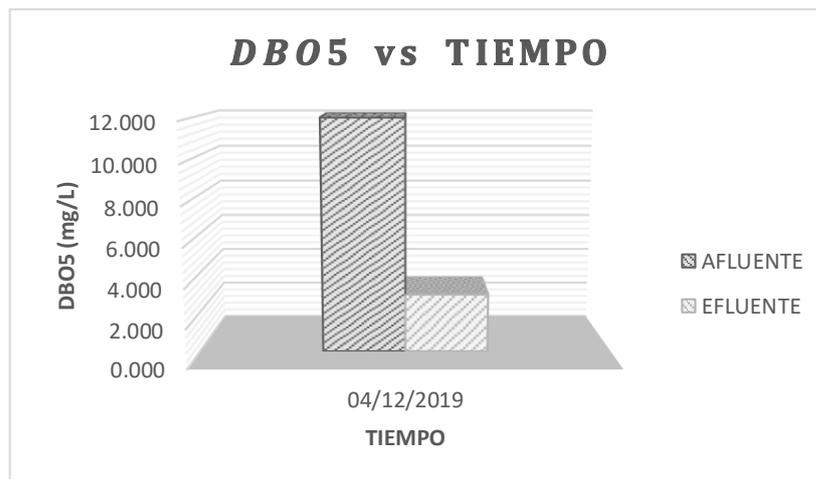
Tabla 45

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al tercer mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
04/12/2019	12.000	3.000	75.000

Figura 38

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de diciembre



En la tabla 45 se puede observar que la remoción de la DBO5 es de 75%, dado a que en el afluente se tiene una concentración de DBO5 de 12 mg/l y en el efluente la concentración es de 3 mg/l.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

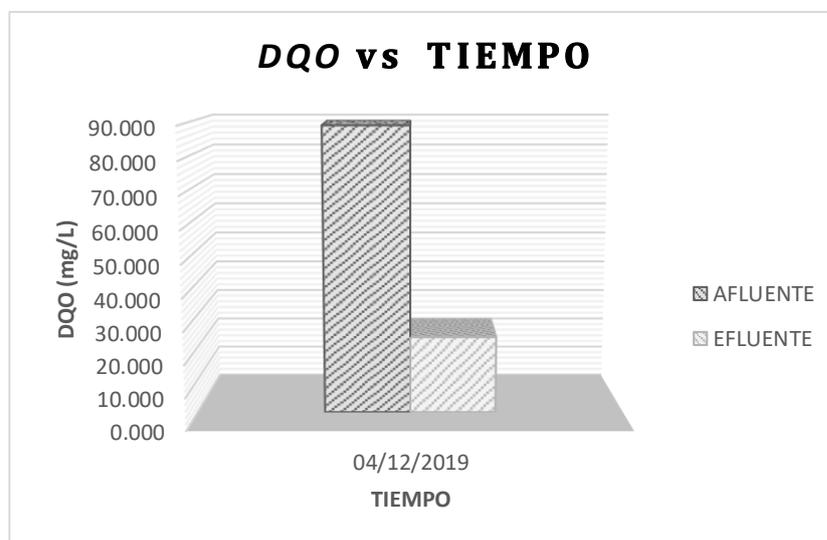
Tabla 46

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al tercer mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
04/12/2019	89.000	24.000	73.03

Figura 39

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de diciembre



Observamos que en el mes de diciembre se obtuvo una remoción de 73.03%, esto dado a que hubo una disminución de 65 mg/l, siendo la concentración en el afluente de 89 mg/l y en el efluente de 24 mg/l.

- **Mes N°04 – enero**
 - **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

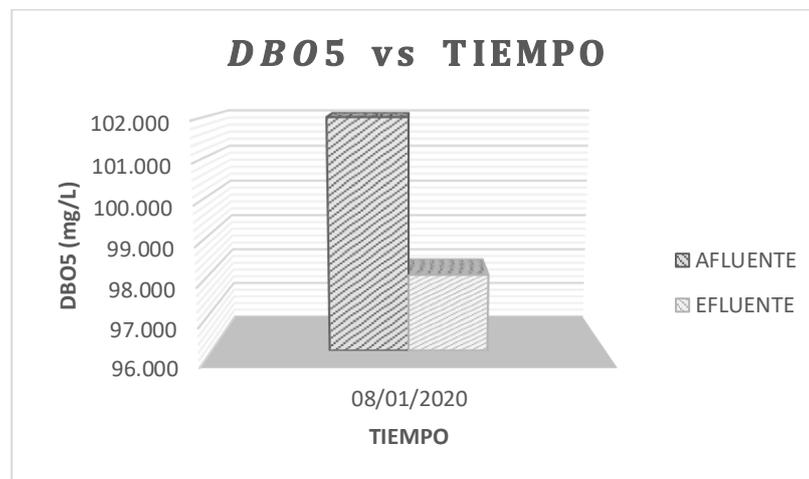
Tabla 47

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al cuarto mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
08/01/2020	102.000	98.000	3.92

Figura 40

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de enero



En la tabla 47 se puede observar que en el afluente se tiene una concentración de DBO5 de 102 mg/l y en el efluente la concentración es de 98 mg/l.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

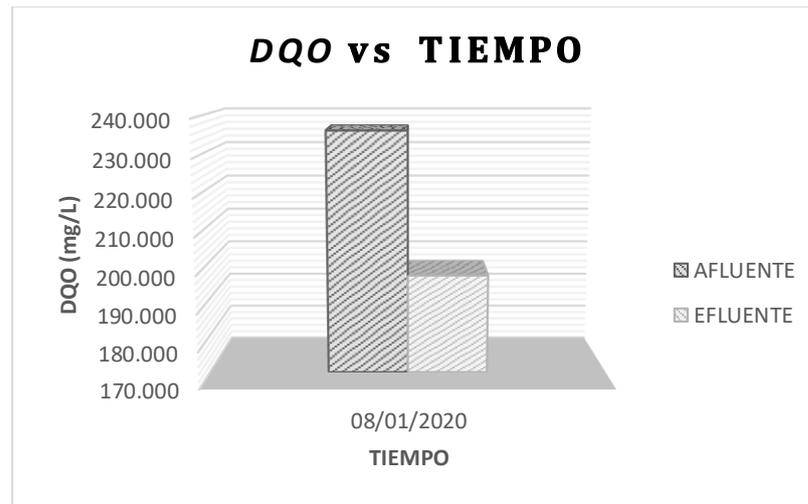
Tabla 48

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al cuarto mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
08/01/2020	236.000	197.000	16.53

Figura 8

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de enero



En la tabla 48 observamos que en el mes de enero se obtuvo una remoción de 16.53%, esto dado a que hubo una disminución de 39 mg/l, siendo la concentración en el afluente de 236 mg/l y en el efluente de 197 mg/l.

- **Mes N°05 – febrero**
 - **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

Tabla 49

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al quinto mes

FECHA	DBO5 (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
19/02/2020	21.000	18.000	14.29

Figura 42

Comportamiento de la DBO5 (mg/l) con respecto al mes de febrero



En la tabla 49 tenemos los resultados obtenidos en el mes de febrero, en el afluente la concentración de la DBO5 es de 21 mg/l y en el efluente la concentración es de 18 mg/l, obteniéndose una remoción del 14.29 % para el tanque con Eisenia foetida.

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

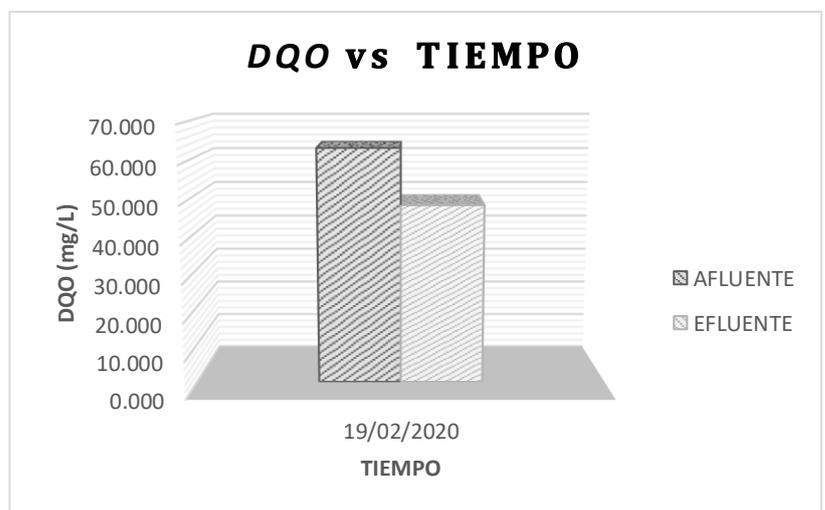
Tabla 50

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al quinto mes

FECHA	DQO (mg/l)		% de Remoción
	AFLUENTE	EFLUENTE	
19/02/2020	63.000	48.000	23.81

Figura 43

Comportamiento de la DQO (mg/l) con respecto al mes de febrero



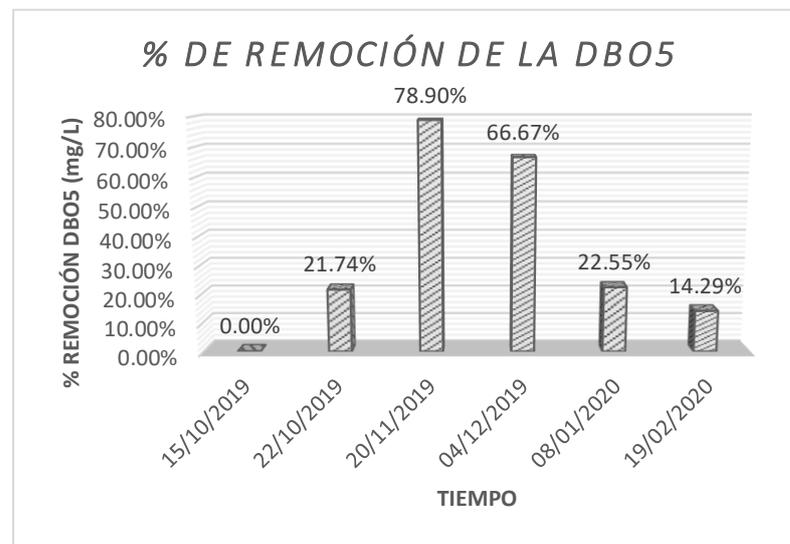
En la tabla 50 observamos que en el mes de febrero se obtuvo una remoción de la demanda química de oxígeno de 23.81%, esto dado a que hubo una disminución de 15 mg/l, siendo la concentración en el afluente de 63 mg/l y en el efluente de 48 mg/l.

4.4.7. Resultados de las eficiencias de remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

➤ Filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

Figura 44

Porcentajes de remociones de la DBO5 en el filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

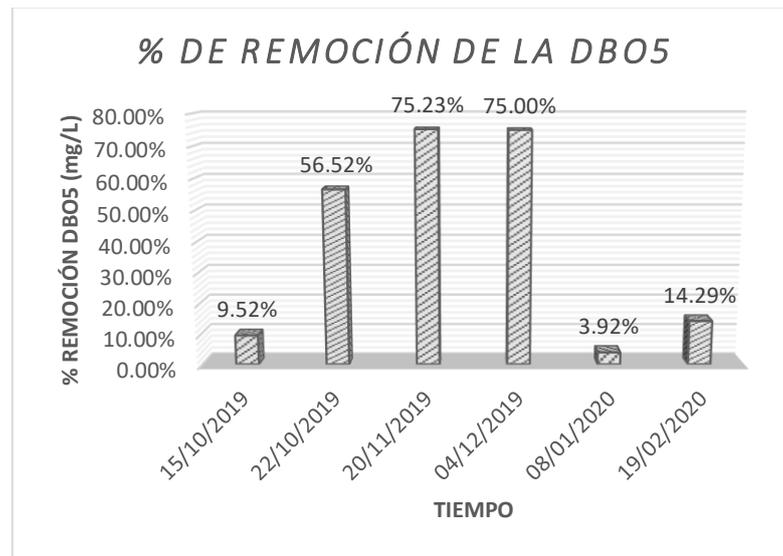


En la figura 44 observamos los porcentajes de remociones de la DBO5 obtenidos en filtro percolador con *Lumbricus terrestris*, donde encontramos que en el primer mes no existió ninguna remoción, sin embargo, el máximo valor obtenido durante todo el periodo de monitoreo fue 78.90% en el mes de noviembre.

➤ **Filtro percolador con *Eisenia foetida***

Figura 45

Porcentajes de remociones de la DBO5 en el filtro percolador con Eisenia foetida

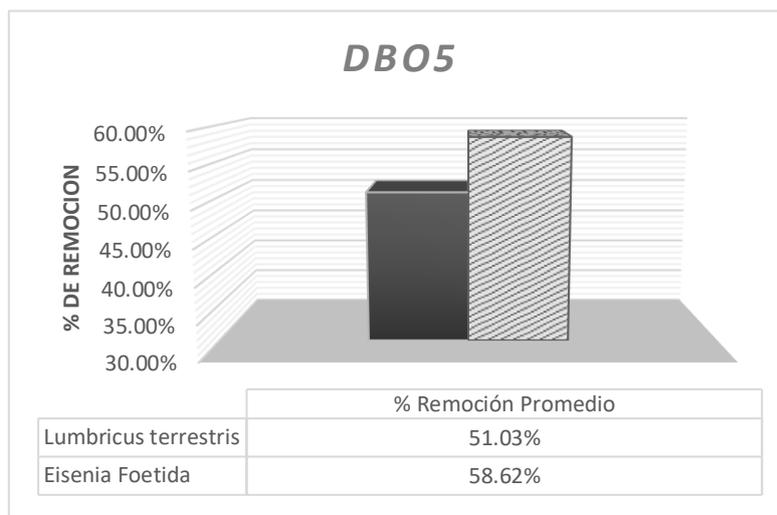


En la figura 45 se observa los porcentajes de remociones obtenidos durante el periodo de monitoreo, donde encontramos que el porcentaje mínimo de remoción en el filtro percolador con *Eisenia foetida* fue en el mes de enero con 3.92%, y el máximo porcentaje de remoción obtenido fue de 75.23% en el mes de noviembre.

➤ **Comparación de la remoción de la DBO5 en los filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris***

Figura 46

Eficiencias de remoción promedio de la DBO5



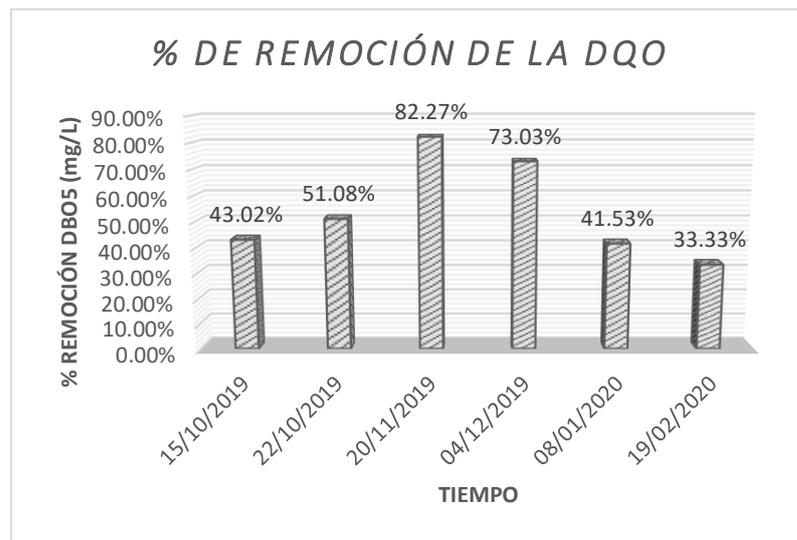
En la figura 46 podemos observar las eficiencias de remoción promedio de la DBO5 para cada filtro percolador, donde ambos filtros sobrepasan más del 50% de remoción, el filtro percolador con Eisenia foetida tiene mayor porcentaje de remoción con un valor de 58.62%, mientras que el filtro percolador con Lumbricus terrestris alcanzo un porcentaje de remoción promedio de 51.03%, teniéndose una diferencia de 7.59%.

4.4.8. Resultados de las eficiencias de remoción de la Demanda química de oxígeno (DQO)

➤ Filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*

Figura 47

Porcentajes de remociones de la DQO en el filtro percolador con Lumbricus Terrestris

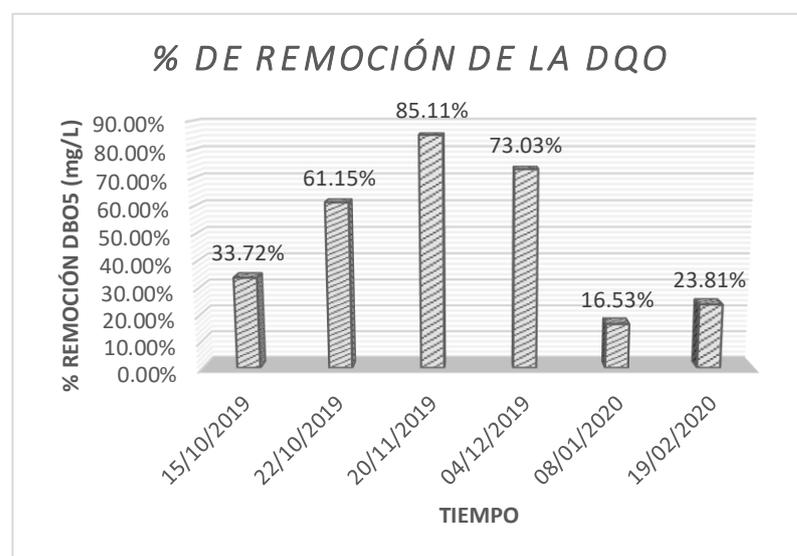


En la figura 47 observamos los porcentajes de remociones de la DQO obtenidos en filtro percolador con *Lumbricus terrestris*, durante el periodo de monitoreo tenemos que en los dos últimos meses disminuyó el porcentaje de remoción, obteniéndose el mínimo valor en el mes de febrero con 33.33%, la remoción más alta fue de 82.27% en el mes de noviembre.

➤ **Filtro percolador con *Eisenia foetida***

Figura 48

Porcentajes de remociones de la DQO en el filtro percolador con Eisenia foetida

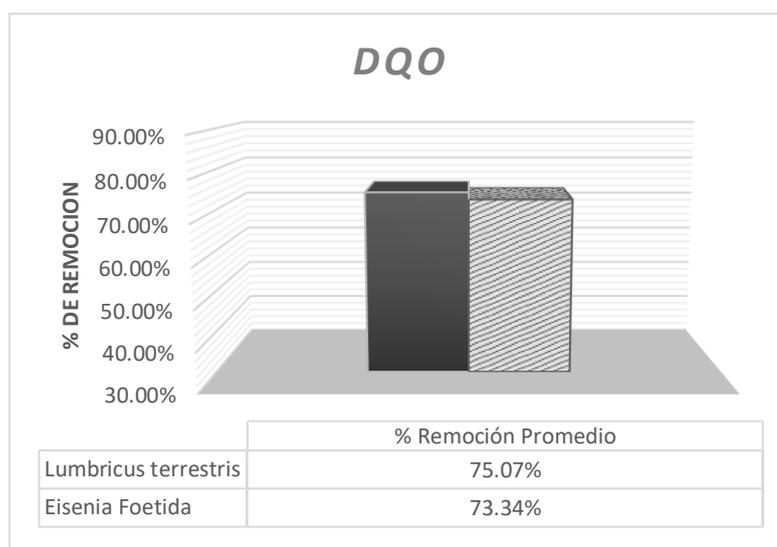


En la figura 48 se observa los porcentajes de remociones obtenidos durante el periodo de monitoreo, donde encontramos que el porcentaje mínimo de remoción en el filtro percolador con *Eisenia foetida* fue en el mes de enero con 16.53%, y el máximo porcentaje de remoción obtenido fue de 85.11% en el mes de noviembre.

➤ **Comparación de la remoción de la DQO en los filtros percoladores con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris***

Figura 49

Eficiencias de remoción promedio de la DQO



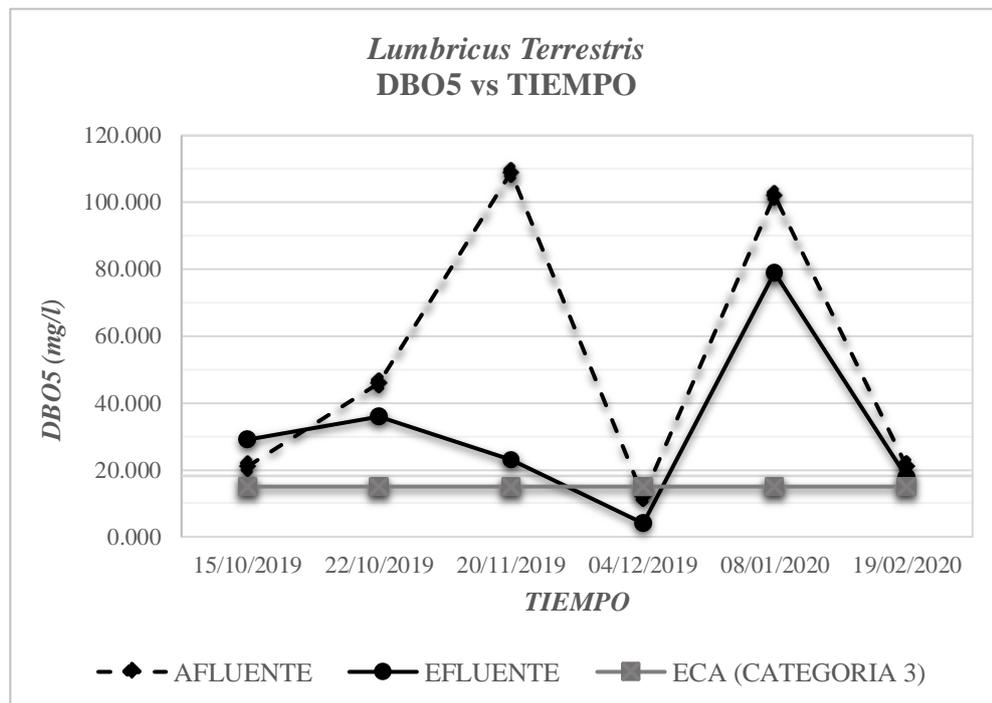
En la figura 49 podemos observar las eficiencias de remoción promedio de la DQO para cada filtro percolador, donde ambos filtros sobrepasan más del 50% de remoción, el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* tiene mayor porcentaje de remoción con un valor de 75.07%, mientras que el filtro percolador con *Eisenia foetida* alcanzó un porcentaje de remoción promedio de 73.34%.

4.4.9. Evaluación de los resultados de la DBO5 Y DQO con respecto al ECA (categoría 3)

- Filtro percolador con *Lumbricus Terrestris*
 - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

Figura 50

Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DBO5

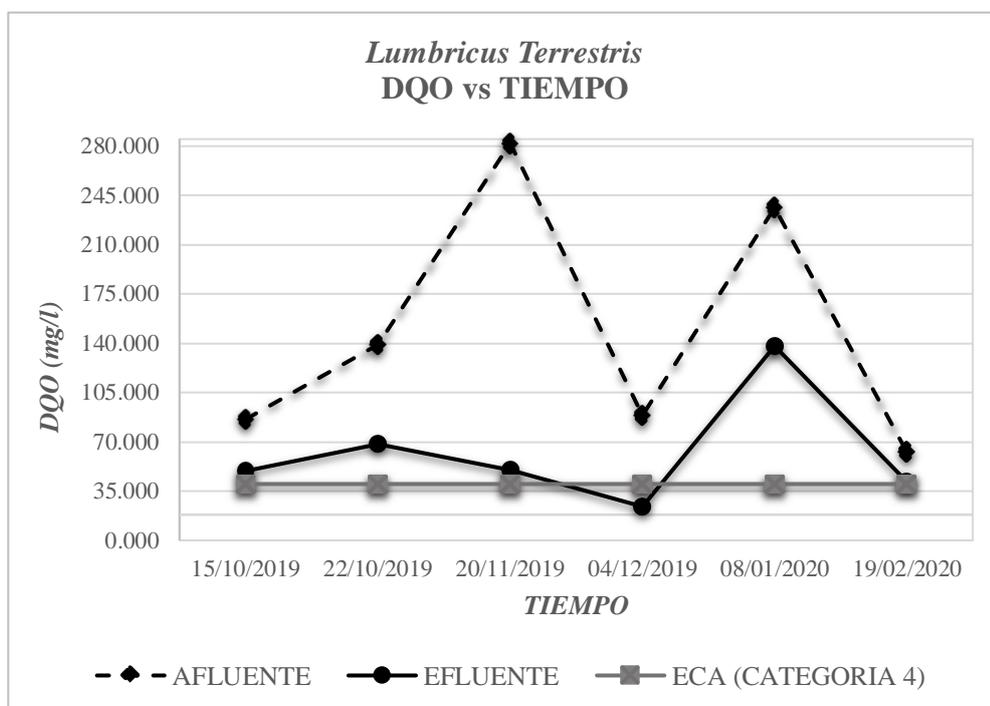


En la figura 50 se realizó la comparación de las concentraciones de la DBO5 del efluente en el filtro percolador con *Lumbricus terrestris*, durante todo el periodo de monitoreo, con los estándares de calidad ambiental (Categoría 3), donde establece que la concentración de la DBO5 debe ser menor o igual a 15 mg/l (Anexo 2), observamos que esto solo se cumplió en el mes de diciembre, las otras muestras restantes sobrepasaron los límites que establece el ECA (Categoría 3).

- Demanda química de oxígeno (DQO)

Figura 51

Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DQO

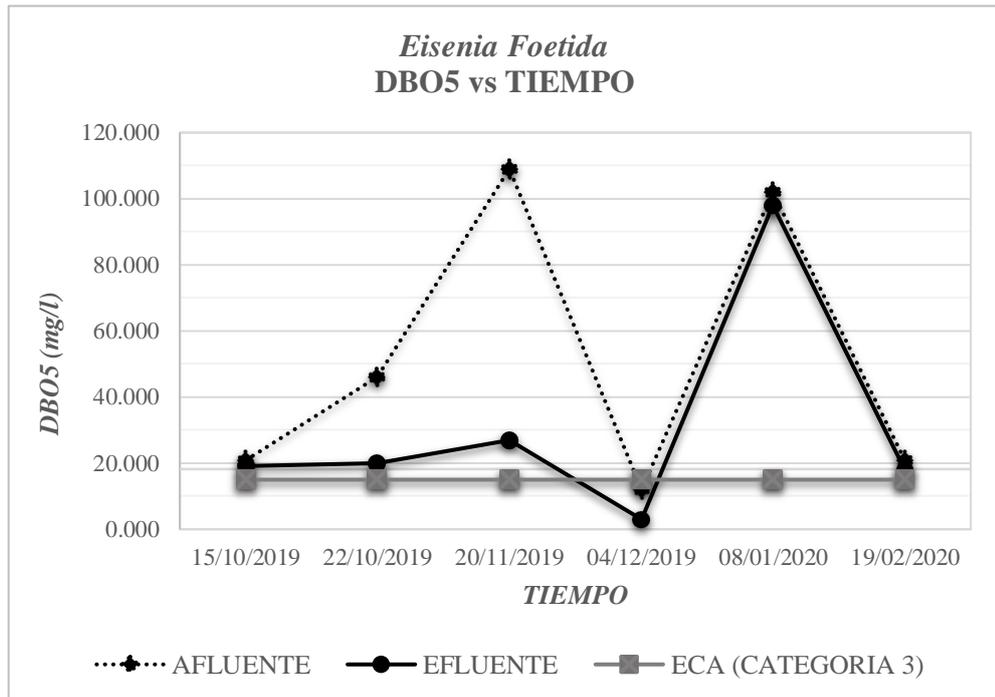


En la figura 51 se realizó la comparación de las concentraciones de la DQO del efluente en el filtro percolador con *Lumbricus terrestris*, durante todo el periodo de monitoreo, con los estándares de calidad ambiental (Categoría 3), donde establece que la concentración de la DQO debe ser menor o igual a 40 mg/l (Anexo 2), observamos que esto solo se cumplió en el mes de diciembre, las otras muestras restantes sobrepasaron los límites que establece el ECA (Categoría 3).

- **Filtro percolador con *Eisenia Foetida***
 - **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

Figura 52

Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DBO5

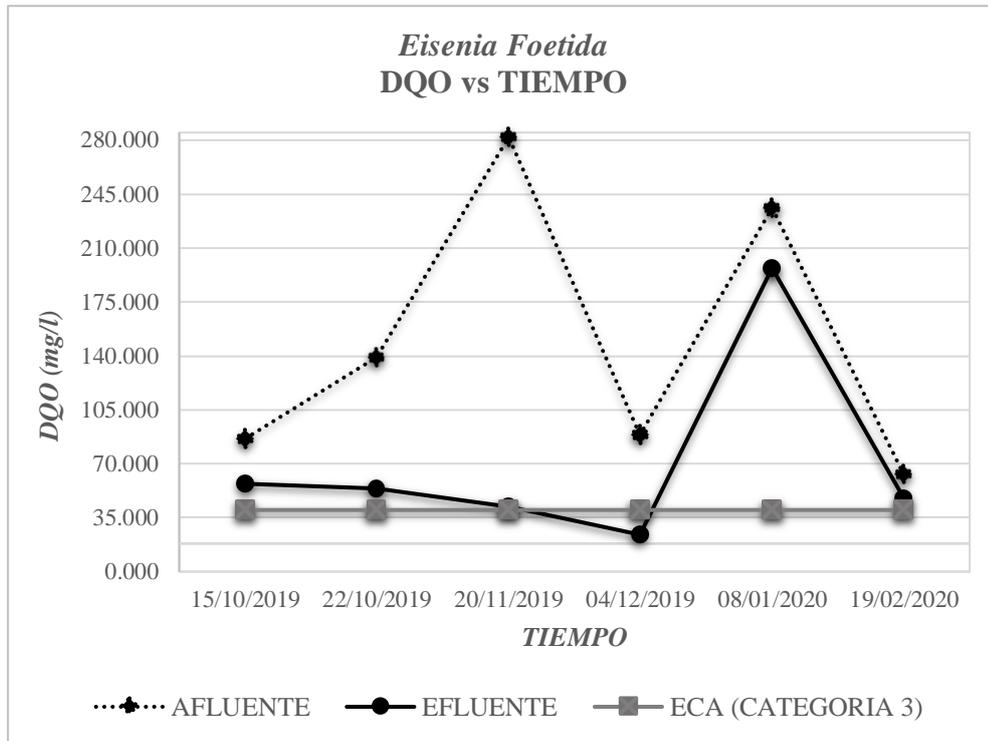


En la figura 52 observamos la comparación de las concentraciones de la DBO5 del efluente en el filtro percolador con *Eisenia foetida*, durante todo el periodo de monitoreo, con los estándares de calidad ambiental (Categoría 3), este indica que la concentración de la DBO5 debe ser menor o igual a 15 mg/l (Anexo 2), solo existe un muestreo que cumple con esta condición que se dio en el mes de diciembre, sin embargo, las otras muestras analizadas sobrepasan los límites del ECA (Categoría 3).

- Demanda química de oxígeno (DQO)

Figura 53

Comparación del ECA (categoría 3) con el parámetro de la DQO



En la figura 53 observamos la comparación de las concentraciones de la DQO del efluente en el filtro percolador con *Eisenia foetida*, durante todo el periodo de monitoreo, con los estándares de calidad ambiental (Categoría 3), este indica que la concentración de la DQO debe ser menor o igual a 40 mg/l (Anexo 2), solo existe un muestreo que cumple con esta condición y este es el mes de diciembre, mientras que las demás muestras analizadas no cumplen con el ECA (Categoría 3) dado a que sobrepasan los límites establecidos.

4.4.10. Resultado del análisis de la constante de asimilación

Analizaremos la constante de asimilación de la lombriz con el aserrín (k_{LLT} y k_{LEF}), para ello determinaremos la constante de asimilación total de cada filtro (k_{fT2} y k_{fT1}) y la constante de asimilación de la grava (k_g), utilizando la ecuación Eckenfelder, en donde relaciona la disminución de la DBO5 y DQO con la profundidad del filtro y características del medio filtrante, como se muestra en la siguiente expresión:

$$\frac{S_e}{S_o} = e^{-\frac{kD}{L^n}}$$

Donde:

S_e = Concentración del efluente (mg/l)

S_o = Concentración del afluente (mg/l)

D = Profundidad del filtro (m)

L = Tasa o velocidad de Percolación (m³/m².s)

n = Constante específica del medio filtrante (0.33)

k = constante de asimilación o de (d^{-1})

Para obtener la constante de asimilación de cada lombriz se utilizará la siguiente ecuación:

$$k_L = k_f - k_g$$

➤ Constante de asimilación de los filtros percoladores

Tabla 51

Constante de asimilación del filtro percolador con Lumbricus Terrestris

TIEMPO (t)	DBO5 (mg/l)		k_{DBO5} $\frac{S_e}{S_o} = e^{-kt}$	DQO (mg/l)		k_{DQO} $\frac{S_e}{S_o} = e^{-kt}$	k_{fT2}
	AFLUENTE (S_o)	EFLUENTE (S_e)		AFLUENTE (S_o)	EFLUENTE (S_e)		
1.00	21.000	29.000	0.000	86.000	49.000	0.563	0.088
7.00	46.000	36.000	0.035	139.000	68.000	0.102	
29.00	109.000	23.000	0.054	282.000	50.000	0.060	
14.00	12.000	4.000	0.078	89.000	24.000	0.094	
35.00	102.000	79.000	0.007	236.000	138.000	0.015	
42.00	21.000	18.000	0.004	63.000	42.000	0.010	
			0.036			0.140	

Donde $k_{fT2} = 0.088 d^{-1}$

Tabla 52

Constante de asimilación del filtro percolador con *Eisenia foetida*

TIEMPO (t)	DBO5 (mg/l)		k_{DBO5}	DQO (mg/l)		k_{DQO}	k_{fT1}
	AFLUENTE (So)	EFLUENTE (Se)	$\frac{S_e}{S_o} = e^{-kt}$	AFLUENTE (So)	EFLUENTE (Se)	$\frac{S_e}{S_o} = e^{-kt}$	
1.00	21.00	19.00	0.100	86.00	57.00	0.411	0.091
7.00	46.00	20.00	0.119	139.00	54.00	0.135	
29.00	109.00	27.00	0.048	282.00	42.00	0.066	
14.00	12.00	3.00	0.099	89.00	24.00	0.094	
35.00	102.00	98.00	0.001	236.00	197.00	0.005	
42.00	21.00	18.00	0.004	63.00	48.00	0.006	
			0.062			0.120	

Donde $k_{fT1} = 0.091 d^{-1}$

➤ **Constante de asimilación de la grava**

Teniéndose la profundidad del medio filtrante (grava) de 0.47 m, tasa de percolación de 0.83 m³/m².día, constante específica del medio filtrante de 0.33 y concentraciones promedias del afluente y efluente, a partir de la ecuación despejada de Eckenfelder se obtiene la constante de asimilación de la grava (k_g).

$$k_g = \frac{-Ln(\frac{S_e}{S_o}) \times L^n}{D} = 0.036 d^{-1}$$

➤ **Constante de asimilación de las lombrices**

▪ ***Lumbricus terrestris***

$$k_{LLT} = k_{fT2} - k_g = 0.052 d^{-1}$$

▪ ***Eisenia foetida***

$$k_{LEF} = k_{fT1} - k_g = 0.055 d^{-1}$$

Se determinó las constantes de asimilación de las lombrices, donde se obtuvo para la Lumbricus Terrestris un valor de $0.052 d^{-1}$ y para la Eisenia foetida de $0.055 d^{-1}$, observándose que el k_{LEF} es mayor la velocidad de asimilación o degradación de la materia orgánica que el de la Lumbricus terrestris k_{LLT} .

4.4.11. Resultados del análisis estadístico

➤ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

Tabla 53

Eficiencia de los filtros percoladores

FECHA	%Remoción DBO5	
	Eisenia.F	Lumbricus.T
15/10/2019	9.52%	0.00%
22/10/2019	56.52%	21.74%
20/11/2019	75.23%	78.90%
04/12/2019	75.00%	66.67%
08/01/2020	3.92%	22.55%
19/02/2020	14.29%	14.29%

Hi = La remoción de la DBO es más eficiente empleando el filtro percolador con Eisenia Foetida que con Lumbricus Terrestris para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de Tuyururi-2019.

Ho = La remoción de la DBO es más eficiente empleando el filtro percolador con Lumbricus Terrestris que con Eisenia Foetida para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de Tuyururi-2019.

Tabla 54*Prueba T Student para DBO5*

	<i>Eisenia Foetida</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>
Media	58.621	51.035
Varianza	1125.135	981.828
Observaciones	6	6
Coefficiente de correlación de Pearson	0.852	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	0.698	
P(T<=t) una cola	0.258	
Valor crítico de t (una cola)	2.015	
P(T<=t) dos colas	0.516	
Valor crítico de t (dos colas)	2.570	

Observamos que el valor de $P(T \leq t) = 0.516$ es menor que el estadístico t, el cual indica que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_i), confirmándose estadísticamente que el filtro percolador con *Eisenia foetida* tiene mayor remoción de la DBO que el filtro con *Lumbricus terrestris*.

➤ **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Tabla 55*Eficiencia de los filtros percoladores*

FECHA	%Remoción DQO	
	Eisenia.F	Lumbricus.T
15/10/2019	33.72%	43.02%
22/10/2019	61.15%	51.08%
20/11/2019	85.11%	82.27%
04/12/2019	73.03%	73.03%
08/01/2020	16.53%	41.53%
19/02/2020	23.81%	33.33%

Hi = La remoción de la DQO es más eficiente empleando el filtro percolador con *Eisenia Foetida* que con *Lumbricus Terrestris* para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de Tuyururi-2019.

Ho = La remoción de la DQO es más eficiente empleando el filtro percolador con *Lumbricus Terrestris* que con *Eisenia Foetida* para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de Tuyururi-2019.

Tabla 56

Prueba T Student para DQO

	<i>Eisenia Foetida</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>
Media	73.337	75.070
Varianza	790.295	374.636
Observaciones	6	6
Coefficiente de correlación de Pearson	0.932	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	0.225	
P(T<=t) una cola	0.175	
Valor crítico de t (una cola)	2.015	
P(T<=t) dos colas	0.351	
Valor crítico de t (dos colas)	2.571	

Observamos que el valor de $P(T \leq t) = 0.351$ es mayor que el estadístico t, el cual indica que se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alternativa (Hi), podemos decir estadísticamente que el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* tiene mayor remoción de la DQO que el filtro percolador con *Eisenia foetida*.

V. Discusión de resultados

La investigación se centra en la unidad de tratamiento del filtro percolador que tiene por objeto reducir la carga orgánica existente en aguas residuales domésticas o industriales. Consiste en un lecho de piedras u otro medio natural o sintético, sobre el cual se aplican las aguas residuales con el consecuente crecimiento de microorganismos, lamas o películas microbiales sobre el lecho, Según (Romero Rojas, 2000), en la presente investigación el estrato principal fueron las lombrices (*Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*) encargadas de remover la carga orgánica presente en el agua residual.

Durante el proceso de investigación, el filtro percolador con la especie *Eisenia foetida* alcanzo un porcentaje de remoción promedio de la DBO5 de 58.62% y DQO de 73.34%, donde el filtro estuvo sometida a una temperatura promedio de 20.30°C, humedad de 71.20% y pH de 6.64, comparando estos resultados con la investigación realizada por (Castro Mejía, 2016) en la Universidad de Guayaquil, donde obtuvo eficiencias de remoción de la DBO5 y DQO mayores al 89% con un rango de temperaturas de 25°C a 30°C, lo que implica que la temperatura tiene una contribución significativa en la eficiencia de remoción de contaminantes bioquímicos, esto debido a que influye en la actividad de las lombrices dado a que su hábitat ideal para su desarrollo debe tener una temperatura de 25 °C, según (Guzmán Díaz, 2014).

Por otro lado de acuerdo a (Coronel Pazmiño, 2015), en su investigación en la implementación de un biofiltro Toha a escala piloto en la Escuela Superior Politécnica Chimborazo para el tratamiento de aguas residuales domésticas obtuvo eficiencias de remoción de la DQO de 51.69% para un volumen útil del tanque de biofiltración de 0.05655m³, siendo menor en comparación al porcentaje de remoción obtenida en la presente investigación, dado a que nuestro filtro percolador tiene un volumen útil de 0.36m³, por lo

tanto con el incremento de volumen se obtiene mayor eficiencia de remoción de la DQO.

En el filtro percolador con la especie *Lumbricus terrestris* alcanzo un porcentaje de remoción promedio de la DBO5 de 51.03% y DQO de 75.07%, donde se tuvo una temperatura promedio de 20.50°C, humedad de 69.50% y pH de 6.64, de acuerdo con la investigación realizada por (Acuña Marrufo & Reyes Sánchez, 2015) que tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales, de la ciudad de Bagua –Amazonas, 2015. Asegura que la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, fue comparada entre especies teniendo que *Eisenia foetida* obtuvo una remoción promedio del 73%, mientras que la *Lumbricus terrestris* lo hizo en un 63%. Asimismo, de acuerdo a los resultados estadísticos el filtro percolador con *Eisenia foetida* tiene mayor eficiencia de remoción de la DBO5 y el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* tiene mayor eficiencia en la remoción de la DQO.

Los resultados obtenidos en las 2 últimas fechas presentaron eficiencias bajas esto debido a que en la primera fecha no se realizó el mantenimiento correspondiente, es por ello que el porcentaje de remoción es de 3.92% en DBO y en DQO 16.53% para los filtros percoladores con *Eisenia foetida* y de igual forma en el filtro percolador con *Lumbricus terrestris* teniendo valores de remoción de 22.55% de DBO5 y DQO de 41.53%. En la última fecha la poca eficiencia en los filtros percoladores es debido a que la concentración de DBO5 y DQO en el afluente es baja, a causa de la dilución por las lluvias, dado a que muchas viviendas están conectadas el sistema pluvial al sistema de alcantarillado sanitario, también debido al ingreso de las lluvias en la cámara de distribución de caudal N°01.

El tiempo de retención hidráulica teórico obtenido fue de 47 min, mientras que el tiempo de retención promedio medido en campo para ambos filtros percoladores es de 10.8 min, determinado mediante el método de trazadores,

observamos que no existe una variación considerable que afecte el rendimiento de los filtros percoladores, asimismo según (Kayranli & Ugurlu, 2011), la duración de la fase de reacción afecta al rendimiento del proceso puesto que se ha comprobado que a mayor tiempo de reacción mayor es la reducción de materia orgánica razón por la cual se suelen emplear tiempos de reacción largos. Esto se puede relacionar en que se pueden obtener mejores rendimientos de eliminación operando con elevados TRH.

El resultado obtenido en el filtro percolador con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* en el efluente cumplen con límites máximos permisibles (LMP) del Decreto supremo N°003-2010-MINAM, que establece un valor de 100mg/ para la DBO5 y 200 mg/l para la DQO, sin embargo, comparando con el ECA (categoría 3), solo se cumplió en una fecha, que fue el mes de diciembre.

VI. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- El filtro percolador con *Eisenia Foetida* presento una eficiencia promedio de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) del 58.62%, mayor que el filtro percolador con *Lumbricus Terrestris* que obtuvo una eficiencia promedio de remoción de 51.03%.
- El filtro percolador con *Eisenia Foetida* presento una eficiencia promedio de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) del 73.34%, menor que el filtro percolador con *Lumbricus Terrestris* que obtuvo una eficiencia promedio de remoción de 75.07%.
- Se determinó las constantes de asimilación de las lombrices, donde se obtuvo para la *Lumbricus Terrestris* un valor de $0.052 d^{-1}$ y para la *Eisenia foetida* de $0.055 d^{-1}$, observándose que el k_{LEF} es mayor la velocidad de asimilación o degradación de la materia orgánica que el de la *Lumbricus terrestris* k_{LLT} .
- Se Diseñó los filtros percoladores con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*, para un caudal de 0.3 m³/día, área superficial 0.36 m² y tasa de velocidad de percolación de 0.83 m³/m²/día.
- Se construyó a nivel piloto del filtro percolador con *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris* en el centro experimental de Tuyururi, fue de concreto armado de 0.60m x 0.60m cada tanque y 1.05m de profundidad, el cual conto con una cámara de muestreo para el análisis de los parámetros.

6.2. Recomendaciones

- Se sugiere que el sistema de distribución de caudal sea por aspersion para que este sea distribuido uniformemente en todo el filtro percolador, en donde se garantice la constancia del caudal, ya que la humedad depende del mismo, y un aumento brusco o disminución afecta el sistema.
- Se recomienda hacer la evaluación del sistema de aireación en este tipo de sistemas de filtros percoladores para mejorar el proceso de tratamiento biológico.
- Se recomienda realizar el mantenimiento del filtro percolador cada 20 a 30 días, para evitar la colmatación de los filtros e impedir el aumento de los contaminantes del agua residual.
- Para obtener mayores eficiencias de remoción, la temperatura debe estar entre 25°C a 30°C, debido a que este parámetro afecta directamente la actividad de las lombrices.

VII. Referencias bibliográficas

- Acuña Marrufo, J. E., & Reyes Sánchez, J. J. (2015). *EFICIENCIA DE Lumbricus Terrestris Y Eisenia Foetida EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAGUA-AMAZONAS*. Tesis de titulación, BAGUA.
- A.V.F. Ingeniería Ambiental. (2003). *Programa de descontaminación de aguas, biofiltro*.
- BARBADO, J. (2003). CRIA DE LOMBRICES.
- Castro Mejía, E. J. (2016). *VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE LOMBRIFILTROS EN LAS CIUDADELAS VÍA SAMBORONDÓN PROPUESTA DE USO*. GUAYAQUIL.
- Ceibal. (12 de 04 de 2016). *Ceibal*. Obtenido de <https://contenidos.ceibal.edu.uy>
- Chacon, G. (1996). Manual de Lombricultura.
- CHÁVEZ RODRIGO, J. C. (2017). *“EFICIENCIA DE UN BIOFILTRO EN LA REDUCCIÓN DE CARGA ORGÁNICA DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE CELENDIN”*. TESIS PREGRADO, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, CELENDIN.
- Coronel Pazmiño, N. P. (2015). *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN A ESCALA DE UN BIOFILTRO TOHÁ EN LA ESPOCH PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROCEDENTES DE LA COMUNIDAD LANGOS LA NUBE”*. Tesis de titulación, Riobamba.
- Ecured. (10 de 5 de 2019). *Ecured*. Obtenido de <https://www.ecured.cu>
- Fernández Estela, A. (2015). *AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ, PROBLEMÁTICA Y USO EN LA AGRICULTURA*.
- Fluideco. (26 de 11 de 2019). *Fluideco*. Obtenido de <https://fluideco.com/>
- Fuentes, J. L. (2008). *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Dirección general de investigación y capacitación agrarias, Servicio de Extensión Agraria Corazón de María, Madrid.
- Fundacion Chile. (s.f.). Tecnología de Lombrifiltros.
- Gonzalez, G. (2007). *Biodiversidad y ecología de las lombrices de tierra en las islas caribeñas*.

- Guzmán Díaz, G. (2014). Producción de abono orgánico en pequeña escala con lombriz californiana (*Eisenia foetida*). *Ministerio de agricultura y ganadería*.
- HERNÁNDEZ BÓRQUEZ, Y. P. (2005). ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC S.A. UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE, VALDIVIA.
- Iagua. (13 de Marzo de 2017). *iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/>
- Kayranli, B., & Ugurlu, A. (2011). "Desalination, Effects and temperature and biomass concentration on the performance of anaerobic sequencing batch reactor treating low strength wastewater" (Vol. 278). United State of America.
- Manrique Delgado, E. P., & Piñeros Casteñeda, 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.
- Mejía Araya, P. (2008). MANUAL DE LOMBRICULTURA. AGROFLOR, 6.
- Mejía Mejía, E. (2005). *TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN*. Lima: Centro de Producción editorial e imprenta de la UNMSM.
- Mendieta Bravo, J. (2011). *Tratabilidad de las aguas residuales industriales de una empacadora de camarón en la degradación de la materia orgánica mediante la aplicación y adaptación de lombrices acuáticas*. Tesis posgrado, Guayaquil-Ecuador.
- Metcalf y Eddy, I. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO VERTIDO Y REUTILIZACION (TERCERA EDICION)*. MADRID: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPANA, S.A.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones-OS.090*. Lima, Perú: MVCS.
- Norduzian, M. (1984). *DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO CONCEPTOS Y METODOLOGIA*. Coyoacan, Mexico: UNAM.
- OEFA, O. d. (2014). *FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES . FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES , 3*.
- OPS/CEPIS. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*. Lima.
- Ramón, J. A., León, J. A., & Castillo, N. (2015). • Revista Digital de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la UJTL. *MUTIS*, 53.
- Romero Rojas, J. A. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Salazar Miranda, P. I. (2005). "*Sistema Tohá, una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*". Tesis de pre-grado.

SALAZAR MIRANDA, P. I. (2005). "*SISTEMA TOHÁ; UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SECTORES RURALES*". Tesis de Pre Grado, Universidad Austral de Chile.

Somarriba Reyes, R. J., & Guzmán Guillen, F. (2004). *GUIA DE LOMBRICULTURA*. Managua.

Varela López, A. (30 de Setiembre de 2013). *Youtube*. Recuperado el 02 de Febrero de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=4J0sA7WOdQM>

Vidal , C. (28 de Agosto de 2013). *Fundacion Chile*. Obtenido de Tecnologías Emergentes y No convencionales: https://fch.cl/wp-content/uploads/2013/09/Tecnolog_as_emergentes_-_parte_II.pdf

ANEXOS



ANEXO N° 01: Panel fotográfico

Fotografía 15

Construcción de los filtros percoladores



Fotografía 16

Construcción de la cámara de distribución N°03



Fotografía 17

Colocación de las gravas



Fotografía 18

Colocación de las lombrices en los filtros



Fotografía 19

Medición de los parámetros de control



Fotografía 20

Registro de datos de los parámetros de control



Fotografía 21

Realizando la prueba del puño



Fotografía 22

Monitoreo de los contaminantes bioquímicos



Fotografía 23

Crecimiento de las lombrices



Fotografía 24

Prueba de trazadores para TRH



Fotografía 25

Vista panorámica de los filtros



Fotografía 26

Visita de campo con el asesor



ANEXO N° 02: Estándares de calidad ambiental

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	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	(µS/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
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
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	0,05		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		0,01
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				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	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
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

ANEXO N° 03: Resultados de laboratorio



INFORME DE ENSAYO AG190459

CLIENTE
 Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190279

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 15/Octubre/2019
 Fecha de análisis : 15 de Octubre al 22 de Octubre/2019
 Cotización N° : CO190755

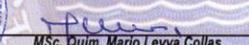
CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					Fecha de muestreo ¹	15/10/2019
					Hora de muestreo ¹	11:40
					Código del Laboratorio	AG190535
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		21
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		86

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO - PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6
Temperatura	°C	30.7
Humedad	%	-

Huaraz, 22 de Octubre de 2019




MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190460

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Gabriela olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190279

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 15/Octubre/2019
Fecha de análisis : 15 de Octubre al 22 de Octubre/2019
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	15/10/2019
					Hora de muestreo	11:41
					Código del Laboratorio	AG190536
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		19
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		57

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	7
Temperatura	°C	30.7
Humedad	%	53

Huaraz, 22 de Octubre de 2019



Msc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190461

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190279

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 15/Octubre/2019
Fecha de análisis : 15 de Octubre al 22 de Octubre/2019
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	15/10/2019
					Hora de muestreo ¹	11:42
					Código del Laboratorio	AG190537
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		29
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		49

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Sra. GABRIELA OLIVERA ANGELES

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	7
Temperatura	°C	30.7
Humedad	%	54

Huaraz, 22 de Octubre de 2019



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190480

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190291

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 22/Octubre/2019
Fecha de análisis : 22 de Octubre al 29 de Octubre/2019
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					Fecha de muestreo	22/10/2019
					Mora de muestreo 1	11:25
					Código del Laboratorio	AG190562
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		46
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		139

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

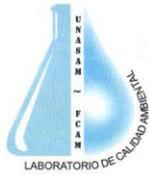
RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Sra. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6.75
Temperatura	°C	20.6

Huaraz, 29 de Octubre de 2019



Msc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190481

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190291

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 22/Octubre/2019
Fecha de análisis : 22 de Octubre al 29 de Octubre/2019
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	22/10/2019
					Hora de muestreo	11:30
					Código del Laboratorio	AG190563
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		20
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		54

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	6.76
Temperatura	°C	20.3

Huaraz, 29 de Octubre de 2019



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190482

CLIENTE
 Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190291

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 22/Octubre/2019
 Fecha de análisis : 22 de Octubre al 29 de Octubre/2019
 Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	22/10/2019
					Hora de muestreo ¹	11:38
					Código del Laboratorio	AG190564
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		36
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		68

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
PH	Unid. PH	6.83
Temperatura	°C	19.5

Huaraz, 29 de Octubre de 2019



Msc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190552

CLIENTE Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190325

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 20/Noviembre/2019
 Fecha de análisis : 20 de Noviembre al 27 de Noviembre/2019
 Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					20/11/2019	
					12:10	
					AG190645	
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		109
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		282

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for de Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6.75
Temperatura	°C	-
Humedad	%	-

Huaraz, 27 de Noviembre de 2019



MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190553

CLIENTE Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190325

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 20/Noviembre/2019
 Fecha de análisis : 20 de Noviembre al 27 de Noviembre/2019
 Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo ¹	20/11/2019
					Hora de muestreo ¹	12:12
					Código del Laboratorio	AG190646
CB	ANÁLISIS DE INDICADORES DE CONTAMINACION BIOQUIMICO					
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		27
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		42

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	6.93
Temperatura	°C	20.5
Humedad	%	75

Huaraz, 27 de Noviembre de 2019



MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.



INFORME DE ENSAYO AG190554

CLIENTE Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta SIN - Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190325

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 20/Noviembre/2019
Fecha de análisis : 20 de Noviembre al 27 de Noviembre/2019
Cotización N° : CO190455

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	20/11/2019
					Hora de muestreo ¹	12:14
					Código del Laboratorio	AG190647
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		23
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		50

¹ Datos proporcionados por el cliente
Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
PH	Unid. PH	6.89
Temperatura	°C	19.7
Humedad	%	74

Huaraz, 27 de Noviembre de 2019



Msc. Quím. Mario Leyva Collas
Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
Av. Centenario N°200-Huaraz- Ancash. Telef. 043 640020 - Anexos: 3602- 3501 - Cel. 944432754
E-mail: labfcam@hotmail.com

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO AG190614

CLIENTE Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190349

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 04/Diciembre/2019
 Fecha de análisis : 04 de Diciembre al 11 de Diciembre/2019
 Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					Fecha de muestreo 1	04/12/2019
					Hora de muestreo 1	11:10
					Código del Laboratorio	AG190711
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		12
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		89

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

Huaraz, 11 de Diciembre de 2019



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Cartanero N°2004-Huaraz-Ancash, Telef. 043 640370 - Arequipa: 3632-3561 - Cel. 944432754
 E-mail: labfcaam@hbtnsal.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190615

CLIENTE
 Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190349

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 04/Diciembre/2019
 Fecha de análisis : 04 de Diciembre al 11 de Diciembre/2019
 Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	04/12/2019
					Hora de muestreo	11:13
					Código del Laboratorio	AG190712
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		3
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DCO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		< 25

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

Huaraz, 11 de Diciembre de 2019



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Carretero N°200-Huaraz-Ancash, Telef. 043 840030 - Arencos: 3802- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labicam@hotmail.com



INFORME DE ENSAYO AG190616

CLIENTE
 Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190349

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 04/Diciembre/2019
 Fecha de análisis : 04 de Diciembre al 11 de Diciembre/2019
 Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo 1	04/12/2019
					Hora de muestreo 1	11:16
					Código del Laboratorio	AG190713
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		4
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		< 25

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

Huarez, 11 de Diciembre de 2019



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FGAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Carretero N°200-Huancayo-Ancash, Telef. 043 540620 - Arequipa: 3802-3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labfiam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO AG200009

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200004

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 08/Enero/2020
Fecha de análisis : 08 de Enero al 15 de Enero/2020
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					Fecha de muestreo	08/01/2020
					Hora de muestreo	11:00
					Código del Laboratorio	AG200009
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		102
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		236

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6.7
Temperatura	*C	20
Humedad	%	-

Huaraz, 15 de Enero de 2020



Mario Leyva Collas
Msc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Centenario N°200-Huaraz-Ancash. Telef. 043 840020 - Anchos: 3602- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labicam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO AG200010

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200004

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 08/Enero/2020
Fecha de análisis : 08 de Enero al 15 de Enero/2020
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	08/01/2020
					Hora de muestreo	11:05
					Código del Laboratorio	AG200010
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		98
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		197

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Srta. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	6.9
Temperatura	*C	22
Humedad	%	68

Huaraz, 15 de Enero de 2020



Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
 Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Centenario N°200-Huaraz-Ancash. Telef. 043 640020 - Anexos: 3502- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labicam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG200011

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N Independencia
Atención : Gabriela Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200004

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 08/Enero/2020
Fecha de análisis : 08 de Enero al 15 de Enero/2020
Cotización N° : CO190755

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo	08/01/2020
					Hora de muestreo	11:10
					Código del Laboratorio	AG200011
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		79
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		138

Datos proporcionados por el cliente
Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR LA TESISISTA Sra. GABRIELA OLIVERA ANGELES		
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
PH	Unid. PH	6.85
Temperatura	°C	21
Humedad	%	67

Huaraz, 15 de Enero de 2020



Mario Leyva Collas
MSc. Quím. Mario Leyva Collas
Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
CQP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental.
Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
Av. Centenario N°200-Huaraz-Ancash. Telef. 043 840020 - Anexos: 3502-3501 - Cel. 944432754
E-mail: labfcam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO AG200148

CLIENTE
 Razón Social : GABRIELA RUTH OLIVERA ANGELES
 Dirección : Palmira Alta S/N Independencia
 Atención : Gabriela Ruth Olivera Angeles

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200052

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 19/Febrero/2020
 Fecha de análisis : 19 de Febrero al 26 de Febrero2020
 Cotización N° : CO200122

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					Código del cliente	E
					Fecha de muestreo ¹	19/02/2020
					Hora de muestreo ¹	12:00
					Código del Laboratorio	AG200148
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		21
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		63

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017



Msc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 26 de Febrero de 2020



INFORME DE ENSAYO AG200149

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA RUTH OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N Independencia
Atención : Gabriela Ruth Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200052

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 19/Febrero/2020
Fecha de análisis : 19 de Febrero al 26 de Febrero2020
Cotización N° : CQ200122

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	19/02/2020
					Hora de muestreo	12:05
					Código del Laboratorio	AG200149
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210 B	1		18
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		48

Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017



M.Sc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

Huaraz, 26 de Febrero de 2020





INFORME DE ENSAYO AG200150

CLIENTE
Razón Social : GABRIELA RUTH OLIVERA ANGELES
Dirección : Palmira Alta S/N Independencia
Atención : Gabriela Ruth Olivera Angeles

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200052

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia: : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 19/Febrero/2020
Fecha de análisis : 19 de Febrero al 26 de Febrero2020
Cotización N° : CO200122

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	19/02/2020
					Hora de muestreo ¹	12:10
					Código del Laboratorio	AG200150
CB						
CB01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l DBO ₅	APHA 5210.B	1		18
CB02	Demanda Química de Oxígeno	mg/l DQO	Oxidación ácido cromosulfúrico	25		42

¹ Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 rd. Edition-2017

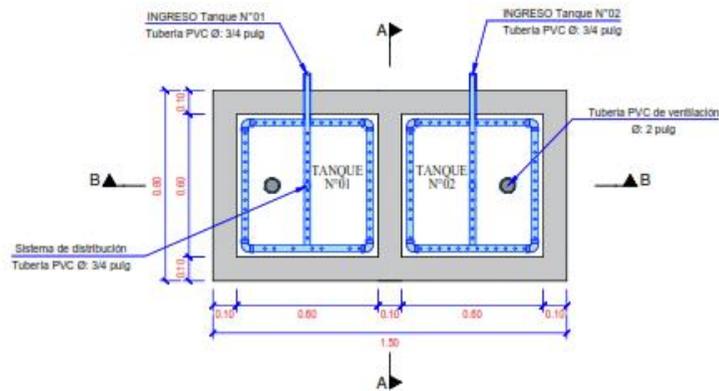


Mario Leyva Collas
 MSc. Quím. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CQP N° 604

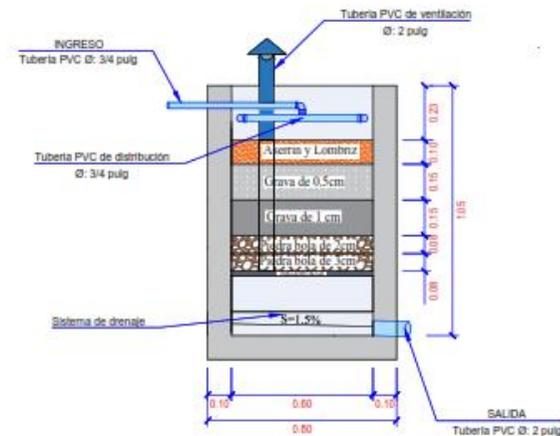
Huaraz, 26 de Febrero de 2020

**ANEXO N° 04: Plano de detalles de los filtros percoladores con
Eisenia foetida y Lumbricus terrestris**

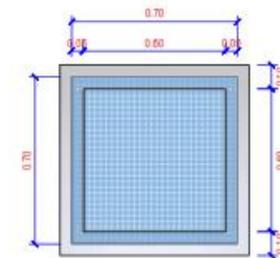




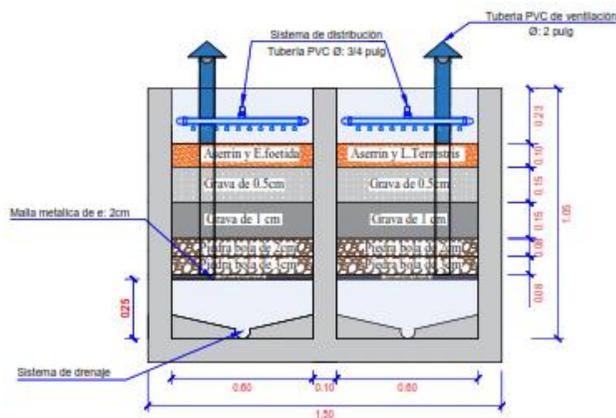
**FILTRO PERCOLADOR CON LOMBRICES
PLANTA**
ES: 1/20



**FILTRO PERCOLADOR CON LOMBRICES
CORTE A - A**
ES: 1/20



**DETALLE
MALLA METALICA**
ES: 1/20



**FILTRO PERCOLADOR CON LOMBRICES
CORTE B - B**
ES: 1/20



**UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO
ANTUNEZ DE MAYOLO**

Tesis:

**“COMPARACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DBO Y DQO EN FILTROS
PERCOLADORES CON Eisenia Foetida Y Lumbricus Terrestris DE LAS AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS EN TUYURURI - 2019”**

Escuela:

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA - UNASAM

Plano:

**PLANO DEL FILTRO PERCOLADOR
CON LOMBRICES
"Eisenia Foetida y Lumbricus Terrestris"**

Departamento:

ANCASH
Provincia : CARHUAZ
Distrito : MARCARA
Lugar : TUYU RURI

Lamina:

PL-01
01/1

Dibujo:

gabyy_gonsk7@hotmail.com

Fecha:

ENERO - 2021

Escala:

INDICADA

Tesista:

**Br. Gabriela R.
Olivera Angeles**

Asesor:

**Ing. Martin M.
Huaman Carranza**

Rubro:

Tesis para titulación

