

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“EFICIENCIA DEL MÉTODO DE BIOFILTROS EN CLIMAS
ANDINOS, EN LA REMOCIÓN DEL NITRÓGENO Y FÓSFORO
TOTAL, EMPLEANDO COMO MEDIOS FILTRANTES LA Eisenia
foetida y Lumbricus terrestris DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE TUYURURI -2019”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Tesista: Br. JOSE ANTONIO ROJAS MILLA

Asesor: Ing. MARTIN MIGUEL HUAMAN CARRANZA

Huaraz – Perú

2021





**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**“EFICIENCIA DEL MÉTODO DE BIOFILTROS EN CLIMAS
ANDINOS, EN LA REMOCIÓN DEL NITRÓGENO Y FÓSFORO
TOTAL, EMPLEANDO COMO MEDIOS FILTRANTES LA Eisenia
foetida y Lumbricus terrestris DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE TUYURURI -2019”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

Tesista: Br. JOSE ANTONIO ROJAS MILLA

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 el Bachiller: **ROJAS MILLA JOSE ANTONIO**

Tesis Titulada: "EFICIENCIA DEL METODO DE BIOFILTROS EN CLIMAS ANDINOS, EN LA REMOCIÓN DEL NITROGENO Y FOSFORO TOTAL, EMPLEANDO COMO MEDIOS FILTRANTES LA *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE TUYU RURI - 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

Huaraz,13.....de.....Setiembre.....del 2021.

MSc. Mario Vladimir Leyva Collas
Primer Miembro

MSc. Kiko Félix Depaz Celi
Segundo Miembro

MSc. Martín Miguel Huamán Carranza
Asesor

DEDICATORIA

La presente tesis le dedico a Dios todo poderoso, quien me ha dado las fuerzas y la inteligencia para poder seguir cumpliendo mis metas, asimismo también a mi familia para que ellos vean lo que han logrado junto conmigo, ya que ellos son el pilar fundamental en mi vida, en especial a mi abuela Armandina Lázaro y mi abuelo Andres Milla, que si no fuera por ellos no estaría escribiendo estas palabras, y así también le dedico a mi madre Ana milla, hermanos, tío Luis y tía Esther ya que ellos me inculcaron la disciplina de estudiar y luchar por mis sueños

A mi novia Gabriela, compañera de carrera universitaria, ella me ha motivado a seguir adelante en todo, le estaré eternamente agradecido.

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Filipenses 4:13



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido estudiar la carrera de Ingeniería Sanitaria en la UNASAM, y a cada docente en mi formación, ya que gracias a ellos he podido aprender de lo hermoso y humano que puede ser esta especialidad.

También doy gracias a mi familia por su amor, sus palabras y su infinita ayuda incondicional en esta etapa de mi vida, también agradezco la confianza, paciencia, apoyo, recomendaciones y ánimo de mi asesor de tesis, el Ingeniero Martín Huamán Carranza, asimismo al señor Manuel uno de los encargados del centro experimental de Tuyururi y a mi primo Diego quienes me apoyaron en la construcción de mi proyecto.

Gracias a mis compañeros y compañeras, por su ayuda, ánimo y apoyo incondicional en todo momento.

José Rojas Milla

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Rojas Milla José Antonio, 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 **“EFICIENCIA DEL METODO DE BIOFILTRÓS EN CLIMAS ANDINOS, EN LA REMOCIÓN DEL NITRÓGENO Y FOSFORO TOTAL, EMPLEANDO COMO MEDIOS FILTRANTES LA *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE TUYURURI -2019”** presentado en 144 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



Rojas Milla José Antonio
Código U. N° 112.0704.045
DNI:72329544

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iv
ÍNDICE	v
RELACIÓN DE FIGURAS	viii
RELACIÓN DE TABLAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.1.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	2
1.2. Hipótesis.....	3
1.3. Variables	3
1.3.1. <i>Variable Independiente</i>	3
1.3.2. <i>Variable Dependiente</i>	3
1.3.3. <i>Operacionalización de variables</i>	3
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.1.1. <i>Nivel Internacional</i>	5
2.1.2. <i>Nivel Nacional</i>	5
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>Tratamiento de aguas Residuales</i>	6
2.2.4. <i>Nitrógeno</i>	7
2.2.5. <i>Fósforo</i>	7
2.2.6. <i>Lombrifiltro</i>	7
2.2.7. <i>Descripción de las capas del Lombrifiltro</i>	8
2.2.8. <i>La lombriz de Tierra</i>	9
2.2.9. <i>Descripción de la lombriz de Tierra</i>	9
2.2.10. <i>Lombriz Californiana (Eisenia Foetida)</i>	11
2.2.11. <i>Descripción de la lombriz Californiana (Eisenia Foetida)</i>	11

2.3.	Definición de términos básicos.....	13
III.	MARCO METODOLÓGICO.....	15
3.1.	Tipo de Investigación.....	15
3.2.	Diseño de Investigación.....	15
3.3.	Métodos o técnicas.....	16
3.3.1.	<i>Identificación del lugar de ejecución del proyecto</i>	17
3.3.2.	<i>Diseño y Construcción del biofiltro con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris a escala Piloto.</i>	18
3.3.3.	<i>Recolección y Pre-adaptación de las lombrices Eisenia foetida y Lumbricus terrestris</i>	24
3.3.4.	<i>Llenado de los sustratos y Adaptación</i>	26
3.3.5.	<i>Puesta en marcha</i>	28
3.3.6.	<i>Monitoreo del sistema de biofiltros</i>	29
3.4.	Población y muestra.....	31
3.4.1.	<i>Población</i>	31
3.4.2.	<i>Muestra</i>	31
3.5.	Instrumentos validos de recolección de datos.....	31
3.6.	Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.....	32
IV.	RESULTADOS.....	34
4.1.	Resultados de diseño de los biofiltros con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris.....	34
4.2.	Resultados de la pre-adaptación de los biofiltros con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris.....	36
4.3.	Resultados de la adaptación de los biofiltros con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris.....	37
4.3.1.	<i>Resultados de la temperatura</i>	37
4.3.2.	<i>Resultados de la medición del pH</i>	41
4.3.3.	<i>Resultados de la medición del caudal</i>	44
4.3.4.	<i>Resultados de la medición de la humedad</i>	48
4.4.	Resultados de tratamiento de los biofiltros con Eisenia foetida y Lumbricus.....	49
4.4.1.	<i>Resultados de la temperatura</i>	49
4.4.2.	<i>Resultados de la medición del pH</i>	51
4.4.3.	<i>Resultados de la medición del caudal</i>	53
4.4.4.	<i>Resultados de los tiempos de retención hidráulico (TRH) en los biofiltros</i>	55
4.4.5.	<i>Resultados de la medición de la humedad</i>	56

4.4.6.	<i>Resultados de los análisis de laboratorio del Fosforo total (P)</i>	57
4.4.7.	<i>Eficiencias de remoción del Fosforo total (P)</i>	66
4.4.8.	<i>Resultados de los análisis de laboratorio del Nitrógeno total (N)</i>	69
4.4.9.	<i>Eficiencias de remoción del Nitrógeno total (N)</i>	77
4.4.10.	<i>Resultados de los análisis de laboratorio del nitrato (NO₃-)</i>	80
4.4.11.	<i>Análisis del comportamiento de las concentraciones del N Y P respecto a la temperatura</i>	82
4.5.	Resultados del análisis estadístico	85
V.	DISCUSIÓN	89
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
6.1.	Conclusiones.....	92
6.2.	Recomendaciones	93
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS		
ANEXO N° 01: ANÁLISIS DE LABORATORIO		
ANEXO N° 02: PANEL FOTOGRÁFICO		
ANEXO N° 03: PLANO DE LOS BIOFILTROS A ESCALA PILOTO		

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de Lombrifiltro.....	8
Figura 2 Lombriz de Tierra (Lumbricus Terrestris).....	10
Figura 3 Lombriz Californiana (Eisenia Foetida)	11
Figura 4 Esquema del diseño de investigación	16
Figura 5 Tren de tratamiento de aguas residuales de los humedales de flujo horizontal y vertical.....	17
Figura 6 Identificación del terreno del proyecto	18
Figura 7 Caja de distribución N°03	20
Figura 8 Excavación para las estructuras	21
Figura 9 Tanque de biofiltros construidos	22
Figura 10 Sistema de ventilación.....	22
Figura 11 Sistema de distribución.....	23
Figura 12 Caja de monitoreo.....	24
Figura 13 Tinajas con Lombrices.....	25
Figura 14 Esquema de los sustratos de los biofiltros	27
Figura 15 Colocación de los sustratos.....	27
Figura 16 Colocación de lombrices para su adaptación	28
Figura 17 Colocación de lombrices para su adaptación	28
Figura 18 Puntos de muestreo.....	29
Figura 19 Esquema de parámetros de medición	30
Figura 20 Crecimiento y desarrollo de las lombrices	37
Figura 21 Temperaturas promedio con respecto al tiempo	38
Figura 22 Temperaturas promedio con respecto al tiempo	40
Figura 23 pH promedio con respecto al tiempo	42
Figura 24 pH promedio con respecto al tiempo	44
Figura 25 Caudales (m ³ /día) promedio con respecto al tiempo	45
Figura 26 Caudales (m ³ /día) promedio con respecto al tiempo	47
Figura 27 Humedad (%) con respecto al tiempo.....	49
Figura 28 Temperaturas con respecto al tiempo	50
Figura 29 Temperaturas con respecto al tiempo	51

Figura 30 pH con respecto al tiempo	52
Figura 31 pH con respecto al tiempo	53
Figura 32 Caudales (m ³ /día) promedios con respecto al tiempo	54
Figura 33 Caudales (m ³ /día) promedios con respecto al tiempo	55
Figura 34 Humedad (%) con respecto al tiempo	57
Figura 35 Fosforo total con respecto al mes de octubre.....	59
Figura 36 Fosforo total con respecto al mes de octubre.....	60
Figura 37 Fosforo total con respecto al mes de noviembre.....	61
Figura 38 Fosforo total con respecto al mes de noviembre.....	62
Figura 39 Fosforo total con respecto al mes de diciembre	63
Figura 40 Fosforo total con respecto al mes de diciembre	64
Figura 41 Fosforo total con respecto al mes de enero	65
Figura 42 Fosforo total con respecto al mes de enero	66
Figura 43 Porcentajes de remoción del fosforo total en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	66
Figura 44 Porcentajes de remoción del fosforo total en el biofiltro con <i>Lumbricus terrestris</i>	67
Figura 45 Porcentajes de remoción promedio en los biofiltros	68
Figura 46 Nitrógeno total con respecto al mes de octubre	69
Figura 47 Nitrógeno total con respecto al mes de octubre	70
Figura 48 Nitrógeno total con respecto al mes de noviembre	71
Figura 49 Nitrógeno total con respecto al mes de noviembre	72
Figura 50 Nitrógeno total con respecto al mes de diciembre	73
Figura 51 Nitrógeno total con respecto al mes de diciembre	75
Figura 52 Nitrógeno total con respecto al mes de enero	76
Figura 53 Nitrógeno total con respecto al mes de enero	76
Figura 54 Porcentajes de remoción del nitrógeno total en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	77
Figura 55 Porcentajes de remoción del nitrógeno total en el biofiltro con <i>Lumbricus terrestris</i>	78
Figura 56 Porcentajes de remoción promedio en los biofiltros	79
Figura 57 Variación de la concentración del <i>NO₃</i> – en el afluente y efluente del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	80

Figura 58 Variación de la concentración del $N03$ – en el afluente y efluente del biofiltro con <i>Lumbricus terrestris</i>	81
Figura 59 Variación de temperatura vs (Se/So) del fosforo total.....	83
Figura 60 Variación de temperatura vs (Se/So) del Nitrógeno total	84
Figura 61 Reconocimiento del terreno.....	23
Figura 62 Construcción de los biofiltros	23
Figura 63 Construcción de las cajas de monitoreo	24
Figura 64 Instalación de las tuberías de distribución y ventilación	24
Figura 65 Colocación de las gravas	25
Figura 66 Etapa de pre adaptación de las especies	25
Figura 67 Monitoreo de la etapa de adaptación.....	26
Figura 68 Evaluación del desarrollo de las lombrices.....	26
Figura 69 Limpieza de las rejillas	27
Figura 70 Medición del caudal	27
Figura 71 Medición del tiempo de retención hidráulico.....	28
Figura 72 Medición de la humedad- prueba de puño	28
Figura 73 Medición del pH y Temperatura	29
Figura 74 Toma de muestra del agua tratada	29
Figura 75 Entrega de las muestras al Laboratorio de Calidad Ambiental	30
Figura 76 Sistema de biofiltros	30

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1 La operacionalización de variables, donde se describe las variables, indicadores, escala y medición	3
Tabla 2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	31
Tabla 3 Pruebas Estadísticas de acuerdo al tipo de estudio	33
Tabla 4 Resultados del diseño del tanque de los biofiltros	34
Tabla 5 Resultados del diseño del drenaje de los biofiltros	34
Tabla 6 Resultados del diseño del sistema de entrada de los biofiltros	35
Tabla 7 Resultados del diseño del sistema de distribución de los biofiltros	35
Tabla 8 Temperaturas (°C) en la adaptación del biofiltro con Eisenia foetida	37
Tabla 9 Temperaturas promedias (°C).....	38
Tabla 10 Temperaturas (°C) en la adaptación del biofiltro con Lumbricus terrestris	39
Tabla 11 Temperaturas promedias (°C)	40
Tabla 12 Medición de pH en la adaptación del biofiltro con Eisenia foetida	41
Tabla 13 pH promedios	42
Tabla 14 Medición de pH en la adaptación del biofiltro con Lumbricus terrestris .	43
Tabla 15 pH promedios	43
Tabla 16 Medición de los caudales (m3/día) en la adaptación del biofiltro con Eisenia foetida	44
Tabla 17 Caudales (m3/día) promedios.....	45
Tabla 18 Medición de los caudales (m3/día) en la adaptación del biofiltro con Lumbricus terrestris.....	46
Tabla 19	47
Tabla 20 Medición de la humedad (%) en la adaptación del biofiltro con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris	48
Tabla 21 Temperaturas (°C) en el tratamiento del biofiltro con Eisenia foetida	49
Tabla 22 Temperaturas (°C) en el tratamiento del biofiltro con Lumbricus terrestris	50
Tabla 23 Medición de pH en el tratamiento del biofiltro con Eisenia foetida	51
Tabla 24 Medición de pH en el tratamiento del biofiltro con Lumbricus terrestris .	52

Tabla 25 Medición de los caudales (m ³ /día) en el tratamiento del biofiltro con Eisenia foetida	53
Tabla 26 Medición de los caudales (m ³ /día) en el tratamiento del biofiltro con Lumbricus terrestris	54
Tabla 27 Tiempos de retención hidráulicos medidos en campo	56
Tabla 28 Medición de la humedad (%) en el tratamiento del biofiltro con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris	56
Tabla 29 [P] en [PO ₄ -P] (mg/l) para el biofiltro con Esenia foetida - Análisis de laboratorio	58
Tabla 30 [P] en [PO ₄ -P] (mg/l) para el biofiltro con Lumbricus terrestris - Análisis de laboratorio	58
Tabla 31 Resultados del primer mes del Fosforo total	59
Tabla 32 Resultados del primer mes del Fosforo total	59
Tabla 33 Resultados del segundo mes del Fosforo total	60
Tabla 34 Resultados del segundo mes del Fosforo total	61
Tabla 35 Resultados del tercer mes del Fosforo total	63
Tabla 36 Resultados del tercer mes del Fosforo total	64
Tabla 37 Resultados del cuarto mes del Fosforo total	65
Tabla 38 Resultados del cuarto mes del Fosforo total	65
Tabla 39 Resultados del primer mes del Nitrógeno total	69
Tabla 40 Resultados del primer mes del Nitrógeno total	70
Tabla 41 Resultados del segundo mes del Nitrógeno total	71
Tabla 42 Resultados del segundo mes del Nitrógeno total	72
Tabla 43 Resultados del tercer mes del Nitrógeno total	73
Tabla 44 Resultados del tercer mes del Nitrógeno total	74
Tabla 45 Resultados del cuarto mes del Nitrógeno total	75
Tabla 46 Resultados del cuarto mes del Nitrógeno total	76
Tabla 47 Resultados de las concentraciones del nitrato (mg/l)	80
Tabla 48 Resultados de las concentraciones del nitrato (mg/l)	81
Tabla 49 Resultados del Se/So del Fosforo total y temperaturas promedias	82
Tabla 50 Resultados del Se/So del Nitrógeno total y temperaturas promedias	84
Tabla 51 Porcentajes de remociones del fosforo total (mg/l)	85
Tabla 52 Prueba estadística de T student para el fosforo total	86

Tabla 53 Porcentajes de remociones del fosforo total (mg/ 87
Tabla 54 Prueba estadística de T student para el nitrógeno total 88



RESUMEN

Se ha visto una gran deficiencia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, respecto a los contaminantes químicos como nitrógeno y fósforo total, lo cual conllevando a riesgos de contaminación de los cuerpos de agua causando el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas cuando se encuentra en elevadas concentraciones y con ello problemas de salud en la población. Esta investigación tiene como objetivo principal determinar la eficiencia de remoción del nitrógeno total y fósforo total, mediante el método de biofiltros en climas andinos, empleando como medios filtrantes la *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

Se realizó el diseño y construcción de los biofiltros a escala piloto para un caudal de 0.3 m³/día, área superficial de 0.60m x 0.60 m, tasa de filtración de 0.83 m³/m²/día, el sistema de distribución fue mediante tuberías de PVC de 3/4", se consideró para la ventilación una tubería de PVC de 2" dentro de cada biofiltro, teniendo también un sistema de drenaje con una pendiente de 1.5%. Primeramente, se realizó la pre- adaptación de las lombrices en dos tinas durante un periodo de 15 días, donde se les alimentó cada 3 días con 250 ml de agua residual, posteriormente se pasó a la etapa de adaptación en los biofiltros durante un tiempo de 15 días, en el cual se realizó el seguimiento de desarrollo y reproducción de ambas especies de lombrices, midiendo la temperatura, pH y humedad, seguidamente se dio la etapa del tratamiento, donde se procedió al monitoreo del nitrógeno y fósforo total en cada biofiltro, donde se obtuvo como resultado para el biofiltro con *Eisenia foetida* una remoción del 40.38% del fósforo total y 33.70% de remoción del nitrógeno total, con pH de 6.77, Temperatura de 20.27°C y humedad de 71.86%, para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* la remoción del fósforo total fue de 33.97% y 35.09% del nitrógeno total, sometido a una temperatura promedio de 20.11°C, pH de 6.75 y humedad de 70.29%. Concluyendo que el biofiltro con

Eisenia foetida es más eficiente en la remoción del fósforo total y el biofiltro con Lumbricus terrestris tiene mayor remoción del nitrógeno total.

Palabras claves: Aguas residuales, Lumbricus terrestris, Eisenia foetida, Nutrientes.

ABSTRACT

A great deficiency has been seen in the treatment of domestic wastewater, with respect to chemical pollutants such as nitrogen and total phosphorus, which leads to risks of contamination of water bodies causing oxygen depletion and eutrophication of waters when it is found in high concentrations and with it health problems in the population. The main objective of this research is to determine the removal efficiency of total nitrogen and total phosphorus, through the biofilter method in Andean climates, using *Eisenia foetida* and *Lumbricus terrestris* from domestic wastewater from Tuyururi as filter media - 2019.

The biofilters were designed and built on a pilot scale for a flow of 0.3 m³ / day, surface area of 0.60mx 0.60 m, irrigation rate of 0.83 m³ / m² / day, the distribution system was through PVC pipes of 3/4 ", a 2" PVC pipe was considered for ventilation inside each biofilter, also having a drainage system with a 1.5% slope. First, the pre-adaptation of the worms was carried out in two vats for a period of 15 days, where they were fed every 3 days with 250 ml of residual water, later they went to the adaptation stage in the biofilters for a time of 15 days, in which the development and reproduction of both species of worms was monitored, measuring temperature, pH and humidity, followed by the treatment stage, where nitrogen and total phosphorus were monitored in each biofilter, where a 40.38% removal of total phosphorus and 33.70% removal of total nitrogen were obtained for the biofilter with *Eisenia foetida*, with pH of 6.77, Temperature of 20.27 ° C and humidity of 71.86%, for the biofilter with *Lumbricus terrestris* the removal of total phosphorus was 33.97% and 35.09% of total nitrogen, subjected to an average temperature of 20.11 ° C, pH of 6.75 and humidity of 70.29%. Concluding that the biofilter with *Eisenia foetida* is more efficient in the removal of total phosphorus and the biofilter with *Lumbricus terrestris* has greater removal of total nitrogen.

Keywords: Wastewater, *Lumbricus terrestris*, *Eisenia foetida*, Nutrients.

I. INTRODUCCIÓN

En Perú, como en la mayoría de países, tenemos dos panoramas frente al tratamiento de agua residual. Las aguas residuales domésticas o industriales que van al alcantarillado, y, las aguas residuales que debe tratar cada empresa privada o pública, bajo su responsabilidad y cumpliendo los estándares indicados por la ley nacional.

En momentos en que el fenómeno del niño está golpeando todo el país y nos demuestra lo vulnerables que estamos frente a estas situaciones por la falta de medidas de prevención; momentos en que nos enfocamos en la búsqueda de soluciones frente a la escasez de agua potable, no debemos olvidar la problemática que enfrenta el país en el tema del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales.

Esta problemática es mundial y según información oficial de la ONU, el 80 % de las aguas residuales mundiales no se descontaminan antes de su vertimiento o reúso, lo que ocasiona, no sólo la contaminación de la flora y fauna, sino, enfermedades y muertes prematuras que cuestan anualmente varios cientos de miles de millones al PBI del planeta. (Montes, 2017)

La tecnología consiste en un biofiltro compuesto por diferentes lechos filtrantes y por lombrices de la Especie foetida. El agua servida es rociada por medio de un sistema de distribución sobre el filtro. Al migrar el agua a través del filtro, se va quedando retenida posteriormente es consumida por las lombrices quienes la convierten humus y materia corporal de las mismas. En conjunto con las lombrices se genera una rica flora bacteriana que también consume materia orgánica. (Manantial, 2000)

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 continua (Fernández Estela, 2015).

Es evidente que las limitadas prácticas de manejo de las aguas residuales no son planeadas ni controladas adecuadamente, en este proyecto tiene como finalidad investigar la remoción del nitrógeno total y fósforo total en biofiltros, donde las especies *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida*, son los elementos principales para el tratamiento del agua residual, conociendo que las aguas residuales domésticas están compuestas por materias orgánicas e inorgánicas que sin tratamiento apropiado constituyen un elevado riesgo para la salud pública y para el ambiente.

1.1. Objetivo

1.1.1. *Objetivo General*

Determinar la remoción del nitrógeno total y fósforo total, mediante el método de biofiltros en climas andinos, empleando como medios filtrantes la *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi– 2019.

1.1.2. *Objetivos específicos*

- ✓ Diseñar e instalar los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* a escala Piloto.
- ✓ Comparar la remoción de Nitrógeno total y Fósforo total en los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*.
- ✓ Analizar el comportamiento de la relación de los efluentes y afluentes de las concentraciones de Nitrógeno total y Fósforo total de cada biofiltro respecto a la temperatura

- ✓ Analizar los parámetros de control en cada biofiltro (Temperatura, pH y Humedad).

1.2. Hipótesis

La remoción del nitrógeno total y fosforo total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Eisenia foetida* que con *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

1.3. Variables

1.3.1. Variable Independiente

Empleo de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* en climas andinos.

1.3.2. Variable Dependiente

Remociones del Nitrógeno total y Fosforo total de las aguas residuales domésticas de Tuyururi.

1.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 1

La operacionalización de variables, donde se describe las variables, indicadores, escala y medición

Variables	Definición Conceptual	Indicador	Escala	Medición
Independiente Empleo de los biofiltros con <i>Eisenia foetida</i> y <i>Lumbricus terrestris</i> en climas andinos	Biofiltro con la especie <i>Eisenia foetida</i> y <i>Lumbricus terrestris</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal 	m3/día	Métodos establecidos en campo
		<ul style="list-style-type: none"> • Área Superficial 	m2	
		<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de filtración 	m3/m2/día	
		<ul style="list-style-type: none"> • Ph, Temperatura 	°C	
		<ul style="list-style-type: none"> • Especie <i>Eisenia foetida</i> • Especie <i>Lumbricus terrestris</i> 	Und	
Dependiente Remociones del Nitrógeno total y Fosforo total de las aguas residuales domésticas de Tuyururi.	Presencia de los parámetros de análisis.	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno Total • Fosforo Total 	(mg/l)	Métodos establecidos en el laboratorio

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nivel Internacional

Los antecedentes presentados, obtenidos mediante ensayos a nivel piloto, muestran que el lombrifiltro constituye un sistema de tratamiento altamente eficiente para la depuración de RILes provenientes de industrias del sector de procesamiento de materias primas azucaradas vegetales y de origen animal, obteniéndose remociones por sobre el 95% de DBO, y también remociones de nutrientes (nitrógeno y fósforo) igual al 30%. Por lo tanto, este sistema natural y simple puede ser una alternativa muy atractiva para el tratamiento de aguas industriales, presentando una serie de importantes ventajas frente a los sistemas más tecnificados. Es recomendable realizar un seguimiento de largo plazo, a objeto de estudiar la dinámica y operaciones requeridas para mantener en óptimas condiciones de funcionamiento el sistema. (Bobadilla , Bornhardt, & Monj, 2003)

La utilización del Sistema Tohá para el tratamiento de aguas servidas domésticas resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO5 y reducción de 6 unidades logarítmicas en coliformes fecales y totales, un 80% de eficiencia en sólidos suspendidos totales (SST) y un 70% en nitrógeno y fósforo, por lo que cumple con los parámetros de calidad de agua establecidos en la Norma Chilena CHN 1.333, para uso en riego de cultivos agrícolas. (Eileen, 2003)

2.1.2. Nivel Nacional

En la investigación de (Edgardo & Jhonatan, 2017) se determinó la eficiencia de la Lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y la Lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de las aguas residuales en la

ciudad de Bagua-Amazonas, donde se obtuvieron eficiencias de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos que removieron los 2 tratamientos son: CE 47,23%, temperatura 4,99%, sulfatos 78,33%, fosforo total 51,93%, nitratos 67,52%, nitrógeno total 68,04%, aceite y grasas 29,98%, solidos suspendidos totales 31,36%, DBO5 94,51%, DQO 94,96%, coliformes totales 90,18%, coliformes fecales 91,36%, E. Coli 98,80% y el pH 2,52%, sólidos disueltos totales 22,76% .

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua Residual

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado. (Romero Rojas, 2000)

2.2.2. Aguas Residuales Domésticas

Las aguas residuales domésticas provienen de áreas residenciales (incluyen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos) y comerciales, incluidas las instituciones y zonas recreativas. Estas normalmente se recogen en un sistema de alcantarillado público. La cantidad de aguas residuales domiciliarias (sanitarias) por lo común se determina a partir del uso del agua y se conoce que sólo el 70% al 90% del agua suministrada llega a las alcantarillas. (Barba, 2002)

2.2.3. Tratamiento de aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o

reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para la disposición o rehúso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables. (Maldonado Escobedo, 2014)

2.2.4. Nitrógeno

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico. No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de las proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en que cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual. (METCAF Y EDDY, 1995)

2.2.5. Fósforo

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales. (METCAF Y EDDY, 1995)

2.2.6. Lombrifiltro

El Biofiltro o más conocido como Lombrifiltro, es un sistema de tratamiento biológico de cultivo fijo, en base a lombrices y bacterias

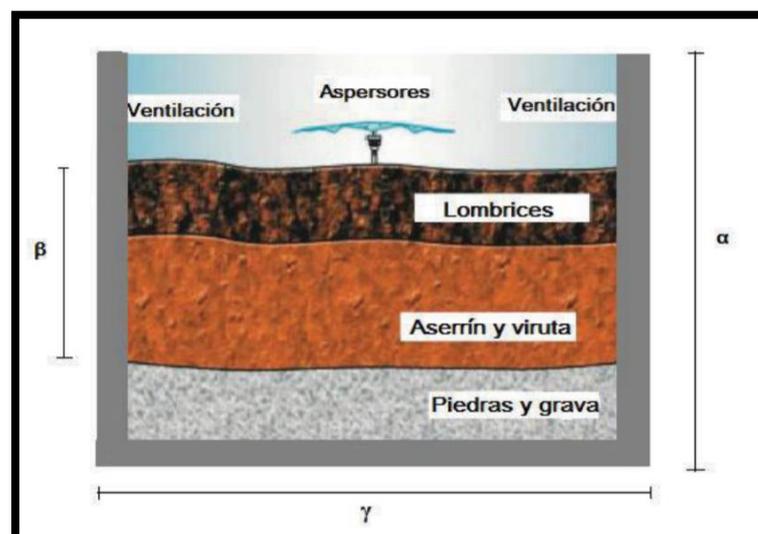
combinado con diferentes materiales filtrantes. El efluente, aguas servidas o residuos líquidos orgánicos, es rociado en la superficie del Biofiltro y escurre por el medio filtrante quedando retenida la materia orgánica, la cual es consumida por las lombrices, oxidándola y degradándola. (Vidal, 2013)

2.2.7. Descripción de las capas del Lombrifiltro

Este sistema está constituido por tres capas de diversos materiales. La capa superior constituye un gran número de lombrices y microorganismos en un lecho de aserrín y viruta los cuales forman el medio en el que se desarrollan estos seres vivos, los mismos que digieren la materia orgánica dejando al agua sin su principal contaminante, le sigue la capa de grava o ripio finalmente una tercera capa formada por piedras de mayor tamaño, las capas constituidas por piedras proporcionan soporte y aireación al sistema garantizando su permeabilidad, el esquema de lombrifiltro se presenta en la (Figura 1). El agua residual que es rociada sobre el lombrifiltro atraviesa el lecho que contiene a las lombrices, el efluente desciende mediante gravedad descargando un efluente claro y sin materia orgánica.

Figura 1

Esquema de Lombrifiltro



Fuente: (Jimenez Coral, 2016), indica el orden en el que se colocan las capas filtrantes en el lombrifiltro y sus respectivas especificaciones donde, α corresponde a la altura total del lombrifiltro y β es la altura del lecho filtrante, es decir, el aserrín, la viruta y las lombrices correspondientes al 55% de la altura total del lombrifiltro y γ la longitud del filtro.

2.2.8. La lombriz de Tierra

Las lombrices son animales que no poseen esqueleto (invertebrados) del tipo anélidos. Tienen un sistema muscular muy desarrollado lo que les facilita el movimiento. No tienen ojos, pero sí células especiales en todo el cuerpo sensibles a la luz solar. Casi a un cuarto de longitud desde la cabeza presentan un anillo llamado clitelum que ayuda en el proceso de reproducción ya que, al efectuarse la cópula, este produce una sustancia mucosa que se forma envolviendo a los dos animales acopiando.

Se conocen más de ocho mil especies diferentes de lombrices, de las cuales solo dos mil quinientas han sido clasificadas y solo tres domesticadas. Vive exclusivamente en la tierra y se alimenta de la materia orgánica (basura y desechos que provienen de otros seres vivos) descompuesta presente en los suelos. La lombriz de tierra del género *E. Foetida* es la más utilizada, su empleo se extiende a más del 80% de los criaderos del mundo. (Aviles Sacoto, 2011)

2.2.9. Descripción de la lombriz de Tierra

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. (Gonzalez, 2007)

Estos organismos constituyen la mayor proporción de la biomasa de la fauna que habita en los suelos; y las poblaciones pueden variar desde menos 10 individuos por metro cuadrado hasta más de 2000 individuos por metro cuadrado, en términos de biomasa significa variaciones de 1-2 g/m² hasta de 300 g/m². (Jimenez Coral, 2016)

La especie *Lumbricus 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 (Figura 2). Además, requiere unas instalaciones muy costosas, pues este animal tiene una tendencia natural a abandonar el lugar en donde inicialmente ha sido instalado.

Figura 2

Lombriz de Tierra (Lumbricus Terrestris)



Fuente: (Fuentes, 2010), especie *Lumbricus terrestris*.

2.2.10. *Lombriz Californiana (Eisenia Foetida)*

La lombriz está clasificada en el reino animal como anélido terrestre, de la clase de los Oligoquetos, siendo su hábitat el ambiente húmedo, no aceptando la luz, Este anélido es hermafrodita insuficiente, siendo bisexual que necesita aparearse para reproducirse, dotado de 5 corazones y 6 riñones.

La Eisenia Foétida es una lombriz extraordinariamente prolifera, muy vivaz, trabajadora, resistente al estrés, tal vez como ninguna otra, y que se ha logrado hacer trabajar en lombrices por metro cuadrado, cifra que ninguna lombriz salvaje está en condiciones de resistir. Vive en cautiverio sin moverse de su lecho, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida, depositando cada 7 a 10 días una cápsula con un contenido promedio de 10 huevos, pudiendo llegar a 20, los que después de 14 a 21 días de incubación eclosionan, originando lombrices en condiciones de moverse y nutrirse de inmediato. (AGROFLOR)

2.2.11. *Descripción de la lombriz Californiana (Eisenia Foetida)*

La lombriz roja californiana de nombre científico Eisenia foetida (Figura 3) ha sido utilizada para la actividad del de mejora de suelo. Se le llama californiana porque fue en California donde se inició el estudio a gran profundidad sobre su efecto beneficioso sobre el mantillo orgánico y estiércol a nivel comercial.

Figura 3

Lombriz Californiana (Eisenia Foetida)



Fuente: (Campos Solano & Guman Diaz, 2014) Lombriz roja californiana.

En su estudio el Doc. José Tohá y su grupo de investigación descubrieron una nueva aplicación de las lombrices como beneficio para tratar las aguas residuales, las características que muestran estas lombrices son:

- Su característica principal es su color, la diferencia por ser rojo intenso (de ahí su nombre, lombriz roja californiana). Su tamaño varía entre 6 a 8 cm de largo, y en algunos casos ha llegado a medir hasta 10 cm y de 3 a 5 mm de diámetro.
- La forma de su cuerpo es cilíndrica, que contiene numerosos segmentos, anillos o somitos (en su mayoría llegan a una cantidad de hasta 250). Cada somito está compuesto de quetas o cerdas (como pelitos), que sirven principalmente para transportarse dentro del suelo; dichas estructuras se forman en los pliegues de la piel, y es una de las características externas más notorias e importantes para la clasificación taxonómica.
- Cuando llega a ser adulto tienden a pesar entre 1 g y 1,4 g, come diariamente casi lo mismo que su peso y excreta un 60% de lo que come en forma de abono.
- Tienen una función digestiva de mucus que sirve para humedecer y ablandar previamente el alimento; como cualquier otro ser vivo tiene una boca, una faringe y luego un buche que funciona como un órgano de almacenamiento temporal. Además, en sus glándulas calcáreas secretan calcio haciéndoles que su uso en suelo agrícolas sea importante debido a que mantienen un pH adecuado.
- Su tasa de vida varía aproximadamente entre 1 y 4 años cuando están en cautiverio. El hábitat ideal para su crecimiento debe estar a una temperatura de 25 °C, un pH entre 6,8 y 7,2 y una humedad de 70 a 80%. Habita en los primeros 50 cm del suelo prefieren el contacto con la superficie terrestre. (Campos Solano & Guman Diaz, 2014)

2.3. Definición de términos básicos

- ✓ **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento. (MVCS, 2006)
- ✓ **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento. (MVCS, 2006)
- ✓ **Agua residual:** Aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (OEFA, 2014)
- ✓ **Agua residual doméstica:** 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)
- ✓ **Agua residual municipal:** Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado. (OEFA, 2014)
- ✓ **Muestreo:** Tomar una muestra representativa del afluente y efluente de la PTAR, para analizar los parámetros establecidos. (OMA, 2010)
- ✓ **Nitrógeno total:** Es una medida de todas las varias formas de nitrógeno que se encuentran en una muestra de agua, el nitrógeno es un nutriente necesario para el crecimiento de plantas acuáticas y algas. (Sistema de Información del Medio Ambiente, 2007)
- ✓ **Fosforo total:** Se determina en una muestra sin filtrar y en ella están presentes todas las formas de fósforo. Debido a que el fósforo puede estar presente en combinación con la materia orgánica, es necesario

para determinar el fósforo total, preparar la muestra mediante un método de digestión capaz de oxidar la materia orgánica efectivamente, para liberar el fósforo como ortofosfato, para su posterior determinación por el Método del Ácido Ascórbico. La concentración de fósforo total se registra como mg P total /L. (SANABRIA SUAREZ , 2004)

- ✓ **pH:** Logaritmo de signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno expresado en moles por litro. (MVCS, 2006)
- ✓ **Medio Filtrante:** Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento. (MVCS, 2006)
- ✓ **Nutriente:** Cualquier sustancia que, al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales. (MVCS, 2006)
- ✓ **Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta. (MVCS, 2006)
- ✓ **Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. (MVCS, 2006)
- ✓ **Eficiencia de 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 porcentajes. (MVCS, 2006)

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

La Investigación en estudio, es un Diseño de Tipo 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, como es el de realizar la eficiencia de remoción del nitrógeno total y fósforo total, empleando biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas.

3.2. Diseño de Investigación

El tipo de investigación es pre-experimental donde se caracteriza por ser cuantitativo, dado a que se tomaron las muestras en el afluente y efluente de los sistemas de biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, para la eficiencia de remoción del nitrógeno total y fósforo total, por último, estos datos obtenidos en campo se registraron en una base de datos para su análisis e interpretación.

G1---- O1-----R1

G2-----O2-----R2

Donde:

G1: Grupo N°01 de análisis – Biofiltro con *Eisenia foetida*

G2: Grupo N°02 de análisis – Biofiltro con *Lumbricus terrestris*

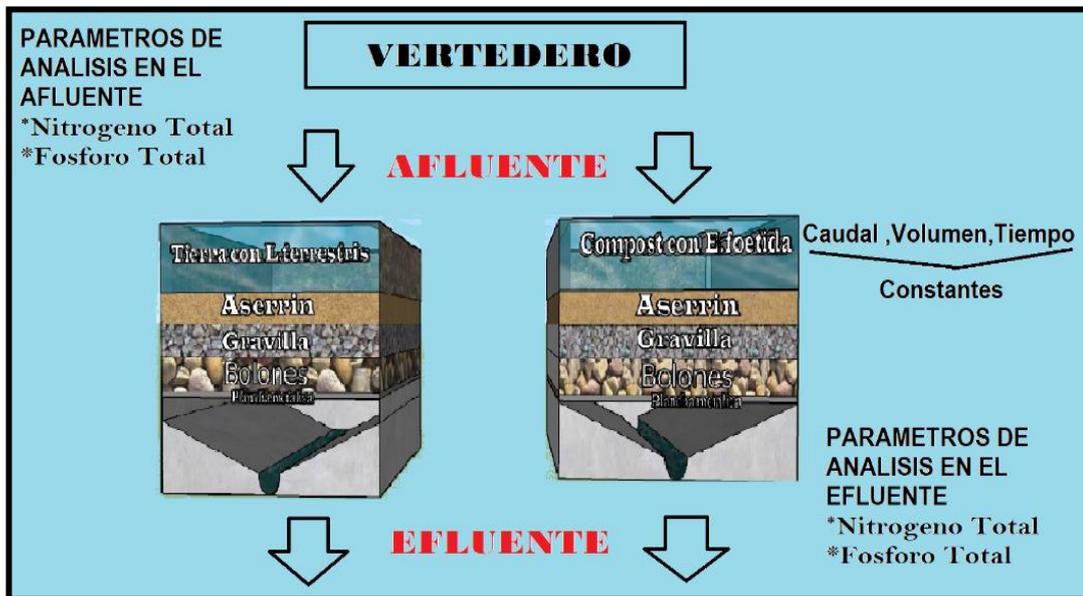
O1: Medición de pH, temperatura, humedad, TRH. Nitrógeno y Fósforo total.

O2: Medición de pH, temperatura, humedad, TRH. Nitrógeno y Fósforo total.

R1,R2: Resultados de comparación

Figura 4

Esquema del diseño de investigación



3.3. Métodos o técnicas

El trabajo de investigación inicio con la identificación del lugar donde se realizó el proyecto, seguidamente se realizó el diseño de los biofiltros, para dar pase a la construcción a escala piloto, luego se hizo la recolección y la pre-adaptación de las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, para que posteriormente pasen al biofiltro a poder adaptarse y poner en marcha el funcionamiento del sistema de tratamiento, terminada la adaptación se procedió con el monitoreo de entrada y salida de los biofiltros, dentro del cual se realizó las mediciones de los parámetros de caudal, humedad, temperatura, pH y el TRH, y finalmente medir el fosforo total, nitrógeno total y nitratos.

Para finalizar se realizó la comparación de los resultados para dar a conocer cuál de los biofiltros con las especies *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* es más eficiente.

3.3.1. Identificación del lugar de ejecución del proyecto

La presente investigación se desarrolló en el centro experimental Tuyururi del distrito de Marcará, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash, Perú.

Para el desarrollo del presente trabajo se dio inicio identificándose la planta de tratamiento aguas residuales de humedales de flujo horizontal y vertical a escala piloto. El ingreso del agua residual a la planta de tratamiento de aguas residuales de humedales de flujo horizontal y vertical a escala piloto se realiza a través de una tubería de PVC que se conecta directamente a un buzón rectangular de concreto armado que en su interior tiene una rejilla "Pretratamiento". Luego el agua residual es llevada hacia un cámara distribuidor de caudal y luego es conducido hacia un biodigestor de 600 Lt que funciona como "tratamiento primario", el cual es conducido posteriormente a la caja de distribución de caudales cuya finalidad es distribuir los caudales a cada humedal artificial de flujo horizontal y vertical los cuales funcionan como "tratamiento secundario", y posteriormente tratada el agua residual se infiltra en el suelo.

Figura 5

Tren de tratamiento de aguas residuales de los humedales de flujo horizontal y vertical

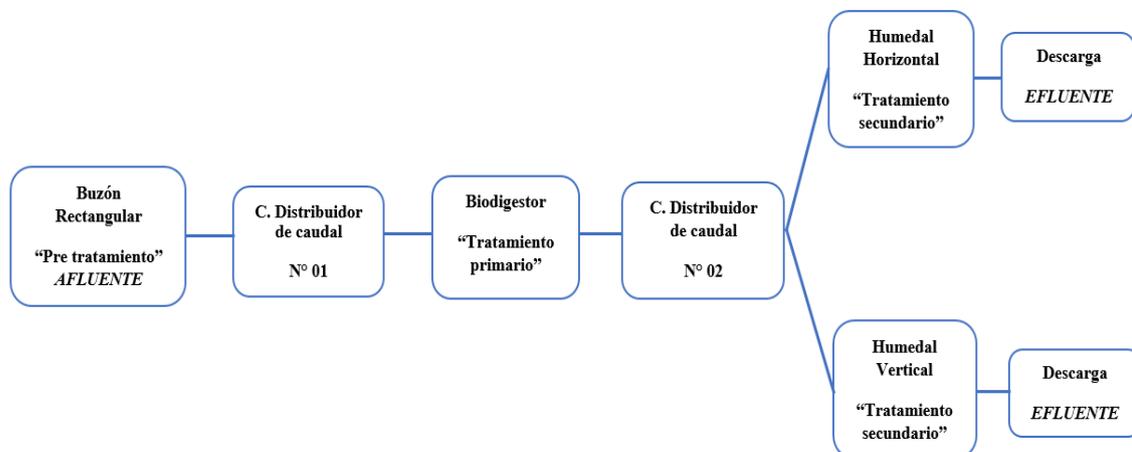


Figura 6

Identificación del terreno del proyecto



3.3.2. Diseño y Construcción del biofiltro con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* a escala Piloto.

➤ Diseño

✓ Cálculo del Área Superficial

El diseño 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. (Salazar Miranda, 2005)

Por lo tanto, se tiene la siguiente expresión:

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

Dónde:

T_{filt} = Tasa de filtración (m³/m²/día)

Q = Caudal (m³/día)

A = Área (m²)

✓ Cálculo del sistema de distribución

El sistema de distribución consta de tuberías de PVC-3/4", que tienen orificios a lo largo de este, con el fin de dispersar el caudal en toda el área superficial del biofiltro.

Fórmulas utilizadas:

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

Dónde: N = Numero de orificios en la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería caudal (m)

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

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

Dónde:

A_L = Área del orificio (m²)

N = Numero de orificios en la tubería

AT = Área de la tubería de distribución (m²)

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

Dónde:

dteo = Diámetro del orificio(m)

A_L = Área del orificio (m²)

✓ Cálculo del sistema de drenaje

El sistema de drenaje es un canal de forma trapezoidal, el cual debe de tener una pendiente adecuada para evacuar el agua ya tratada a los puntos de muestreo.

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

Dónde:

S = Pendiente (%)

H_f = Altura de drenaje. (m)

L = Longitud de drenaje (m)

➤ **Construcción del sistema tratamiento de biofiltros**

✓ **Construcción de la Caja de distribución de caudal N°03**

Para la construcción de la caja de distribución, se empezó con la limpieza del terreno luego de ello se niveló la base, y se continuó con la construcción de la caja de distribución la cual tiene la función de repartir el caudal a cada biofiltro con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, en el interior cuenta con dos vertederos triangulares los cuales se encuentran graduados para los caudales optados, que es de 0.30 m³/día para cada vertedero. La caja es de concreto $f'c=175$ Kg/cm² de dimensiones de 0.40m x 0.40m x 0.40 m de volumen interior, esta caja cuenta con una tapa móvil de 0.60m x 0.60 m.

Figura 7

Caja de distribución N°03



✓ **Construcción de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris***

Para la construcción de los biofiltros a escala piloto, se empezó con la excavación del terreno, luego de ello se niveló la base y el talud de las paredes, después se procedió al armado del encofrado de los tanques.

Para el armado de los tanques, fue hecho con concreto de 175 kg/cm² de resistencia, en la mezcla se le añadió un impermeabilizante con la dosificación de acuerdo al manual del tipo de impermeabilizante comprado, con el fin de que el tanque sea impermeable y no filtre por las paredes. Las dimensiones de este cada biofiltro es de 0.60m x 0.60m y de altura 1.05m, con espesor de muro de 0.10m. Se consideró para el tanque N°01 la especie *Eisenia foetida* y para el tanque N°02 la especie *Lumbricus terrestris*.

Figura 8

Excavación para las estructuras



Figura 9

Tanque de biofiltros construidos



✓ **Sistema de drenaje y ventilación**

En el sistema de drenaje tiene una altura de 0.25m, el vaciado del piso de los biofiltros se le dio una pendiente de 1.5% hacia la dirección de salida del canal de drenaje. Para la ventilación se consideró una tubería de PVC-2" para cada biofiltro, con la finalidad que estas tuberías transfieran oxígeno del ambiente a la parte media y al fondo de los biofiltros.

Figura 10

Sistema de ventilación



✓ Sistema de entrada y distribución

El sistema de entrada consta de dos cajas de 0.30mx0.30m el cual contiene unas válvulas de paso de diámetro 3/4", que tiene la función de cerrar el paso del agua residual cuando se va a realizar la operación y mantenimiento de los biofiltros.

El sistema de distribución consta de tuberías de PVC-3/4", que tienen orificios a lo largo de este, el diámetro de los orificios es de 5mm, con el fin de dispersar el caudal en toda el área superficial del biofiltro, la separación de centro a centro de orificio es de 3cm.

Figura 11

Sistema de distribución



✓ Construcción de la caja de monitoreo

Para la construcción de la caja de monitoreo, el material con la que se construyó fue con concreto al igual que los biofiltros, cuya principal función es de poder realizar el muestreo del agua tratada. Las dimensiones de cada caja de monitoreo es de 0.40m x 0.40m x 0.95m con espesor de muro de 0.10m, también tiene tapa móvil de 0.60m x 0.60m. La primera caja de monitoreo le pertenece al efluente del biofiltro con *Eisenia foetida* y la segunda caja para el efluente del biofiltro con *Lumbricus terrestris*.

Figura 12

Caja de monitoreo



3.3.3. Recolección y Pre-adaptación de las lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

➤ **Recolección de la especie *Lumbricus terrestris***

La recolección de las lombrices *Lumbricus terrestris* se obtuvo del mismo Centro experimental Tuyururi ubicado en el distrito de Marcará, Provincia de Carhuaz, de las parcelas donde se había cosechado papa y de la caja de conexión de desagüe de las casas aledañas al centro experimental, encontrándose una gran cantidad de lombrices de esta especie.

➤ **Recolección de la especie *Eisenia Foetida***

Esta especie fue comprada de la Planta de tratamiento de residuos sólidos de Pongor, perteneciente a la Municipalidad distrital de Independencia (MDI).

➤ **Pre-adaptación de las lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris***

La pre-adaptación se llevó a cabo en una tina de color rojo (*Eisenia foetida*) y una tina verde (*Lumbricus terrestris*), en donde se pusieron las lombrices con la propia tierra donde habitan estas, con el fin de preservar su estado de vida y facilitar la pre-adaptación después de las lombrices se puso una capa de aserrín, debido a que posee muchas cualidades, por lo que *E. Foetida* tiene preferencia, en todos los tamaños de partícula, el aserrín tiene por característica que posee una fácil descomposición en relación con la viruta y cuando el aserrín es mezclado con otros residuos de origen orgánico posee ventajas en cuanto a densidad, porosidad y aireación. (Coronel Pazmiño, 2015). Esta pre-adaptación duro 15 días.

La cantidad de lombrices que se tomaron para la pre-adaptación fueron 1kilo (lombrices más tierra), las cuales se alimentó cada 3 días con 250 ml de agua residual, realizándose este proceso 5 veces durante el periodo de pre-adaptación, teniendo como referencia a (Mendieta Bravo, 2011).

Figura 13

Tinas con Lombrices



3.3.4. Llenado de los sustratos y Adaptación

➤ Llenado de los sustratos

✓ Materiales

- Piedra bola de 3 cm de diámetro aproximadamente
- Piedra bola de 2 cm de diámetro aproximadamente
- Grava de 1 cm de diámetro aproximadamente
- Grava de 0.5 cm de diámetro aproximadamente
- Malla Raschel (0.60mx0.60m)
- Aserrín
- Tierra y *Lumbricus Terrestris*
- Compost y *Eisenia Foetida*

Como soporte para los sustratos se puso una malla gruesa metálica de espesor 20mm, el cual se encuentra empotrado a la estructura de cada caja de biofiltro, el primer sustrato son las piedra bola de 3cm de diámetro que tiene un espesor de 7.5cm, el segundo sustrato son las piedra bola de 2cm de diámetro que tiene un espesor de 7.5cm, seguidamente el tercer sustrato es la grava de 1cm de diámetro que tiene un espesor de 15cm, después se tiene como cuarto sustrato la grava de 0.5cm de diámetro que tiene un espesor de 15cm, 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, recomendado por (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003), y por último se tiene las lombrices *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* con compost y tierra respectivamente cubiertas con aserrín.

Figura 14

Esquema de los sustratos de los biofiltros

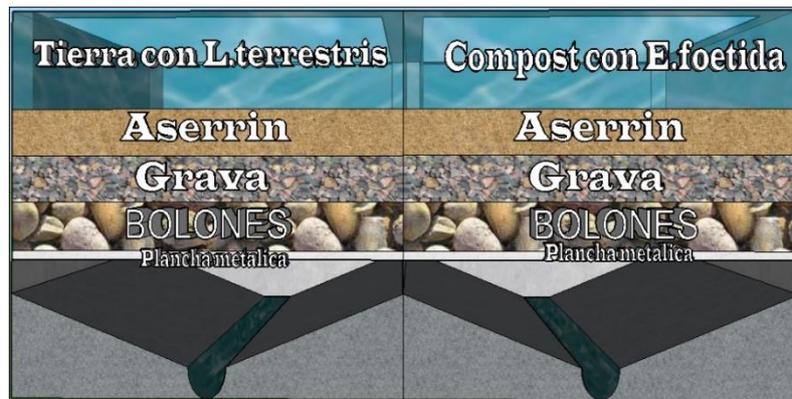


Figura 15

Colocación de los sustratos



➤ **Adaptación**

En la etapa de adaptación se trasladó las lombrices de las tinas hacia los biofiltros, se colocó 1 kilo de cada especie de lombriz, la *Eisenia foetida* con compost y la *Lumbricus terrestris* con tierra, además se adiciono aserrín. El tiempo de adaptación tuvo un periodo de 15 días, en el cual se realizó el seguimiento de desarrollo y reproducción de ambas especies de lombrices, midiendo la temperatura, pH y humedad.

Figura 16

Colocación de lombrices para su adaptación



3.3.5. Puesta en marcha

Después de colocar las lombrices a cada biofiltro correspondiente, se puso en marcha el funcionamiento de los biofiltros con el ingreso del caudal que proviene de la caja de distribución N°03 que capta el agua residual evacuado del biodigestor, esta puesta en marcha se inició el 30 de setiembre del 2019. El tiempo de monitoreo del sistema de biofiltros comenzó el 15 de octubre del 2019 y finalizó el 08 de enero del 2020, siendo un periodo total de 4 meses.

Figura 17

Colocación de lombrices para su adaptación



3.3.6. Monitoreo del sistema de biofiltros

Para la realización de esta etapa se tomaron los análisis en la entrada de la caja de distribución de caudales N°03 y las salidas de cada tanque de biofiltro, teniéndose en total de tres puntos de muestreo, cabe mencionar que se realizó un muestreo adicional en la caja de distribución N°01 para el análisis del agua residual sin ningún tratamiento previo, en la siguiente fotografía se detalla los puntos de muestreo:

Figura 18

Puntos de muestreo



➤ **Parámetros medidos del sistema de biofiltros**

Figura 19

Esquema de parámetros de medición

PH Y Temperatura



Estos parámetros de control se midieron en campo por medio de un pH metro de la marca Edge de HANNA instruments.

Humedad



Para determinar este parámetro de control se realizó la prueba del puño, la cual consiste en tomar una muestra de sustrato que alcance el puño de una mano, que, al apretarlo, se desprendan entre 7-8 gotas de agua, el sustrato estará entre 75% y 80% de humedad aproximadamente. (Somarriba Reyes & Guzmán Guillén, 2004)

Tiempo de Retención Hidraulica (TRH)



Para la evaluación del sistema se midieron los TRH para cada biofiltro usando un colorante para poder visualizar el tiempo que tarda en filtrarse el agua residual.

Parámetros de medición analizados en el laboratorio



El análisis de los parámetros de estudio que son el Nitrógeno total, Fosforo total y nitratos se realizaron con los siguientes métodos (Digestión Koroleff, nitrospectral, Vanadatamolibdato y Nitrospectral) respectivamente.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población en esta investigación está representada por los 0.6 m³/día de las aguas residuales domésticas del efluente tomada en el centro experimental de Tuyururi-Marcará.

3.4.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por el caudal de diseño de 0.3 m³/día para el funcionamiento de cada biofiltro a escala piloto.

3.5. Instrumentos validos de recolección de datos

Tabla 2

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

ETAPAS	PROCEDIMIENTO	TECNICAS	INDICADOR	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
Evaluación del Fosforo total.	Vanadatomolibdato	Análisis de laboratorio y experimentación	Concentración de Fosforo total (mg/l).	Equipo de multiparametro.
Evaluación del Nitrógeno total.	Digestión Koroleff, nitrospectral	Análisis de laboratorio y experimentación	Concentración de Nitrógeno total (mg/l).	Equipo de multiparametro.
Evaluación del Nitrato	Nitrospectral	Análisis de laboratorio y experimentación	Concentración del Nitrato (mg/l).	Equipo de multiparametro.
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 retencion hiraulica.	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 parámetros de fosforo total, nitrógeno total y nitratos fueron analizados en el laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM, así mismo para la recolección de las muestras se tuvo que recurrir a ciertos procedimientos y técnicas para la toma de muestra, conservación, etiquetado, embalaje y transporte.

3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

Consistió en procesar los resultados obtenidos con el fin de determinar la eficiencia de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, así mismo se realizó el análisis estadístico (T – Student) para los parámetros fosforo total y nitrógeno total, para contrastar la hipótesis planteada en la investigación, para los resultados obtenidos se utilizó el programa Excel para poder representar mediante gráficas, para luego proceder a compararlos, analizarlos y explicarlos.

Tabla 3

Pruebas Estadísticas de acuerdo al tipo de estudio

		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			PRUEBAS PARAMÉTRICAS	
Variable Fija	Variable Aleatoria	NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	NUMÉRICAS	
		Muestras Independientes	Un Grupo	X2 Bondad de Ajuste Binomial	X2 Bondad de Ajuste	X2 Bondad de Ajuste
Dos Grupos	X2 Bondad de Ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher		X2 de Homogeneidad	U Mann- Withney	T de Student (muestras independientes)	
Más de dos Grupo	X2 Bondad de Ajuste		X2 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)	

Para contrastar la hipótesis planteada en la investigación, el análisis estadístico es el T de Student (para muestras relacionadas), donde se tomaron las eficiencias de remoción de nitrógeno total y fosforo total de cada biofiltro. Adaptado de (Varela López, 2013).

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados de diseño de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

Tabla 4

Resultados del diseño del tanque de los biofiltros

DISEÑO DEL TANQUE DEL BIOFILTRO			
	DATOS	CÁLCULOS	UNIDADES
DISEÑO DEL TANQUE	<i>Caudal de diseño (Qd)</i>	0.30	<i>m³/m²/día</i>
	<i>Área=0.60m x 0.60m</i>	0.36	<i>m²</i>
	<i>Tasa de filtración</i>	0.83	<i>m³/día</i>
	<i>Diámetro de Tubería</i>	3/4	<i>pulg</i>
2.65		<i>cm</i>	

Tabla 5

Resultados del diseño del drenaje de los biofiltros

DISEÑO DEL DRENAJE DEL BIOFILTRO			
	DATOS	CÁLCULOS	UNIDADES
S. DRENAJE	<i>Pendiente (S)</i>	1.5	<i>%</i>
	<i>Longitud (L)</i>	0.60	<i>m</i>
	<i>Perdida de carga (Hf)</i>	1.0	<i>cm</i>

Tabla 6

Resultados del diseño del sistema de entrada de los biofiltros

DISEÑO DEL SISTEMA DE ENTRADA DE LOS BIOFILTROS			
DATOS		CÁLCULOS	UNIDADES
S.ENTRADA	Caudal de diseño (Qd)	0.30	m ³ /día
	Diámetro comercial de la tubería de distribución	0.0265	m
	Área de la tubería de distribución	0.0006 m	m
	Velocidad en las tuberías principales	0.0062954	m ³ /m ² /s

Tabla 7

Resultados del diseño del sistema de distribución de los biofiltros

DISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LOS BIOFILTROS			
DATOS		CÁLCULOS	UNIDADES
S.DISTRIBUCIÓN	Número de tuberías	5	Und
	Caudal para cada tubería (Qu)	0.06	m ³ /día
	Ancho del Biofiltro	0.60	m
	Diámetro comercial de la tubería de distribución	0.0265	m
	Área de la tubería de distribución	0.0006	m
	Velocidad en las tuberías secundarias	0.0012591	m ³ /m ² /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
S.DISTRIBUCIÓN	Distancia entre la pared y el primer orificio (D)	6.00	cm
	Número de Orificios en la tubería (N)	12.00	Und
	Area del orificios (AL)	19.63	mm ²
	Diámetro de los orificios (dteo)	5.00	mm

Para los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*, de acuerdo al cálculo se suministró un caudal (Qd) de 0.3 m³/día, el cual se reparte a lo largo del sistema de distribución, teniéndose 5 tuberías unidas con accesorios de diámetro comercial de 3/4", para el canal de drenaje se consideró una pendiente de 1.5%.

Para determinar el número de orificios se tomó en cuenta los siguientes datos, distancia entre la pared y el primer orificio de 6cm, separación de centro a centro de orificios de 3cm, obteniéndose así a lo largo de la tubería de 0.45m un número total de 12 orificios por cada tubería, con un diámetro de orificio de 5mm.

4.2. Resultados de la pre-adaptación de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

En la etapa de la pre-adaptación se llevó a cabo en una tina de color rojo (*Eisenia foetida*) y una tina verde (*Lumbricus terrestris*), en donde se pusieron las lombrices con la propia tierra donde habitan estas, con el fin de preservar su estado de vida y facilitar la pre-adaptación, después de las lombrices se puso una capa de aserrín, la cantidad de lombrices que se tomaron para la pre-adaptación fue de 1 kg para cada especie, las cuales se le alimento cada

tres días con 250 ml de agua residual, se observó que las lombrices empezaron a reproducirse ya que se evidenció la presencia de huevos, también las lombrices se evidenciaron crecimiento en tamaño, las cuales posteriormente se pasaron a los biofiltro para su posterior etapa.

Figura 20

Crecimiento y desarrollo de las lombrices



4.3. Resultados de la adaptación de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

4.3.1. Resultados de la temperatura

➤ Biofiltro con *Eisenia foetida*

Tabla 8

*Temperaturas (°C) en la adaptación del biofiltro con *Eisenia foetida**

FECHA	HORA	AFLUENTE °C	EFLUENTE °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

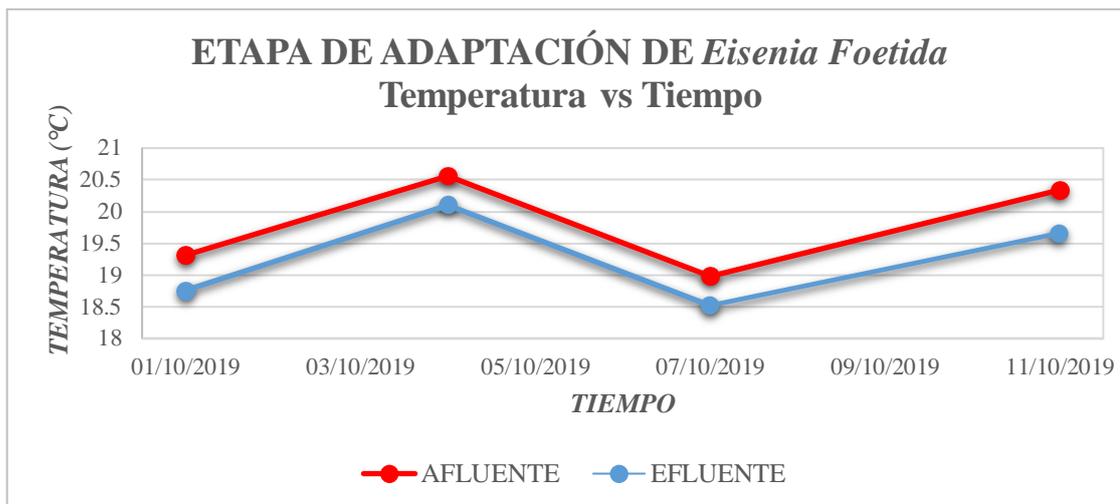
Tabla 9

Temperaturas promedias (°C)

FECHA	TEMPERATURA ° C	
	AFLUENTE	EFLUENTE
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 21

Temperaturas promedias con respecto al tiempo



En tabla 9 y figura 21 se puede observar en el afluente la temperatura promedio mínima es de 18.98°C que corresponde al 07 de octubre y la temperatura máxima es de 20.56°C. En el efluente también se puede observar la temperatura máxima el 04 octubre siendo este de 20.10°C y la temperatura mínima de 18.52°C que corresponde al 07 de octubre, como se puede observar no existe una variación significativa que altere la adaptación de la lombriz *Eisenia foetida*.

➤ **Biofiltro con *Lumbricus terrestris***

Tabla 10

*Temperaturas (°C) en la adaptación del biofiltro con *Lumbricus terrestris**

FECHA	HORA	AFLUENTE °C	EFLUENTE °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

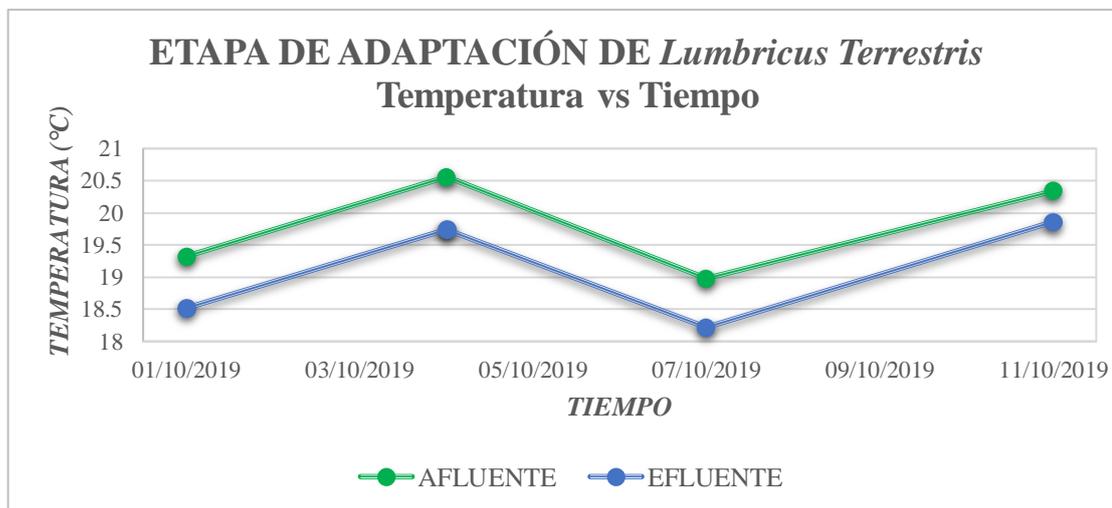
Tabla 11

Temperaturas promedias (°C)

FECHA	TEMPERATURA ° C	
	AFLUENTE	EFLUENTE
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 22

Temperaturas promedias con respecto al tiempo



En tabla 11 y figura 22 se puede observar en el afluente la temperatura promedio mínima es de 18.98°C que corresponde al 07 de octubre y la temperatura máxima es de 20.56°C. En el efluente también se puede observar la temperatura máxima el 11 de octubre siendo este de 19.86°C y

la temperatura mínima de 18.22°C que corresponde al 07 de octubre, como se puede observar no existe una variación significativa que altere la adaptación de la lombriz *Lumbricus terrestris*.

4.3.2. Resultados de la medición del pH

➤ **Biofiltro con Eisenia foetida**

Tabla 12

Medición de pH en la adaptación del biofiltro con Eisenia foetida

FECHA	HORA	AFLUENTE	EFLUENTE
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

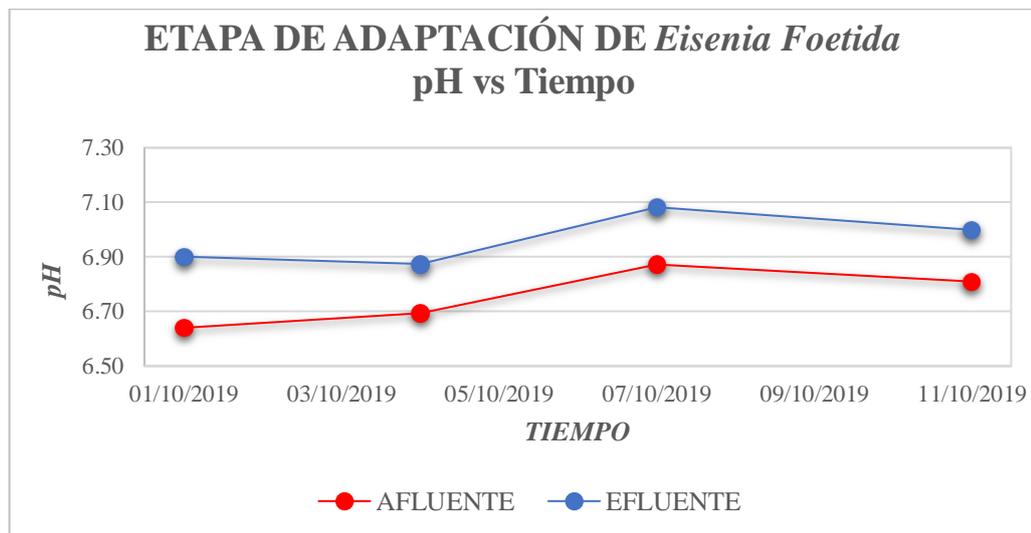
Tabla 13

pH promedios

FECHA	pH	
	AFLUENTE	EFLUENTE
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 23

pH promedios con respecto al tiempo



En los resultados obtenidos como se puede observar en la figura 23 y tabla 13, tenemos que los valores mínimos promedios del pH, tanto en el afluente como en el efluente son 6.64 y 6.81 respectivamente, así mismo los valores máximo promedios son 6.87 y 7.08, el pH se mantiene en el rango de 6.5-7.5, el cual se encuentra en un pH adecuado para el desarrollo de las lombrices.

➤ **Biofiltro con Lumbricus terrestris**

Tabla 14

Medición de pH en la adaptación del biofiltro con Lumbricus terrestris

FECHA	HORA	AFLUENTE	EFLUENTE
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

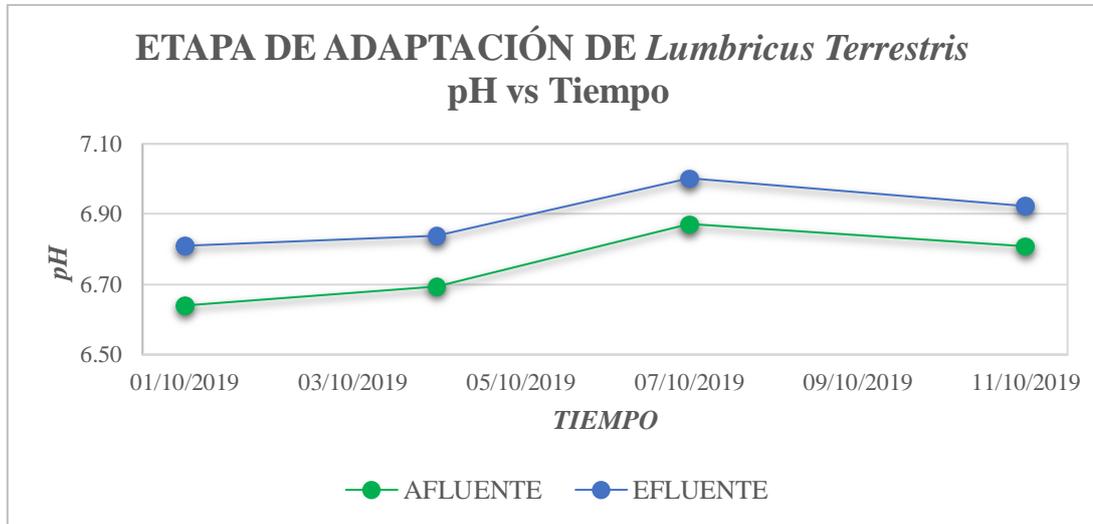
Tabla 15

pH promedios

FECHA	pH	
	AFLUENTE	EFLUENTE
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 24

pH promedios con respecto al tiempo



En los resultados obtenidos como se puede observar en la figura 24 y tabla 15, tenemos que los valores mínimos promedios del pH, tanto en el afluente como en el efluente son 6.64 y 6.81 respectivamente, así mismo los valores máximo promedios son 6.87 y 7.00, el pH se mantiene en el rango de 6.5-7.5, el cual se encuentra en un pH adecuado para el desarrollo de las lombrices.

4.3.3. Resultados de la medición del caudal

➤ **Biofiltro con Eisenia foetida**

Tabla 16

Medición de los caudales (m³/día) en la adaptación del biofiltro con Eisenia foetida

FECHA	HORA	AFLUENTE (m ³ /día)	EFLUENTE (m ³ /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

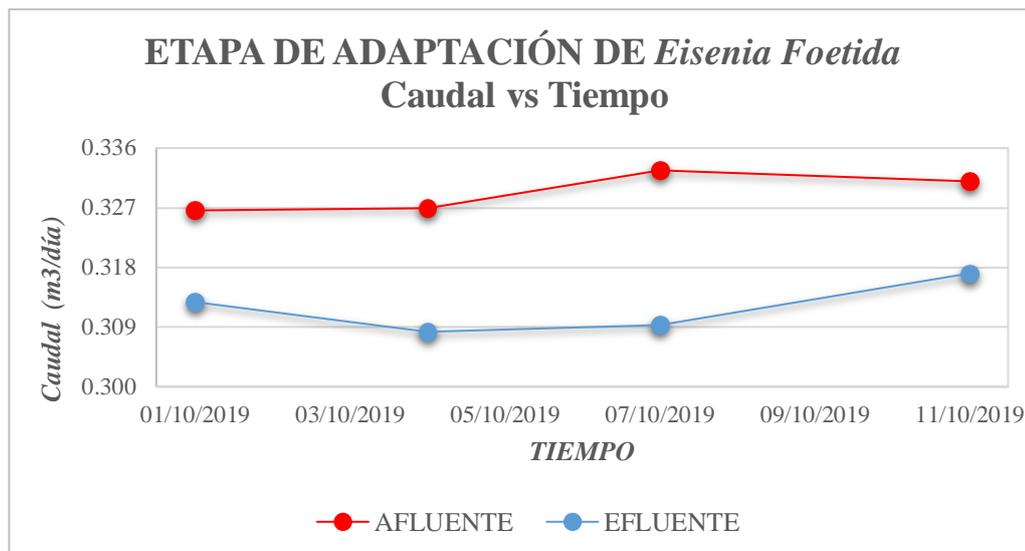
Tabla 17

Caudales (m³/día) promedios

FECHA	CAUDALES (m ³ /día)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
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 25

Caudales (m³/día) promedios con respecto al tiempo



En la figura 25 y tabla 17 se observan los caudales de aforo promedios en el afluente y efluente, en el cual el caudal mínimo promedio del afluente es de 0.327 m³/día en las fechas de 01 y 04 de octubre y en el efluente es de 0.308 m³/día de la fecha del 04 de octubre, los valores máximos del afluente y efluente llegaron hasta 0.333 m³/día el día 07 de octubre y 0.317 m³/día el 11 de octubre respectivamente.

➤ **Biofiltro con *Lumbricus terrestris***

Tabla 18

*Medición de los caudales (m³/día) en la adaptación del biofiltro con *Lumbricus terrestris**

FECHA	HORA	AFLUENTE (m ³ /día)	EFLUENTE (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

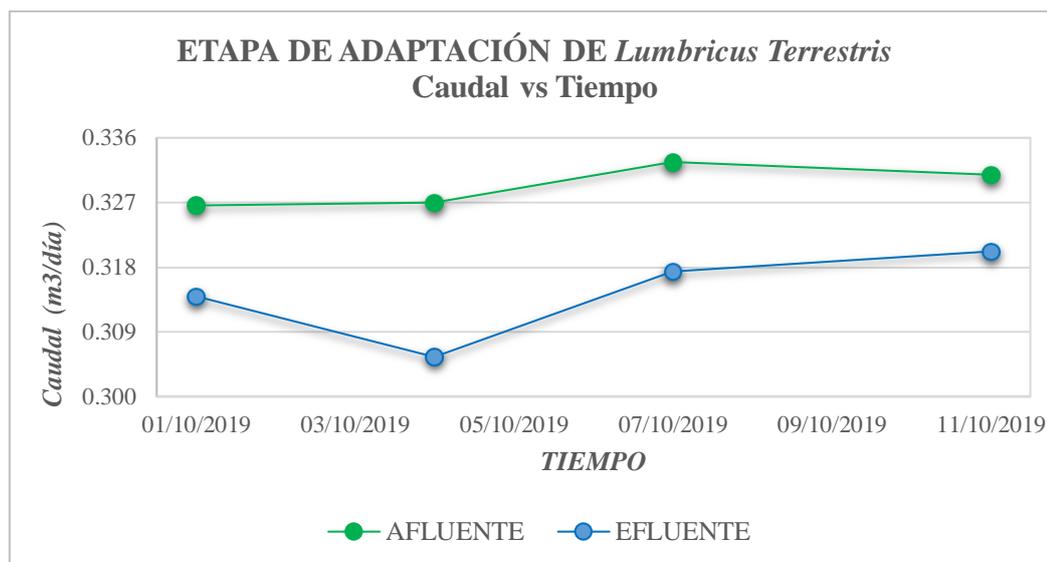
Tabla 19

Caudales (m³/día) promedios

FECHA	CAUDALES (m ³ /día)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
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 26

Caudales (m³/día) promedios con respecto al tiempo



En la figura 26 y tabla 19 se observan los caudales de aforo promedios en el afluente y efluente, en el cual el caudal mínimo promedio del afluente es de 0.327 m³/día en las fechas de 01 y 04 de octubre y en el efluente es de 0.306 m³/día de la fecha del 04 de octubre, los valores máximos del afluente y efluente llegaron hasta 0.333 m³/día el día 07 de octubre y 0.320 m³/día el 11 de octubre respectivamente.

4.3.4. Resultados de la medición de la humedad

➤ Biofiltro con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris*

Tabla 20

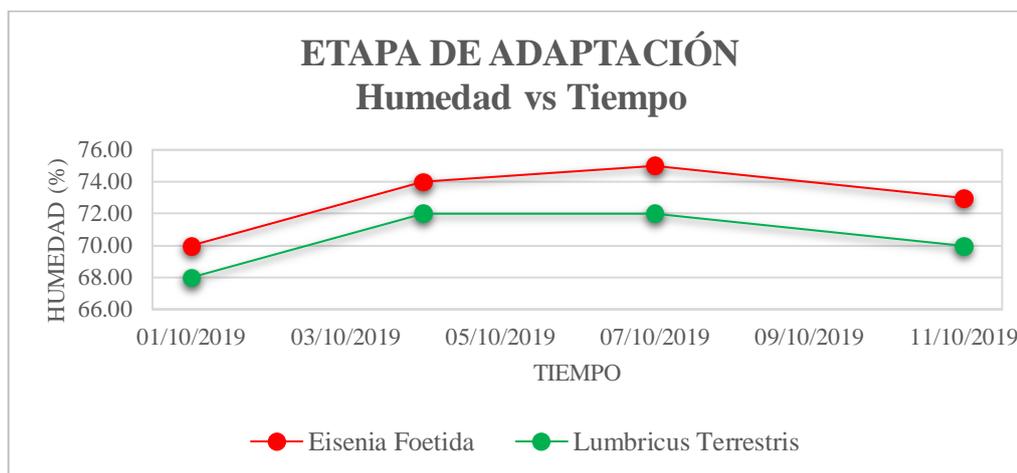
*Medición de la humedad (%) en la adaptación del biofiltro con *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris**

FECHA	T.N°01 - E.F		T.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 27

Humedad (%) con respecto al tiempo



En la figura 27 se observan los porcentajes de humedad en cada uno de los biofiltros, siendo el porcentaje de humedad mínima en el biofiltro con *Eisenia foetida* de 70%, alcanzando una máxima humedad de 75% y en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* el porcentaje mínimo de humedad es de 68% y la máxima es de 72%, encontrándose estas variaciones de humedades en ambos biofiltros dentro del rango para su crecimiento.

4.4. Resultados de tratamiento de los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lumbricus*

4.4.1. Resultados de la temperatura

➤ Biofiltro con *Eisenia foetida*

Tabla 21

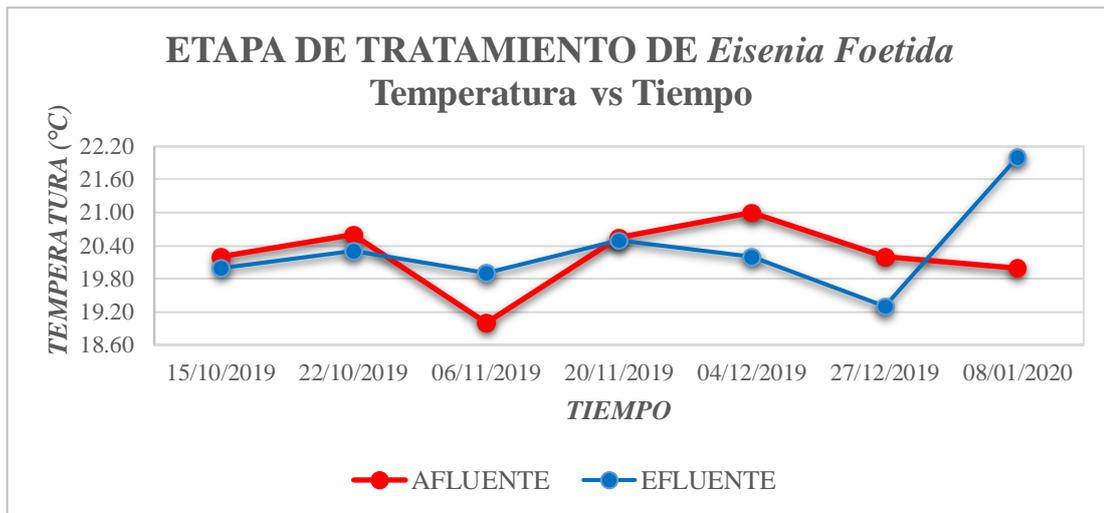
*Temperaturas (°C) en el tratamiento del biofiltro con *Eisenia foetida**

FECHA	AFLUENTE (°C)	EFLUENTE (°C)
15/10/2019	20.20	20.00
22/10/2019	20.60	20.30

06/11/2019	19.00	19.90
20/11/2019	20.55	20.50
04/12/2019	21.00	20.20
27/12/2019	20.20	19.30
08/01/2020	20.00	22.00

Figura 28

Temperaturas con respecto al tiempo



En la figura 28 y tabla 21 se puede observar en el afluente la temperatura mínima es de 19.00°C que corresponde al 06 de noviembre y la temperatura máxima es de 21.00°C. En el efluente también se puede observar la temperatura máxima el 08 de enero siendo este de 22.00°C y la temperatura mínima de 19.30°C que corresponde al 27 de diciembre.

➤ **Biofiltro con Lumbricus terrestris**

Tabla 22

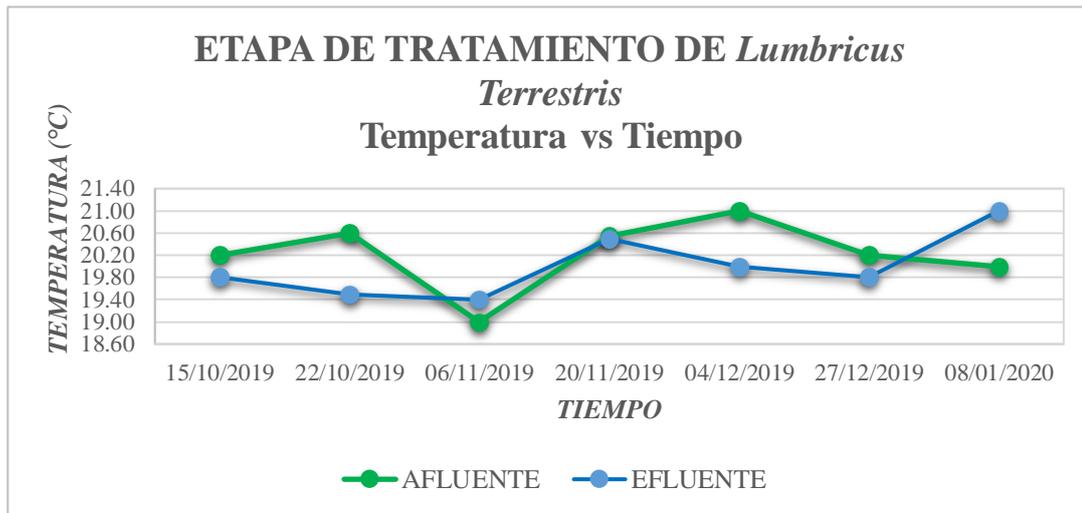
Temperaturas (°C) en el tratamiento del biofiltro con Lumbricus terrestris

FECHA	AFLUENTE (°C)	EFLUENTE (°C)
15/10/2019	20.20	19.80
22/10/2019	20.60	19.50
06/11/2019	19.00	19.40

20/11/2019	20.55	20.50
04/12/2019	21.00	20.00
27/12/2019	20.20	19.80
08/01/2020	20.00	21.00

Figura 29

Temperaturas con respecto al tiempo



En la figura 29 y tabla 22 se puede observar en el afluente la temperatura mínima es de 19.00°C que corresponde al 06 de noviembre y la temperatura máxima es de 21.00°C. En el efluente también se puede observar la temperatura máxima el 08 de enero siendo este de 21.00°C y la temperatura mínima de 19.40°C que corresponde al 06 de noviembre.

4.4.2. Resultados de la medición del pH

➤ Biofiltro con *Eisenia foetida*

Tabla 23

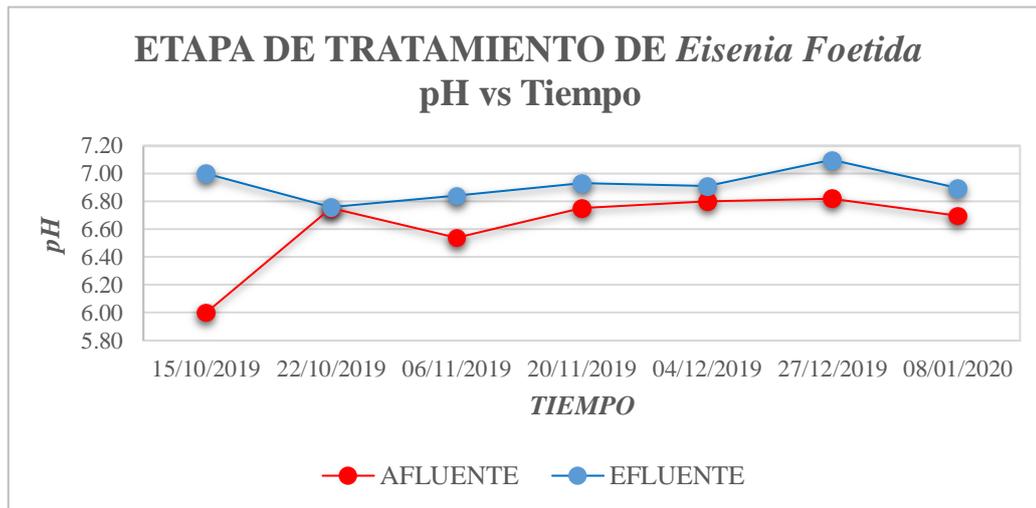
*Medición de pH en el tratamiento del biofiltro con *Eisenia foetida**

FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	6.00	7.00
22/10/2019	6.75	6.76

06/11/2019	6.54	6.84
20/11/2019	6.75	6.93
04/12/2019	6.80	6.91
27/12/2019	6.82	7.10
08/01/2020	6.70	6.90

Figura 30

pH con respecto al tiempo



En los resultados obtenidos de acuerdo a la figura 30 y tabla 23 del biofiltro con *Eisenia foetida*, observamos que el pH aumenta después del tratamiento, el pH mínimo en afluente es de 6.00 y máximo de 6.82, mientras que en el efluente el pH mínimo es de 6.76 y máximo de 7.10.

➤ **Biofiltro con *Lumbricus terrestris***

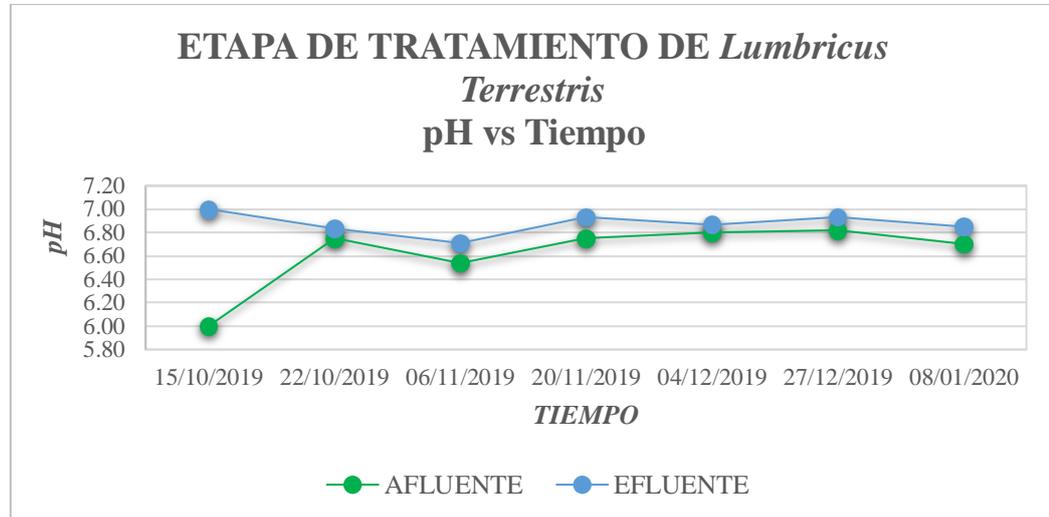
Tabla 24

*Medición de pH en el tratamiento del biofiltro con *Lumbricus terrestris**

FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	6.00	7.00
22/10/2019	6.75	6.83
06/11/2019	6.54	6.71
20/11/2019	6.75	6.93
04/12/2019	6.80	6.87
27/12/2019	6.82	6.93
08/01/2020	6.70	6.85

Figura 31

pH con respecto al tiempo



Observamos en la figura 31 y tabla 24 del biofiltro con *Lumbricus terrestris*, que el pH aumenta después del tratamiento, el pH mínimo en afluente es de 6.00 y máximo de 6.82, mientras que en el efluente el pH mínimo es de 6.71 y máximo de 7.00.

4.4.3. Resultados de la medición del caudal

➤ Biofiltro con *Eisenia foetida*

Tabla 25

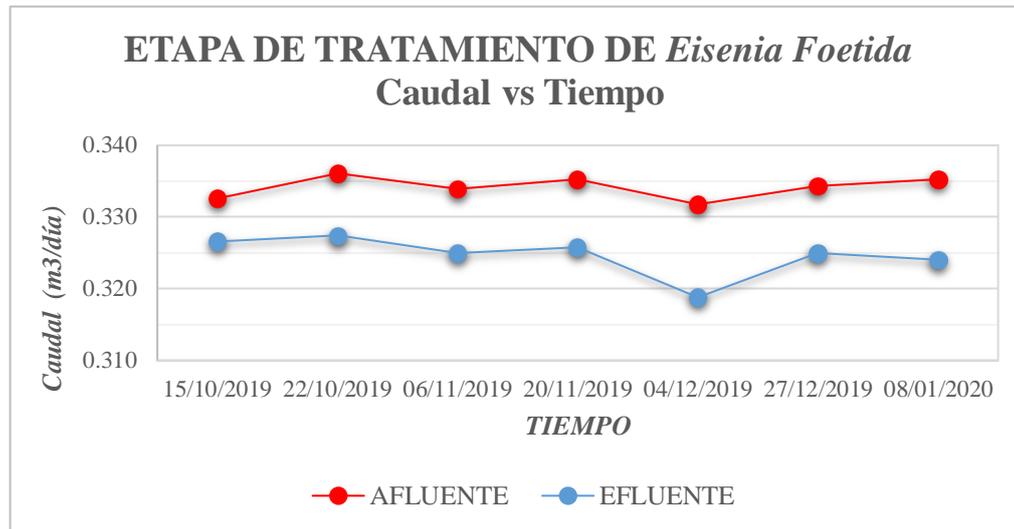
*Medición de los caudales (m³/día) en el tratamiento del biofiltro con *Eisenia foetida**

FECHA	CAUDALES (m ³ /día)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	0.333	0.327
22/10/2019	0.336	0.327
06/11/2019	0.334	0.325
20/11/2019	0.335	0.326
04/12/2019	0.332	0.319

27/12/2019	0.334	0.325
08/01/2020	0.335	0.324

Figura 32

Caudales (m³/día) promedios con respecto al tiempo



En la figura 32, observamos que el 04 de diciembre se obtuvo tanto en el afluente como en el efluente el caudal mínimo promedio con valores de 0.332 m³/día y 0.319 m³/día respectivamente, el valor máximo en el afluente se dio el 22 de octubre siendo de 0.336 m³/día y en el efluente llegaron hasta 0.327 m³/día en las fechas del 15 y 22 de octubre.

➤ **Biofiltro con Lumbricus terrestris**

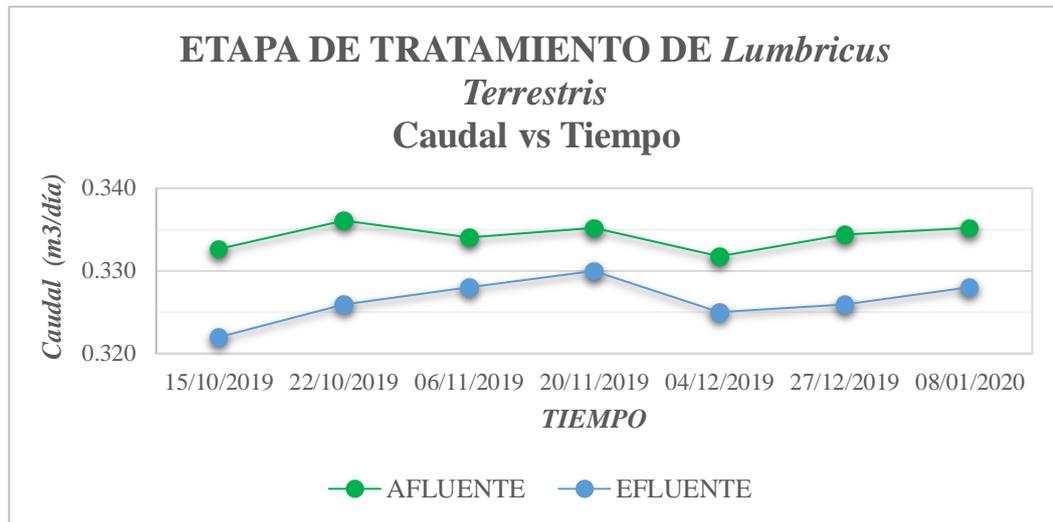
Tabla 26

Medición de los caudales (m³/día) en el tratamiento del biofiltro con Lumbricus terrestris

FECHA	CAUDALES (m ³ /día)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	0.333	0.322
22/10/2019	0.336	0.326
06/11/2019	0.334	0.328
20/11/2019	0.335	0.330
04/12/2019	0.332	0.325
27/12/2019	0.334	0.326

Figura 33

Caudales (m3/día) promedios con respecto al tiempo



En la figura 33, el caudal mínimo obtenido del afluente es de 0.332 m3/día en la fecha de 04 de diciembre y en el efluente es de 0.322 m3/día de la fecha del 15 de octubre, el valor máximo en el afluente fue de 0.336 m3/día obtenido el 22 de octubre y en el efluente llegó hasta 0.330 m3/día en la fecha del 20 de noviembre.

4.4.4. Resultados de los tiempos de retención hidráulico (TRH) en los biofiltros

➤ Cálculo del TRH teórico en biofiltros

Según (PIÑEROS CASTAÑEDA & MANRIQUE DELGADO, 2016), en su estudio nombrado Evaluación del sistema de depuración a partir de lombrices de tierra en aguas residuales, establece que la determinación del tiempo de retención hidráulica se realiza con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

A_v = Área superficial del biofiltro. (m²)

D = Profundidad del filtro. (m)

Q = Caudal. (m³/h)

C' = Constante. 0.70

m = Exponente. 0.75

n = Exponente. 0.33

$TRH = 47.25$ min

➤ **Medición en campo de los TRH en biofiltros**

Tabla 27

Tiempos de retención hidráulicos medidos en campo

FECHA	EISENIA FOETIDA	LUMBRICUS TERRESTRIS
	TRH (min)	TRH (min)
15/10/2019	13.00	11.00
06/11/2019	12.00	12.00
04/12/2019	11.00	10.00
08/01/2020	10.00	9.00

En la tabla 27 se muestra los tiempos de retención hidráulico medido en cada biofiltro, el promedio del TRH en el biofiltro con Eisenia foetida es de 11.5 min, mientras que en el biofiltro con Lumbricus terrestris tiene un valor promedio de 10.5 min.

4.4.5. Resultados de la medición de la humedad

➤ **Biofiltro con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris**

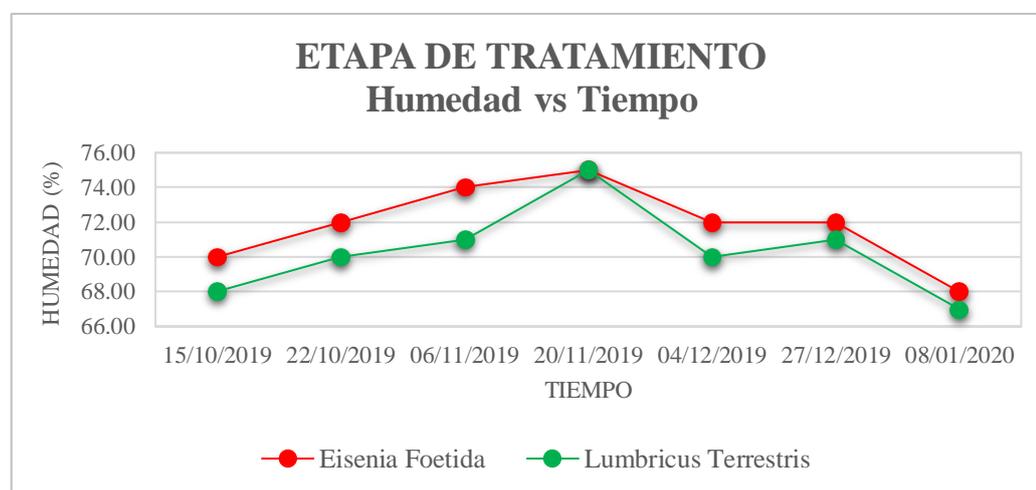
Tabla 28

Medición de la humedad (%) en el tratamiento del biofiltro con Eisenia foetida y Lumbricus terrestris

FECHA	T.N°01 - E.F		T.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
06/11/2019	0.37	74.00	0.36	71.00
20/11/2019	0.38	75.00	0.38	75.00
04/12/2019	0.36	72.00	0.35	70.00
27/12/2019	0.36	72.00	0.36	71.00
08/01/2020	0.34	68.00	0.34	67.00

Figura 34

Humedad (%) con respecto al tiempo



En la figura 34 se observan los porcentajes de humedad en cada uno de los biofiltro, siendo el porcentaje de humedad mínima en el biofiltro con Eisenia foetida de 68%, alcanzando una máxima humedad de 75% y en el biofiltro con Lumbricus terrestris el porcentaje mínimo de humedad es de 67% y la máxima es de 75%.

4.4.6. Resultados de los análisis de laboratorio del Fosforo total (P)

Los resultados entregados por el laboratorio es el PO₄-P (mg/l), para obtener el fosforo total se determinó de acuerdo a lo establecido según (HANNA, 2019), que indica la siguiente expresión:

[] de Fosforo: $[P] = [PO_4-P] (mg/l) * (\text{Peso Atómico del P} / \text{Peso Molecular del } PO_4-P (mg/l))$.

Tabla 29

[P] en [PO4-P] (mg/l) para el biofiltro con *Esenia foetida* - Análisis de laboratorio

FECHA	PO4 - P (mg/l)		P (mg/l)	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	2.540	2.170	0.829	0.708
22/10/2019	3.218	2.648	1.050	0.864
06/11/2019	6.699	6.031	2.186	1.968
20/11/2019	4.117	2.548	1.343	0.831
04/12/2019	2.460	0.683	0.803	0.223
27/12/2019	4.200	2.700	1.371	0.881
08/01/2020	1.957	0.111	0.639	0.036

Tabla 30

[P] en [PO4-P] (mg/l) para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* - Análisis de laboratorio

FECHA	PO4 - P (mg/l)		P (mg/l)	
	AFLUENTE	EFLUENTE	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	2.540	2.330	0.829	0.760
22/10/2019	3.218	2.727	1.050	0.890
06/11/2019	6.699	6.202	2.186	2.024
20/11/2019	4.117	3.287	1.343	1.073
04/12/2019	2.460	0.706	0.803	0.230
27/12/2019	4.200	2.900	1.371	0.946
08/01/2020	1.957	0.305	0.639	0.100

➤ **Primer Mes**

✓ **Biofiltro con *Eisenia foetida***

FECHA

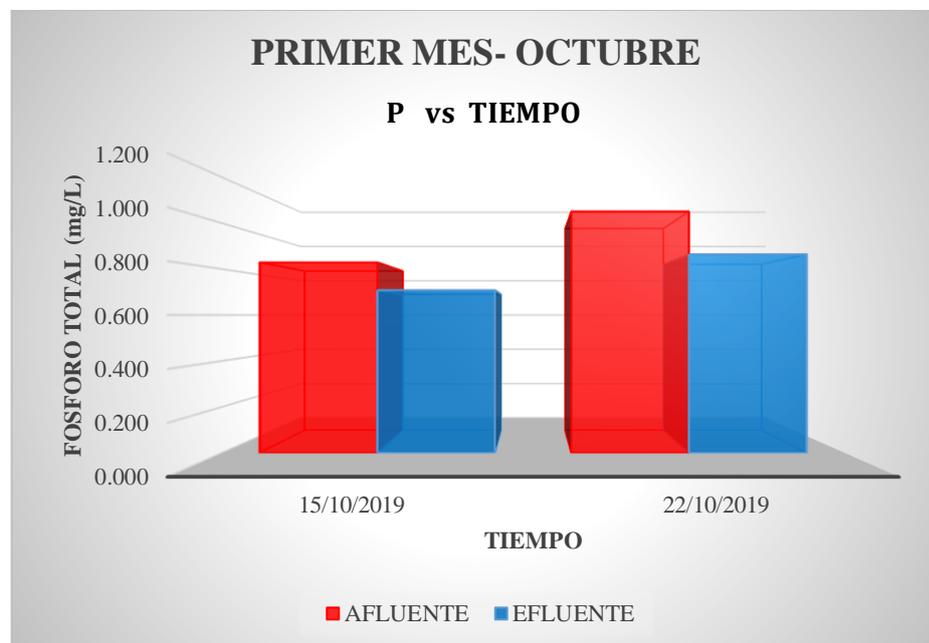
Tabla 31
primer mes

FOSFORO TOTAL (mg/l)	Resultados del	
	15/10/2019	22/10/2019
AFLUENTE	0.829	1.050
EFLUENTE	0.708	0.864
%REMOCIÓN	14.57%	17.71%

del Fosforo total

Figura 35

Fosforo total con respecto al mes de octubre



En la tabla 31 y figura 35 se observan que en la primera muestra analizada para el mes de octubre se obtuvo los siguientes resultados en el afluente 0.829 mg/l y en el efluente 0.708 mg/l teniéndose una reducción de 0.121 mg/l, en la segunda fecha la reducción fue 0.186 mg/l, dado a que en afluente la concentración es de 1.050 mg/l y en efluente 0.864 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

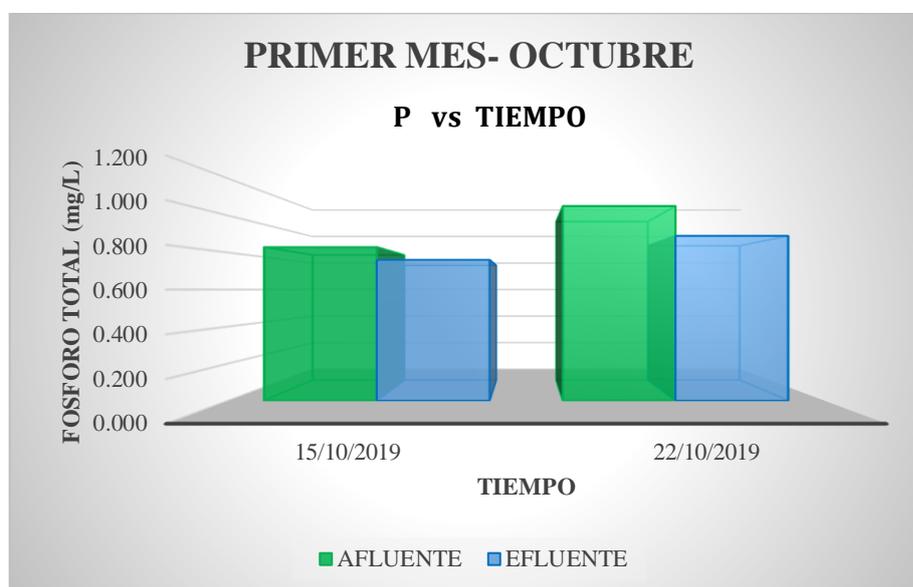
Tabla 32

Resultados del primer mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	15/10/2019	22/10/2019
AFLUENTE	0.829	1.050
EFLUENTE	0.760	0.890
%REMOCIÓN	8.27%	15.26%

Figura 36

Fosforo total con respecto al mes de octubre



En la tabla 32 y figura 36 se observan que en la primera muestra analizada para el mes de octubre se obtuvo los siguientes resultados en el afluente 0.829 mg/l y en el efluente 0.760 mg/l teniéndose una reducción de 0.069 mg/l, en la segunda fecha la reducción fue 0.160 mg/l, dado a que en afluente la concentración es de 1.050 mg/l y en efluente 0.890 mg/l.

➤ **Segundo Mes**

✓ **Biofiltro con Eisenia foetida**

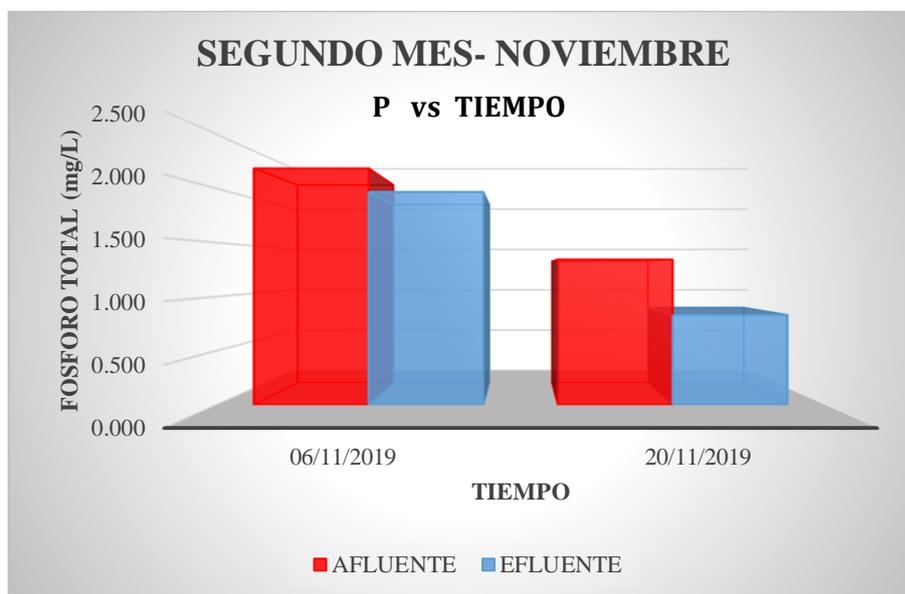
Tabla 33

Resultados del segundo mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	06/11/2019	20/11/2019
AFLUENTE	2.186	1.343
EFLUENTE	1.968	0.831
%REMOCIÓN	9.97%	38.11%

Figura 37

Fosforo total con respecto al mes de noviembre



En la tabla 33 y figura 37 se muestra que en la fecha del 06 de noviembre la concentración del afluente es de 2.186 mg/l y el efluente es de 1.968 mg/l, existiendo una disminución de 0.218 mg/l, asimismo se obtuvo en la siguiente fecha del 20 de noviembre una remoción de 38.11%, siendo en el afluente de 1.343 mg/l y en el efluente de 0.831 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

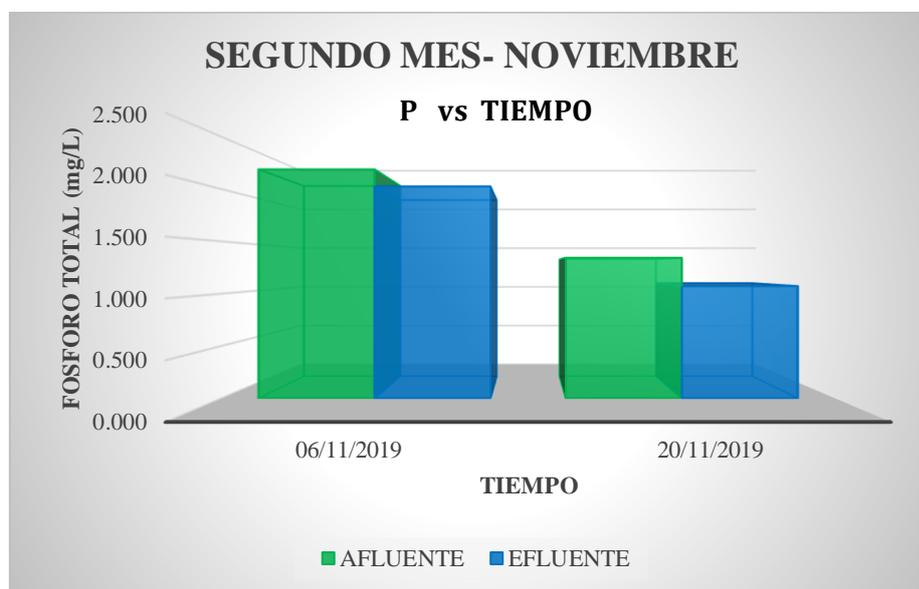
Tabla 34

Resultados del segundo mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	06/11/2019	20/11/2019
AFLUENTE	2.186	1.343
EFLUENTE	2.024	1.073
%REMOCIÓN	7.42%	20.16%

Figura 38

Fosforo total con respecto al mes de noviembre



En la tabla 34 y figura 38 se muestra que en la fecha del 06 de noviembre la concentración del afluente es de 2.186 mg/l y el efluente es de 2.024 mg/l, existiendo una disminución de 0.162 mg/l, asimismo se obtuvo en la siguiente fecha del 20 de noviembre una remoción de 20.16%, siendo en el afluente de 1.343 mg/l y en el efluente de 1.073 mg/l.

➤ **Tercer Mes**

- ✓ **Biofiltro con Eisenia foetida**

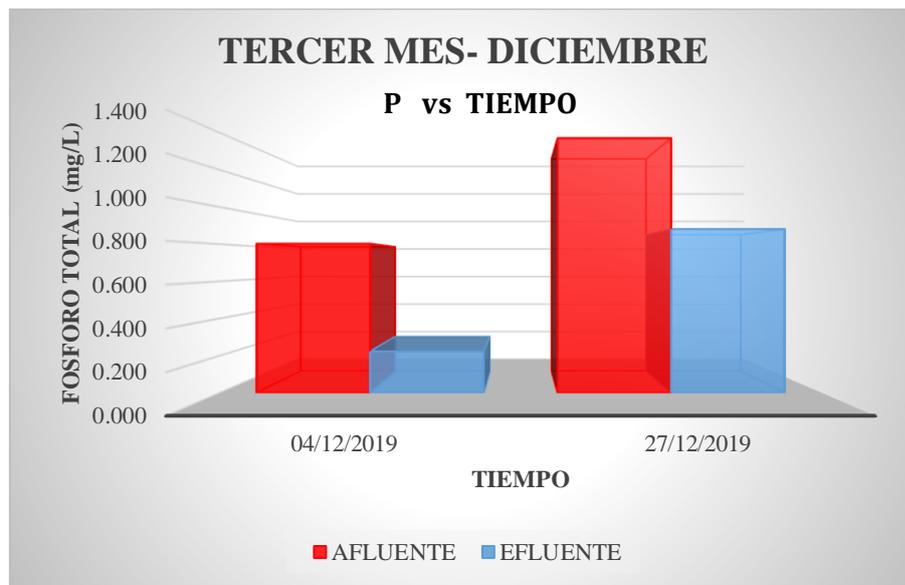
Tabla 35

Resultados del tercer mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	04/12/2019	27/12/2019
AFLUENTE	0.803	1.371
EFLUENTE	0.223	0.881
%REMOCIÓN	72.24%	35.71%

Figura 39

Fosforo total con respecto al mes de diciembre



En la tabla 35 observamos que en el biofiltro con *Eisenia foetida* en la primera fecha de muestreo se tiene una remoción de 72.24%, siendo en el afluente de 0.803 mg/l y en el efluente de 0.223 mg/l, en el segundo muestreo de este mes la remoción es de 35.71%, dado a que en el afluente la concentración de fosforo total fue de 1.371 mg/l y en efluente de 0.881 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

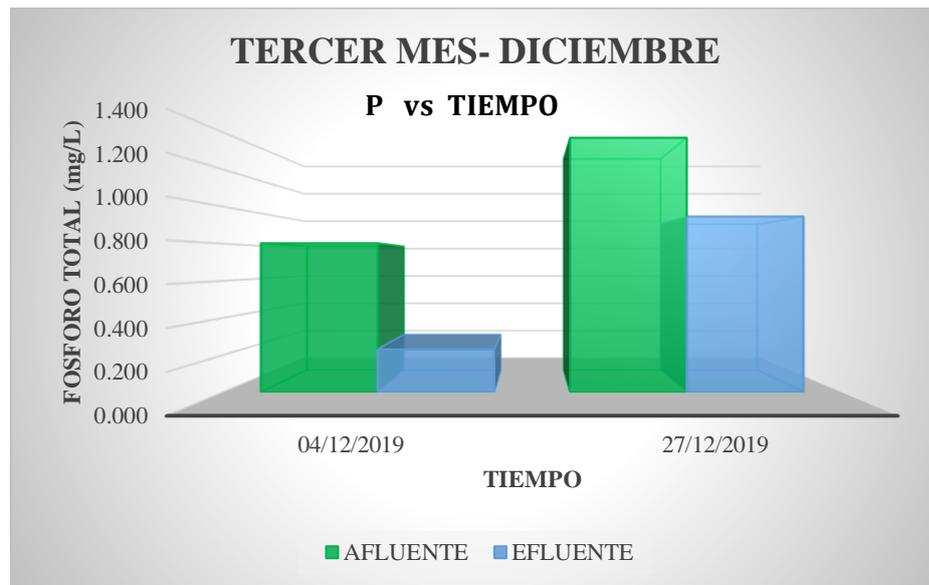
Tabla 36

Resultados del tercer mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	04/12/2019	27/12/2019
AFLUENTE	0.803	1.371
EFLUENTE	0.230	0.946
%REMOCIÓN	71.30%	30.95%

Figura 40

Fosforo total con respecto al mes de diciembre



En la tabla 36 observamos que en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* en la primera fecha de muestreo se tiene una remoción de 71.30%, siendo en el afluente de 0.803 mg/l y en el efluente de 0.230 mg/l, en el segundo muestreo de este mes la remoción es de 30.95%, dado a que en el afluente la concentración de fosforo total fue de 1.371 mg/l y en efluente de 0.946 mg/l.

➤ **Cuarto Mes**

- ✓ **Biofiltro con Eisenia foetida**

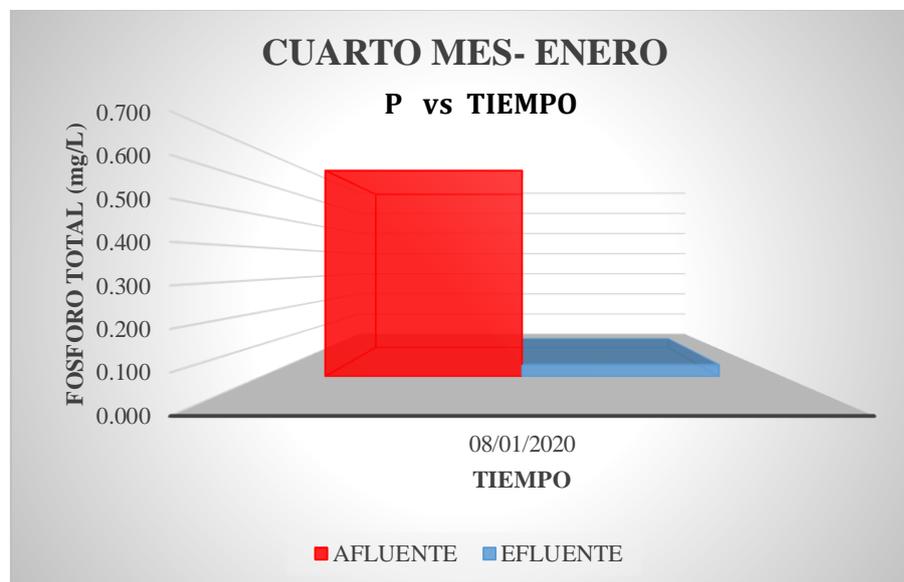
Tabla 37

Resultados del cuarto mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA
	08/01/2020
AFLUENTE	0.639
EFLUENTE	0.036
%REMOCIÓN	94.33%

Figura 41

Fosforo total con respecto al mes de enero



En la tabla 37 y figura 41 observamos que en este mes de obtuvo la mayor remoción en el biofiltro con *Eisenia foetida* durante el periodo de tratamiento, con un valor de 94.33%, dado que la concentración en el afluente es de 0.639 mg/l y en el efluente es de 0.036 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

Tabla 38

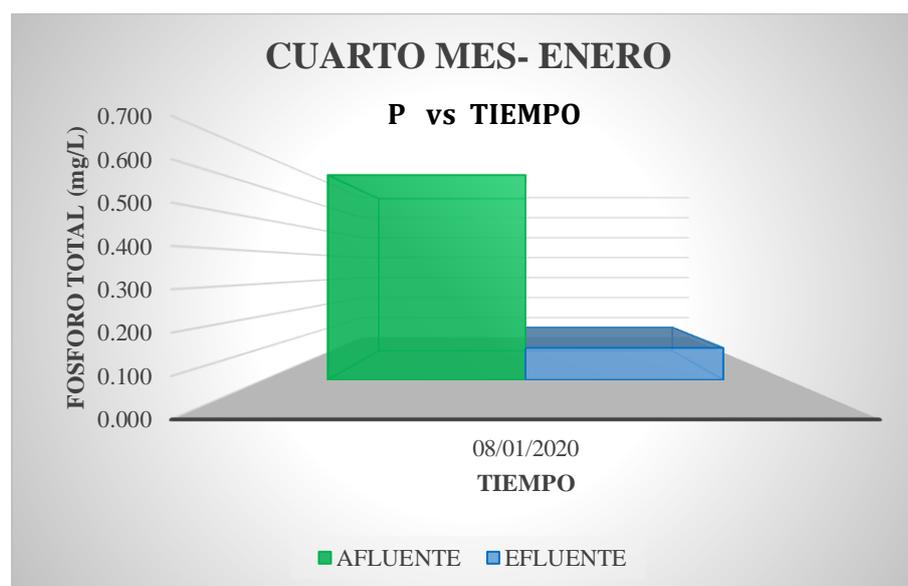
Resultados del cuarto mes del Fosforo total

FOSFORO TOTAL (mg/l)	FECHA
-------------------------	-------

08/01/2020	
AFLUENTE	0.639
EFLUENTE	0.100
%REMOCIÓN	84.41%

Figura 42

Fosforo total con respecto al mes de enero



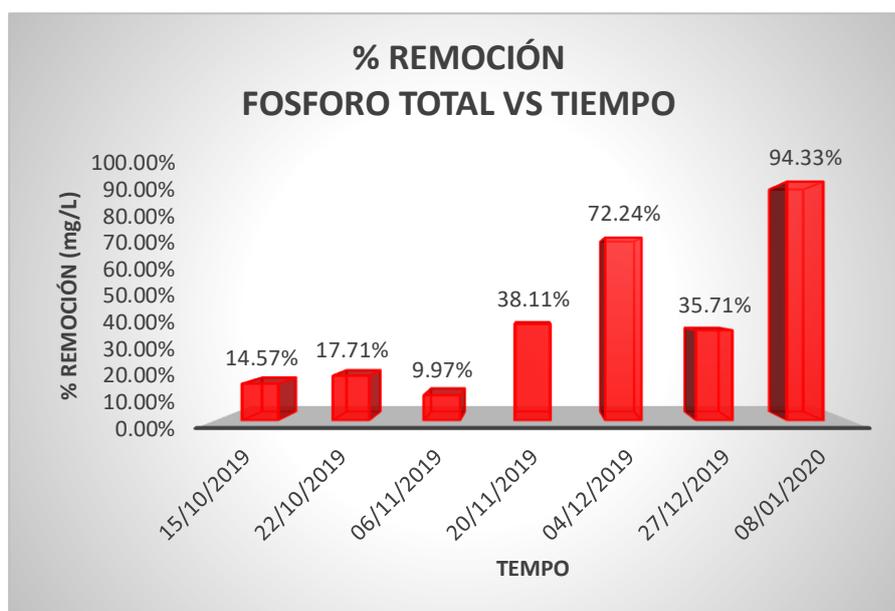
En la tabla 38 y figura 42 observamos que en este mes de obtuvo la mayor remoción en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* durante el periodo de tratamiento, con un valor de 84.41%, dado que la concentración en el afluente es de 0.639 mg/l y en el efluente es de 0.100 mg/l.

4.4.7. Eficiencias de remoción del Fosforo total (P)

En la figura 43 se muestran los porcentajes de remoción del fosforo total en el biofiltro con *Eisenia foetida* durante la etapa de tratamiento con respecto al tiempo.

Figura 43

Porcentajes de remoción del fosforo total en el biofiltro con Eisenia foetida

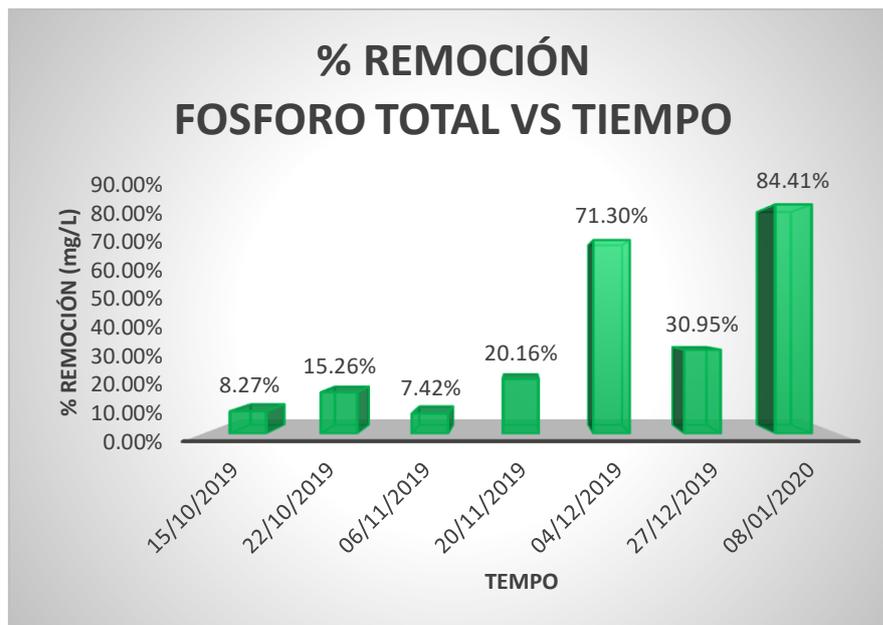


En la figura se observa que el porcentaje de remoción de fosforo total más bajo se dio el 06 de noviembre con un valor de 9.97%, en las posteriores fechas se ha ido incrementando los porcentajes de remoción, obteniéndose en la última fecha el valor más alto durante toda la etapa de monitoreo en el biofiltro con *Eisenia foetida* de 94.33%.

Para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* se muestran los porcentajes de remoción del fosforo total analizados en la etapa de tratamiento con respecto al tiempo.

Figura 44

Porcentajes de remoción del fosforo total en el biofiltro con Lumbricus terrestris

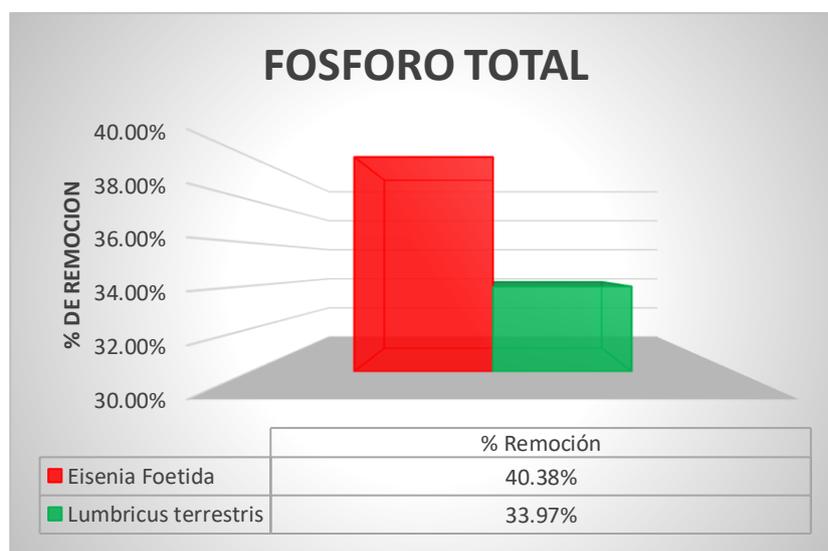


En la figura 44 se muestra que el porcentaje de remoción de fosforo total más bajo se dio el 06 de noviembre con un valor de 7.42%, en las posteriores fechas se ha ido incrementando los porcentajes de remoción, teniéndose el 04 de diciembre una remoción de 71.30% y en la última fecha se obtuvo el valor más alto durante toda la etapa de monitoreo en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* de 94.33%.

➤ **Eficiencias promedias del fosforo total en los biofiltros**

Figura 45

Porcentajes de remoción promedio en los biofiltros



En la figura 45 realizamos la comparación de las eficiencias de remoción promedias de cada biofiltro, observándose que el biofiltro con *Eisenia foetida* tiene mayor remoción del fosforo total con un valor de 40.38%, mientras que el biofiltro con *Lumbricus terrestris* el porcentaje de remoción promedio es de 33.97%.

4.4.8. Resultados de los análisis de laboratorio del Nitrógeno total (N)

➤ Primer Mes

✓ Biofiltro con *Eisenia foetida*

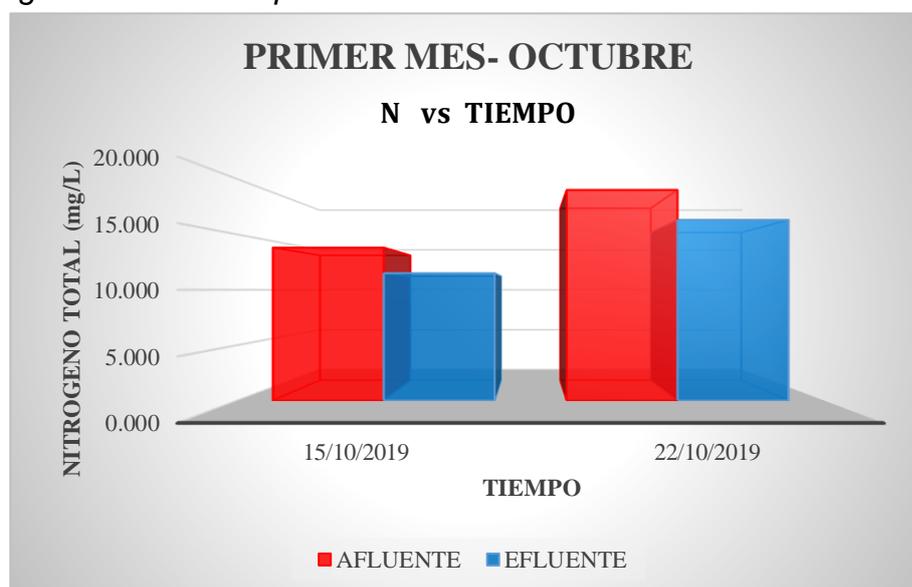
Tabla 39

Resultados del primer mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	15/10/2019	22/10/2019
AFLUENTE	13.800	19.000
EFLUENTE	11.500	16.300
%REMOCIÓN	16.67%	14.21%

Figura 46

Nitrógeno total con respecto al mes de octubre



En la tabla 39 y figura 46 observamos que en el primer muestreo del 15 de octubre se tiene una remoción de 16.67% y el 22 de octubre de 14.21%, para la primera fecha se tiene en el afluente una concentración de 13.800 mg/l y efluente de 13.500 mg/l y para la segunda fecha el afluente es de 19.000 mg/l y efluente de 16.300 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

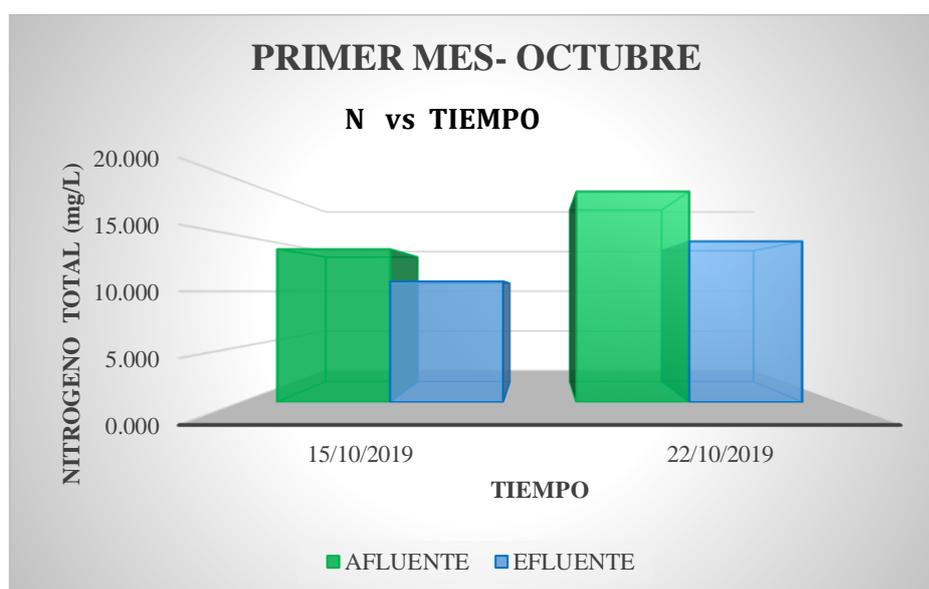
Tabla 40

Resultados del primer mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	15/10/2019	22/10/2019
AFLUENTE	13.800	19.000
EFLUENTE	10.900	14.500
%REMOCIÓN	21.01%	23.68%

Figura 47

Nitrógeno total con respecto al mes de octubre



En la tabla 40 y figura 47 observamos que en el primer muestreo del 15 de octubre se tiene una remoción de 21.01% y el 22 de octubre de 23.68%, para la primera fecha se tiene en el afluente una concentración de 13.800 mg/l y efluente de 10.900 mg/l y para la segunda fecha el afluente es de 19.000 mg/l y efluente de 14.500 mg/l.

➤ **Segundo Mes**

✓ **Biofiltro con Eisenia foetida**

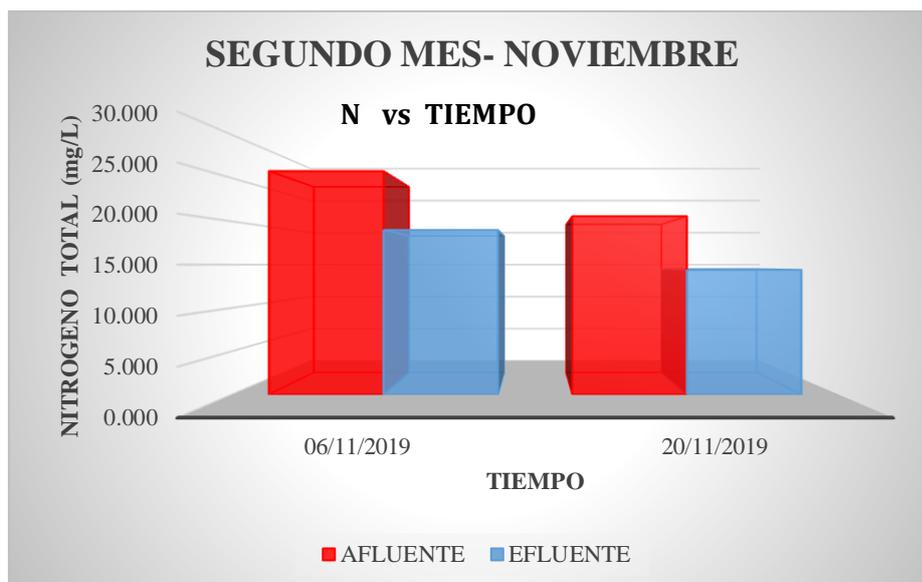
Tabla 41

Resultados del segundo mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	06/11/2019	20/11/2019
AFLUENTE	25.800	26.600
EFLUENTE	19.000	14.400
%REMOCIÓN	26.36%	30.10%

Figura 48

Nitrógeno total con respecto al mes de noviembre



En el biofiltro con *Eisenia foetida* se obtuvo en la primera fecha del mes de noviembre una remoción de 26.36%, observando en la tabla 38 que la concentración en el afluente es de 25.800 mg/l y en el efluente de 19.000 mg/l, asimismo en la segunda fecha se muestra una remoción de 30.10%, donde la concentración en el afluente es de 26.600 mg/l y en el efluente es de 14.400 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

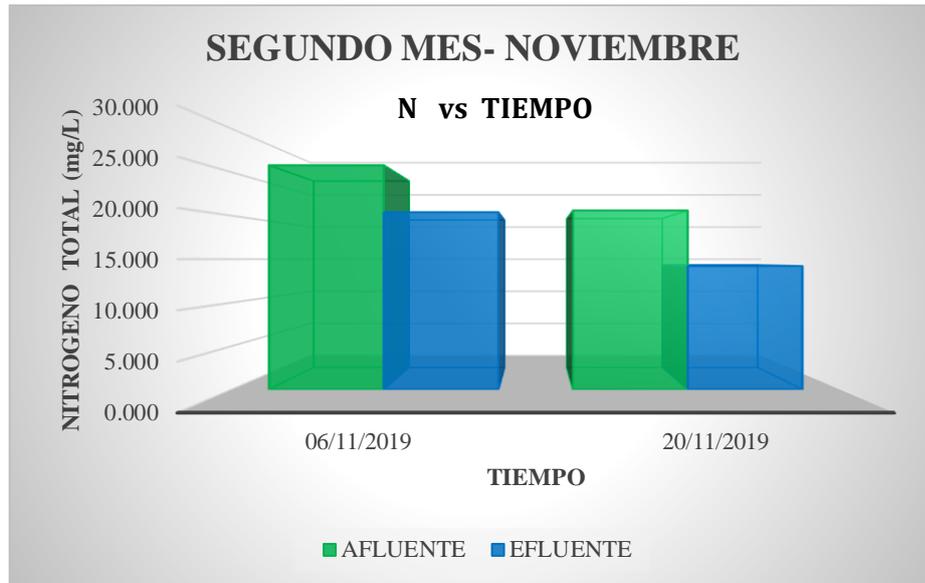
Tabla 42

Resultados del segundo mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	06/11/2019	20/11/2019
AFLUENTE	25.800	26.600
EFLUENTE	20.400	14.200
%REMOCIÓN	20.93%	31.07%

Figura 49

Nitrógeno total con respecto al mes de noviembre



En el biofiltro con *Lumbricus terrestris* se obtuvo en la primera fecha del mes de noviembre una remoción de 20.93%, observando en la tabla 39 que la concentración en el afluente es de 25.800 mg/l y en el efluente de 20.400 mg/l, asimismo en la segunda fecha se muestra una remoción de 31.07%, donde la concentración en el afluente es de 26.600 mg/l y en el efluente es de 14.200 mg/l.

✓ **Biofiltro con Eisenia foetida**

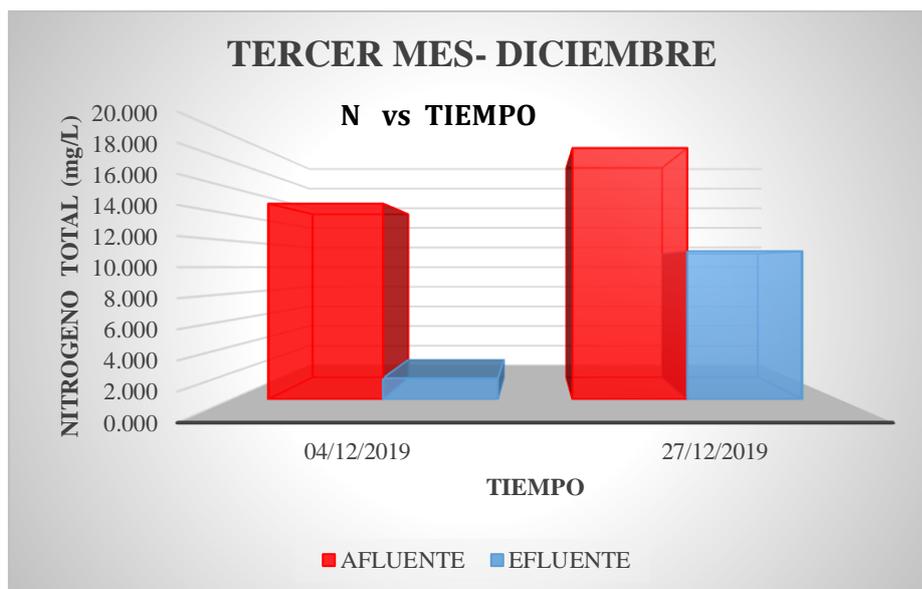
Tabla 43

Resultados del tercer mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	04/12/2019	27/12/2019
AFLUENTE	14.800	19.000
EFLUENTE	1.600	11.200
%REMOCIÓN	89.19%	41.05%

Figura 50

Nitrógeno total con respecto al mes de diciembre



En la tabla 43 y figura 50 observamos que en el biofiltro con *Eisenia foetida* que, en la fecha del 04 de diciembre, se obtuvo la mayor remoción durante el tratamiento con un valor de 89.19%, dado que en el afluente la concentración del nitrógeno total es de 14.800 mg/l y en el efluente es de 1.600 mg/l, sin embargo, el 27 de diciembre la remoción fue menor con un valor de 41.05%, dado a que la concentración en el afluente es de 19.000 mg/l y en el efluente es de 11.200 mg/l.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

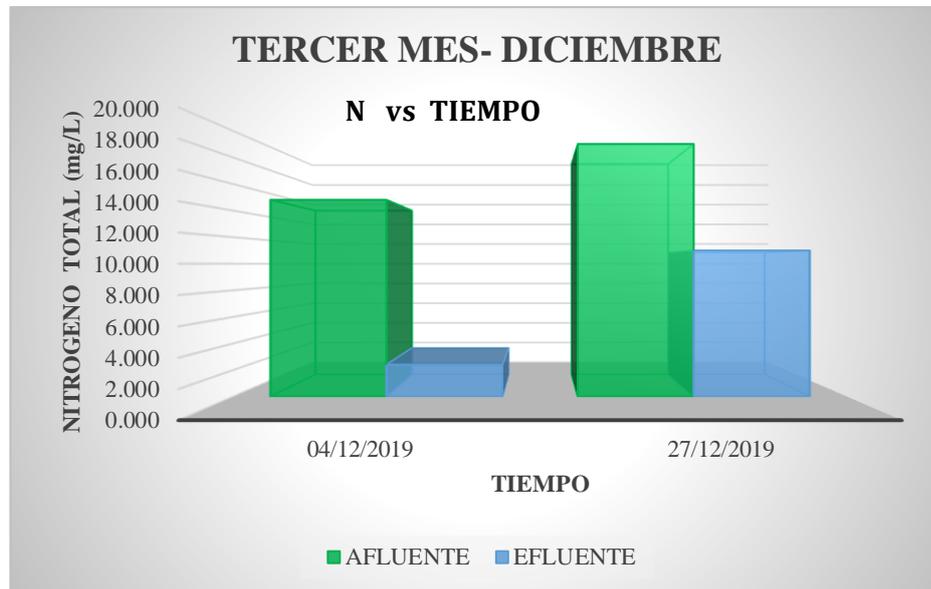
Tabla 44

Resultados del tercer mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA	
	04/12/2019	27/12/2019
AFLUENTE	14.800	19.000
EFLUENTE	2.400	11.000
%REMOCIÓN	83.78%	42.11%

Figura 51

Nitrógeno total con respecto al mes de diciembre



En la

tabla 44 y figura 51 observamos en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* que, en la fecha del 04 de diciembre, se obtuvo la mayor remoción durante el tratamiento con un valor de 83.78%, dado que en el afluente la concentración del nitrógeno total es de 14.800 mg/l y en el efluente es de 2.400 mg/l, sin embargo, el 27 de diciembre la remoción fue menor con un valor de 42.11%, dado a que la concentración en el afluente es de 19.000 mg/l y en el efluente es de 11.000 mg/l.

➤ **Cuarto Mes**

✓ **Biofiltro con *Eisenia foetida***

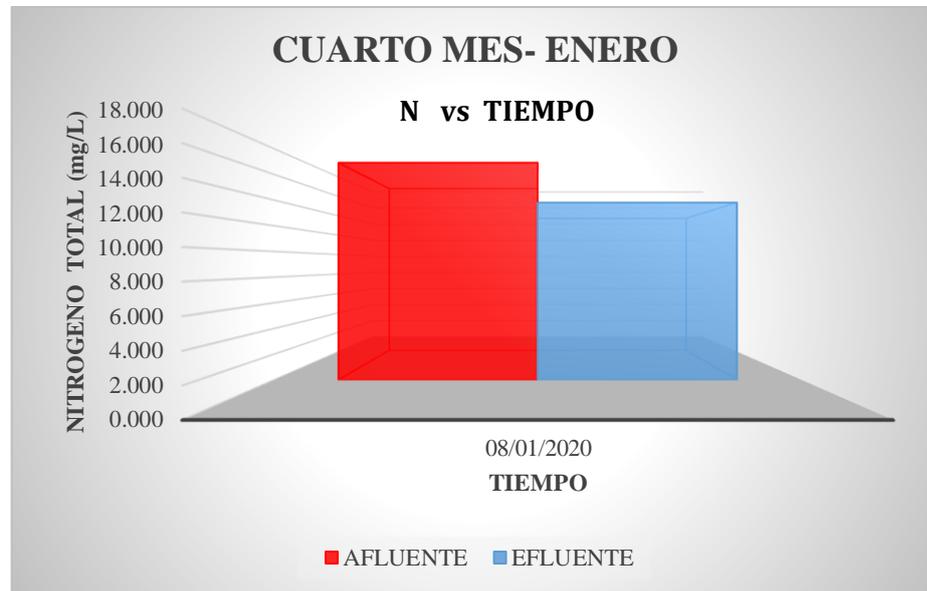
Tabla 45

Resultados del cuarto mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA
	08/01/2020
AFLUENTE	16.900
EFLUENTE	13.800
%REMOCIÓN	18.34%

Figura 52

Nitrógeno total con respecto al mes de enero



En la tabla 45 y figura 52 se observa que en el biofiltro con *Eisenia foetida* la concentración de nitrógeno total en el afluente es de 16.900 mg/l y en el efluente es de 13.800 mg/l, existiendo una remoción de 18.34%.

✓ **Biofiltro con Lumbricus terrestres**

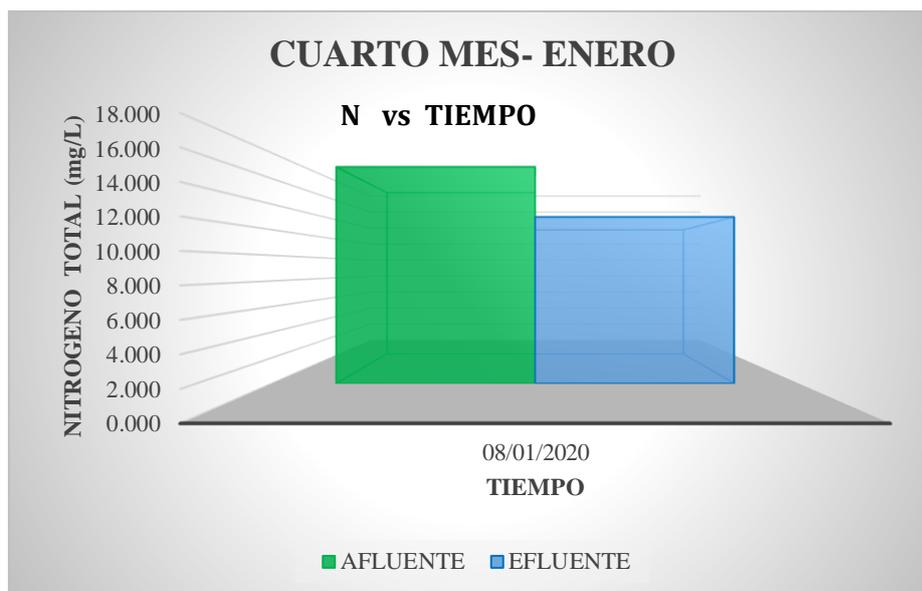
Tabla 46

Resultados del cuarto mes del Nitrógeno total

NITRÓGENO TOTAL (mg/l)	FECHA
	08/01/2020
AFLUENTE	16.900
EFLUENTE	13.000
%REMOCIÓN	23.08%

Figura 53

Nitrógeno total con respecto al mes de enero



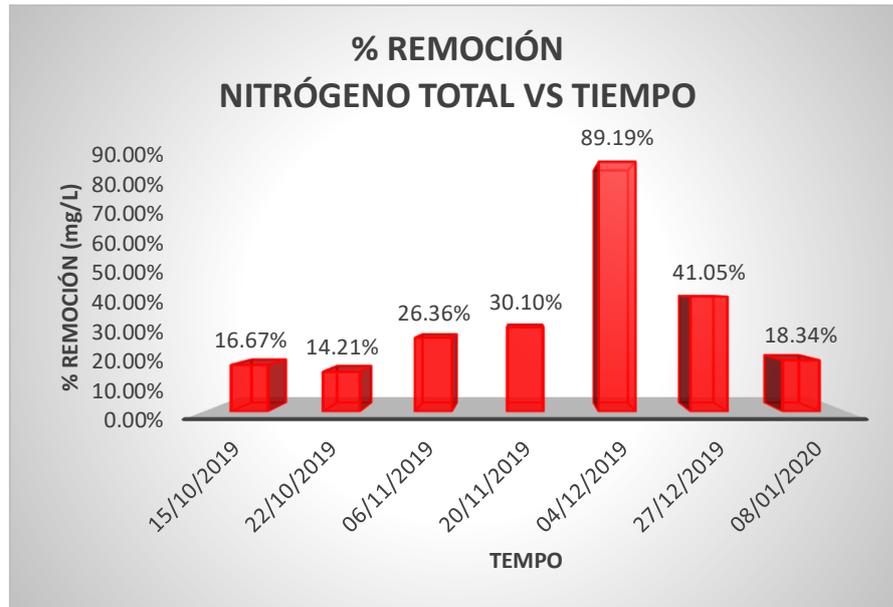
En la tabla 46 y figura 53 se observa que en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* la concentración de nitrógeno total en el afluente es de 16.900 mg/l y en el efluente es de 13.000 mg/l, existiendo una remoción de 23.08%.

4.4.9. **Eficiencias de remoción del Nitrógeno total (N)**

En el gráfico 34 se muestran los porcentajes de remoción del nitrógeno total en el biofiltro con *Eisenia foetida* durante la etapa de tratamiento con respecto al tiempo.

Figura 54

Porcentajes de remoción del nitrógeno total en el biofiltro con Eisenia foetida

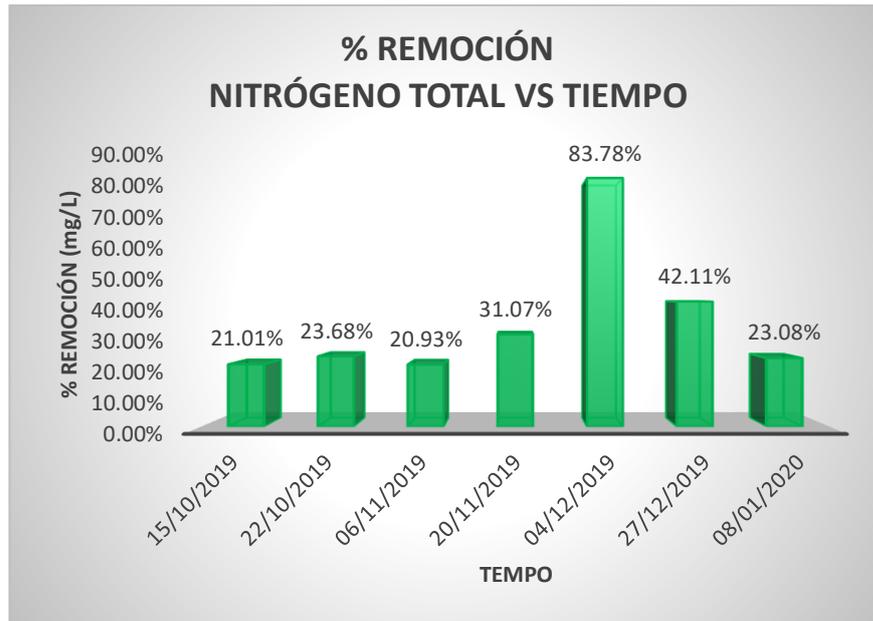


En la figura se observa que el porcentaje de remoción del nitrógeno total más bajo se dio el 22 de octubre con un valor de 14.21%, en las posteriores fechas se ha ido incrementando los porcentajes de remoción, obteniéndose el 04 de diciembre la remoción más alta con un valor de 89.19%, sin embargo, el porcentaje disminuyó en las dos últimas fechas en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

Para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* se muestran los porcentajes de remoción del nitrógeno total analizados en la etapa de tratamiento con respecto al tiempo.

Figura 55

Porcentajes de remoción del nitrógeno total en el biofiltro con Lumbricus terrestris

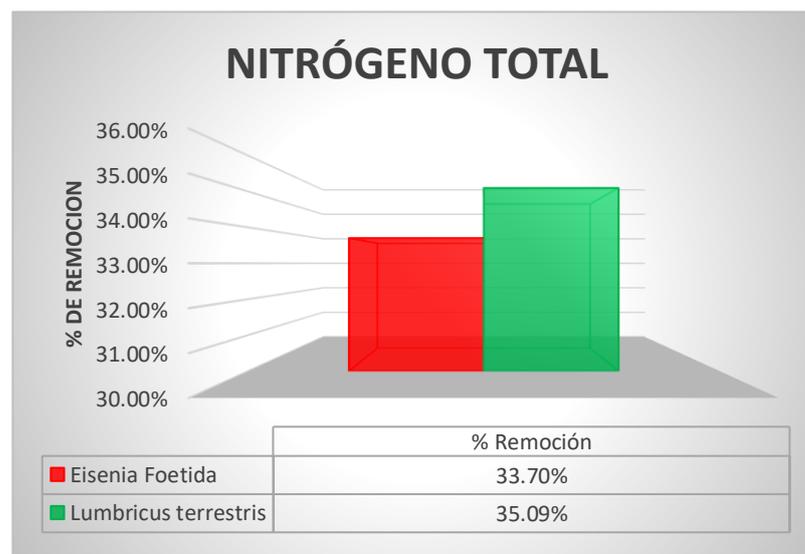


En la figura 55 se observa que el porcentaje de remoción del nitrógeno total más bajo se dio el 06 de noviembre con un valor de 20.93% y la remoción más alta se obtuvo el 04 de diciembre con un valor de 83.78%.

➤ **Eficiencias promedias del nitrógeno total en los biofiltros**

Figura 56

Porcentajes de remoción promedio en los biofiltros



En la figura 56 se muestran la comparación de las eficiencias de remoción promedias de los biofiltros, obteniéndose que en el biofiltro con *Eisenia foetida* tiene menor porcentaje remoción del nitrógeno total con un valor de 33.70%,

mientras que el biofiltro con *Lumbricus terrestris* presenta mayor porcentaje de remoción promedio con un valor de 35.09%.

4.4.10. Resultados de los análisis de laboratorio del nitrato (NO_3^-)

➤ Biofiltro con *Eisenia foetida*

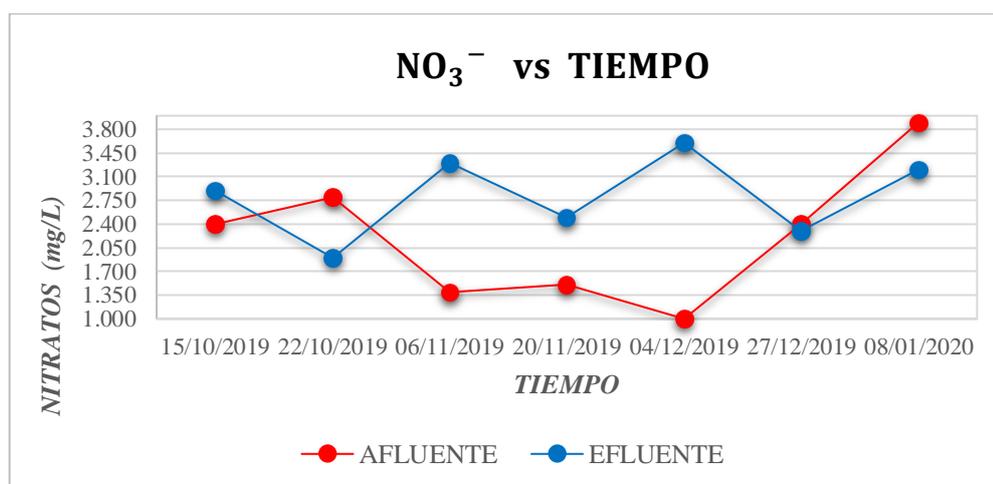
Tabla 47

Resultados de las concentraciones del nitrato (mg/l)

FECHA	NITRATOS (mg/l)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	2.400	2.900
22/10/2019	2.800	1.900
06/11/2019	1.400	3.300
20/11/2019	1.500	2.500
04/12/2019	1.000	3.600
27/12/2019	2.400	2.300
08/01/2020	3.900	3.200

Figura 57

Variación de la concentración del NO_3^- en el afluente y efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*



En la tabla 44 y gráfico 37 observamos la variación de la concentración del nitrato en el afluente y efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*, mostrándose que el 15 de octubre la concentración de nitrato en el afluente

es de 2.400 mg/l y en efluente de 2.900 mg/l, existiendo un aumento de 0.500 mg/l, en cambio el 22 del mismo mes, la concentración en el afluente fue de 2.800 mg/l y en el efluente de 1.900 mg/l teniéndose una disminución de 0.900 mg/l, por otra parte las 3 fechas siguientes observamos que las concentraciones del afluente son menores que las concentraciones del efluente, sin embargo en las dos últimas fechas se observa la disminución de las concentraciones del afluente.

➤ **Biofiltro con Lumbricus terrestris**

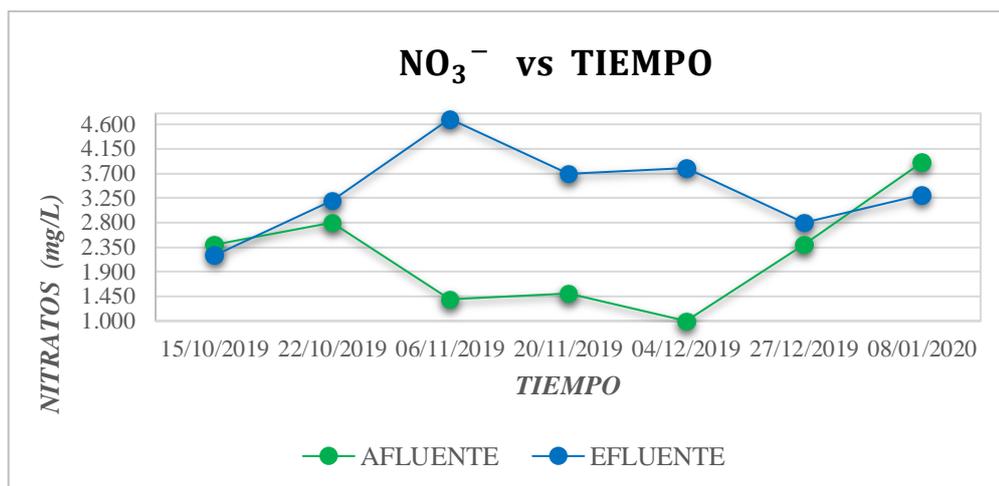
Tabla 48

Resultados de las concentraciones del nitrato (mg/l)

FECHA	NITRATOS (mg/l)	
	AFLUENTE	EFLUENTE
15/10/2019	2.400	2.200
22/10/2019	2.800	3.200
06/11/2019	1.400	4.700
20/11/2019	1.500	3.700
04/12/2019	1.000	3.800
27/12/2019	2.400	2.800
08/01/2020	3.900	3.300

Figura 58

Variación de la concentración del NO_3^- en el afluente y efluente del biofiltro con Lumbricus terrestris



En la tabla 48 y figura 58 observamos la variación de la concentración del nitrato en el afluente y efluente del biofiltro con *Lumbricus terrestris*, mostrándose que el 15 de octubre la concentración de nitrato en el afluente es de 2.400 mg/l y en efluente de 2.200 mg/l, existiendo un disminución de 0.200 mg/l, de igual forma el 08 de octubre observamos una disminución de 0.600 mg/l, dado a que en el afluente la concentración del nitrato es de 3.900 mg/l y en el efluente es de 3.300 mg/l, sin embargo las demás fechas de muestreo se observa lo contrario, dado que la concentración en el afluente es menor que la concentración del efluente.

4.4.11. Análisis del comportamiento de las concentraciones del N Y P respecto a la temperatura

➤ Fosforo total

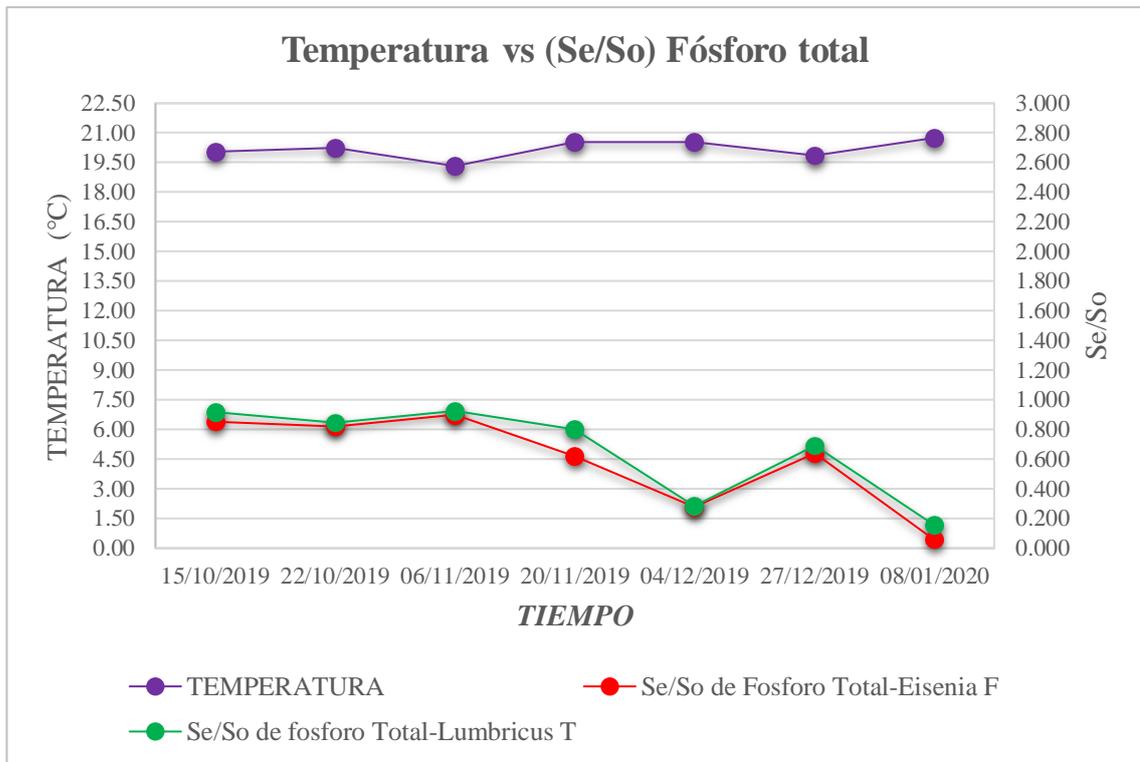
Tabla 49

Resultados del Se/So del Fosforo total y temperaturas promedias

Fósforo Total							T° promedia
Eisenia Foetida			Lumbricus Terrestris				
AFLUENTE (mg/l) (So)	EFLUENTE (mg/l) (Se)	Se/So	AFLUENTE (mg/l) (So)	EFLUENTE (mg/l) (Se)	Se/So		
0.829	0.708	0.854	0.829	0.760	0.917	20.05	
1.050	0.864	0.823	1.050	0.890	0.847	20.25	
2.186	1.968	0.900	2.186	2.024	0.926	19.33	
1.343	0.831	0.619	1.343	1.073	0.798	20.53	
0.803	0.223	0.278	0.803	0.230	0.287	20.55	
1.371	0.881	0.643	1.371	0.946	0.690	19.88	
0.639	0.036	0.057	0.639	0.100	0.156	20.75	

Figura 59

Variación de temperatura vs (Se/So) del fosforo total



En la figura 59 se tiene la relación de las concentraciones de efluente y afluente (Se/So) del fosforo total respecto a la temperatura de ambos biofiltros, siendo en la fecha del 08 de enero del 2020 una relación de Se/So de 0.057 para el biofiltro con *Eisenia foetida* y 0.156 para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* a una temperatura de 20.75°C, siendo este la mayor temperatura durante todo la etapa del monitoreo y la relación de las concentraciones son las menores (inversamente proporcional), indicándonos que a mayor temperatura, menor es la relación del Se/So, es decir menor será la concentración del fosforo total remanente, esto también lo podemos observar en la fecha del 06 de noviembre donde se tiene una relación de Se/So de 0.900 para la *Eisenia foetida* y 0.926 para *Lumbricus terrestris* a una temperatura de 19.33°C, vemos que la relación de las concentraciones son las más altas y la temperatura es la más baja.

➤ **Nitrógeno total**

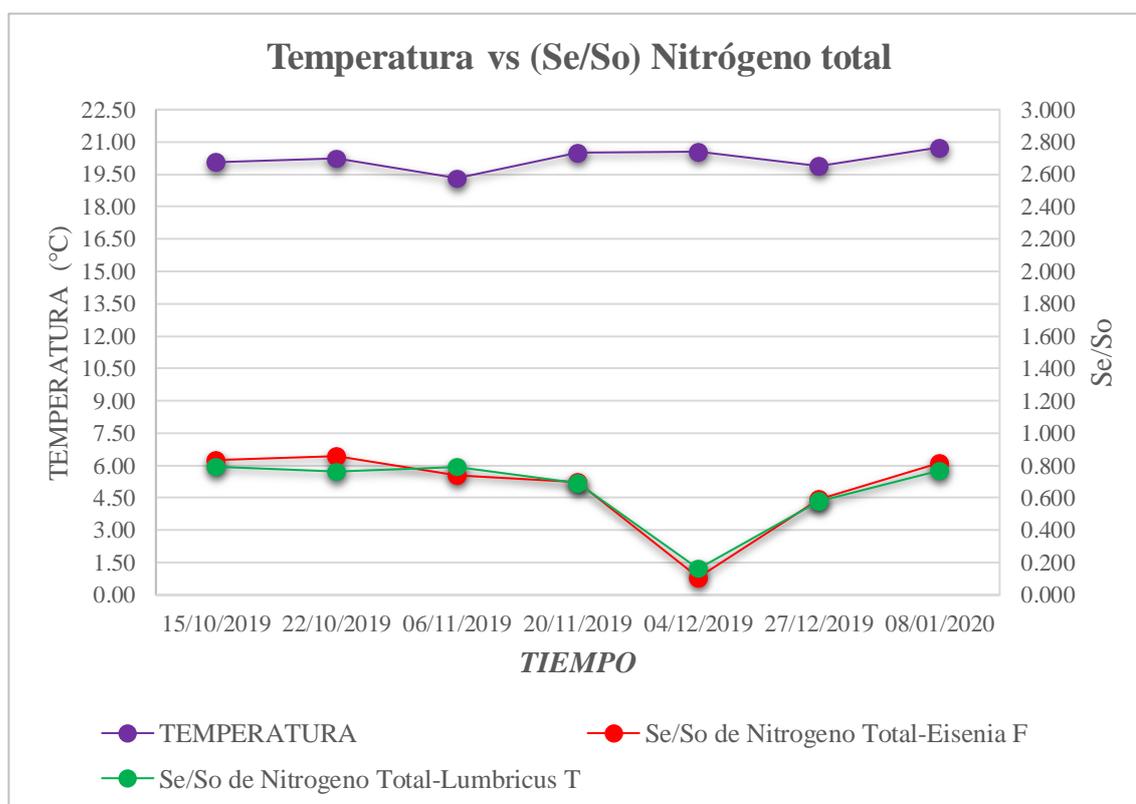
Tabla 50

Resultados del Se/So del Nitrógeno total y temperaturas promedias

Nitrógeno Total						
Eisenia Foetida			Lumbricus Terrestris			T° promedia
AFLUENTE (mg/l) (So)	EFLUENTE (mg/l) (Se)	Se/So	AFLUENTE (mg/l) (So)	EFLUENTE (mg/l) (Se)	Se/So	
13.80	11.50	0.833	13.800	10.900	0.790	20.05
19.00	16.30	0.858	19.000	14.500	0.763	20.25
25.80	19.00	0.736	25.800	20.400	0.791	19.33
20.60	14.40	0.699	20.600	14.200	0.689	20.53
14.80	1.60	0.108	14.800	2.400	0.162	20.55
19.00	11.20	0.589	19.000	11.000	0.579	19.88
16.90	13.80	0.817	16.900	13.000	0.769	20.75

Figura 60

Variación de temperatura vs (Se/So) del Nitrógeno total



En la figura 60 se tiene la relación de las concentraciones de efluente y afluente (Se/So) del nitrógeno total respecto a la temperatura de ambos

biofiltros, siendo en la fecha del 04 de diciembre la relación de Se/So es de 0.108 para el biofiltro con Eisenia foetida y 0.162 para el biofiltro con Lumbricus terrestris a una temperatura de 20.55°C, siendo la relación de las concentraciones las más bajas y la temperatura una de las más altas durante todo la etapa del monitoreo, indicándonos que la relación Se/So es inversamente proporcional a la temperatura, sin embargo existen fechas donde la relación no es inversamente proporcional, como en la fecha del 08 de enero del 2020, donde se tiene una relación de Se/So de 0.817 para la Eisenia foetida y 0.769 para Lumbricus terrestris a una temperatura de 20.75°C, esto debido a que influyen otros factores aparte de la temperatura, como la oxigenación en el filtro y parte del nitrógeno retorna al agua residual con la muerte de las lombrices y células que se encuentran en el biofiltro.

4.5. Resultados del análisis estadístico

➤ **Fosforo total (P)**

Tabla 51

Porcentajes de remociones del fosforo total (mg/l)

FECHA	%DE REMOCIÓN DEL FOSFORO TOTAL	
	EISENIA FOETIDA	LUMBRICUS TERRESTRIS
15/10/2019	14.57%	8.27%
22/10/2019	17.71%	15.26%
06/11/2019	9.97%	7.42%
20/11/2019	38.11%	20.16%
04/12/2019	72.24%	71.30%
27/12/2019	35.71%	30.95%
08/01/2020	94.33%	84.41%

✓ Identificación de las hipótesis

Hi = La remoción del fósforo total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Eisenia foetida* que con *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

Ho = La remoción del fósforo total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Lumbricus terrestris* que con *Eisenia foetida* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

Tabla 52

Prueba estadística de T student para el fósforo total

	<i>Eisenia Foetida</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>
Media	40.38	33.97
Varianza	1009.48	975.63
Observaciones	7	7
Coefficiente de correlación de Pearson	0.983	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	2.876	
P(T<=t) una cola	0.014	
Valor crítico de t (una cola)	1.943	
P(T<=t) dos colas	0.028	
Valor crítico de t (dos colas)	2.447	

En la tabla 52 se muestra el análisis estadístico, donde observamos que el P(T<=t) dos colas es de 0.028, este valor es menor que el estadístico t, indicando que se rechaza la hipótesis nula (Ho), por lo tanto, aceptamos la hipótesis alternativa (Hi), confirmando que la remoción del fósforo total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Eisenia foetida* que con *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

➤ **Nitrógeno total (N)**

Tabla 53

Porcentajes de remociones del fosforo total (mg/

FECHA	%DE REMOCIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL	
	<i>EISENIA FOETIDA</i>	<i>LUMBRICUS TERRESTRIS</i>
15/10/2019	16.67%	21.01%
22/10/2019	14.21%	23.68%
06/11/2019	26.36%	20.93%
20/11/2019	30.10%	31.07%
04/12/2019	89.19%	83.78%
27/12/2019	41.05%	42.11%
08/01/2020	18.34%	23.08%

✓ **Identificación de las hipótesis**

Hi = La remoción del nitrógeno total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Eisenia foetida* que con *Lumbricus terrestris* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

Ho = La remoción del nitrógeno total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Lumbricus terrestris* que con *Eisenia foetia* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

Tabla 54*Prueba estadística de T student para el nitrógeno total*

	<i>Eisenia Foetida</i>	<i>Lumbricus terrestris</i>
Media	33.70	35.09
Varianza	684.30	518.25
Observaciones	7	7
Coefficiente de correlación de Pearson	0.985	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
Estadístico t	-0.676	
P(T<=t) una cola	0.262	
Valor crítico de t (una cola)	1.943	
P(T<=t) dos colas	0.524	
Valor crítico de t (dos colas)	2.447	

En la tabla 51 se muestra el análisis estadístico, donde observamos que el P(T<=t) dos colas es de 0.524, este valor es mayor que el estadístico t, indicando que se acepta la hipótesis nula (Ho), el cual indica que la remoción del nitrógeno total, empleando el método de biofiltros en climas andinos, es más eficiente con el medio filtrante *Lumbricus terrestris* que con *Eisenia foetia* de las aguas residuales domésticas de Tuyururi–2019.

V. DISCUSIÓN

En la presente investigación se obtuvo para el biofiltro con *Eisenia foetida* 40.38% de remoción promedio del fósforo total y 33.70% de remoción del nitrógeno total, donde la temperatura promedio en el biofiltro es de 20.27°C, analizando estos resultados de acuerdo a la investigación de (Eileen, 2003), en donde también analiza la remoción de fósforo y nitrógeno total obteniendo resultados de un 70% eficiencia, esta diferencia de remoción es debido principalmente a que la investigación ya mencionada se realizó en climas cálidos donde la temperatura que oscila es de 25°C a 33°C, la cual se sustenta por (Romero Rojas, 2000), donde menciona que la temperatura modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana, siendo la temperatura óptima para la actividad bacteriana de 25°C a 35°C y cuando la temperatura es menor la actividad es lenta. Esto también se corrobora con la investigación de (Edgardo & Jhonatan, 2017) donde se analizó la eficiencia de la *Eisenia foetida* en un lombrifiltro obteniendo remociones de fósforo total de 55.15% y nitrógeno total de 70.73% a una temperatura de 27.08°C

En el biofiltro con *Lumbricus terrestris* se obtuvo una remoción de fósforo total de 33.97% y 35.09% del nitrógeno total, sometido a una temperatura promedio de 20.11°C, pH de 6.75 y humedad de 70.29%, siendo menor en comparación al porcentaje de remoción de la investigación de (Edgardo & Jhonatan, 2017) de la ciudad de Bagua - Amazonas, donde obtuvo 48.71% de remoción del fósforo total y 65.35% del nitrógeno total para una temperatura de 27.08°C, pH de 7.15 y humedad promedio de 78.43%, como podemos comparar el clima influye en la remoción de los nutrientes. De acuerdo a (Platzer, Cáceres, & Fong, 2002), que indica que la reducción promedio del nitrógeno total en las diferentes unidades oscila entre 21% – 39%, lo cual se considera relativamente bajo, esto se debe a

la poca disponibilidad de oxígeno dentro del lecho filtrante de las unidades de flujo horizontal, limitando a niveles bajos los principales mecanismos para la remoción de nitrógeno, que son la nitrificación y desnitrificación.

En la investigación se realizó también el análisis del nitrato para ambos biofiltros, donde observamos que en la mayoría de las muestras la concentración de nitratos es mayor en el efluente que la concentración del afluente, este aumento es debido a que existe dentro del biofiltro oxigenación, ya que según (Salamanca, 2003) indica que a medida que el agua se estabiliza, por oxidación bacteriana en medio aerobio se generan nitritos y posteriormente nitratos. El predominio de la forma de nitrato en un agua residual es un fiel indicador de que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. En los puntos de muestreo donde la concentración de nitrato en el efluente es menor que la concentración del afluente, es debido a que en el biofiltro hubo menor oxigenación, Cabe mencionar que las lombrices como parte de sus actividades generan humus, el cual contiene nutrientes como el nitrógeno.

De acuerdo al análisis estadístico (T – Student) para el parámetro fosforo total, el $P(T \leq t)$ dos colas es menor que el estadístico t, indicando que existe mayor eficiencia de remoción del fosforo total con el biofiltro de Eisenia foetida, en cambio para la remoción del nitrógeno total de acuerdo a los análisis estadísticos, el biofiltro con Lumbricus terrestris tiene mayor eficiencia que el biofiltro con Eisenia foetida.

En la evaluación del caudal observamos que para ambos biofiltros se obtuvo en el afluente un caudal promedio de 0.334 m³/día, asimismo también se realizaron las mediciones de los caudales en los efluentes para cada biofiltro, obteniéndose 0.325 m³/día en el biofiltro con Eisenia foetida y 0.326 m³/día en el biofiltro con Lumbricus terrestris, estos caudales no tienen una variación significativa que pueda afectar el sistema de biofiltros dado a que el caudal teórico diseñado es de 0.300 m³/día.

En la investigación se midió el tiempo de retención hidráulico para cada biofiltro, el promedio del TRH en el biofiltro con Eisenia foetida es de 11.5

min, mientras que en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* tiene un valor promedio de 10.5 min, y el tiempo de retención hidráulico teórico fue de 47.25 min, según (Espinosa Rodriguez, Ruiz Sanchez, Hidalgo Millán, & Delgado Delgado, 2018) indica que los tiempos de retención largos aumentan la retención del líquido y pueden, además, incrementar la superficie húmeda y activa en biodegradación, provocando mayor transferencia de oxígeno en el proceso de nitrificación.

La normativa peruana con respecto a los Límites Máximos Permisible para los efluentes de PTAR, no establecen un valor para los parámetros analizados en la presente investigación, es por ello que fueron comparados con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), Categoría 4, Subcategoría E2, el cual establecen que la concentración de fosforo total debe ser menor a 0.05 mg/l, teniéndose que solo en la fecha del 08 de enero cumple para el biofiltro con *Eisenia foetida*, sin embargo para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* no cumple ningún punto de muestreo, con respecto al nitrógeno total el ECA no establece una concentración límite, a diferencia de los nitratos que indica que la concentración no debe ser mayor a 13 mg/l, el cual en todas las muestras analizadas cumplen para ambos biofiltros.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se determinó la eficiencia de remoción del fósforo total para ambos biofiltros, donde el biofiltro con medio filtrante de *Eisenia foetida* tiene mayor remoción con un valor de 40.38%, mientras que el biofiltro con *Lumbricus terrestris* la eficiencia es de 33.97%.
- La eficiencia de remoción del nitrógeno total para el biofiltro con *Lumbricus terrestris* es de 35.09%, siendo mayor en comparación con el biofiltro de *Eisenia foetida* que logró una remoción de 33.70%.
- Se realizó el diseño y la construcción del sistema de biofiltros con dimensiones de 0.60m x 0.60m x 1.05m con $e = 0.10\text{m}$ de concreto de $f'c=175\text{ Kg/cm}^2$ y caudal de 0.3 m³/día para cada biofiltro.
- Se analizó el comportamiento de la relación de los efluentes y afluentes de las concentraciones de Nitrógeno total y Fósforo total de cada biofiltro respecto a la temperatura, concluyendo que cuando la temperatura es alta, la relación S_e/S_o del fósforo total y nitrógeno total es bajo, indicándonos que menor será la concentración de estos parámetros en el efluente (remanente) cuanto mayor sea la temperatura.
- Se analizaron los parámetros de control en los biofiltros, siendo el pH de 6.77, temperatura promedio de 20.27°C y humedad de 71.86% para el biofiltro con *Eisenia foetida*, en el biofiltro con *Lumbricus terrestris* el pH de 6.75, temperatura promedio de 20.11°C y humedad de 70.29%.

6.2. Recomendaciones

- El ingreso de caudal debe ser de forma constante para mantener la humedad durante todo el día, para ello se debe contar con un sistema de distribución del agua residual que sea por aspersión.
- Se debe realizar la extracción del humus en los biofiltros, para ello se recomienda aislar a las lombrices colocando alimentos orgánicos, como restos de vegetales, para que las lombrices puedan agruparse en esas áreas y de esta forma se podrá extraer el humus fácilmente.
- Se recomienda que el sistema de ventilación sea con ventanas en la parte inferior del biofiltro, para asegurar la oxigenación del sistema y de esta manera obtener mayores eficiencias.
- Las temperaturas de los biofiltros deben ser mayores a 20°C y menores a 30°C, para que no alteren la remoción del nitrógeno y fosforo total en el sistema de biofiltros.
- Se recomienda para futuras investigaciones, realizar estudios sobre la determinación de la cantidad requerida de oligoquetos, por cada m³ de agua contaminada y con estos datos obtenidos diseñar un sistema de cultivos de lombrices (oligoquetos), para satisfacer las necesidades requeridas en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.V.F. Ingeniería Ambiental. (2003). *Programa de descontaminación de aguas, biofiltro.*
- AGROFLOR. (s.f.). MANUAL DE LOMBRICULTURA.
- Aviles Sacoto, E. C. (2011). *Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales de una planta de tratamiento de agua.* Tesis Pre grado, UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA, Cuenca.
- Barba, L. E. (2002). *CONCEPTOS BASICOS DE LA CONTAMINACION DEL AGUA Y PARAMETROS DE MEDICION.* SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- Bobadilla , C., Bornhardt, C., & Monj, F. (2003). *TRATAMIENTO DE RILES MEDIANTE LOMBRIFILTRO. XV CONGRESO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL AIDIS - CHILE, 4-5.*
- Campos Solano, G., & Guman Diaz, G. (2014). *Producción de abono orgánico en pequeña escala con lombriz californiana(Eisenia foetida).* San Jose: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Coronel Pazmiño, N. (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-pregrado, Riobamba-Ecuador.
- Edgardo, A. M., & Jhonatan, R. S. (2017). *EFICIENCIA DE Lumbricus Terrestris Y Eisenia Foetida EN EL.* Tesis, Bagua.
- Eileen, A. L. (2003). *“EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA TOHÁ EN LA REMOCIÓN DE Salmonella EN AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS.* Tesis Magister, Santiago.
- Espinosa Rodriguez, M., Ruiz Sanchez, T., Hidalgo Millán, A., & Delgado Delgado, R. (2018). *EFFECTO DE LA CARGA HIDRÁULICA DE UN FILTRO PERCOLADOR EN EL PROCESO DE NITRIFICACIÓN. REVISTA MEXICANA DE INGENEIRÍA QUIMICA, 18, 113.*

- Fernández Estela, A. (2015). *AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ, PROBLEMÁTICA Y USO EN LA AGRICULTURA*.
- Fuentes. (s.f.). *La crianza de la lombriz roja*.
- Gonzalez, G. (2007). *Biodiversidad y ecología de las lombrices de tierra en las islas caribeñas*.
- HANNA, i. (05 de junio de 2019). *HANNA instruments*. Recuperado el 07 de Setiembre de 2020, de <https://www.hannainst.es/blog/1504/F%C3%B3foro--Comprender-los-diferentes-tipos-de-f>
- Jimenez Coral, A. S. (2016). *ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA FABRICA DE EMBUTIDOS*. Tesis Pre grado, ESCUELA POLIETECNICA NACIONAL, Quito.
- Maldonado Escobedo, J. (2014). *“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE CHARACOTO, METODO IMHOFF*. Tesis Pregrado, Arequipa.
- Manantial. (2000). *Manantial*. Recuperado el 17 de Abril de 2018, de Manantial: <http://www.manantial.cl/dinamicos/descargas/cultivo-fijo-ficha-lombrifiltro.pdf>
- 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.
- Montes, M. S. (21 de Marzo de 2017). *iagua*. Recuperado el 17 de Abril de 2018, de <https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes>
- MVCS. (2006). *NORMA OS.090*.
- OEFA, O. d. (2014). *FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES . FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES , 3*.

- OMA, O. d. (2010). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES*.
- PIÑEROS CASTAÑEDA, J., & MANRIQUE DELGADO, E. (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*. Tesis Pre grado, Universidad de América Facultad de Ingenierías , Bogotá.
- Platzer, M., Cáceres, V., & Fong, N. (2002). INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS CON BIOFILTROS EN NICARAGUA, CENTRO AMERICA. *AIDIS*, 5.
- Romero Rojas, J. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Teoría y principios de diseño*. Bogota: Escuela colombiana de Ingenieria.
- Salamanca, U. d. (Marzo de 2003). *Aula Virtual*. Recuperado el 09 de setiembre de 2020, de <http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/principal/principal.htm?fbclid=IwAR1ntfTbuTL5rO8ykYauEQwWAO3tgEsg4XxprvUTT1y9leWkSdaLjUY2LYY>
- Salazar Miranda, P. I. (2005). "*Sistema Tohá, una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*". Tesis de pre-grado.
- SANABRIA SUAREZ , D. (2004). *FÓSFORO TOTAL EN AGUA POR DIGESTION ACIDA, MÉTODO DEL ACIDO ASCORBICO*.
- Sistema de Información del Medio Ambiente. (2007). *FICHA TECNICA*.
- Somarriba Reyes, R. J., & Guzmán Guillén, F. (2004). *GUIA DE LOMBRICULTURA*. (D. F. Alemán, Ed.) Managua, Nicaragua.
- 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: ANÁLISIS DE LABORATORIO



INFORME DE ENSAYO AG190462

CLIENTE
Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190280

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					15/10/2019	
					11:40	
					AG190538	
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0	2.4	
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5	13.8	
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010	2.540	

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
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 AG190463

CLIENTE
Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190280

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° : CO190756

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	AG190539
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		2.9
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		11.5
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		2.170

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	7
Temperatura	*C	30.7
Humedad	%	53

Huaraz, 22 de Octubre de 2019



Mario Leyva Collas
MSc. Quim. 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 AG190464

CLIENTE
Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190280

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo	15/10/2019
					Hora de muestreo	11:42
					Código del Laboratorio	AG190540
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃	Nitrospectral	1.0		2.2
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		10.9
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		2.330

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
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 dirimentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.





INFORME DE ENSAYO AG190483

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190292

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					22/10/2019	
					11:25	
					AG190565	
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		2.8
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		19.0
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ -P	Vanadatomolibdato	0.010		3.218

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARAMETRO	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 AG190484

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta SIN - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190292

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo 1	22/10/2019
					Hora de muestreo 1	11:30
					Código del Laboratorio	AG190566
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1,0		1,9
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0,5		16,3
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0,010		2,648

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	6,76
Temperatura	°C	20,3

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 AG190485

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190292

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° : CO190756

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	AG190567
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		3.2
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		14.5
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatolibdato	0.010		2.727

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA

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 AG190504

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190309

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

LABORATORIO Fecha de recepción : 06/Noviembre/2019
 Fecha de análisis : 06 de Noviembre al 13 de Noviembre/2019
 Cotización N° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					06/11/2019	
					10:45	
					AG190597	
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		1.4
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		25.8
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ -P	Vanadatomolibdato	0.010		6.699

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

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6.54
Temperatura	°C	19
Humedad	%	-

Huaraz, 13 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 AG190505

CLIENTE
 Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190309

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

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 06/Noviembre/2019
 Fecha de análisis : 06 de Noviembre al 13 de Noviembre/2019
 Cotización N° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo ¹	06/11/2019
					Hora de muestreo ¹	10:50
					Código del Laboratorio	AG190598
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		3.3
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		19.0
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		6.031

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

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	6.84
Temperatura	°C	19.9
Humedad	%	74

Huaraz, 13 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 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. Centenario N°200-Huaraz- Ancash, Telef. 043 640020 - Anexos: 3902- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labfcam@hotmail.com

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190506

CLIENTE
Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta SIN - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190309

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

LABORATORIO
Fecha de recepción : 06/Noviembre/2019
Fecha de análisis : 06 de Noviembre al 13 de Noviembre/2019
Cotización N° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	06/11/2019
					Hora de muestreo ¹	10:52
					Código del Laboratorio	AG190599
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		4.7
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		20.4
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		6.202

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
PH	Unid. PH	6.71
Temperatura	°C	19.4
Humedad	%	71

Huaraz, 13 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 AG190558

CLIENTE
 Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190327

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					Fecha de muestreo	20/11/2019
					Hora de muestreo	12:10
					Código del Laboratorio	AG190551
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		1.5
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		20.6
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		4.117

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

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6.75
Temperatura	°C	-
Humedad	%	-

Huaraz, 27 de Noviembre 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. Centenario N°200-Huaraz- Ancash. Telef. 043 640020 - Anexos: 3602- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: lablcam@hotmail.com

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190559

CLIENTE
 Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta SIN - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
 Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190327

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	20/11/2019
					Hora de muestreo	12:12
					Código del Laboratorio	AG190652
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		2.5
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		14.4
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		2.548

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

RESULTADOS DE CAMPO PROPORCIONADOS POR EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA

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

Huáraz, 27 de Noviembre 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 AG190560

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla
MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Runi
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190327
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° : CO190756

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	AG190653
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		3.7
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		14.2
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		3.287

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	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 dirmentes 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: lablacam@hotmail.com

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190611

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta SIN - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190348

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					04/12/2019	
					11:10	
					AG190708	
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0	< 1.0	
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5	14.8	
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatamolibdato	0.010	2.460	

Datos proporcionados por el cliente
Leyenda: APHA: Standard Method for de 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 perechibilidad.

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 640070 - Anexos: 3630- 3501 - Cel. 944432754
E-mail: labfcam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190612

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190348

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo ¹	04/12/2019
					Hora de muestreo ¹	11:13
					Código del Laboratorio	AG190709
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃	Nitrospectral	1.0	3.6	
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5	1.6	
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomoilbdato	0.010	0.683	

¹ Datos proporcionados por el cliente
Leyenda: APHA: Standard Method for de 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 dirigidas 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 648300 - Arequipa: 3632-3501 - Cel. 944432754
E-mail: labfcaam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190613

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190348

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo	04/12/2019
					Hora de muestreo	11:16
					Código del Laboratorio	AG190710
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃	Nitrospectral	1.0	3.8	
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5	2.4	
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010	0.706	

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 dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perechibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Conventero N°900-Huaraz-Ancash, Telef. 043 646036 - Anexos: 3853- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: lab/cam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190709

CLIENTE Razón Social : JOSE ANTONIO ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190381

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

LABORATORIO Fecha de recepción : 27/Diciembre/2019
 Fecha de análisis : 27 de Diciembre al 06 de enero de 2020
 Cotización N° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	E
					27/12/2019	
					11:00	
					AG190806	
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		2.4
NU06	Nitrogeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		19.0
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		4.200

* 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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	E
PH	Unid. PH	6.82
Temperatura	°C	-
Humedad	%	-

Huaraz, 06 de Enero de 2020



Msc. Quim. 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. Coronario N°200-Huaraz- Ancash, Telef. 043 846020 - Arequipa: 3602- 3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labfiam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190710

CLIENTE
Razón Social : JOSE ANTONIO ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190381

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

LABORATORIO
Fecha de recepción : 27/Diciembre/2019
Fecha de análisis : 27 de Diciembre al 06 de Enero de 2020
Cotización N° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo	27/12/2019
					Hora de muestreo	11:05
					Código del Laboratorio	AG190807
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃	Nitrospectral	1.0		2.3
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		11.2
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		2.700

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST1
PH	Unid. PH	7.1
Temperatura	°C	19.3
Humedad	%	72



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

Huaraz, 06 de Enero de 2020

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°2004-Huaraz- Ancash, Telef. 043 840370 - Anexos: 3532- 3551 - Cel. 944432754
 E-mail: labfcam@huetmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG190711

CLIENTE **Razón Social** : JOSE ANTONIO ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA **Producto declarado** : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC190381

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

LABORATORIO **Fecha de recepción** : 27/Diciembre/2019
Fecha de análisis : 27 de Diciembre al 06 de Enero de 2020
Cotización N° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	27/12/2019
					Hora de muestreo ¹	11:10
					Código del Laboratorio	AG190808
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0		2.8
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		11.0
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		2.900

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
PH	Unid. PH	6.93
Temperatura	°C	19.8
Humedad	%	71

Huaraz, 06 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 dirigidas 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°2004-Huaraz- Ancash, Telef. 043 640020 - Arequipa: 3602-3501 - Cel. 944432754
 E-mail: labfcam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG200006

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200003

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° : CO190756

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	AG200006
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Nitrospectral	1.0	3.9	
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5	16.9	
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010	1.957	

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 EL TESISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARÁMETRO	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. Cantenario N°200-Huaraz-Ancash, Telef. 043 640020 - Anexos: 3602-3501 - Cel. 944432754
E-mail: labfcam@hotmail.com

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG200007

CLIENTE Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
 Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
 Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA Producto declarado : Agua Residual
 Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
 Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200003

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST1
					Fecha de muestreo ¹	08/01/2020
					Hora de muestreo ¹	11:05
					Código del Laboratorio	AG200007
ANÁLISIS DE NUTRIENTES						
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃	Nitrospectral	1.0		3.2
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5		13.8
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatomolibdato	0.010		0.111

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

PARÁMETRO	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 dirigidas 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

FI-001/versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1





INFORME DE ENSAYO AG200008

CLIENTE
Razón Social : JOSE ROJAS MILLA
Dirección : Palmira Alta S/N - Independencia
Atención : Jose Rojas Milla

MUESTRA
Producto declarado : Agua Residual
Matriz : Aguas Residuales - Agua Residual Doméstica
Procedencia : Centro Experimental Tuyu Ruri
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200003

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° : CO190756

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	ST2
					Fecha de muestreo ¹	08/01/2020
					Hora de muestreo ¹	11:10
					Código del Laboratorio	AG200008
NU	ANÁLISIS DE NUTRIENTES					
NU04	Nitratos	mg/l NO ₃	Nitrospectral	1.0	3.3	
NU06	Nitrógeno Total	mg/l N	Digestión Koroleff, nitrospectral	0.5	13.0	
NU10	Fosforo Total	mg/l PO ₄ ³⁻ - P	Vanadatombilobato	0.010	0.305	

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 EL TESISISTA Sr. JOSE ROJAS MILLA		
PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	ST2
PH	Unid. PH	6.85
Temperatura	°C	21
Humedad	%	67



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

Huaraz, 15 de Enero de 2020

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 dicientes 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

FI-001/Versión: 01/F.E: 22-03-10

Página 1 de 1



ANEXO N° 02: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 61

Reconocimiento del terreno



Figura 62

Construcción de los biofitros



Figura 63

Construcción de las cajas de monitoreo



Figura 64

Instalación de las tuberías de distribución y ventilación



Figura 65

Colocación de las gravas



Figura 66

Etapa de pre adaptación de las especies



Figura 67

Monitoreo de la etapa de adaptación



Figura 68

Evaluación del desarrollo de las lombrices



Figura 69

Limpieza de las rejas



Figura 70

Medición del caudal



Figura 71

Medición del tiempo de retención hidráulico



Figura 72

Medición de la humedad- prueba de puño



Figura 73

Medición del pH y Temperatura

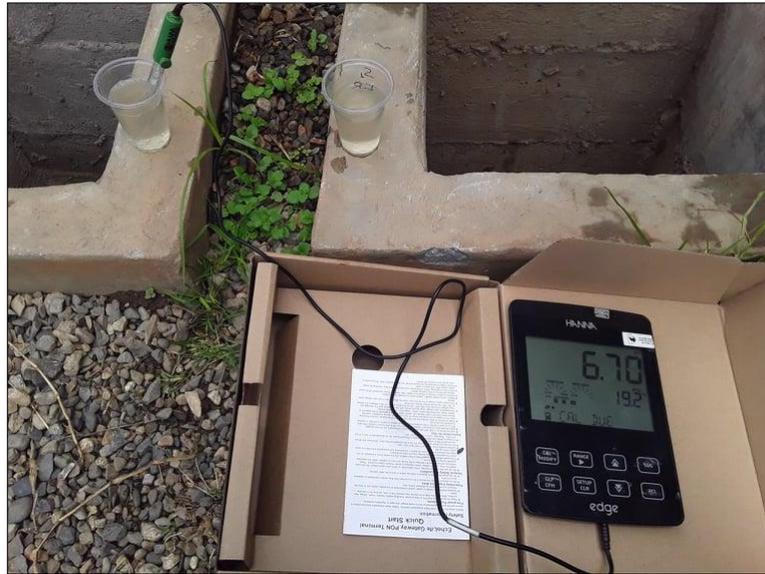


Figura 74

Toma de muestra del agua tratada



Figura 75

Entrega de las muestras al Laboratorio de Calidad Ambiental



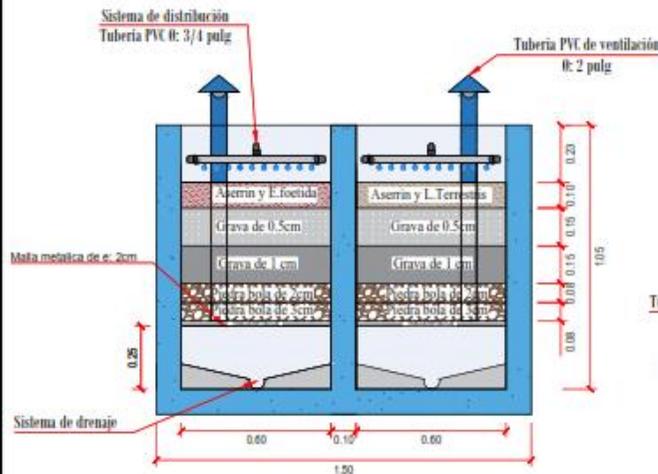
Figura 76

Sistema de biofiltros

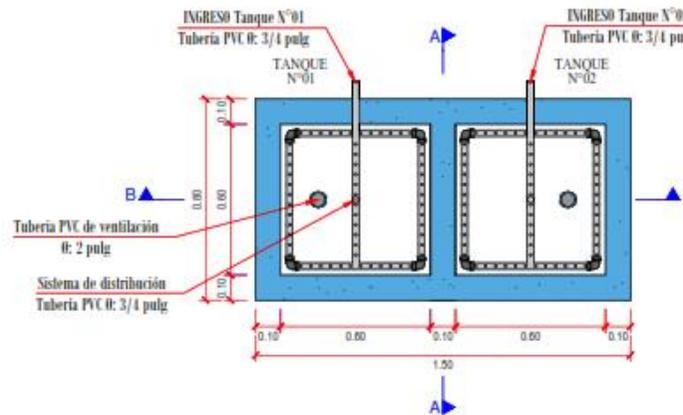


ANEXO N° 03: PLANO DE LOS BIOFILTROS A ESCALA PILOTO

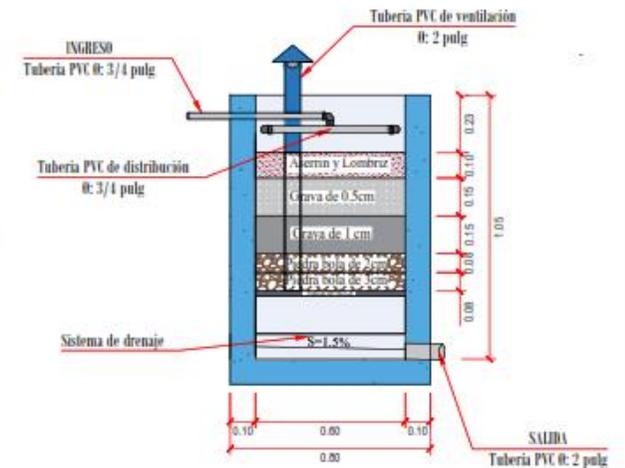




BIOFILTRO - CORTE B - B
ES: 1/20



BIOFILTRO - PLANTA
ES: 1/20

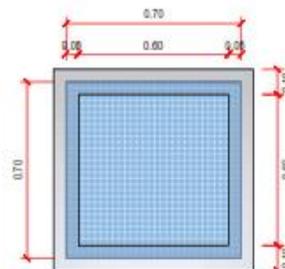


BIOFILTRO - CORTE A - A
ES: 1/20

VISUALIZACIÓN DE TANQUES EN 3D



DETALLE DE MEDIO FILTRANTES Y SISTEMA DE DRENAJE
ES: 1/15



DETALLE MALLA METALICA
ES:1/20

ES: 1/10



UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

TESIS:
"EFICIENCIA DEL METODO DE BIOFILTROS EN CLIMAS ANDINOS, EN LA REMOCIÓN DEL NITRÓGENO Y FOSFORO TOTAL, EMPLEANDO COMO MEDIOS FILTRANTES LA *Eisenia foetida* y *Lumbricus terrestris* DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE TUYURURI - 2019"

UBICACION:	PLANO DEL BIOFILTRO	LAMINA N°:
REGION : ANCASH	TESISTA: Bach. Jose Antonio Rojas Milla	P-01
PROVINCIA : CARHUAZ		
DISTRITO : MARCARA	ASESOR:	
LUGAR : TUYU RURI	Ing. Martin Huaman Carranza	
ESCALA:	FECHA:	
INDICADA	JULIO - 2021	