



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con *eisenia foetida* y un biofiltro convencional”.

Tesis para optar el grado de:
INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

ANA CECILIA LORO OCAMPOS

Asesor:

Betty Soledad Peña Orocaja

LIMA - PERÚ

2018



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 8 de agosto de 2018.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dr. Luis Americo Carrasco Venegas
Integrante: Ing. Saúl Alberto Montoya Heredia
Integrante: Ing. Luis Abraham Gomero Osorio

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UTILIZANDO UN BIOFILTRO CON EISENIA FOETIDA Y UN BIOFILTRO CONVENCIONAL

Presentada por la bachiller:

- Ana Cecilia Loro Ocampos

Para optar el Título Profesional de **Ingeniera Ambiental**

Asesorada por:

- Ing. Betty Soledad Peña Orocaja

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple () calificar a:

• Integrante 1: Ana Cecilia Loro Ocampos			Nota (escrito): <i>DIECISEIS</i>
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Presidente del Jurado



Miembro del Jurado



Miembro del Jurado



Asesor

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por colocar en mi camino a grandes personas, como Vanessa Vereau y Elsa Bermejo, quienes son y serán mi guía.

A mis padres, Norma y Pedro, por su apoyo incondicional.
Sin ustedes no sería quien soy.

A mi hermano Alex, por estar a mi lado
compartiendo cada nueva vivencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesora, la Ing. Betty Soledad Peña Orocaja por su apoyo y asesoría en la presente investigación.

A José Carlos por incentivar me a lograr esta meta.

A todos los que directa o indirectamente me apoyaron.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	12
II.	MARCO TEÓRICO	13
	2.1) Antecedentes	13
	2.2) Marco Teórico	16
	a) Aguas Residuales	16
	b) Tratamiento de Aguas Residuales	16
	c) Filtración en múltiples etapas o biofiltro convencional.	17
	d) Biofiltro	17
	e) La Lombricultura	18
	f) <i>Eisenia foetida</i> o Lombriz Roja de California.....	18
	g) Humus de Lombriz.....	22
	h) Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR).....	23
	i) Normas legales aplicables	24
III.	OBJETIVOS	30
	3.1) Objetivo principal.....	30
	3.2) Objetivos específicos	30
IV.	METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	30
	4.1) Metodología	30
	a) Tipo de estudio	30
	b) Población, muestra y muestreo.....	31
	c) Método de Investigación	32
	d) Diseño y construcción de la planta piloto.....	33
	e) Análisis de datos.....	43
	f) Métodos de análisis utilizados:.....	45
	g) Resultados	47
	4.2) Materiales.....	72
V.	DISCUSIÓN	73
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
	6.1) Conclusiones.....	73
	6.2) Recomendaciones.....	74
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	76
VIII.	GLOSARIO.....	81
IX.	ANEXOS	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición interna de la lombriz <i>Eisenia Foetida</i>	20
Figura 2: Sistema circulatorio de la <i>Eisenia foetida</i>	20
Figura 3: Ciclo reproductivo de la Lombriz <i>Eisenia foetida</i>	21
Figura 4: Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR).....	24
Figura 5: Reactor UASB	32
Figura 6: Ubicación del Punto de monitoreo del Afluente.	32
Figura 7: Diagrama General del Proceso.....	33
Figura 8: Delimitación de la zona de trabajo	34
Figura 9: Dimensiones de las cajas de vidrio.	35
Figura 10: Camas de lombricultura	36
Figura 11: Punto de extracción de las lombrices <i>Eisenia foetida</i>	36
Figura 12: Lombrices <i>Eisenia foetida</i> seleccionadas	37
Figura 13: Lecho de aclimatación.....	38
Figura 14: Colocación de aserrín en el biofiltro.	38
Figura 15: Vista del Biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	39
Figura 16: Malla raschel instalada	39
Figura 17: Agregados colocados en el biofiltro.....	39
Figura 18: Vista del biofiltro convencional	40
Figura 19: Punto de monitoreo del Agua Residual en el CITRAR.....	41
Figura 20: Ubicación de instalación de los pilotos en la Universidad Científica del Sur.	41
Figura 21: Pendiente de 2% en los pilotos	42
Figura 22: Instalación de tanques sobre los biofiltros.	42
Figura 23: Lectura de T°C, pH y turbiedad	43
Figura 24: Toma de muestras línea base.....	44
Figura 25: Toma de muestras en la Planta Piloto.....	44
Figura 26: Turbidímetro Thermo Orion AQUAfast AQ3010	45
Figura 27: Potenciómetro utilizado.....	46
Figura 28: Parámetro pH en biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	49
Figura 29: Parámetro pH en el Biofiltro convencional.	50
Figura 30: Parámetro turbiedad en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	52
Figura 31: Parámetro turbiedad en el biofiltro convencional.....	52
Figura 32: Diagrama de Dispersión de Turbiedad en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	53
Figura 33: Diagrama de Dispersión de Turbiedad en el biofiltro convencional.	54
Figura 34: Parámetro SST en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	55
Figura 35: Parámetro SST en el biofiltro convencional.	56
Figura 36: Diagrama de dispersión de SST en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	56
Figura 37: Diagrama de dispersión de SST en el biofiltro convencional.	57
Figura 38: Parámetro Aceites & grasas en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	58
Figura 39: Parámetro Aceites & grasas en el biofiltro convencional.	59
Figura 40: Diagrama de dispersión de Aceites & grasas en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	60
Figura 41: Diagrama de dispersión de Aceites & grasas en el biofiltro convencional.	60
Figura 42: Parámetro DBO ₅ en biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	62
Figura 43: Parámetro DBO ₅ en el biofiltro convencional.	62
Figura 44: Diagrama de dispersión de DBO ₅ en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	63
Figura 45: Diagrama de dispersión de DBO ₅ en el biofiltro convencional.	64
Figura 46: Parámetro Coliformes en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	65
Figura 47: Parámetro Coliformes en el biofiltro convencional.	66

Figura 48: Eficiencia de remoción en los biofiltros.	66
Figura 49: Diagrama de dispersión de Coliformes termotolerantes en el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	67
Figura 50: Diagrama de dispersión de Coliformes termotolerantes en el biofiltro convencional.	68
Figura 51: Evaluación de eficiencias en la remoción de contaminantes	70
Figura 52: Crecimiento de capullos	71
Figura 53: Instalación de malla ratchet sobre el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	75
Figura 54: Humus de Lombriz obtenido del tratamiento.....	75

INDICE DE TABLA

Tabla 1:Objetivos de pre-tratamiento de acuerdo al proceso aplicado.	16
Tabla 2: Categoría 3, Riego De Vegetales Y Bebidas De Animales	26
Tabla 3: Límites Máximos para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.	28
Tabla 4: Anexo 1, Productos permitidos para la fertilización del suelo.....	29
Tabla 5: Resultados de línea base.	31
Tabla 6: Parámetros de diseño.....	35
Tabla 7: Metodología de análisis en laboratorio.....	46
Tabla 8: Temperatura registrada en los afluentes y efluentes.	48
Tabla 9: Evaluación de los resultados obtenidos en los biofiltros.	68
Tabla 10: Cuadro comparativo entre el biofiltro convencional y el biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	71

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Delimitación de la zona de trabajo.	83
Anexo 2: Camas de lombricultura en Lurín.	84
Anexo 3: Selección de lombrices <i>Eisenia foetida</i>	85
Anexo 4: Aclimatación de las lombrices <i>Eisenia foetida</i>	86
Anexo 5: Instalación del material filtrante en los biofiltros.	86
Anexo 6: Instalación de primera capa del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	88
Anexo 7: Instalación de tuberías en cada biofiltro.	89
Anexo 8: Biofiltros en Planta piloto.	89
Anexo 9: Extracción de Agua residual doméstica desde el reactor UASB.	90
Anexo 10: Materiales de laboratorio utilizados en campo.	91
Anexo 11: Registro de temperatura del agua (°C) en la planta piloto.	91
Anexo 12: Resultados del análisis de Turbiedad, Línea Base.	92
Anexo 13: Toma de muestras en el Reactor UASB.	93
Anexo 14: Toma de muestras en la planta piloto.	94
Anexo 15: Efluentes obtenidos en cada ensayo.	94
Anexo 16: Formación de capa biológica en el biofiltro convencional.	95
Anexo 17: Crecimiento de lombriz en Biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	95
Anexo 18: Resultados de laboratorio del análisis del afluente previo al tratamiento en los biofiltros.	96
Anexo 19: Resultados de laboratorio del análisis del efluente luego del tratamiento en los biofiltros.	102
Anexo 20: Cálculo de Correlación de Pearson por parámetro estudiado.	107
Anexo 21: Planos de dimensionamiento de los biofiltros.	109

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue determinar la eficiencia del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y el biofiltro convencional para la remoción de los parámetros turbiedad, sólidos suspendidos totales (SST), aceites & grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y Coliformes termotolerantes, como alternativas para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas con fines de riego de vegetales de acuerdo a la Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, Categoría 3 determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

El biofiltro con la especie *Eisenia foetida* se empacó con cinco capas; la primera capa de estiércol de vacuno, la comunidad de *Eisenia foetida*, la comunidad microbiana y el aserrín; la segunda capa es una malla divisoria (malla Ratchet), la tercera capa conformada por arena gruesa, la cuarta capa conformada por agregados de 10-16 mm y la quinta capa conformada por agregados ≥ 20 mm.

El biofiltro convencional se empacó con tres capas; la primera capa conformada por arena gruesa, la segunda capa conformada por agregados de 10-16 mm y la tercera capa conformada por agregados ≥ 20 mm.

Ambos biofiltros, se alimentaron, mediante flujo continuo, con agua residuales domésticas después del tratamiento primario en un Reactor Anaerobio de flujo ascendente (UASB), proporcionado por el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los afluentes y efluentes se evaluaron con métodos convencionales de calidad del agua durante 04 semanas. El biofiltro con la especie *Eisenia foetida* fue eficiente en la remoción de los parámetros de calidad de agua en la siguiente proporción: 80,36 - 89% turbiedad, 40% SST, 45,95 - 89,69% Aceites & grasas, 65 - 88,57 % DBO₅ y 99,97 - 99,99% coliformes termotolerantes. Mientras que, en el biofiltro convencional se registra que la eficiencia de los parámetros de calidad de agua es de: 95-99% turbiedad, 54,27 - 75% SST, 88,11 - 89,69% Aceites & grasas, 94,17 - 95,83% DBO₅ y 99,99% Coliformes termotolerantes.

Por lo cual, se determina que el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* es menos eficiente en la remoción de los parámetros de calidad de agua (turbiedad, sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes) respecto al biofiltro convencional. Aun así, ambos biofiltros pueden ser aplicados en tratamientos secundarios de agua residual doméstica y posterior uso para riego agrícola o de áreas verdes, por encontrarse dentro de parámetros aceptables de la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales, Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Los resultados obtenidos en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* son rentables por autofinanciarse con la venta de los subproductos. Por ello, es necesario continuar con el estudio, para lograr optimizar los procesos de remoción de los parámetros estudiados en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y lograr obtener subproductos de buena calidad y comerciales como humus de lombriz o harina de lombriz. Mientras que, en el biofiltro convencional se presentó formación de una biopelícula conocida como lodos que requieren un tratamiento para su disposición final.

PALABRAS CLAVE: Aceites & grasas, afluente, biofiltro, contaminantes, coliformes termotolerantes, efluente, *Eisenia foetida*, biofiltro convencional, humus, DBO₅, sólidos suspendidos totales y turbiedad.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the efficiency of the biofilter with the *Eisenia foetida* species and the conventional one for the removal of turbidity, total suspended solids, oils & greases, BOD₅, and thermotolerant coliforms as alternatives for the secondary treatment Of domestic wastewater for irrigation purposes according to Subcategory D1: Low and High Stem Vegetables, Category 3 determined in Supreme Decree No. 015-2015-MINAM.

The biofilter with *Eisenia foetida* was packed with five layers; The first layer of cattle dung, the *Eisenia foetida* community, the microbial community and sawdust; The second was a mesh (Ratchet mesh), the third one was formed by thick sand, the fourth one was formed by aggregates of 10-16 mm and the fifth one was formed by aggregates ≥ 20 mm.

The conventional biofilter was packed with three layers; The first layer formed by sand, the second one conformed by the aggregates of 10-16mm and the third one conformed by the aggregates ≥ 20 millimeters.

Both were fed, by continuous flow, of domestic wastewater after the primary treatment in an Upflow Anaerobic Reactor (UASB), provided by the Research Center on Wastewater Treatment and Hazardous Waste (CITRAR) of the National University Of Engineering.

Influent and effluent were evaluated using conventional water quality methods for 4 weeks. The biofilter with *Eisenia foetida* was efficient in the removal of pollutants in the following proportion: 80.36 - 89% turbidity, 40% SST, 45.95 - 89.69% Oils and fats, 65 - 88.57% BOD₅ and 99.97 - 99.99% Thermotolerant coliforms. 95-99% turbidity, 54.27 - 75% SST, 88.11 - 89.69% Oils and greases, 94.17 - 95.83% BOD₅, and 100% Thermotolerant coliforms

Therefore, it is determined that biofiltration with *Eisenia foetida* isn't efficient in the removal of pollutants from domestic wastewater (turbidity, total suspended solids, oils & fats, BOD₅, and thermotolerant coliforms) unlike the conventional biofilter. Even so, both biofilters can be applied in secondary treatments of domestic wastewater and subsequent use for agricultural irrigation or green areas, because they are within acceptable parameters of Category 3: Irrigation of Vegetables and Beverage of Animals, Subcategory D1: Stem Low and High of Supreme Decree No. 015-2015-MINAM.

The results obtained in the biofilter with *Eisenia foetida* are profitable for self-financing with the selling of subproducts. Therefore, it is necessary to continue the study, to optimize the processes of elimination of contaminants in the biofilter with *Eisenia foetida* and to obtain good and commercial subproducts such as worm humus or worm flour. While in the conventional biofilter a formation of biofilm known as sludge was found; that requires a treatment for its final disposal.

KEY WORDS: Oils & greases, affluent, biofilter, contaminants, thermotolerant coliforms, effluent, *Eisenia foetida*, conventional biofilter, humus, BOD₅, total suspended solids and turbidity.

I. INTRODUCCIÓN

El agua dulce es crucial para el desarrollo socioeconómico y bienestar humano sostenible. Se prevé que la demanda mundial de agua dulce se incrementará en un 55% para el año 2050, principalmente por la creciente demanda de la producción hasta un 400%. (UNESCO, 2014).

A nivel mundial, el Perú se encuentra en el puesto 17 en cuanto a la cantidad de agua disponible por persona y a nivel de América Latina se ubica en el puesto 14 en cuanto al acceso al agua, de acuerdo a los datos del Banco Mundial.

Según datos del Ministerio del Ambiente, el Perú cuenta con 106 cuencas hidrográficas por las que escurren 2'046,287 m³/año. Así mismo, cuenta con 12,200 lagunas en la sierra y más de 1,007 ríos.

En el IV Censo Nacional Agropecuario, publicado por el Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI), en el año 2013, se señala que el mayor consumidor a nivel nacional de los recursos es el sector agrícola con un porcentaje del 86,8%, seguido por un 11,2% de uso poblacional, la actividad minera utiliza 1,4% y el sector industrial utiliza el 0,6% (INEI, 2013).

Contamos con 50 Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) de Saneamiento, que logran cubrir solo el 69.65% del sistema de alcantarillado de la población urbana, el porcentaje restante vierte sus aguas residuales a fuentes de agua natural o las incorpora al riesgo de sus cultivos. (SUNASS, 2014 y Gómez, 2014). Eso quiere decir que el sistema de alcantarillado capta aproximadamente 2'217,946 m³ de agua residual por día, de las cuales sólo se puede tratar el 32% (Gómez, 2014).

Sólo en Lima Metropolitana se cuenta con 41 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, que tratan todas ellas los desagües domésticos recolectados por Sedapal. En este momento, las plantas operan con una concentración 42% mayor que la estimada, debido principalmente a la incorporación de residuos sólidos en los sistemas de alcantarillado de algunas zonas populosas de Lima y en especial en los mercados municipales e informales del Cono Sur. (Moscoso, 2011) lo cual origina que los efluentes tratados excedan los límites máximos permisibles (LMP), y no se cumplan con los estándares de calidad ambiental (ECA).

Actualmente, el sector privado y el sector público, comparten una misma preocupación, ¿cómo reutilizar el agua residual que generamos?, considerando que es una amenaza potencial para la salud y el medio ambiente.

La respuesta a esta interrogante es el tratamiento de las aguas servidas o residuales, buscando tecnologías de bajo costo y efectivas a fin de proteger la salud pública y el medio ambiente, evitando la contaminación de los cuerpos receptores. (UNESCO, 2014).

Una tecnología de bajo costo y efectiva, es el biofiltro con *Eisenia foetida*, que es un método de tratamiento biológico de cultivo fijo, en base a lombrices *Eisenia foetida* y microorganismos del lecho, combinado con diferentes materiales filtrantes. (Li et al, 2008)

Fue implementado por primera vez en América Latina por el profesor José Tohá en la Universidad de Chile en 1992 (Bouché y Qiu, 1998; Aguilera, 2003; Li et al, 2008).

Este biofiltro ha demostrado ser eficiente en el tratamiento de aguas residuales porcinas (Li et al, 2008.), el tratamiento de aguas residuales municipales (Godefroid y Yang, 2005; Yang et al, 2008), y el tratamiento de aguas residuales domésticas (Taylor et al, 2003; Sinha et al, 2008), comprobando ser una tecnología sostenible de bajo costo sobre los sistemas convencionales de tratamiento (Sinha et al., 2008).

Otra tecnología de bajo costo es el biofiltro convencional. De acuerdo a la Norma OS 090, los biofiltros convencionales son una tecnología usada para tratar las aguas residuales utilizando diversos medios filtrantes. Pues, a medida que el agua residual percola por el medio filtrante, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua. (Vega, 2009)

La presente tesis propone el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas mediante un biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y un biofiltro convencional, con el objetivo de determinar la eficiencia de remoción de los parámetros de calidad de agua (turbiedad, sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes), como alternativas para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas y el posterior uso en el riego de vegetales, de acuerdo a los estándares de calidad aceptables en la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto descritos en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Ambos biofiltros pueden ser aplicados en tratamientos secundarios de agua residual doméstica y posterior uso para riego agrícola o de áreas verdes, por encontrarse dentro de parámetros aceptables de la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

El agua residual doméstica tratada en la presente tesis puede ser reutilizada proporcionando beneficios a los agricultores urbanos y periurbanos permitiéndoles conservar sus reservas de agua natural, mejorar la calidad del suelo, evitar el desagüe de las aguas superficiales y fortalecer la eficacia económica (Ongley, 1996).

II. MARCO TEÓRICO

2.1) Antecedentes

La técnica del biofiltro con *Eisenia foetida*, como sistema de tratamiento de aguas residuales ha sido investigada y probada en diversas aplicaciones, por estudios en el extranjero. En torno a esta tecnología destacan su eficiencia, bajo costo y naturaleza amigable con el ambiente. (Brack, 2009).

En el estudio "Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas" realizada por Arango Laws, Jessica (2003), se tomaron 10 muestras de aguas residuales del Zanjón de la Aguada durante 4 meses, para determinar la eficiencia de remoción de Salmonella, evaluando a través de pruebas microbiológicas de enriquecimiento, aislamientos, bioquímicas y serológicas a las aguas residuales. Los resultados arrojaron una remoción de 95% de DBO₅, 80% en sólidos suspendidos totales y un 70% en nitrógeno y fósforo. El método demostró tener una eficiencia de 80% en la remoción de Salmonella y una remoción de coliformes totales y fecales de 6 escalas logarítmicas. Cumpliendo así con la Norma Chilena, para el uso de aguas residuales tratadas en riego de cultivos agrícolas.

Este estudio también evalúa en términos ambientales, económicos y sociales la sustentabilidad del sistema Tohá (biofiltro con *Eisenia foetida*) en dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (en adelante PTARs). La planta de El Melón utiliza la técnica de lombrifiltro complementada con un sistema de radiación UV y la planta de San Antonio de Maipo utiliza la tecnología de zanjas de oxidación y cloración. En ambos estudios se demuestra que el sistema es eficaz y operativo en PTARs a pequeña y mediana escala, cumpliendo con los parámetros de calidad de agua establecidos por las normas chilenas.

En relación con la generación de productos secundarios del tratamiento la Planta de San José de Maipo tiene una generación de lodos de 311,27 ton/año, los que requieren tratamiento y disposición final para su manejo. La planta El Melón produce humus, producto orgánico con ventajas ecológicas y con diferencias significativas con los lodos producidos por el tratamiento de lodos activados. Dentro de la operación y mantenimiento de la planta no hay datos sobre la cantidad de humus producida por la misma, inclusive según datos obtenidos del funcionamiento de plantas similares, no existen antecedentes de manejo y disposición de humus en un período de operación de tres años.

En China, Xing et al. (2010), desarrollaron un estudio para determinar la relación entre el crecimiento, la reproducción y la actividad enzimática de las lombrices de tierra con la eficiencia del tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Shanghai, durante 30 días. El perfil del biofiltro con *Eisenia foetida* estaba compuesto por cuarzo, arena y cerámica. Los resultados de remoción fueron igualmente buenos, DQO (47,3 – 64,7%), DBO₅ (54,78 – 66,36%), sólidos suspendidos totales (57,18 – 77,90%), por ello los autores sustentan que esta técnica puede ser tan o incluso más eficiente que otras tecnologías de tratamiento que requieren mayor espacio como humedales o lagunas de estabilización. El estudio también revela que el incremento de la carga hidráulica conlleva a una disminución general de la eficiencia de tratamiento; y que lombrices de mayor tamaño favorecen la remoción, siendo su actividad enzimática la responsable en la remoción de DQO y DBO₅.

Estudios más recientes lograron obtener mayor eficiencia con este método. Cardoso et. al (2013) realizan un sistema de biofiltro con *Eisenia foetida* piloto interesados en medir la eficiencia del tratamiento en flujo continuo durante 150 días, el agua residual utilizada provenía de los servicios sanitarios de una institución, en la que se encuentran 10 edificios de oficinas y un comedor, que albergan una población de cerca de 1,000 personas. El perfil del biofiltro con *Eisenia foetida* estuvo compuesto por material orgánico filtrante lodo residual y residuos de comida, el vermicompost, el tezontle y grava como material inorgánico filtrante. El estudio se dividió en tres etapas, con tres tasas de filtración (TF) y tres cargas orgánicas superficiales (COS): Etapa 1 (TF 0,180 m³·m⁻²·d⁻¹, COS 108 g·m⁻²·d⁻¹); Etapa 2 (TF 0,120 m³·m⁻²·d⁻¹, COS 37 g·m⁻²·d⁻¹); Etapa 3 (TF 0,240 m³·m⁻²·d⁻¹, COS 61 g·m⁻²·d⁻¹). Las mayores remociones de materia orgánica y sólidos (92% DQO, 99% DBO₅, 97% SST) correspondieron la Etapa 1 (Tasa de Filtración de 0.180 m³·m⁻²·d⁻¹ y Carga Orgánica Superficial de 108 g·m⁻²·d⁻¹) y de coliformes fecales (18,5 x 10³ NMP·100 mL⁻¹ a < 3 NMP·100 mL⁻¹). El vermifiltro también obtuvo remociones significativas de nitrógeno amoniacal y procesos de desnitrificación, pero no fue una constante, por lo que recomiendan continuar estudios abocados en mejorar esa parte del proceso.

Estas experiencias sugieren que la aplicación de biofiltros al tratamiento de aguas residual es viable, y logra los objetivos de reutilizar el agua para fines de riego, también es posible el uso del sustrato presente en el vermifiltro, como fertilizante. Tal es el caso de una investigación realizada por Solis-Mejía et al. (2012), en México. Donde se evaluó la adaptación de lombrices *Eisenia foetida* en un medio combinado de lodo de depuradora y estiércol de vaca compostado, comprobándose que el sustrato en proporción 95:5 de lodo:

estiércol fue el tratamiento con mayor cantidad de Nitrógeno ($2,189.8 \text{ mg kg}^{-1}$) y fósforo ($2310,63 \text{ mg kg}^{-1}$) disponible y relación C/N de 12,46, convirtiéndolo en un buen fertilizante; además, los parámetros: materia orgánica, carbón orgánico, potasio disponible, nitrógeno total y densidad aparente, cumplieron con los valores recomendados por la guía mexicana para vermicompost.

Otro estudio, en Sai Temple (Bangalore) comparó el biofiltro con *Eisenia foetida* y el tratamiento con suelo (sustrato sin lombrices) a escala de laboratorio, determinando que el biofiltro con *Eisenia foetida* alcanzó un mejor porcentaje de remoción de DBO_5 hasta 52% y 65% DQO. En conclusión, no se generan lodos en el proceso y se encuentra libre de malos olores (Lakshmi, 2014).

Por otro lado, la técnica de biofiltro convencional se usó por primera vez en Inglaterra en 1893, como una alternativa para el tratamiento biológico de agua residual. Inicialmente, los filtros percoladores eran estanques rellenos de piedra machacada. En la parte superior se incorporaba el agua residual sobre el estrato y se dejaba en contacto por un corto periodo de tiempo. A continuación, se iniciaba el drenaje del agua residual y nuevamente se iniciaba el mismo proceso. Cada ciclo duraba 12 horas, de las cuales 6 horas se empleaban para poner el material en contacto con la atmósfera. (J. Glynn et al., 1999). Con el transcurrir de los años, se han logrado mejoras de diseño y operación que han permitido que los sistemas de biofiltros convencionales proporcionen un tratamiento secundario aceptable a los estándares.

En diferentes puntos del país se han desarrollado filtros percoladores para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Por ejemplo; En Cusco opera la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Jerónimo, que permite procesar el 85% de las aguas servidas de la ciudad. La PTAR utiliza filtros percoladores y tratamiento de lodos anaeróbicos. (Salcedo, 2016).

En Lima, producto del desarrollo eficiente de los Municipios. El distrito de Miraflores, ha incluido un biofiltro convencional a la planta de tratamiento del parque María Reiche (Brack, 2009). Dicha Planta consta de Tratamiento Preliminar (Rejas, Trampa de Grasas y Desarenador) Tratamiento Secundario (Lodos Activados MBBR + Decantación Laminar) Tratamiento Terciario (Ultrafiltración) Línea de Lodos (Filtro Prensa y Disposición en Relleno Sanitario), llegando a tratar $750 \text{ m}^3/\text{año}$.

En el distrito de San Borja, se utilizan los filtros percoladores, filtros de macrófitas y desinfección con radiación ultravioleta, para tratar aguas residuales domésticas, los efluentes son utilizados para el riego de las áreas verdes y carga de las lagunas artificiales con sus respectivas piletas. (Brack, 2009); los procesos utilizados en esta planta de tratamiento generaban como residuo final, denominado lodos sedimentables, por lo que se vieron en la necesidad de implementar un biodigestor para solucionar este problema, generando así energía renovable, convirtiéndose en un modelo de desarrollo sostenible.

Como se ha mencionado antes, los sistemas de tratamiento de bajo costo surgen como respuesta a la forma en la que actualmente se gestionan las aguas residuales. En países desarrollados y en vías de desarrollo la realidad apunta a que los sistemas centralizados de tratamiento de aguas no bastan para una verdadera gestión sostenible del problema.

2.2) Marco Teórico

a) Aguas Residuales

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura la define como agua que no tiene valor inmediato porque su calidad y cantidad ha sido alterada debido a la actividad antropogénica.

b) Tratamiento de Aguas Residuales

De acuerdo a Manahan, el tratamiento del agua se realiza de acuerdo al uso que se le quiere dar, como:

- La depuración para darle uso doméstico.
- El tratamiento de aguas residuales para su incorporación en ciclos Industriales especializados.
- El tratamiento de aguas residuales para su vertido o reutilización.

El grado del tratamiento del agua residual, dependerá de los límites permisibles de vertimiento del efluente (Rojas, 2002).

Los tratamientos de agua residual se clasifican en:

- Tratamiento preliminar, busca eliminar residuos de gran tamaño, con el fin de proteger las instalaciones de la planta de tratamiento logrando efectividad del proceso (Orozco, 2005). En la Tabla 1 se observan los objetivos de pre-tratamiento de acuerdo al proceso aplicado.

Tabla 1:Objetivos de pre-tratamiento de acuerdo al proceso aplicado.

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasa
Pre-aireación	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico.

- Tratamiento primario, por medios físicos o mecánicos busca eliminar una parte sustancial del material sedimentable o flotante (Orozco, 2005). Entre los tipos de tratamiento primario se citan:
 - Cribado o desbrozado
 - Sedimentación primaria.
 - Flotación.
 - Precipitación química.
 - Filtros gruesos.

- Oxidación química.
- Tratamiento secundario, utiliza procesos biológicos para reducir los compuestos orgánicos del agua residual provenientes del tratamiento primario. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación (Orozco, 2005). Los tratamientos biológicos de esta categoría están compuestos por:
 - Filtración biológica: De baja capacidad (filtros clásicos) y de alta capacidad: Filtros comunes.
 - Lodos activados: Convencional, alta capacidad, contacto estabilización y aeración prolongada.
 - Lagunas: De estabilización y aireada.
 - Otros: Anaeróbicos, oxígeno puro y discos rotatorios.
- Tratamiento avanzado o terciario, son procesos que se realizan sobre el efluente proveniente del tratamiento secundario de las aguas residuales, tiene por objetivo reducir la carga contaminante y lograr efluentes más puros (Orozco, 2005).

c) Filtración en múltiples etapas o biofiltro convencional.

Esta tecnología combina procesos de filtración gruesa en grava y filtros lentos de arena.

Dependiendo del grado de contaminación del agua residual, se integran las capas con Filtros Gruesos Dinámicos, Filtros Gruesos Ascendentes en Capas y Filtros Lentos de Arena. Los dos primeros procesos son utilizados como una etapa de pre-tratamiento, que permite reducir la concentración de sólidos suspendidos, presentes en el agua residual. A medida que fluye el agua residual a través de los estratos, las partículas son retenidas en las diferentes etapas, de acuerdo al tamaño; esta técnica es considerada como una tecnología sencilla, confiable y eficiente, ya que logra producir agua de baja turbiedad, libre de impurezas suspendidas, libre de entero-bacterias, entero-virus y quistes de protozoarios.

En Colombia se han instalado 50 plantas de tratamiento de agua residual bajo este sistema, logrando buenos resultados (PAS-LAC, 2004), reteniendo entre el 70-80% del material suspendido, presente en el agua residual, el inconveniente está en que con el paso del tiempo el lecho filtrante superficial se obstruye, disminuyendo el flujo de agua. (Vega, 2009)

d) Biofiltro

El biofiltro es un sistema biológico de cultivo fijo (Li et al, 2008) empleado como tratamiento secundario o terciario de aguas residuales, este utiliza la tecnología de filtración en múltiples etapas, integrándolos en un biofiltro convencional que está compuesto por capas filtrantes, lombrices, microorganismos asociados y sistema de ventilación.

La tecnología en cuestión nació como una propuesta de tratamiento de agua residual de bajo costo, a pequeña o mediana escala (Arango, 2003), los costos de

implementación, operación y mantenimiento son menores en relación a otros tipos de tratamiento, por lo que es una alternativa factible en poblaciones rurales. De igual manera, su mecanismo de acción no es de alta complejidad, por lo que los requerimientos en capacitación de mano de obra no son muy exigentes, y la poca necesidad de amplios espacios le otorga una mayor facilidad de aplicación y uso descentralizado.

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

e) La Lombricultura

La lombricultura (también denominada vermicultura) como técnica tiene sus orígenes en el antiguo Egipto, en donde se consideraba que las lombrices excavaban el terreno transformándolo en poroso, lo que facilitaba la oxigenación y permeabilidad al agua, logrando así que el Valle del Nilo se torne fértil pues las lombrices tienen la capacidad de reciclar los nutrientes y dejarlos disponibles para los cultivos.(Pastorelly, 2015).

En 1831 se inician los primeros estudios sobre el tema. Estos estudios e investigaciones fueron realizados por el biólogo Charles Darwin (Agroflor) quien realizó investigaciones por un lapso de 40 años, plasmando su trabajo con las lombrices en su libro denominado “La Obtención de la Tierra Vegetal por Acción de las Lombrices”.

Ya en el año 1936, se inicia la crianza de lombrices como técnica, con el Dr. Thomas Barret, médico de los Angeles, E.E.U.U, quien decide vivir en el campo en donde se dedica a la agricultura, convirtiendo terrenos estériles en fértiles, gracias a la ayuda de la lombriz, dedicándose a estudiarlas por 10 años, 2 de los cuales las paso en el laboratorio del Instituto de Tecnología de California, publicando finalmente su obra “Harnessing the aerthwort” (Utilización de la lombriz de tierra). Este estudio concluye que en toda ciudad se puede gestionar un criadero de lombrices que puede ser alimentado con los desperdicios de comida, obteniendo un excelente abono. (Barbado, 2003).

En 1984, el argentino Kim Gagliardi inicia la exportación de lombrices californianas, es así como. e n la segunda mitad del año 1980 se da la mayor expansión de las lombrices en Sudamerica (Curi, 2006).

La lombricultura es una biotecnología que utiliza a la lombriz como herramienta de trabajo, encargada de reciclar material de origen orgánico (Basaure, 1993).

f) *Eisenia foetida* o Lombriz Roja de California

De acuerdo a la University of California (1991) hay cientos de especies en Norteamérica, estas especies pueden ser clasificadas de acuerdo a su morfología y hábitat. Una de estas es la *Eisenia foetida* o Lombriz Roja de California, la cual es usada

para transformar materiales biodegradables. A continuación, se describe su taxonomía:

Reino : Animal
 Tipo : Anélido (con cuerpo anillado)
 Clase : Oligochaeta (anillos con pocas cerdas oquetas)
 Familia : Lumbricidae
 Género : Eisenia
 Especie : *Eisenia foetida*

Esta lombriz es autosuficiente, está constituida principalmente de agua, el cual representa entre el 80% al 90% de su peso total, su estructura biológica es simple, y presenta diferentes tonalidades que varían desde blanquecinos, rosados, negros, marrones y/o rojos con franjas amarillentas entre los segmentos, esta variación es por la presencia de pigmentos protoporfirina y ester metílico, que los protege de la radiación ultravioleta (Figueroa, 1993); pueden vivir en cautiverio alrededor de 15 años, alcanzando la adultez entre los 7 y 9 meses, se ha registrado que puede alcanzar los 10 centímetros de largo y un diámetro promedio de 4 milímetros, registrando un peso de 0,24 hasta 1,4 gramos (Tineo, 1994 y Barbado, 2003).

Las lombrices consumen todo tipo de materia orgánica, llegando a digerir el equivalente de su peso en un día, incorporando un 20% para su sostenimiento y eliminando el 80% como humus (Basaure, 1993), por ello la cantidad de alimentos que exista en el agua residual determinará la población de lombrices de la especie *Eisenia foetida*.

La lombriz se alimenta de desechos orgánicos, pero no es el único elemento que puede degradar. Por ejemplo, se puede utilizar un lecho de lombrices para procesos biológicos involucrados en la filtración de agua residual que con la ayuda de los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) presentes en el sustrato, degradan la materia orgánica en más de un 50% (Tineo, 1994).

No tiene la capacidad de moler el alimento porque no cuenta con dientes ni mandíbula. En la Figura 1 se observa su sistema digestivo, éste se inicia en la boca y culmina en el ano. Para comer, absorbe el alimento por su boca, ubicada en el primer anillo o somito, bajo el prostomium. Las glandulares que segregan proteosa, humedecen el alimento en la faringe debido, cuando llega el alimento al estómago, unas glándulas especiales segregan carbonato cálcico, que neutraliza los ácidos presentes en el alimento ingerido, después de atravesar todo el aparato digestivo, el alimento procesado es expulsado por el ano, que se encuentra en el último somito. (Figueroa, 1993)

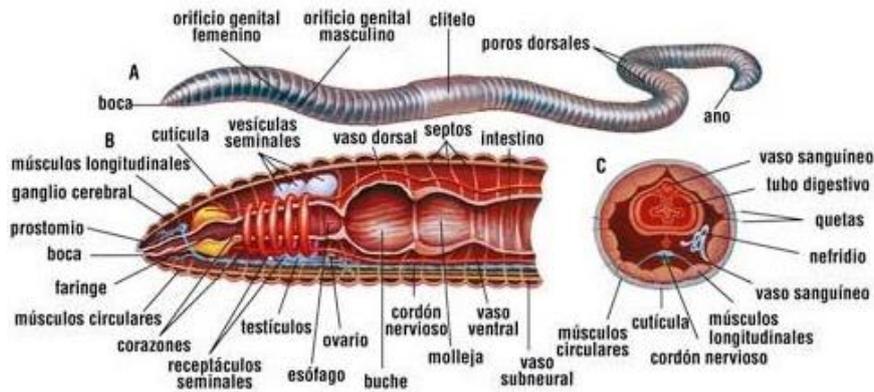


Figura 1: Composición interna de la lombriz *Eisenia foetida*
Recuperado de agrouniversidad.blogspot.com

En la Figura 2 se observa su aparato circulatorio, éste está compuesto por una red de vasos finos que se van ramificando, conformando un sistema de canales cerrados, ubicándose en el tegumento sobre el intestino y otros órganos. En la región esofágica se observan 05 vasos contráctiles denominados corazones. (Figueroa, 1993).

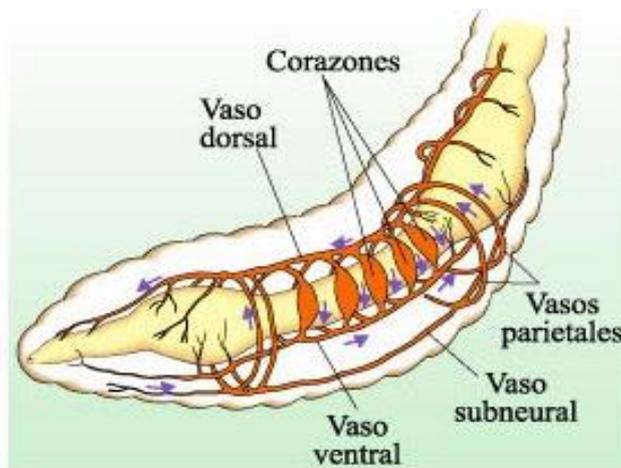


Figura 2: Sistema circulatorio de la *Eisenia foetida*
Recuperado de lombricompostas.blogspot.com

En la Figura 1 se observa también que la lombriz *Eisenia foetida*, tiene 06 riñones y 182 aparatos excretores; no cuenta con pulmones, por lo que respira a través de la piel, tampoco tiene ojos o palpos pero cuenta con células fotosensibles en el prostomio y en los segmentos anteriores que en otras partes del cuerpo, que les permiten reaccionar muy rápidamente a la luz.

Cuenta con terminaciones nerviosas en la epidermis que proporciona el sentido del tacto y también cuenta con células neurosensoriales, que le permite percibir cambios en la temperatura, el pH del medio o el tipo de alimento.

Su sistema nervioso está compuesto de un cerebro cefálico ganglionar ubicado en la zona dorsal y cordones alrededor del esófago, estas se conectan con las masas

ganglionares pequeñas que se ubican en su región ventral, desplazados en todo el cuerpo. En cada segmento o somito se puede encontrar un ganglio. (Barbado, 2003)

La lombriz cuenta con ambos sexos, para reproducirse necesita aparearse con otro individuo, por lo que es hermafrodita insuficiente. Los testículos se encuentran entre el décimo y octavo segmento, en número de dos o más pares. El aparato genital masculino está integrado por los testículos que son glándulas secretoras de esperma. Y cuenta con un par de ovarios ubicados en el décimo tercer segmento. El aparato genital femenino recibe el esperma y lo almacena hasta el momento de la fecundación. Cuando la lombriz llega a la madurez sexual, se desarrolla el clitelium, en donde se produce el mucus para la copulación. (Figueroa, 1993)

Dos lombrices en fase de acoplamiento o entrelazamiento giran en sentido contrario la una de la otra, logrando así el contacto del aparato genital masculino de una con el aparato genital femenino de la otra. La fecundación se realiza en el clitelo, en donde se produce el capullo o cápsula. Cada capullo puede producir entre 2 a 21 individuos, luego del periodo de incubación que tarda entre 14 a 21 días. (Barbado, 2003). En la Figura 3 se observa el ciclo reproductivo de la Lombriz *Eisenia foetida*.

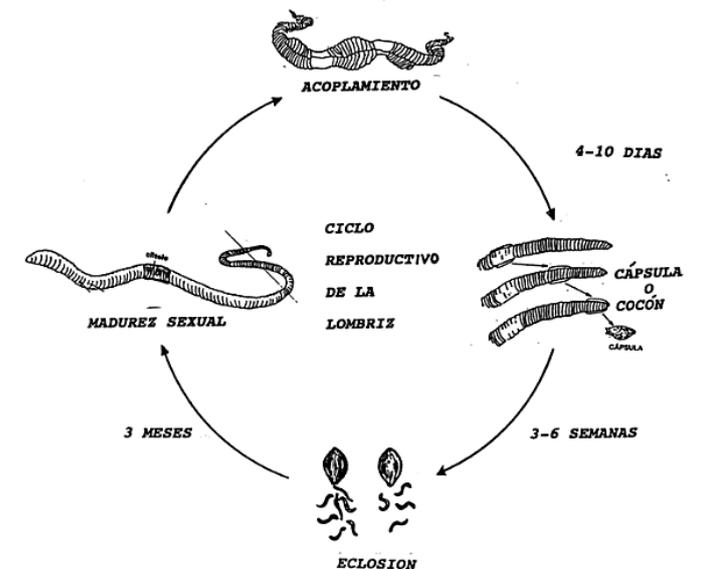


Figura 3: Ciclo reproductivo de la Lombriz *Eisenia foetida*.

Tineo, A. (1994). Crianza Y Manejo de Lombrices de Tierra Con Fines Agrícolas. Recuperado de <https://books.google.com.pe>

Condiciones ideales y desfavorables de su hábitat

Las condiciones ideales para que la lombriz se desarrolle, debe contar con las siguientes características:

Una temperatura que oscile entre los 15º a 24ºC, siendo la ideal a 20ºC por acercarse a su temperatura corporal; (Figueroa, 1993). En temperaturas extremas bajo los 0ºC o sobre los 42ºC, la lombriz *Eisenia foetida* disminuye su actividad sexual y deja de producir humus. (Tineo, 1994).

En temperaturas debajo de 15º C, las lombrices entran en un periodo de latencia, disminuyendo su actividad. Dejan de crecer, reproducirse y generar humus; los cocones (huevos) no eclosionan, alargando así su ciclo evolutivo, pues pasan más tiempo encerrados los embriones, hasta que las condiciones del medio sean favorables (Tineo, 1994).

De esta manera, la temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, producción de Humus o vermicompost y fecundidad de las cápsulas.

El pH entre 6.5 y 7.5 es el más favorable, este es el pH neutro (Tineo, 1994);

Las condiciones de humedad entre el 70% - 80% son las más favorables para la lombriz. Debajo de 70% de humedad se torna desfavorable entrando en un periodo de latencia, y debajo de los 55% se torna en un ambiente mortal.

Las lombrices tienen la capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales que se le presenten, por ello es importante tener en cuenta las condiciones más favorables para su desarrollo. (Aranda, 1989)

g) Humus de Lombriz

El término humus hace referencia a la transformación de compuestos vegetales y animales mediante procesos biológicos, que llegan al suelo como productos orgánicos estables y finales (Aragón et al., 1998)

La lombriz *Eisenia foetida*, realiza la transformación de los excedentes orgánicos debidamente preparados, para su alimento como: estiércoles, desechos agrícolas, sedimento de aguas servidas, desechos domésticos e industriales (Sardi, L. 1991)

Este humus de lombriz, es resultado de las deyecciones de las lombrices, que constituye el 80% del alimento consumido. Tiene un aspecto granulado, de tono oscuro y es inodoro, con altos contenidos de potasio, fósforo, nitrógeno, magnesio, calcio y otros micro elementos; estas propiedades son al menos cinco veces superiores a las de un buen terreno fértil (Salazar, 2003).

Es un abono bio-orgánico, producto de la digestión de la lombriz, que presenta una estructura coloidal, inodora; es un producto muy estable y no fermentable. Muy rico en microorganismos no patógenos y enzimas, con aproximadamente veinte mil millones de microorganismos por gramo (Chavez, 1994). Esta riqueza microbiana la convierte en un abono completo.

La excreta de la lombriz es similar al humus del proceso de descomposición de la materia orgánica en la que actúan solo microorganismos del sustrato. Pues, recordemos que los microorganismos producen enzimas que realizan la transformación de la materia orgánica mediante descomposición bioquímica, y en el caso de sistemas en donde habitan microorganismo y lombrices, las lombrices aceleran la descomposición bioquímica mediante estimulación, digestión y dispersión del suelo a través de su movimiento (Aira et al., 2008), afectando la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna.

La transformación de la materia orgánica por la actividad de la lombriz se divide en dos etapas, (i) una etapa directa o activa, en la que se procesa la materia orgánica modificando sus propiedades físicas y microbianas (Lores et al., 2006), y (ii) una etapa indirecta o de maduración en la que los microorganismos son los responsables de la descomposición del material luego que fue procesado por las lombrices (Domínguez, 2004).

La descomposición de la materia orgánica se realiza en el sistema digestivo de la lombriz. En la molleja se inicia la reducción del tamaño de partículas, la adición de azúcares y otras sustancias, se modifica la población microbiológica; en el tracto digestivo se realizan los procesos de asimilación, que incluyen la producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio. En los intestinos se encuentran microorganismos endosimbiontes que asimilan las sustancias excretoras para continuar con la descomposición de la materia orgánica. Estos microorganismos producen enzimas extracelulares que degradan compuestos fenólicos y celulosa. (Aira et al., 2008).

Al movilizarse por el sustrato, las lombrices generan modificaciones físicas, como la aireación y la homogeneización del sustrato, mejorando la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica, aumentando la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato (Aira et al., 2008).

Finalizada la digestión, las deyecciones expulsadas por las lombrices, siguen siendo degradadas por los microorganismos del sustrato.

En consecuencia, las lombrices aceleran los procesos de descomposición de la materia orgánica a través de sus asociaciones con los microorganismos del suelo. (Domínguez et al., 2009).

h) Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR)

CITRAR se encuentra ubicada dentro de la Universidad Nacional de Ingeniería, en un área de 4,5 hectáreas, al lado Derecho de la Av. Túpac Amaru, como se observa en la Figura 4.

Tiene una capacidad de tratamiento de 10 L/s. Este caudal es captado de la red de alcantarillado de SEDAPAL, proveniente de los asentamientos humanos de El Ángel y El Milagro del distrito de Independencia.

Luego de captar el agua, utiliza un pre tratamiento conformado por rejas gruesas y finas, que sirven para separar objetos de gran tamaño, como: botellas, latas, animales muertos, etc.; y desarenadores. Combina su planta en procesos de tratamiento anaerobio, conformado por el Reactor Anaerobio de flujo ascendente y procesos de tratamiento facultativo (aerobio y anaerobio), conformado por 2 lagunas de estabilización facultativas. Generando un efluente apto para ser utilizado en agricultura y el riego de áreas verdes en cualquier época del año.



Figura 4: Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR).

i) Normas legales aplicables

Durante el desarrollo la presente tesis, se ha considerado exclusivamente la normatividad legal existente, en relación con la conservación, recuperación y preservación del recurso hídrico y del ambiente.

– La Constitución Política del Perú

Los artículos de relacionados a la presente investigación son:

Artículo 2: En este artículo, se establece el derecho que toda persona tiene a la paz, tranquilidad, al disfrute del tiempo libre, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida. (Constitución Política del Perú, 1993).

Artículo 66: Se indica en este artículo que, los recursos renovables son patrimonio de la nación y que por Ley Orgánica se fijan las condiciones de su utilización y otorgamiento a particulares. (Constitución Política del Perú, 1993).

Artículo 67: Se establece que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente y promueve el uso sostenible de los recursos naturales. (Constitución Política del Perú, 1993).

– Código Penal)

El Artículo 304: Establece pena privativa de libertad menor de 3 años ó multas a quienes contaminen al medio ambiente vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseoso por encima de los Límites Máximos Permisibles y que causen ó puedan causar perjuicio en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos. (Decreto Legislativo N°635, 1991).

– **Ley General del Ambiente**

El Artículo I del derecho y deber fundamental, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida. (Ley N° 28611, 2005).

El Artículo 90 del recurso agua continental, establece que el Estado promueve y controla el aprovechamiento sostenible de las aguas continentales a través de la gestión integrada del recurso hídrico, previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran. (Ley N° 28611, 2005).

El Artículo 113. de la calidad ambiental establece que toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes. (Ley N° 28611, 2005).

– **Ley Orgánica de Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales**

Artículo 28: Establece que los recursos naturales deben aprovecharse en forma sostenible; es decir en forma racional, teniendo en cuenta su capacidad de renovación, evitando su explotación y reponiéndoles cualitativa y cuantitativamente. (Ley N° 26821, 1997)

– **Ley General de Salud**

Artículo 104: Establece la prohibición para realizar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, aire o suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente. (Ley N° 26842, 1997).

Artículo 107: Establece que la Autoridad de Salud vigilará el cumplimiento de las disposiciones referentes al abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reuso de aguas servidas. (Ley N° 26842, 1997).

– **Ley Orgánica de Municipalidades**

Esta ley, establece, entre otras funciones generales, que las Municipalidades deben realizar acciones enfocadas a que los ciudadanos puedan satisfacer sus necesidades vitales en un ambiente adecuado (Art. 10º), del Título Preliminar; asimismo, establece que las municipalidades y que los Gobiernos Locales promueven el desarrollo integral, para viabilizar el crecimiento económico, la justicia social y la sostenibilidad ambiental. (Ley N° 27972, 2003)

En materia de competencia municipal en el Art. 73º, establece que el rol de las municipalidades comprende entre otras, emitir las normas técnicas generales, en

materia de organización del espacio físico y uso del suelo, así como sobre la protección y conservación del ambiente. (Ley N° 27972, 2003)

El Art. 80° de saneamiento, salubridad y salud, indica que las municipalidades ejercen entre otras funciones específicas, la regulación y control del proceso de disposición final de desechos y vertimientos industriales en el ámbito provincial, . (Ley N° 27972, 2003)

– **Ley de Recursos Hídricos**

La cual regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, marítima y los bienes asociados a ésta. (Ley N° 29338, 2009)

– **Decreto supremo 015-2015-MINAM, aprueban las modificaciones a los estándares nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.**

Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. En la Tabla 2 se observan los parámetros para riego de vegetales y animales del estándar nacional de calidad ambiental para el agua. (Decreto supremo 015-2015-MINAM, 2015)

Tabla 2: Categoría 3, Riego De Vegetales Y Bebidas De Animales

CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
PARÀMETRO	UNIDAD	Parámetros para riego de Vegetales	Parámetros para bebidas de animales
		D1: Riego de cultivos de Tallo alto y tallo bajo.	D2: Bebida de animales.
FISICOS- QUIMICOS			
Aceites y grasa	mg/L	5	10
Bicarbonatos	mg/L	518	**
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1
Cloruros	mg/L	500	**
Color (b)	Pt / Co	100 (a)	100 (b)
Conductividad	uS/cm	2500	5000
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15	15
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	40	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2	0,5
Fenoles	mg/L	0,002	0,02

Fluoruros	mg/L	1	**
Nitratos + Nitritos	mg/L	100	100
Nitritos	mg/L	10	10
Potencial de hidrógeno (pH)	mg/L	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1000	1000
Temperatura	mg/L	Δ3	Δ3

“...continuación”

INORGANICOS			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Bario	mg/L	0,7	**
Berilio	mg/L	0,1	0,1
Boro	mg/L	1	5
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Cobalto	mg/L	0,05	1
Cromo Total	mg/L	0,1	1
Hierro	mg/L	5	**
Litio	mg/L	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	**	250
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Níquel	mg/L	0,2	1
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,02	0,05
Zinc	mg/L	2	24
PLAGUICIDAS			
Parathion	ug/L	35	35
ORGANOCOLORADOS			
Aldrin	ug/l	0,004	0,7
Clordano	ug/l	0,006	7
DDT	ug/l	0,001	30
Dieldrin	ug/l	0,5	0,5
Endosulfan	ug/l	0,01	0,01
Endrin	ug/l	0,004	0,2
Heptacloro y heptacloro epòxico	ug/l	0,01	0,03
Lindano	ug/l	4	4
CARBAMATO			
Aldicarb	ug/l	1	11
POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES			
Policloruros bifenilos totales (PCB's)	ug/l	0,04	0,045
MICROBIOLOGICOS Y PARASITOLOGICOS			
Coliformes totales	NMP/100ml	1000	5000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	1000

Enterococos intestinales	NMP/100ml	20	20
Escherichia coli	NMP/100ml	100	100
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1	<1

FUENTE: El peruano

- **Decreto supremo 003-2010-MINAM, aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.**

Miden la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. (Decreto supremo 003-2010-MINAM, 2010)

Tabla 3: Límites Máximos para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Parámetro	Unidad	LMP
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	200
Demanda Química de Oxígeno	NMP/100 ml	20
pH	Und.	6,5-8,5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

FUENTE: Diario el Peruano

- **La Norma OS.90 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**

Especifica los aspectos directos de diseño y control de calidad de distintos tipos de tecnologías como por ejemplo Tanques Imhoff, Tanques de Sedimentación, de Flotación, Lagunas de Estabilización, Lagunas Anaerobias, Lagunas Aeradas, Lagunas Facultativas, entre otros tratamiento. (Norma OS.90, 2006)

- **Ley de Promoción de la Producción Orgánica o Ecológica**

Esta Ley tiene por finalidad promover el desarrollo sostenible y competitivo de la producción orgánica o ecológica en el Perú. (Ley N° 29196, 2008)

- **Decreto Supremo N° 010-2012-AG.- Aprueban el Reglamento de la Ley N° 29196 – Ley de Promoción de la Producción Orgánica o Ecológica**

Este reglamento designa las responsabilidades, competencias y funciones que asume el Gobierno para promover el desarrollo sostenible y competitivo de la producción orgánica en el Perú. (Decreto Supremo N° 010-2012-AG, 2012)

– **Decreto Supremo N° 044-2006-AG Aprueban Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos.**

Este reglamento técnico sobre la producción, transformación, etiquetado, certificación y comercialización de los productos orgánicos, ecológicos, biológicos, así como todas sus derivaciones denominadas “productos orgánicos”. (Decreto Supremo N° 044-2006-AG, 2006)

En el artículo 11, Manejo de la fertilidad del suelo, se indica cuáles deben ser las condiciones de la producción orgánica para el correcto manejo de la fertilidad del suelo, precisando que solo se podrán incorporar fertilizantes o minerales señalados en el Anexo 1. En la Tabla 4 se observa la lista de productos permitidos para la fertilización del suelo. (Decreto Supremo N° 044-2006-AG, 2006)

Tabla 4: Anexo 1, Productos permitidos para la fertilización del suelo.

Compost, estiércol líquido (purín) y orinas (sin uso de sales)	Libre
Estiércoles líquidos con uso de sales.	Restringido*
Restos de cultivos y abonos verdes	Libre
Paja y otras coberturas del suelo (mulches)	Libre
Algas y productos a partir de algas, obtenidos por procesos físicos o extraídos con agua o ácido acuoso y/o soluciones alcalinas.	Restringido*
Turba, aserrín, virutas y cortezas, siempre que provengan de madera no tratada.	Libre
Vinaza y extractos de vinaza.	Restringido*
Guano de islas	Restringido*
Humus de lombrices	Restringido*
Harina de pescado, sangre, de carne, de huesos, cuernos, pesuñas y de plumas, lana, pelos, productos lácteos.	Restringido*
Productos y subproductos orgánicos de origen vegetal para abono (por ejemplo: harina de tortas oleaginosas, cascara de cacao, etc.)	Restringido*
Lodos de aguas residuales y compost urbano, de fuentes separadas y evaluados para la contaminación.	Restringido* y solamente para reforestación
Pescado y productos a partir de pescado, sin preservantes.	Restringido*
Subproductos de industrias alimentarias y textiles, de material biodegradable de origen microbiano, vegetal o animal, sin aditivos sintéticos.	Restringido*

FUENTE: SENASA.

<http://www.senasa.gob.pe/senasa/normas-sobre-produccion-organica/>

*Restringido significa que el programa de certificación debe establecer condiciones y procedimientos para su uso. Este programa de certificación es definido por el Organismo de Certificación, el cuál presenta un esquema y plan a desarrollar de acuerdo al producto orgánico. El Decreto Supremo 061-2006-AG, establece el Registro Nacional de Organismos de Certificación de la Producción Orgánica, a cargo del SENASA.

III. OBJETIVOS

3.1) Objetivo principal

Determinar la eficiencia del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y el biofiltro convencional en la remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes, como alternativas para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas con fines de riego de vegetales de acuerdo a la Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, Categoría 3 determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

3.2) Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅, y Coliformes termotolerantes en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* como alternativa al tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.
- Determinar el porcentaje de remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅, y Coliformes termotolerantes en el biofiltro convencional como alternativa al tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.
- Determinar la viabilidad del uso del efluente tratado en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en el riego de vegetales según lo establecido en la Categoría 3, Subcategoría D1 del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, de acuerdo a los parámetros evaluados.
- Determinar la viabilidad del uso del efluente tratado en el biofiltro convencional en el riego de vegetales según lo establecido en la Categoría 3, Subcategoría D1 del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, de acuerdo a los parámetros evaluados.

IV. METODOLOGÍA Y MATERIALES

4.1) Metodología

a) Tipo de estudio

Este tipo de estudio es una investigación adaptativa, ya que busca ajustar o acondicionar la tecnología de tratamiento de aguas residuales creada y desarrollada por el Dr. José Tohá Castellá, en el laboratorio de Biofísica de la Facultad de Ciencias Físicas

y Matemáticas de la Universidad de Chile, y patentada por la Fundación para la Transferencia Tecnológica, UNTEC (Patente N° 40.754) a mediados de los años 90, y la tecnología de filtración en múltiples etapas o biofiltro convencional con fin de aplicarlas a una área geográfica rural, con un sistema de tratamiento de pequeña o mediana escala, para su posterior uso en el riego de vegetales.

Se compararon dos biofiltros para determinar la eficiencia de remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅, y Coliformes termotolerantes.

A un biofiltro, se le adicionó la especie *Eisenia foetida* junto a una capa de estiércol de vacuno y aserrín. Mientras que, el otro biofiltro convencional está compuesto por agregados de diversas dimensiones, a fin de determinar cuál es la alternativa de tratamiento secundario, que cumpla con los parámetros para la reutilización de aguas residuales domésticas en el riego de vegetales, de acuerdo a la categoría 3, Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Se realizó una medición de línea base, a cada muestra inicial del agua residual doméstica, proporcionada por el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los cuales fueron:

Tabla 5: Resultados de línea base.

RESULTADOS DE LINEA BASE				
PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	A1	A2	A3	A4
pH	7,3	7,5	7,1	7,3
TURBIDEZ	138	114	126	83.30
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	22,35	22,35	22,55	20,00
ACEITES Y GRASAS	9,25	9,00	9,20	9,70
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	72	75	72	70
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	A1	A2	A3	A4
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	7900000	7500000	7700000	7200000

Luego de 7 días de tratamiento en los biofiltros piloto, se evaluó la eficiencia de remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅, y Coliformes termotolerantes. Este proceso se repitió durante 4 semanas.

b) Población, muestra y muestreo

b.1. Población

Agua residual doméstica de la planta del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

b.2. Muestra

Efluente primario del Reactor Anaerobio de Manto de lodos de flujo ascendente (UASB) del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En la Figura 5 se observa el Reactor UASB del cual se extraen las muestras de agua residual doméstica.



Figura 5: Reactor UASB

b.3. Muestreo

El método de muestreo inicial o de línea base será el muestreo aleatorio estratificado debido a que el área a evaluar ya se encuentra delimitada mediante una red de efluente de la planta del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR).



Figura 6: Ubicación del Punto de monitoreo del Afluente.

c) Método de Investigación

El método de investigación corresponde a una investigación de naturaleza experimental, debido a que se instalaron 02 biofiltros con el fin de replicar un biofiltro con *Eisenia*

foetida y un biofiltro convencional para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.

Cada vez que se tomó la muestra inicial al efluente extraído del reactor UASB de la Planta CITRAR, se realizó una medición de línea base de los parámetros: turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅ y coliformes termotolerantes, antes de utilizar el agua residual doméstica en los tratamientos secundarios propuestos.

Luego de 7 días de tratamiento secundario del agua residual doméstica, se evaluó la eficiencia de remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, aceites & grasas, DBO₅, y Coliformes termotolerantes, en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y en el biofiltro convencional. Para luego, determinar cuál es el biofiltro más eficiente y se puede utilizar en el riego de vegetales, de acuerdo a la categoría 3, Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Para una mejor comprensión del proceso se presenta en la Figura 7, el diagrama general del proceso.

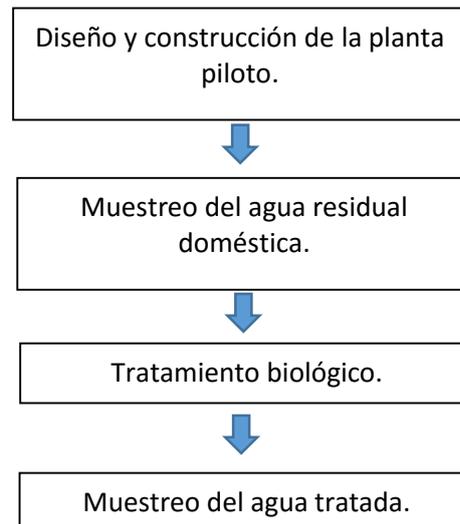


Figura 7: Diagrama General del Proceso.

d) Diseño y construcción de la planta piloto.

d.1) Delimitación de la zona de trabajo:

Se solicitó a la facultad de Agroforestal de la Universidad Científica del Sur, un área (terreno) dentro del bio-huerto para el desarrollo de la presente tesis.

Considerando las dimensiones de las cajas de vidrio y los materiales a utilizar, la Facultad de Agroforestal proporcionó 8 m², la cual fue acondicionada, cercándola con malla ratchet, como se observa en la Figura 8.



Figura 8: Delimitación de la zona de trabajo

d.2) Dimensionamiento:

Se seleccionaron los criterios de diseño, los cuales fueron la carga hidráulica o tasa de filtración (TF), selección y estratificación de los materiales filtrantes (MF), altura o espesor del MF, tomando como referencia los antecedentes bibliográficos.

Determinación de la carga hidráulica (m³/m²/día)

Para evaluar la carga hidráulica o TF se adoptó el criterio descrito en Sinha, et al. (2008) y Cardosa et al. (2013), quienes mencionan que la carga hidráulica del biofiltro se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{Carga hidráulica} = \frac{\text{Caudal de ingreso}}{\text{Área superficial.}}$$

Donde:

- Gasto total que se aplica al filtro
Caudal de ingreso = 10L/d = 0,01m³/d = 0,00011 L/s
- Superficie del medio filtrante



- A = Largo x ancho
- A = 1m x 0.50m
- A = 0,5 m²

- Carga hidráulica /tasa de filtración
Indica el volumen (m³) a aplicar en un área superficial (m²) del filtro en un día

$$\text{Carga hidráulica (m}^3\text{/m}^2\text{/d)} = \frac{\text{Gasto Total (m}^3\text{/d)}}{\text{Área superficial del filtro}}$$

$$\text{Carga hidráulica (m}^3\text{/m}^2\text{/d)} = \frac{0,01\text{m}^3\text{/d}}{0,5 \text{ m}^2} = 0,02 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/d}$$

Los biofiltros convencionales se clasifican según su carga orgánica y/o hidráulica, en filtros de baja o alta carga.

De acuerdo a los valores de la carga hidráulica y la carga orgánica referenciales del Reactor UASB se puede determinar que se debe elaborar un biofiltro convencional de baja carga.

Tabla 6: Parámetros de diseño.

PARÁMETRO	TIPO DE CARGA	
	BAJA	ALTA
Carga hidráulica (m ³ /m ² /d)	1.00 – 4.00	8.00 – 40.00
Carga orgánica. Kg DBO/m ³ /d	0.08 – 0.40	0.40 – 4.80
Profundidad (lecho de piedra)	1.50 – 3.00	1.00 – 2.00
Medio plástico. m	Hasta 12 m	
Razón de recirculación	0	1.00 – 2.00

Fuente: Norma OS.090

El área del biofiltro se determinó utilizando las características recomendadas para filtros percoladores en la Norma OS.090 para plantas de tratamiento de aguas residuales.

El Área total del filtro (At) se obtuvo del caudal de agua en m³/h y de la tasa de filtración. (Czys W. et al, 1991). Se utilizaron 10 L de agua residual domestica que sería tratada en cada biofiltro durante 1 día.

Con las condiciones mencionadas, se elaboraron 02 cajas de vidrio, con láminas de vidrio de 4mm de espesor en los laterales y 8mm de espesor en la base, siendo las medidas de 100 cm de largo, altura de 50 cm y con un ancho de 50 cm, como se muestra en la Figura 9.

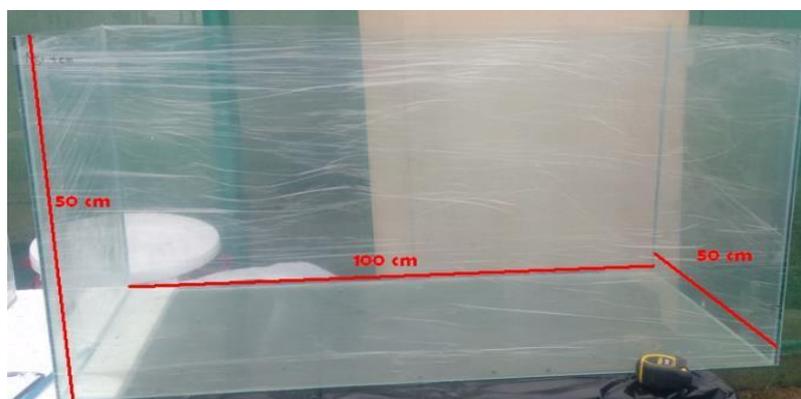


Figura 9: Dimensiones de las cajas de vidrio.

Previamente a la formación de los biofiltros, se procedió a realizar el lavado de los materiales filtrantes, a fin de limpiar las partículas finas existentes y evitar posibles

interferencias en los resultados de laboratorio, así como la rápida saturación del medio.

El lavado de los materiales filtrantes se realizó de la siguiente manera:

- Se colocó agua en un contenedor (balde).
- Utilizando las manos, se removió el material filtrante hasta que el agua se tornó sucia.
- Se retiró el agua sucia del contenedor y se repitió el proceso hasta que el agua del contenedor se torne transparente.

En la presente tesis, se utilizaron materiales de la zona y de fácil acceso como son la arena gruesa y los agregados de diversos diámetros. Pues, los biofiltros son estructuras económicas, debido a que se pueden construir con diversos materiales como: agregados, ladrillo u hormigón armado de bajo costo y sustentable. (Cardosa, 2013).

d.3) Aclimatación de las lombrices *Eisenia foetida*:

Como se observa en las figuras 10 y 11, las lombrices *Eisenia foetida* fueron recolectadas de camas de lombricultura de la empresa Super Humus de Lombriz S.A.C. ubicada en Lurín.



Figura 10: Camas de lombricultura



Figura 11: Punto de extracción de las lombrices *Eisenia foetida*.

Para este trabajo se utilizaron lombrices *Eisenia foetida* con una densidad equivalente a 20000 individuos adultos.m⁻³ (Duran et al., 2009), lo que correspondió a 800 individuos por 0,04 m³ del material de la primera capa del biofiltro.

Como se observa en la Figura 12, éstas fueron separadas del sustrato en el que se encontraban, para ser pesadas y medidas considerando el peso promedio recomendado debido a que es un indicador de la capacidad reproductiva. Schuldt et al. 2005 menciona que se deben tomar en cuenta, individuos adultos y juveniles con un peso que varía de 250 - 400 mg.

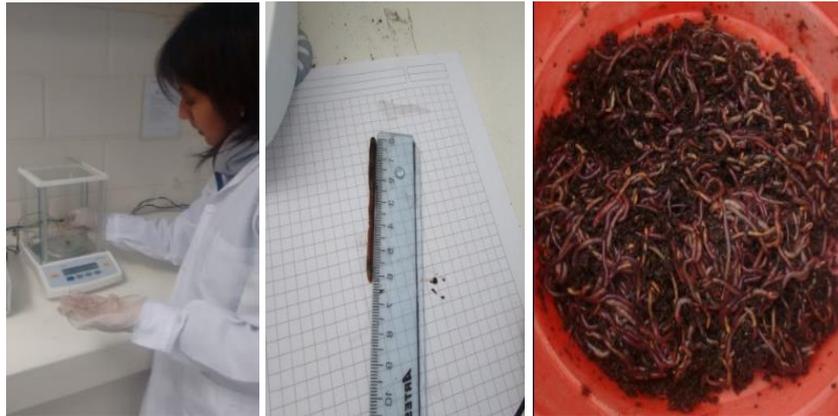


Figura 12: Lombrices *Eisenia foetida* seleccionadas

El peso promedio individual (PPI) se determinó con los siguientes pasos:

- a) Después de contar el número de lombrices extraídas en el muestreo, se enjuagaron cuidadosamente con agua para remover todas las partículas de tierra sobre su cuerpo.
- b) Las lombrices se colocaron en un vaso de precipitado con un poco de agua destilada, para evitar que se desecaran.
- c) Se pesaron en una balanza analítica una por una, encontrando individuos de diferentes pesos y medidas

El Peso Promedio Individual se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{PPI} = \frac{\text{peso total de lombrices}}{\text{Número de lombrices}} = \frac{301600 \text{ mg}}{800 \text{ individuos}} = 377\text{mg}$$

Las lombrices *Eisenia foetida* requerían de un tiempo de aclimatación en el lecho (Figuroa, 1993), por ello se colocaron en el estiércol de vacuno durante 07 días, suministrándole agua potable, buscando estabilizar el sustrato orgánico utilizado. Como se observa en la Figura 13.

En este periodo de aclimatación, se evaluó el crecimiento, la reproducción y el acondicionamiento de las lombrices *Eisenia foetida* en el sustrato orgánico a utilizar (Duran et al., 2009), controlando su pH, %Humedad y temperatura.



Figura 13: Lecho de aclimatación

d.4) Formación de las camas del biofiltro:

Los biofiltros a escala piloto, se instalaron en el bio-huerto de la facultad de Agroforestal de la Universidad Científica del Sur, como se describe a continuación.

Biofiltro con *Eisenia foetida*

Como se observa en las figuras 14 y 15, la primera capa está conformada por estiércol de vaca y la comunidad de *Eisenia foetida* extraída de la empresa Super Humus de Lombriz S.A.C., a continuación, el aserrín para lograr una franja operativa necesaria para la lombriz *Eisenia foetida*.



Figura 14: Colocación de aserrín en el biofiltro.



Figura 15: Vista del Biofiltro con *Eisenia foetida*

En la Figura 16 se observa la segunda capa del biofiltro, la cual es una malla raschel 80% (malla mosquitera) que sirve como elemento de separación entre la primera y tercera capa, evitando que las lombrices *Eisenia foetida* se trasladen a otros niveles del biofiltro piloto.



Figura 16: Malla raschel instalada

La tercera capa estará conformada por arena, la cuarta capa estará conformada por agregados de 10-16mm y la quinta capa conformada por agregados ≥ 20 mm, como se observa en la Figura 17.

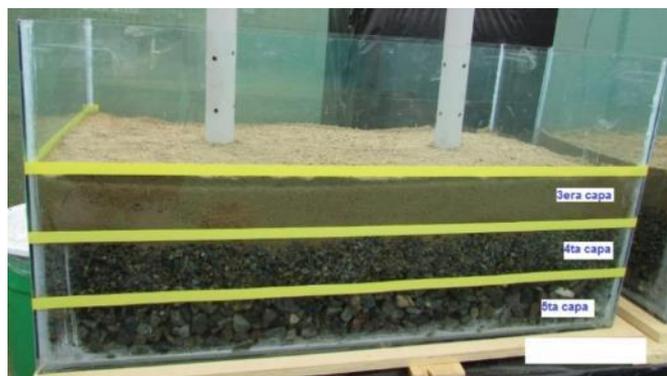


Figura 17: Agregados colocados en el biofiltro

Biofiltro convencional

Como se observa en la Figura 18, la primera capa estará conformada por arena, la segunda capa estará conformada por agregados de 10-16mm y la tercera capa conformada por agregados ≥ 20 mm.



Figura 18: Vista del biofiltro convencional

d.5) Agua residual doméstica a tratar.

Se define como agua residual doméstica a la combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua luego de su uso proveniente de viviendas (baños, cocinas, lavanderías, etc.), estas aguas son descargadas en las redes de alcantarillado, las aguas residuales domésticas también incorporan residuos producidos en locales comerciales, establecimientos públicos y similares (Czys et al, 1991).

El agua residual doméstica utilizada en la presente tesis proviene de los asentamientos humanos de El Ángel y El Milagro del distrito de Independencia.

Con el objetivo de evaluar la línea base de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Aceites & grasas, DBO_5 y Coliformes termotolerantes, se tomaron las muestras iniciales, en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR) de la Universidad Nacional de Ingeniería. En la Figura 19 se observa el punto de monitoreo del afluente desde donde se extrajo el agua residual doméstica y las calles anexas.



Figura 19: Punto de monitoreo del Agua Residual en el CITRAR

Este efluente es derivado a la planta piloto ubicada en la Universidad Científica del Sur. El punto de instalación se observa en la Figura 20.



Figura 20: Ubicación de instalación de los pilotos en la Universidad Científica del Sur.

d.6) Biofiltros:

El biofiltro provee un soporte físico al medio de contacto; recolectando el líquido en la parte inferior de los biofiltros, por lo cual el fondo tiene una pendiente de 2% y permite la recirculación adecuada de aire, tal como lo recomienda la Norma OS 090.

En la Figura 21 se puede observar la inclinación de la pendiente en cada biofiltro. Cabe indicar que las cajas de vidrio fueron apoyadas sobre triplay fenólico de 18 mm para proporcionar mayor soporte.



Figura 21: Pendiente de 2% en los pilotos

Para el sistema de ventilación se encuentran instalados tubos de PVC de 2" en el interior de los biofiltros, los que son colocados de forma vertical y que se apoyan en la parte inferior del fondo, la parte superior de los tubos de ventilación sobresalen la capa de humus. Estas tuberías fueron perforadas para permitir el intercambio de calor. Pues, la diferencia de temperatura entre el agua residual doméstica suministrada a los biofiltros y el aire del medio ambiente, produce el cambio de temperatura, pudiendo causar una corriente de convección perjudicial al sistema.

El agua residual doméstica se suministró desde la parte superior de los pilotos, como se observa en la figura 22. Con una descarga por flujo de gravedad, a través de tubos de PVC, ubicándolos con una pendiente de 2%, de tal manera que el afluente escurra por gravedad y se distribuya uniformemente con un flujo intermitente sobre lecho.



Figura 22: Instalación de tanques sobre los biofiltros.

Una vez construidos los biofiltros, se inicia la evaluación y control del proceso, durante 4 semanas sucesivas, suministrando 10 L/d de agua residual doméstica.

El periodo de análisis de 4 semanas se tomó a fin de evitar saturar el hábitat de las lombrices en el biofiltro (Basaure ,1993).

Se tomaron muestras del efluente extraído del Reactor Anaerobio de Manto de lodos de flujo ascendente y del efluente de los biofiltros piloto, para evaluar la eficiencia de reducción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes.

Cabe mencionar que el Reactor Anaerobio de Manto de lodos de flujo ascendente, cuyas siglas en inglés son UASB (upflow anaerobic sludge blanket), realiza un proceso anaeróbico. El agua residual se desplaza en forma ascendente a través del manto de lodos, dentro del reactor UAS, para estabilizar la materia orgánica, luego fluye a la parte superior. (Rosas et al., 2014).

e) Análisis de datos

La recolección de datos se realizó en dos puntos de monitoreo: en la planta CITRAR, al final del Reactor Anaerobio de Manto de lodos de flujo ascendente y en la planta piloto de biofiltros, ubicado en las instalaciones del bio-huerto de la Facultad Agroforestal de la Universidad Científica del Sur.

Para el muestreo fue necesario la purga de los envases plásticos tres veces antes de realizar la recolección de la muestra, a excepción el envase usado para el análisis de aceites & grasa.

El transporte de las muestras se realizó en un cooler para su traslado al laboratorio.

e.1) Evaluación del afluente

Se realizaron los análisis de parámetros de campo (temperatura y pH) en la planta CITRAR. Para ello, se colocó en un beaker, 200ml de agua residual y se sumergió el sensor que indica el valor del pH y la temperatura. Luego, se evaluó el nivel de turbiedad, con ayuda de un turbidímetro.



Figura 23: Lectura de T°C, pH y turbiedad

Posteriormente, se tomaron las muestras en los frascos en cada punto establecido de análisis, completando los datos en la cadena de custodia y se transportaron al laboratorio, para determinar el grado de contaminación de los parámetros

turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes del efluente de Reactor Anaerobio de Manto de lodos de flujo ascendente (UASB).



Figura 24: Toma de muestras línea base

e.2) Evaluación del efluente

Se realizaron los análisis de parámetros de campo (temperatura, pH y turbiedad) en la planta piloto de biofiltros, ubicado en las instalaciones del bio-huerto de la Facultad Agroforestal de la Universidad Científica del Sur.

Los monitoreos del efluente (agua tratada) se tomaron dentro del bio-huerto, en la Planta Piloto. A continuación, se registran los datos en la cadena de custodia y se transportó hacia el laboratorio acreditado.



Figura 25: Toma de muestras en la Planta Piloto

f) Métodos de análisis utilizados:

Los análisis en campo, se realizaron usando las siguientes técnicas analíticas:

- Turbiedad, Se utilizó un equipo Turbidimeter de marca Thermo Orion, el cual registra valores de 0 a 1000 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbiedad). Este equipo mide la turbiedad mediante el cálculo de la luz dispersada y transmitida. Y cumple con la norma ISO 7027. (Thermo Scientific, s.f)

Para medir este parámetro, se llenó el frasco con 10ml de muestra, se colocó en el equipo y se pulsó la tecla “READ” hasta que se visualizó la lectura en unidades NTU, en el visor LCD del turbidímetro.



Figura 26: Turbidímetro Thermo Orion AQUAfast AQ3010

- pH, para medir este parámetro, se utilizó el equipo Hanna Instruments HI 98128, que registra valores de 0 a 14, mediante el método de sonda potenciométrica. (HANNA Instruments, s.f.). Los valores del pH miden el grado de acidez y basicidad de una solución.

Se tomó la muestra en un beaker de 250 ml y se introdujo el pHmetro o potenciómetro, se esperó que el electrodo se estabilice y marque la lectura en la pantalla.



Figura 27: Potenciómetro utilizado

Los métodos de análisis de laboratorio se realizaron usando las siguientes técnicas analíticas:

Tabla 7: Metodología de análisis en laboratorio

AGUA RESIDUAL			
ANÁLISIS	METODOLOGÍA	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDAD
ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS			
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (TSS)	SM2540 D. Total de sólidos suspendidos secados a 103-105 ° C	3.0	mg/L
ACEITES Y GRASAS (HEM)	EPA-821-R-10-001 Método 1664, Revisión B: Material extraíble con n-hexano (HEM; aceite y grasa) y material extraíble con n-hexano tratado con gel de sílice (SGT-HEM; material no polar) mediante extracción y gravimetría. 2010.	0,5**	mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	SM 5210 B. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Prueba de DBO de 5 días.	2,0	mg/L
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS			
NUMERACIÓN DE COLIFORMES FECALES (TERMOTOLERANTES)	SM 9221 E. Técnica de fermentación de tubos múltiples para miembros del grupo Coliforme. Procedimiento Coliforme fecal.	Otras aguas: 1,8 ⁺⁺ Agua potable: 1,1 ⁺⁺	<u>NMP</u> 100mL

FUENTE: Cotización CERPER

g) Resultados

Con los resultados obtenidos se procede a realizar el análisis y la comparación entre las concentraciones de agua residual, del afluente y el efluente luego del tratamiento en el biofiltro con *Eisenia foetida* y en el biofiltro convencional, tomando como referencia el nivel de reducción, y así determinar el nivel de eficiencia generado para determinar su posterior uso para el riego de vegetales de acuerdo a los estándares de calidad ambiental (ECA) para riego de vegetales.

La eficiencia se evaluará en base a la siguiente ecuación:

$$\Delta C = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Dónde:

ΔC : Variación de la concentración

C_i : Concentración inicial

C_f : Concentración final

Las técnicas estadísticas que se emplearon corresponden a las estadísticas descriptivas del tratamiento de aguas residual e inferencial.

Para la selección del biofiltro más eficiente, se realizó un análisis e interpretación de los resultados, utilizando como criterio de selección la evaluación del porcentaje de remoción promedio de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Aceites & grasas, DBO₅ y coliformes termotolerantes, clasificando la remoción como: Muy baja (0 a 25%), baja (26 a 50%), media (51 a 75%) y alta (76 a 100%).

Luego de la evaluación de la eficiencia, se utilizaron las técnicas estadísticas correlación entre pares de variables o análisis de correlación de Pearson y el diagrama de dispersión lineal de cada parámetro estudiado.

La correlación de Person determina que variables tienen mayor grado de relación y la dispersión lineal explica la relación en términos matemáticos. (Pearson, 1920 y Badii et al. 2007, 2009).

El coeficiente de correlación de Pearson viene definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1,1]. Si $r=1$ existe una correlación positiva perfecta, si $r = 0$, no existe relación lineal, si $r = -1$, existe una correlación

negativa perfecta. El diagrama de dispersión lineal permite realizar una representación gráfica más útil para describir el comportamiento conjunto de las dos variables.

Una vez determinado el valor del coeficiente de correlación (r), se determina si las variables X e Y están relacionadas.

Parámetro Temperatura:

La temperatura fue determinada en campo, midiéndose diariamente desde el 12 de agosto hasta el 09 de septiembre. La temperatura promedio del agua residual doméstica extraída del Reactor UASB fue de 18,8°C

En el biofiltro con *Eisenia foetida* se registró una temperatura promedio de 18,54°C y en el biofiltro convencional se registró una temperatura promedio de 18,52°C. La evaluación se realizó en la temporada de invierno.

Tabla 8: Temperatura registrada en los afluentes y efluentes.

	TEMPERATURA (°C)		
	Afluente	Efluente del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	Efluente del biofiltro convencional
Mínima	17,5	16,5	17,0
Media	18,8	18,5	18,5
Máxima	19,7	19,3	19,3

Es importante considerar este parámetro como una variable interviniente, pues determina las condiciones esenciales para el desarrollo de los microorganismos y de la especie *Eisenia foetida* en las reacciones químicas.

Los microorganismos y la especie *Eisenia foetida* son sensibles al cambio de temperatura, su actividad metabólica se acelera con la temperatura y viceversa, Esto debido a que la eficiencia de remoción de la materia orgánica depende del metabolismo microbiano.

Parámetro pH:

Se efectuaron mediciones de pH para evaluar la concentración de iones hidrógenos en cada biofiltro piloto. Pues es recomendable mantener un pH de 6,5- 8,5 para lograr una adecuada proliferación y desarrollo de microorganismos y la especie *Eisenia foetida*.

En la Figura 28 se observan las concentraciones de pH obtenidos en el biofiltro con *Eisenia foetida* durante los ensayos que iniciaron el 12 de agosto y culminaron el 09 de septiembre.

Las concentraciones de pH en los afluentes presentan un comportamiento irregular, registrando valores que fluctúan entre 7,1 a 7,5.

En el Afluente del Ensayo 1 se registró un valor de pH 7,3. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 7,6.

En el Afluente del Ensayo 2 se registró un valor de pH 7,5. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 7,6.

En el Afluente del Ensayo 3 se registró un valor de pH 7,1. Luego de una semana de tratamiento durante los días 26 de agosto al 02 de septiembre se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 7,2.

Finalmente, en el Afluente del Ensayo 4 se registró un valor de pH 7,3. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 7,5.

Los parámetros de los afluentes y efluentes evaluados durante las 4 semanas, se encuentran dentro de la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Los resultados indicaron que en el Biofiltro con *Eisenia foetida* el valor del pH de las aguas residuales tratadas es neutralizado por las lombrices *Eisenia foetida* en la unidad del biofiltro, manteniendo un pH de 7,4 en promedio.

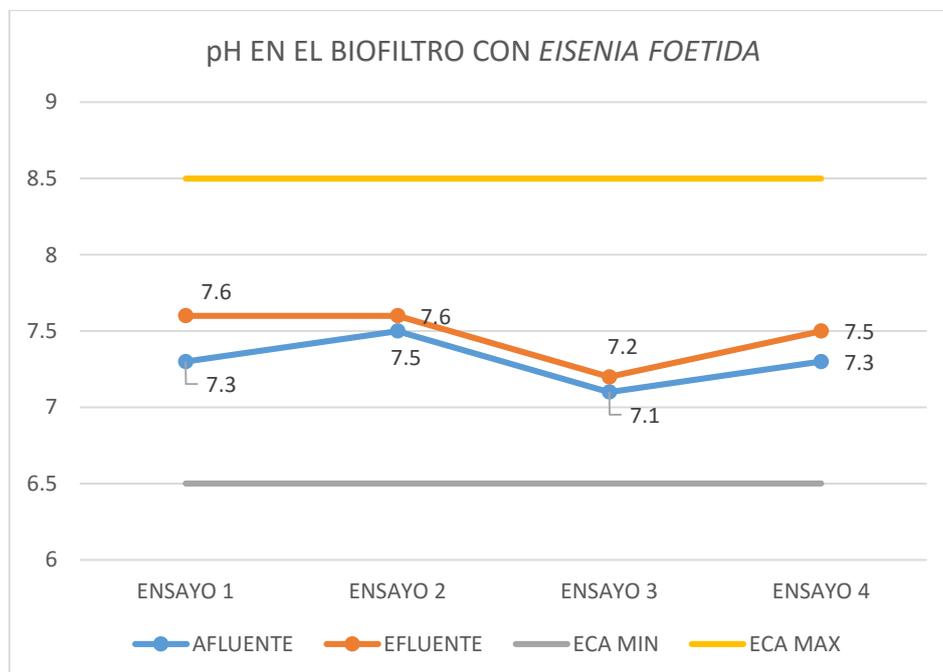


Figura 28: Parámetro pH en biofiltro con Eisenia foetida.

En la Figura 29 se observan las concentraciones de pH obtenidos en el Biofiltro convencional durante los ensayos que iniciaron el 04 de agosto y culminaron el 09 de septiembre.

En el Afluente del Ensayo 1 se registró un valor de pH 7,3. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 8,4.

En el Afluente del Ensayo 2 se registró un valor de pH 7,5. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 8,3.

En el Afluente del Ensayo 3 se registró un valor de pH 7,1. Luego de una semana de tratamiento durante los días 26 de agosto al 02 de septiembre se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 8,1.

En el Afluente del Ensayo 4 se registró un valor de pH 7,3. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre se evaluó in-situ el pH del efluente, registrando un valor de pH 8,0.

El valor del pH de las aguas residuales tratadas en el biofiltro convencional se vuelve básico o ligeramente alcalino. Aun así, los parámetros registrados se encuentran dentro de la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales, Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

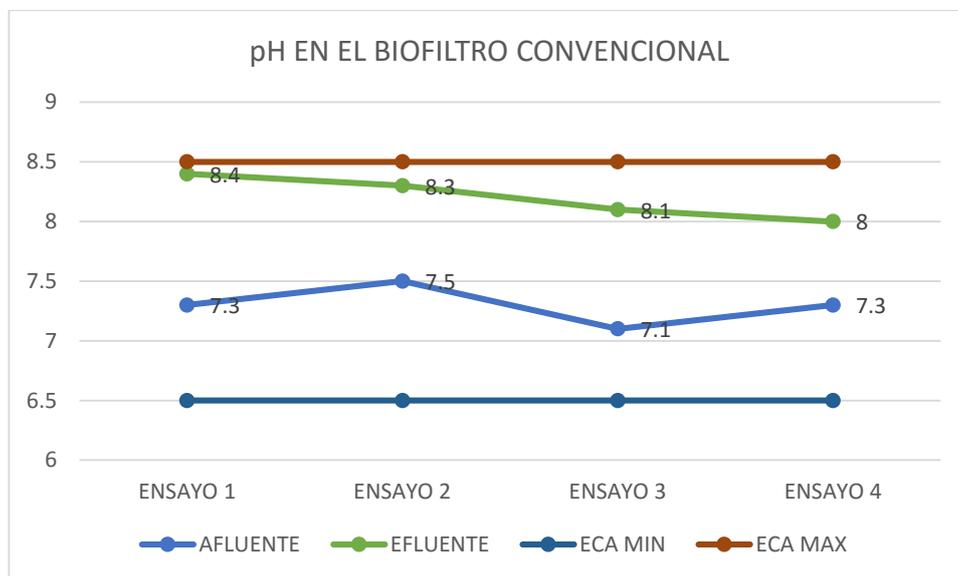


Figura 29: Parámetro pH en el Biofiltro convencional.

Parámetro Turbiedad:

El parámetro turbiedad analizado representa la cantidad de materias en presentes en las aguas residuales del afluente y del efluente (limo, materia orgánica y microorganismos).

La evaluación de este parámetro se realizó mediante el método nefelométrico utilizando un turbidímetro Thermo Orion AQUAfast AQ3010.

Las concentraciones de turbiedad en los afluentes y efluentes presentan un comportamiento irregular.

Como se observa en las Figuras 30 y 31, los valores del afluente son mayores a los valores de los efluentes, en los ensayos realizados. Los resultados indicaron que la reducción de la turbiedad en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* varía entre 80,36 - 89%, mientras que en el biofiltro convencional varía entre 95-99%.

Pese al comportamiento irregular observado, se determina que los parámetros de turbiedad evaluados en los efluentes durante las 4 semanas, se encuentran dentro de la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

En el Afluente del Ensayo 1 se registró un valor de turbiedad de 138 NTU. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró un valor de turbiedad de 25,20 NTU, reduciéndose este parámetro en un 81,74%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró un valor de 4,20 NTU, reduciéndose este parámetro en un 96,96%.

En el Afluente del Ensayo 2 se registró un valor de turbiedad de 114 NTU. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró un valor de turbiedad de 19,38 NTU, reduciéndose este parámetro en un 83%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró un valor de 3 NTU, reduciéndose este parámetro en un 97,37%.

En el Afluente del Ensayo 3 se registró un valor de turbiedad de 126 NTU. Luego de una semana de tratamiento durante los días del 26 de agosto al 02 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: En el Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró un valor de turbiedad de 13,86 NTU, reduciéndose este parámetro en un 89%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró un valor de 1,26 NTU, reduciéndose este parámetro en un 99%.

En el Afluente del Ensayo 4 se registró un valor de turbiedad de 83,3 NTU. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: En el Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró un valor de turbiedad de 16,36 NTU, reduciéndose este parámetro en un 80,36%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró un valor de 4,16 NTU, reduciéndose este parámetro en un 95%.

Los resultados indicaron que en los medios de filtración utilizados en los biofiltros juegan un papel muy importante en la eliminación de la turbiedad por adsorción de partículas en suspensión.

Las unidades NTU registradas en los efluentes del biofiltro con *Eisenia foetida* son mayores a las unidades NTU registradas en los efluentes del biofiltro convencional, debido a que dicho biofiltro cuenta con una capa compuesta por estiércol de vacuno y aserrín, que incrementa la cantidad de partículas suspendidas en el afluente suministrado. Pues, la turbiedad de las aguas residuales tratadas se ve afectado por la carga hidráulica administrada y el perfil de agregados utilizado.

Después de la segunda semana de ensayos, se pudo apreciar que en el biofiltro convencional se formó una capa biológica en la parte superior del estrato de arena. Esta capa biológica tiene tendencia a crecer, cubriendo la superficie del biofiltro convencional, manteniéndose adherida a la superficie.

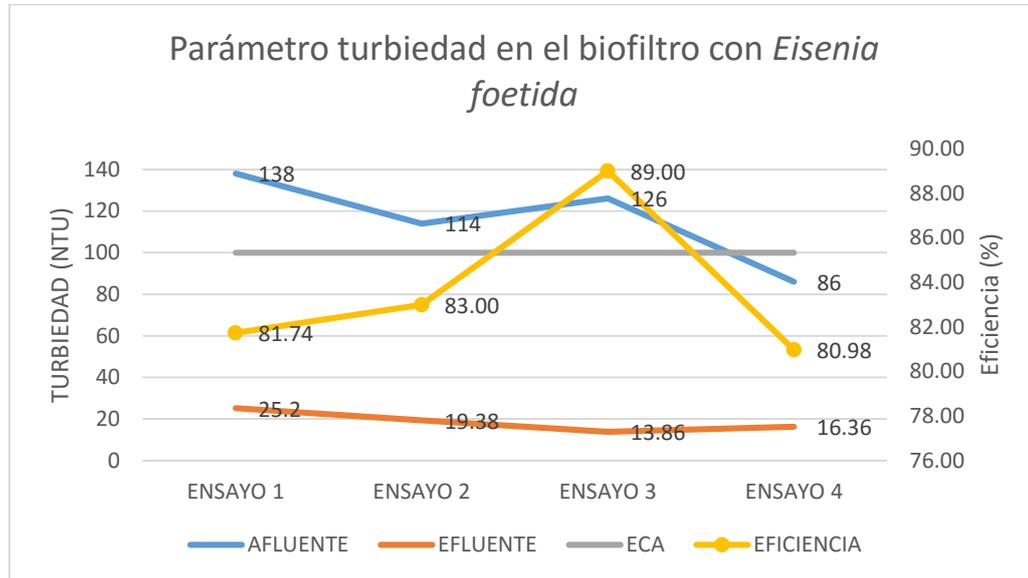


Figura 30: Parámetro turbiedad en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

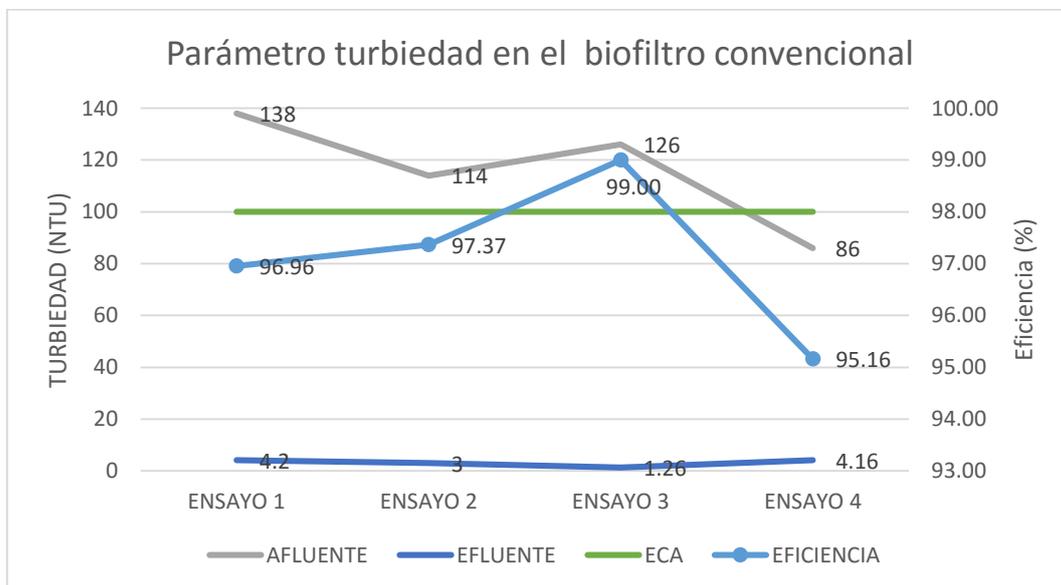


Figura 31: Parámetro turbiedad en el biofiltro convencional.

En la figura 32 se observa el grado de correlación del parámetro turbiedad entre el afluente y el efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*, determinando que existe una correlación positiva. Esto quiere decir que a valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro turbiedad en afluente

Y: Parámetro turbiedad en efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*.

Correlación de Pearson (r) : 0,5.

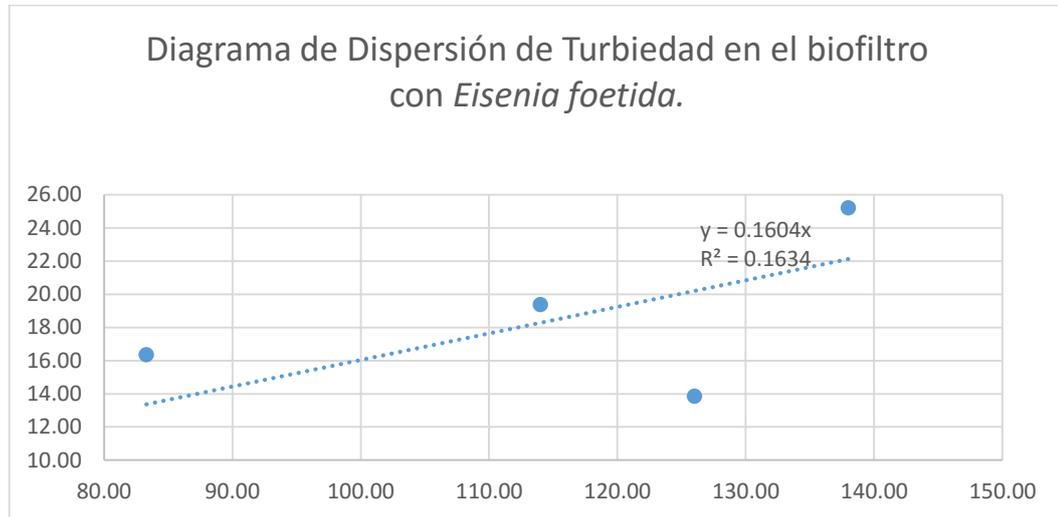


Figura 32: Diagrama de Dispersión de Turbiedad en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

En la figura 33 se observa el grado de correlación del parámetro turbidez entre el afluente y el efluente del biofiltro convencional, determinando que existe una correlación negativa. Las dos variables se correlacionan en sentido inverso. A valores altos de una de ellas le suelen corresponder valores bajos de la otra y viceversa.

X: Parámetro turbiedad en afluente

Y: Parámetro turbiedad en efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*.

Correlación de Pearson (r) : -0,3

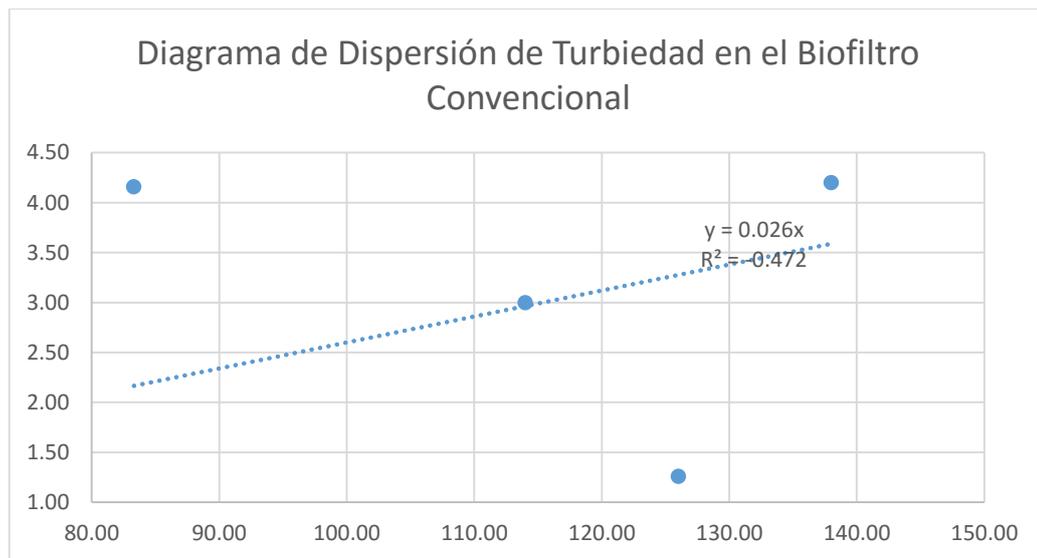


Figura 33: Diagrama de Dispersión de Turbiedad en el biofiltro convencional.

Parámetro Sólidos suspendidos totales (SST):

Como se observa en las Figuras 34 y 35, las concentraciones de Sólidos suspendidos totales en los afluentes y efluentes presentan un comportamiento irregular.

En los afluentes se registran concentraciones de Sólidos suspendidos totales que fluctúan entre 20 -22,55 mg/L, durante el período de análisis, que inicio el 12 de agosto y culminó el 09 de septiembre.

En el Afluente del ensayo 1 se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 22,35 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el efluente del Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 48.58 mg/L, este parámetro aumento en 117,36%. Mientras que, en el efluente del biofiltro convencional se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 10,22 mg/L, reduciéndose este parámetro en 54,27%.

En el Afluente del Ensayo 2 se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 22.35 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el efluente del Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 43,28 mg/L, este parámetro aumento en 93,29%. Mientras que, en el efluente del biofiltro convencional se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 8,00 mg/L, reduciéndose este parámetro en 64,21%.

En el Afluente del Ensayo 3 se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 22,55 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 26 de agosto al 02 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: En el efluente del Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 23 mg/L, este parámetro aumento en 2%. Mientras que, en el efluente del Biofiltro convencional se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 8,00 mg/L, reduciéndose este parámetro en 64,52%.

En el Afluente del Ensayo 4 se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 20 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: En el efluente del Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 12 mg/L, este parámetro se redujo en 40%. Mientras que, en el efluente del biofiltro convencional se registró una concentración de Sólidos suspendidos totales de 5 mg/L, reduciéndose este parámetro en 75%.

Como se observa en la figura 34, durante las 02 primeras semanas de análisis, existe un aumento sustancial de la concentración de Sólidos suspendidos totales, demostrándose que la capa de estiércol de vacuno y aserrín aumentan la carga de Sólidos suspendidos totales de las aguas residuales domésticas tratadas al ser arrastradas a los demás estratos. Por el contrario, en el biofiltro convencional se registra que la remoción de contaminantes Sólidos suspendidos totales varía entre 54,27 - 75%, notando que el sistema geológico instalado y el sistema microbiano trabajan en conjunto, logrando la reducción de este parámetro como se observa en la figura 35.

Pese a las irregularidades registradas en los efluentes, los parámetros estudiados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales de 150 mg/L, según establece el Decreto supremo 003-2010-MINAM, del 17 de marzo del 2010.

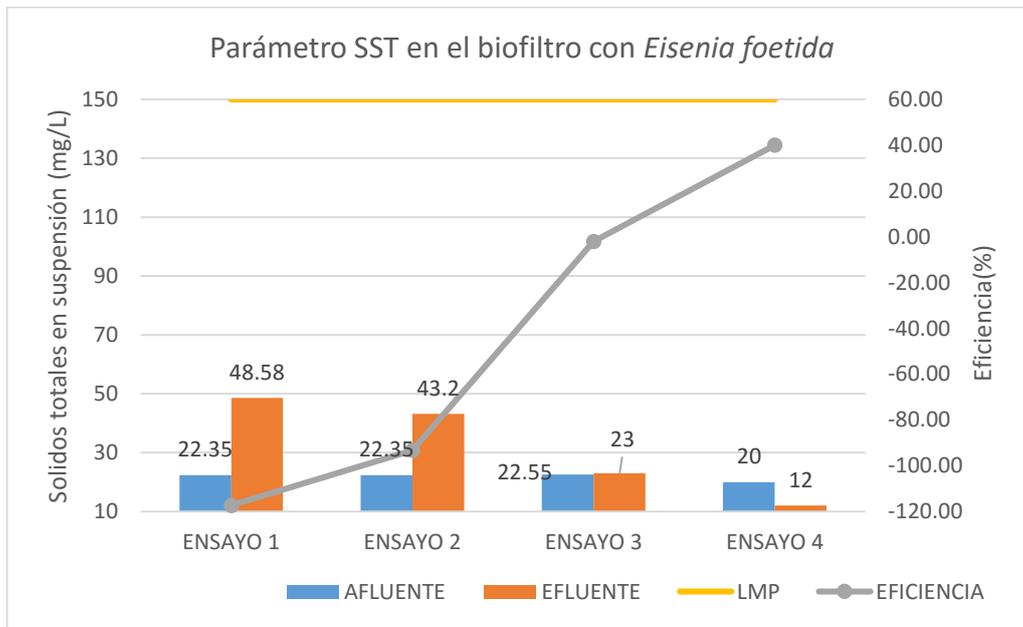


Figura 34: Parámetro SST en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

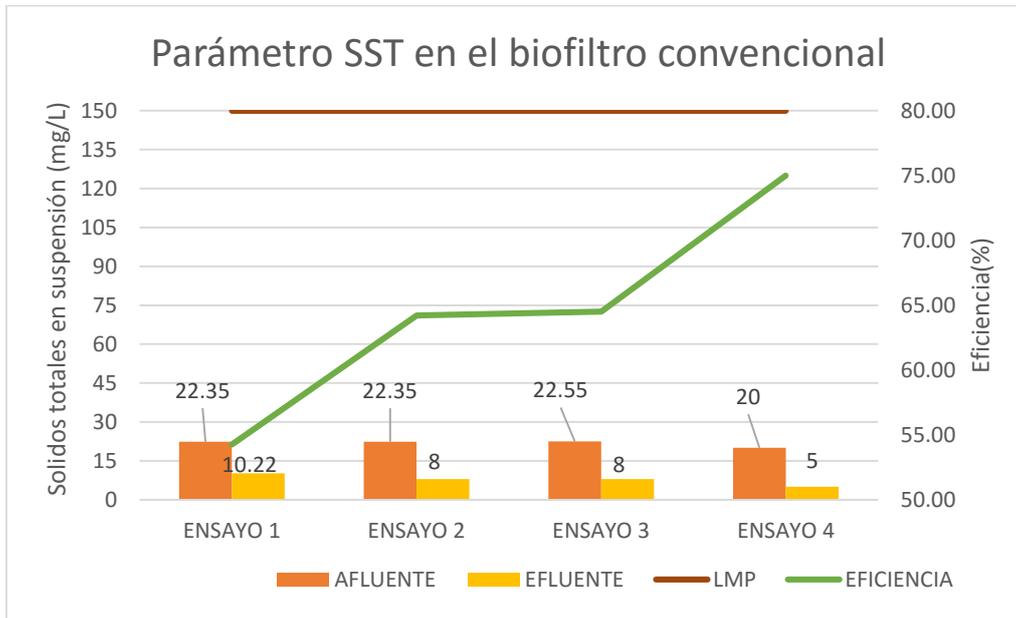


Figura 35: Parámetro SST en el biofiltro convencional.

En la figura 36 se observa el grado de correlación del parámetro Sólidos Suspending Totales (SST) entre el afluente y el efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*, determinando que existe una correlación positiva. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro SST en afluente

Y: Parámetro SST en efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*.

Correlación de Pearson (r) : 0,71.

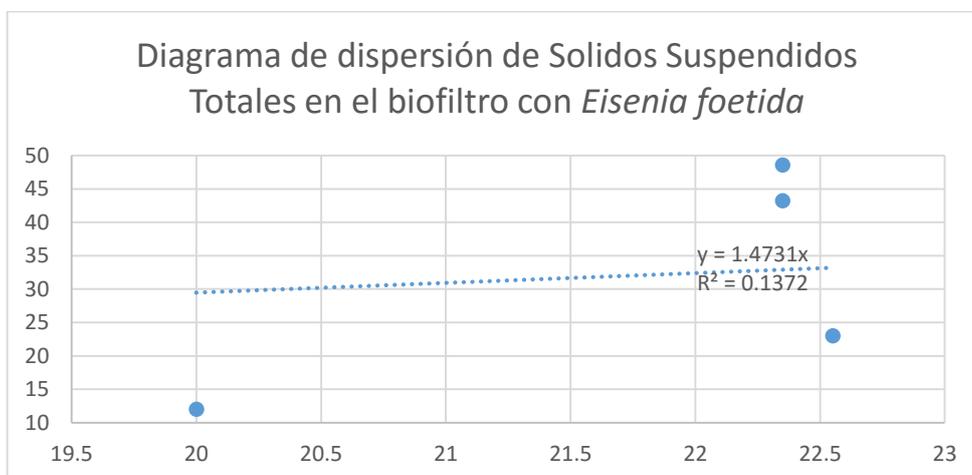


Figura 36: Diagrama de dispersión de SST en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

En la figura 37 se observa el grado de correlación del parámetro Solidos Suspendidos Totales (SST) entre el afluente y el efluente del biofiltro convencional, determinando que existe una correlación positiva. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro SST en afluente

Y: Parámetro SST en efluente del biofiltro convencional.

Correlación de Pearson (r) : 0,85

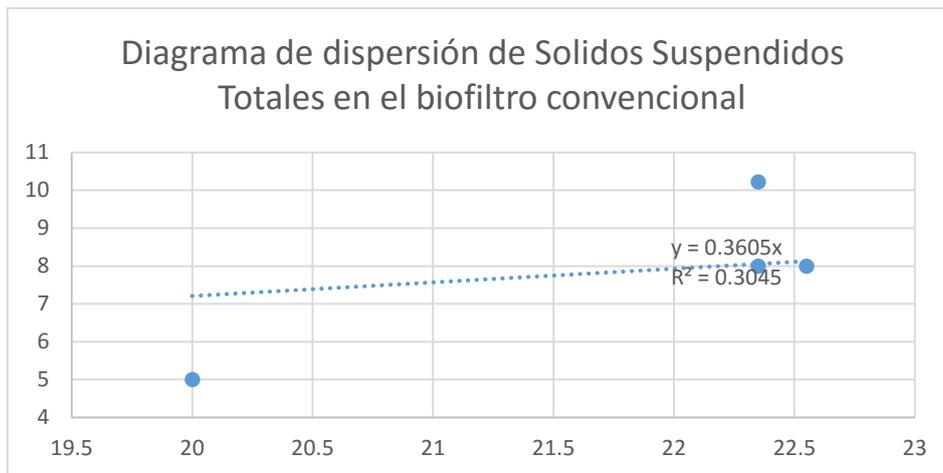


Figura 37: Diagrama de dispersión de SST en el biofiltro convencional.

Parámetro Aceites & grasas:

Las grasas animales y aceites son el tercer componente de los alimentos, que están siempre presentes en aguas residuales domesticas provenientes de carnes, del uso de aceites vegetales, etc. (Metcalf & Eddy, 1979). Por ello, se considera este parámetro en la evaluación de la presente tesis.

Los Aceites & grasas fueron evaluados a la salida del rector UASB antes de iniciar el tratamiento (afluente) y a la salida de cada biofiltro luego de los 07 días de tratamiento (efluente). Se analizó este parámetro mediante pruebas de laboratorio.

En el Afluente del ensayo 1 se registró una concentración de Aceites & grasas de 9,3 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados. En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Aceites & grasas de 5 mg/L, se redujo este parámetro en 45,95%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de Aceites & grasas de 1.1 mg/L, se redujo este parámetro en 88,11%.

En el Afluente del ensayo 2 se registró una concentración de Aceites & grasas de 9 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Aceites & grasas de 4 mg/L, se redujo este parámetro en 55,56%. Mientras que, en el

biofiltro convencional se registró una concentración de Aceites & grasas de 1 mg/L, se redujo este parámetro en 88,89%.

En el Afluente del ensayo 3 se registró una concentración de Aceites & grasas de 9,20 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 26 de agosto al 02 de septiembre, se obtuvieron los siguientes resultados: En el Biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Aceites & grasas de 4 mg/L, se redujo este parámetro en 56,52%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de Aceites & grasas de 1,1 mg/L, se redujo este parámetro en 88,04%.

En el Afluente del ensayo 4 se registró una concentración de Aceites & grasas de 9,70 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre, se obtuvieron los siguientes resultados: En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de Aceites & grasas de 3 mg/L, se redujo este parámetro en 69,07%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de Aceites & grasas de 1 mg/L, se redujo este parámetro en 89,69%.

Como se observa en la figura 39, los resultados mostraron que el biofiltro convencional es más eficiente en la remoción de Aceites & grasas, comparada con los resultados obtenidos en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida*, representados en la Figura 38. Pese a ello, los valores registrados en los efluentes se encuentran dentro de la Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

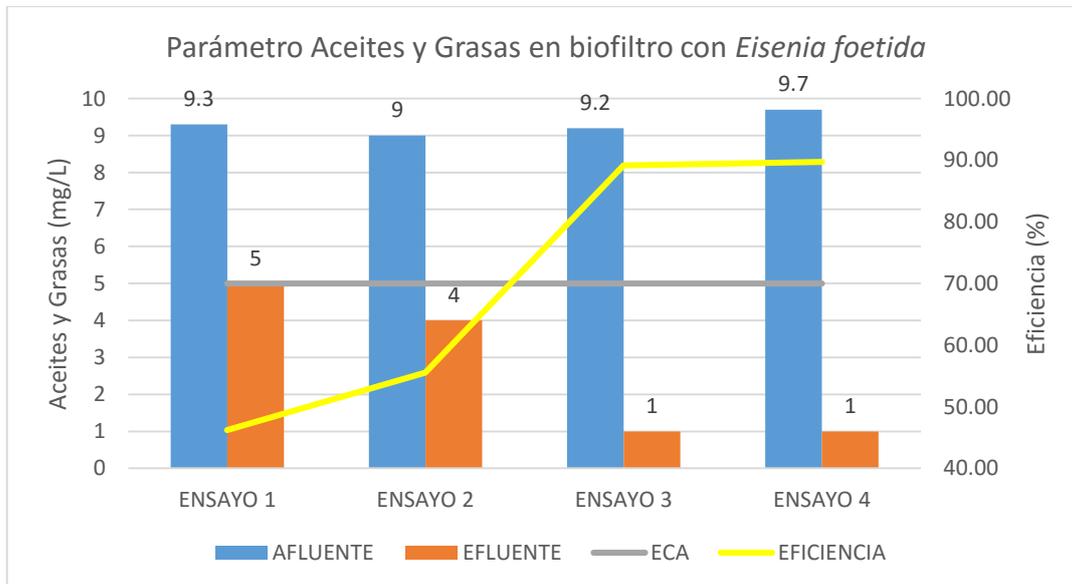


Figura 38: Parámetro Aceites & grasas en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

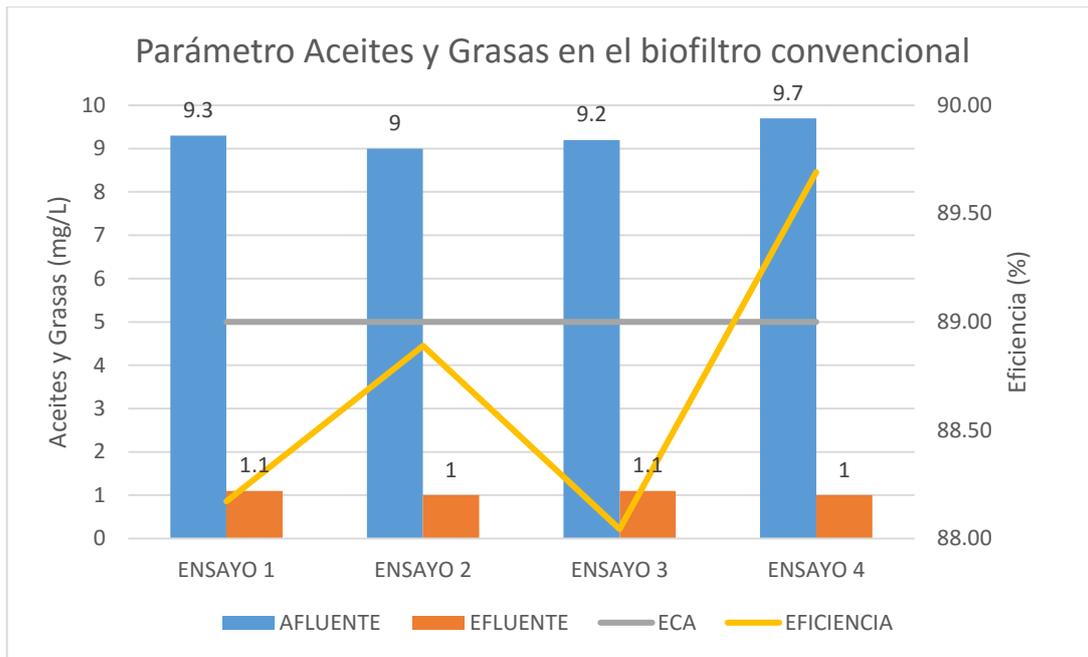


Figura 39: Parámetro Aceites & grasas en el biofiltro convencional.

En la figura 40 se observa el grado de correlación del parámetro Aceites & grasas entre el afluente y el efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*, determinando que existe una correlación negativa. A valores altos de una de ellas le suelen corresponder valores bajos de la otra y viceversa.

X: Parámetro Aceites & grasas en afluente

Y: Parámetro Aceites & grasas en efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*.

Correlación de Pearson (r) : -0,55

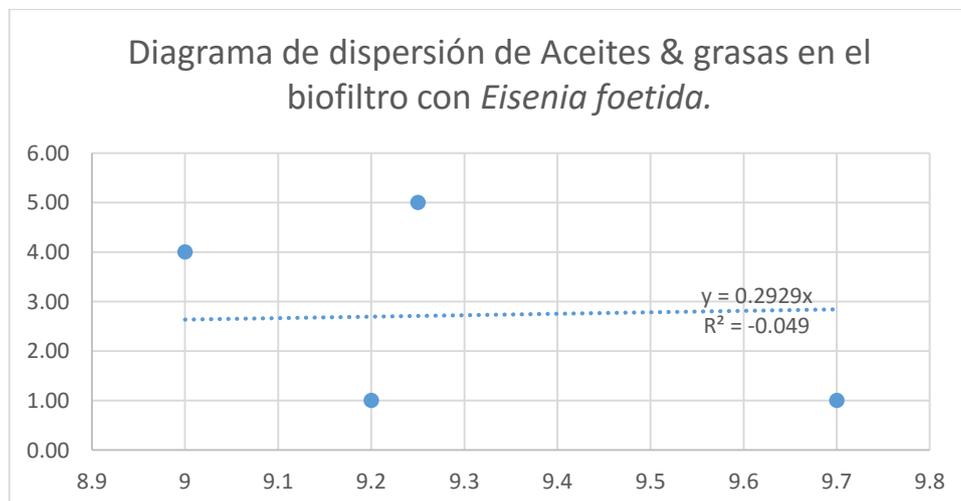


Figura 40: Diagrama de dispersión de Aceites & grasas en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

En la figura 41 se observa el grado de correlación del parámetro Aceites & grasas entre el afluente y el efluente del biofiltro convencional, determinando que existe una correlación negativa. A valores altos de una de ellas le suelen corresponder valores bajos de la otra y viceversa.

X: Parámetro Aceites & grasas en afluente

Y: Parámetro Aceites & grasas en efluente del biofiltro convencional.

Correlación de Pearson (r) : -0,24

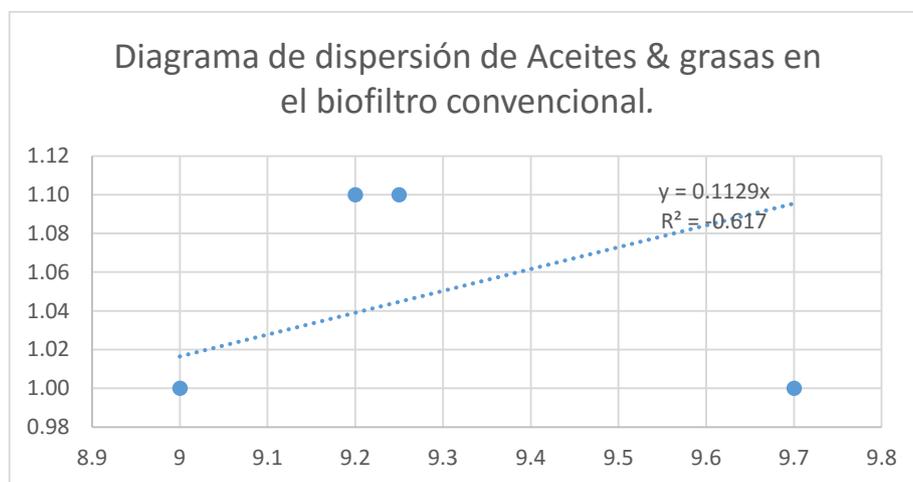


Figura 41: Diagrama de dispersión de Aceites & grasas en el biofiltro convencional.

Parámetro DBO₅:

Este parámetro es un indicador importante de carga orgánica de las aguas residuales domésticas. En las Figuras 42 y 43 se observan los resultados obtenidos de la variación del parámetro DBO₅ durante el período de análisis.

En el Afluente del ensayo 1 se registró una concentración de DBO₅ de 72 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de DBO₅ de 25.2 mg/L, este parámetro se redujo en 65%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de DBO₅ de 4,2 mg/L, este parámetro se redujo en 94,17%.

En el Afluente del ensayo 2 se registró una concentración de DBO₅ de 75 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de DBO₅ de 20 mg/L, este parámetro se redujo en 73,33%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de DBO₅ de 4 mg/L, este parámetro se redujo en 94,67%.

En el Afluente del ensayo 3 se registró una concentración de DBO₅ de 72 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 26 de agosto al 02 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de DBO₅ de 10 mg/L, este parámetro se redujo en 86,11%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de DBO₅ de 3 mg/L, este parámetro se redujo 95,83%.

En el Afluente del ensayo 4 se registró una concentración de DBO₅ de 70 mg/L. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: En el biofiltro con *Eisenia foetida*, se registró una concentración de DBO₅ de 8 mg/L, este parámetro se redujo en 88,57%. Mientras que, en el biofiltro convencional se registró una concentración de DBO₅ de 3,3 mg/L, este parámetro se redujo en 95,29%.

Los resultados mostraron que el biofiltro sin la especie *Eisenia foetida* es más eficiente en la remoción de DBO₅, comparada con los resultados obtenidos en el biofiltro con la especie *Eisenia foetida*.

Los parámetros de DBO₅ registrados en los efluentes del Ensayo 1 y Ensayo 2 en el biofiltro con *Eisenia foetida* superaron los 15mg/L solicitados por los ECA- Agua, Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, esto debido al aumento de carga orgánica contenido en la 1era capa compuesta por estiércol de vacuno y aserrín en el biofiltro con *Eisenia foetida*, comprobando que requerían de estabilización por 02 semanas antes de iniciar las pruebas de laboratorio.

Los parámetros de DBO₅ registrados en el biofiltro convencional se encuentran por debajo de los 15 mg/L del ECA- Agua, Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM.

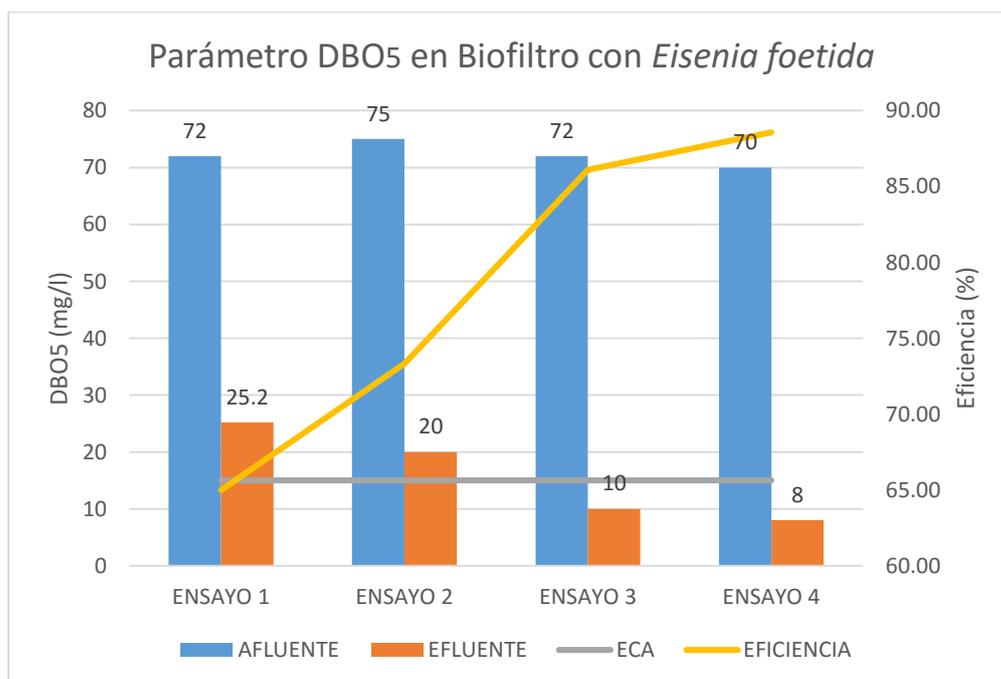


Figura 42: Parámetro DBO₅ en biofiltro con *Eisenia foetida*.

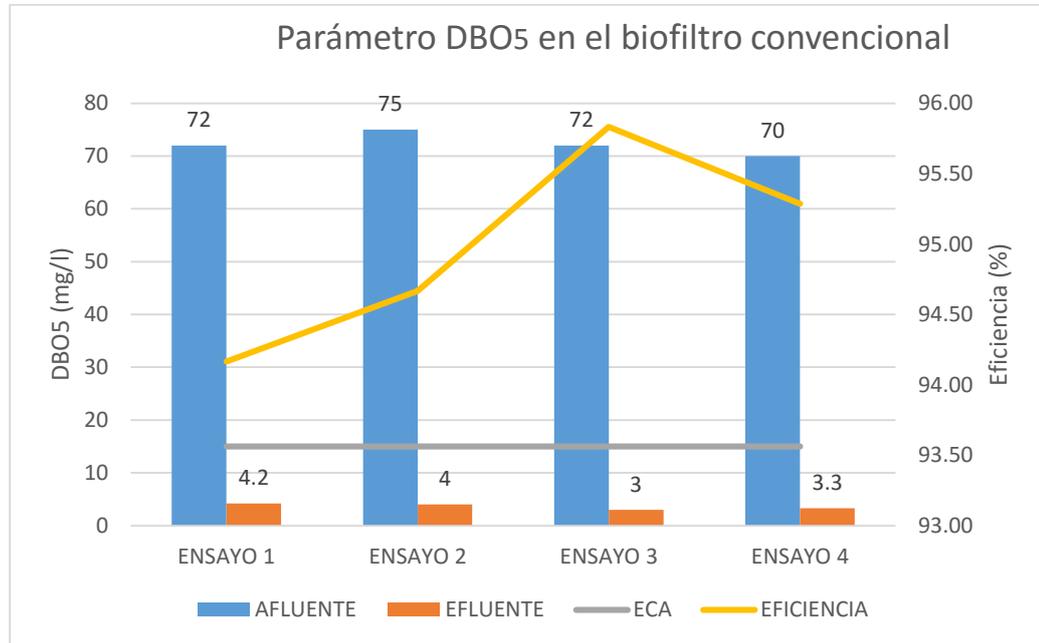


Figura 43: Parámetro DBO₅ en el biofiltro convencional.

En la figura 44 se observa el grado de correlación del parámetro DBO₅ entre el afluente y el efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*, determinando que existe una correlación positiva. Las dos variables se correlacionan en sentido directo. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro DBO₅ en afluente

Y: Parámetro DBO₅ en efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*.

Correlación de Pearson (r) : 0,56

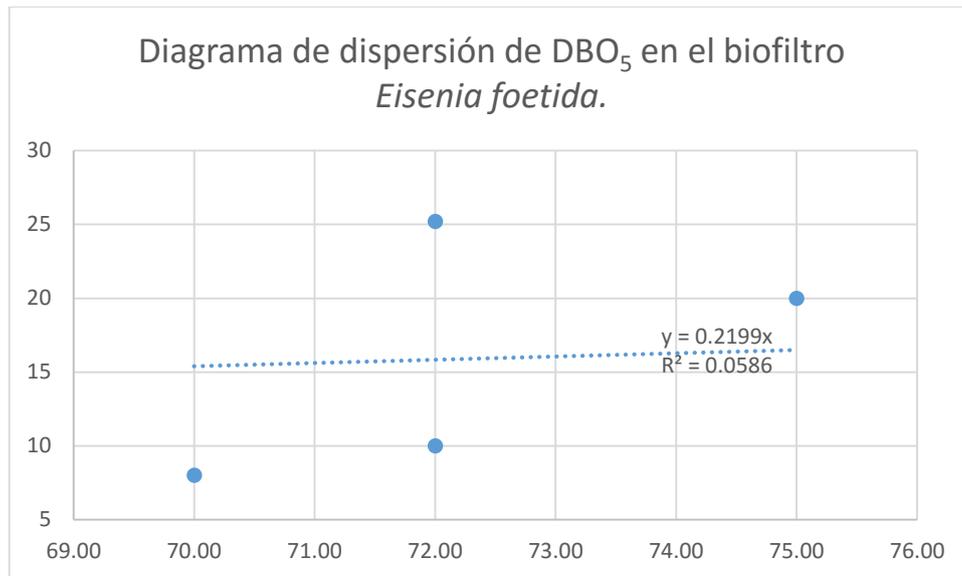


Figura 44: Diagrama de dispersión de DBO₅ en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

En la figura 45 se observa el grado de correlación del parámetro DBO₅ s entre el afluente y el efluente del biofiltro convencional, determinando que existe una correlación positiva. Las dos variables se correlacionan en sentido directo. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro DBO₅ en afluente

Y: Parámetro DBO₅ en efluente del biofiltro convencional.

Correlación de Pearson (r) : 0,51

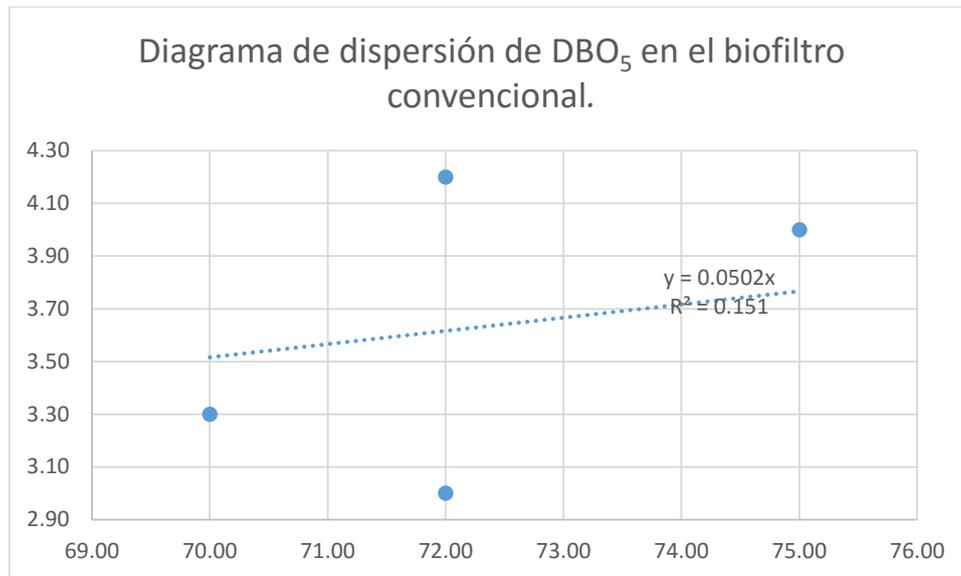


Figura 45: Diagrama de dispersión de DBO₅ en el biofiltro convencional.

Parámetro Coliformes termotolerantes:

Este parámetro es un indicador importante de la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el agua residual doméstica a tratar. En las Figura 46 y 47 se observan los resultados obtenidos de la variación del parámetro coliformes termotolerantes durante el período de análisis.

En el Afluente del ensayo 1 se registró un valor de 7900000 NMP/100 ml. Luego de una semana de tratamiento durante los días 12 al 19 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: el biofiltro con *Eisenia foetida* registró un valor de 2300 NMP/100 ml, este parámetro no se encuentra dentro de la Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM. En el biofiltro convencional se registró un valor de 280 NMP/100 ml, encontrándose dentro de la Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM.

En el Afluente del ensayo 2 se registró un valor de 7500000 NMP/100 ml. Luego de una semana de tratamiento durante los días 19 al 27 de agosto se obtuvieron los siguientes resultados: el biofiltro con *Eisenia foetida* registró un valor de 1300 NMP/100 ml, este parámetro no se encuentra dentro de la Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM. En el biofiltro convencional se registró un valor de 240 NMP/100 ml, encontrándose dentro de la Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM.

En los ensayos 1 y 2 realizados en el biofiltro con *Eisenia foetida*, se observa la poca remoción de Coliformes termotolerantes, no logrando los estándares requeridos. Esto se debe al poco desarrollo de los microorganismos consumidores de bacterias y de la adaptación al nuevo medio, de la especie *Eisenia foetida*.

En el Afluente del ensayo 3 se registró un valor de 7700000 NMP/100 ml. Luego de una semana de tratamiento durante los días 26 agosto al 02 septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: el biofiltro con *Eisenia foetida* registró un valor de 1000 NMP/100 ml. En el biofiltro convencional se registró un valor de 280 NMP/100 ml. Ambos efluentes

se encuentran dentro de la Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM.

En el Afluente del ensayo 4 se registró un valor de 7200000 NMP/100 ml. Luego de una semana de tratamiento durante los días 02 al 09 de septiembre se obtuvieron los siguientes resultados: el biofiltro con *Eisenia foetida* registró un valor de 800 NMP/100 ml. En el biofiltro convencional se registró un valor de 200 NMP/100 ml. Ambos efluentes se encuentran dentro de la Categoría 3 parámetros para riego de vegetales, según establece el Decreto Supremo 015-2015-MINAM.

En el biofiltro con la especie *Eisenia foetida*, la materia orgánica fue consumida por las lombrices *Eisenia foetida* y la comunidad bacteriana que da lugar el sistema, oxidándola y degradándola. (Arango 2003; Hughes et al., 2007). Mientras que, en el biofiltro convencional, la materia orgánica fue consumida por la comunidad bacteriana. (Hughes et al., 2007).

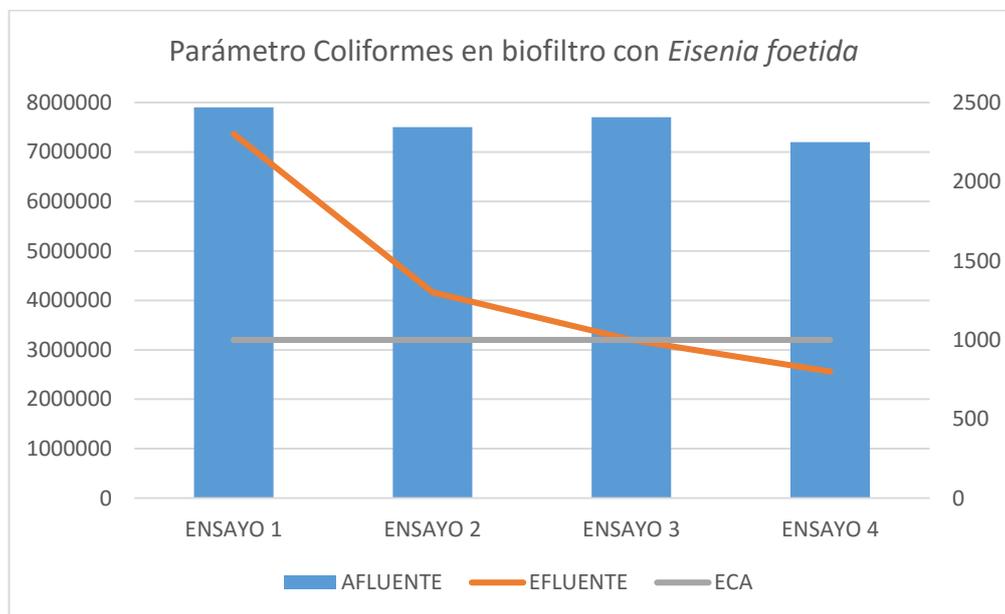


Figura 46: Parámetro Coliformes en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

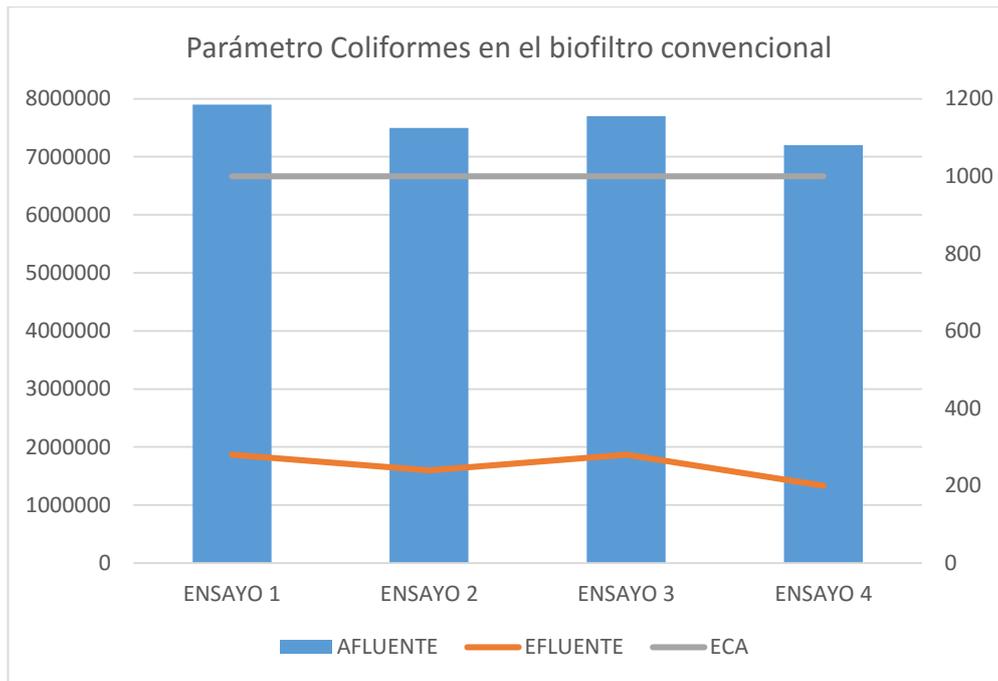


Figura 47: Parámetro Coliformes en el biofiltro convencional.

Los resultados mostraron que ambos biofiltros son eficientes en la remoción de coliformes termotolerantes. En el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* se observó la disminución de los coliformes termotolerantes en promedio 99,98%, mientras que, en el biofiltro convencional la remoción de los coliformes termotolerantes es del 99,99%.

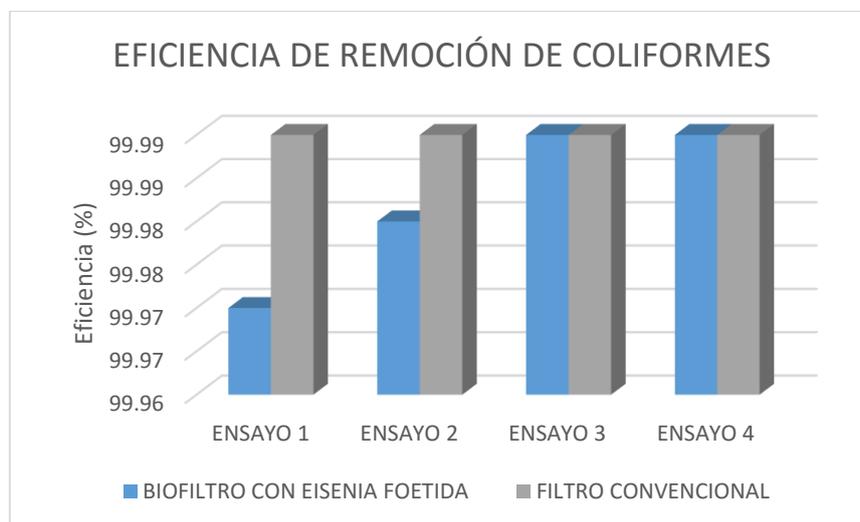


Figura 48: Eficiencia de remoción en los biofiltros.

En la figura 49 se observa el grado de correlación del parámetro Coliformes termotolerantes entre el afluente y el efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*, determinando que existe una correlación positiva. Las dos variables se correlacionan en

sentido directo. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro Coliformes termotolerantes en afluente

Y: Parámetro Coliformes termotolerantes en efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*.

Correlación de Pearson (r) : 0,80

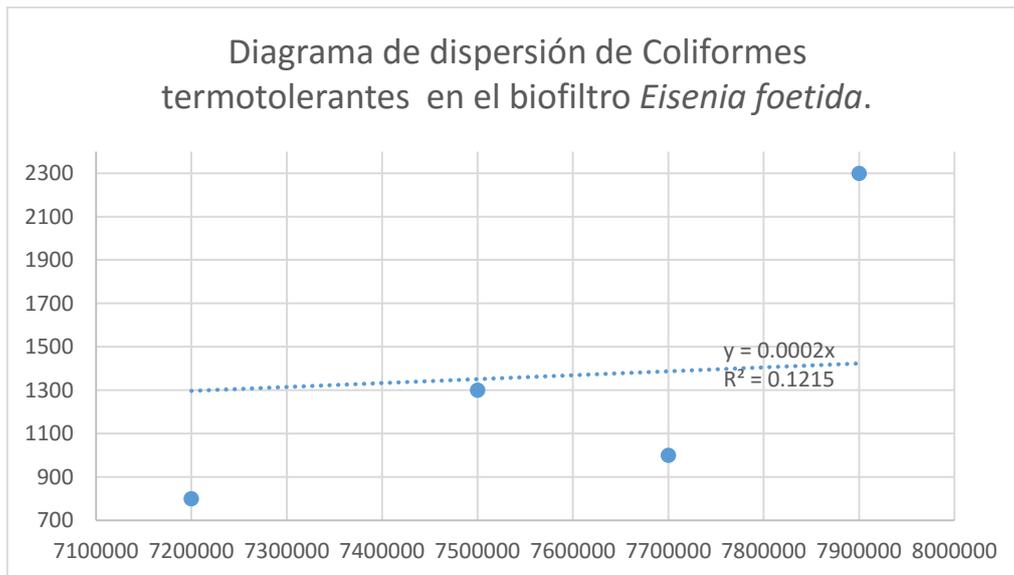


Figura 49: Diagrama de dispersión de Coliformes termotolerantes en el biofiltro con *Eisenia foetida*.

En la figura 50 se observa el grado de correlación del parámetro Coliformes termotolerantes entre el afluente y el efluente del biofiltro convencional, determinando que existe una correlación positiva. Las dos variables se correlacionan en sentido directo. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos.

X: Parámetro Coliformes termotolerantes en afluente

Y: Parámetro Coliformes termotolerantes en efluente del biofiltro convencional.

Correlación de Pearson (r) : 0,96

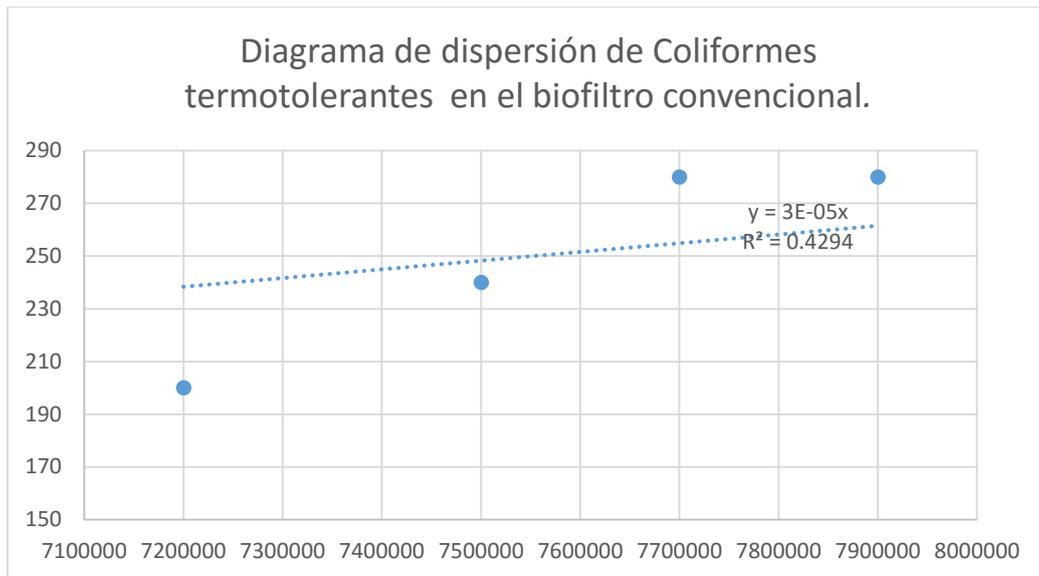


Figura 50: Diagrama de dispersión de Coliformes termotolerantes en el biofiltro convencional.

Evaluación de la eficiencia de remoción en los biofiltros:

Para la evaluación de la eficiencia de remoción en los biofiltros, se realizó un análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la fase experimental, utilizando como criterio de selección la evaluación del porcentaje de remoción promedio de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes, clasificando la remoción como: Muy baja (0 a 25%), baja (26 a 50%), media (51 a 75%) y alta (76 a 100%).

Tabla 9: Evaluación de los resultados obtenidos en los biofiltros.

Parámetros Biofiltros	Turbiedad	SST	Aceites & grasas	DBO ₅	Coliformes termotolerantes
Biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	ALTA	MUY BAJA	MEDIA	ALTA	ALTA
Biofiltro convencional	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA	ALTA

En la Figura 51 se observan los resultados de la evaluación en la presente tesis. Demostrando que ambos biofiltros son eficientes en la remoción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales (SST), aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes, como alternativas para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas con fines de riego de vegetales de acuerdo a la Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, Categoría 3 determinados en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Comparando los resultados obtenidos, el biofiltro más eficiente es el biofiltro convencional, el cual ha reducido consistentemente las concentraciones de los parámetros contaminantes turbiedad, Sólidos suspendidos totales (SST), aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes, contenidas en las aguas residuales domésticas tratadas durante 4 semanas.

Al verificar las posibles correlaciones que puedan existir entre las variables independientes entre sí, se comprobó que existe una correlación estadística positiva en el biofiltro con *Eisenia foetida* respecto a la turbiedad, SST, DBO₅ y Coliformes termotolerantes y una correlación estadística negativa respecto a aceites & grasas. En el biofiltro convencional se comprobó que existe una correlación estadística positiva respecto a SST, DBO₅ y Coliformes termotolerantes y una correlación estadística negativa respecto a la turbiedad y aceites & grasas.

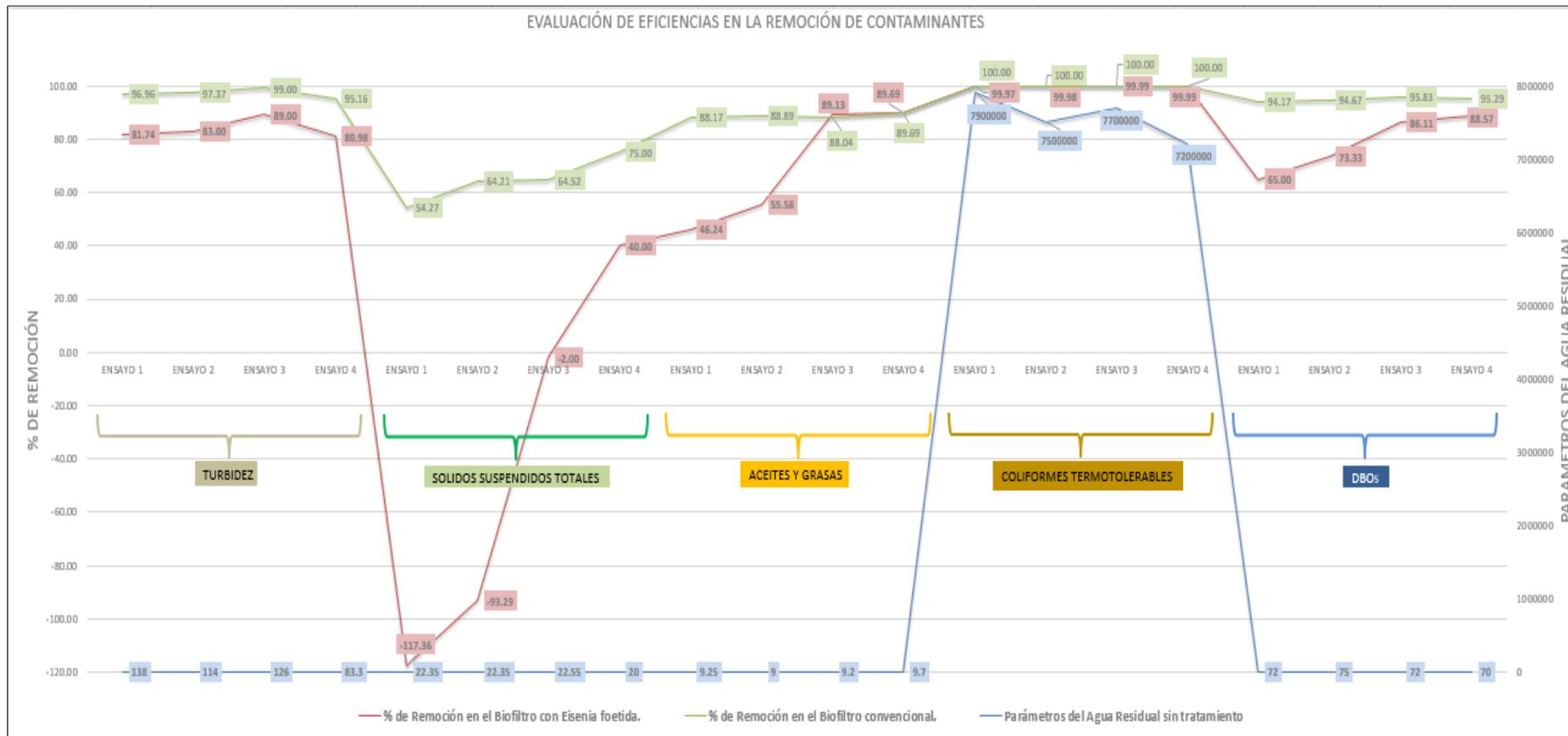


Figura 51: Evaluación de eficiencias en la remoción de contaminantes

En la tabla 10, a modo de resumen, se comparan los biofiltros pilotos utilizados.

Tabla 10: Cuadro comparativo entre el biofiltro convencional y el biofiltro con *Eisenia foetida*.

Parámetros	Biofiltro convencional	Biofiltro con <i>Eisenia foetida</i> .
Consumo de energía	Costo energético es bajo, por el uso de equipos de bombeo	Costo energético es bajo, por el uso de equipos de bombeo
Calidad del efluente	Apto para riego de vegetales	Apto para riego de vegetales
Contaminación de capa freática	No	No
Generación de residuos	Acumulación de lodos en la superficie	Elaboración de Humus
Mantenimiento	Se requiere limpiar la superficie semanalmente para retirar los lodos	Se requiere limpiar los regadores o aspersores usados y remover la capa donde se ubican las lombrices.
Requiere desinfección	NO	NO

Durante la operación de los biofiltros, se observó que las lombrices en estado adulto disminuyeron, pero las densidades de crías y capullo aumentaron (Figura 52). El aumento de la cría de lombrices y capullo indicó que las lombrices *Eisenia foetida* pueden reproducirse y se logran incubar con el sustrato proporcionado, en el medio ambiente del biofiltro. Pues, luego de aparearse, los individuos depositan cada 7 o 10 días una cápsula conteniendo entre 2 y 20 individuos. (Barbado, 2003; Schuldt et al. 2005 y Lakshmi, 2014).



Figura 52: Crecimiento de capullos

En un sistema de biofiltro con *Eisenia foetida* adecuadamente administrado, los costos de operación y mantenimiento pueden ser cubiertos parcialmente con los ingresos obtenidos por la venta del abono, venta de lombrices y venta de harina de lombriz. (Yang et al, 2008) Por su parte, el reúso del efluente en la irrigación de productos agrícolas, ya sea por el operador del biofiltro o productores interesados, constituirían otra fuente de recursos.

Se observó que, en 0,04m³ de sustrato se obtuvo 7,57 Kg. de humus de lombriz, que tiene un costo en el mercado entre 1,15 a 2 soles por Kg.

Los resultados obtenidos en el biofiltro con las lombrices de la especie *Eisenia foetida* son rentables por autofinanciarse con la venta de los subproductos, y el posterior uso para el riego de vegetales comparado con un biofiltro convencional que genera lodos como subproducto.

4.2) Materiales

Materiales para la fabricación del biofiltro:

- Adaptador PVC unión presión rosca
- Arena
- Aserrín
- 04 baldes de 20 L.
- 02 cajas de vidrio
- Cinta aislante
- Cinta métrica de 5 m
- Cinta teflón
- Codo PVC
- Espátula jardinera
- Formador de empaquetadura
- Grava
- Guantes de PVC reforzados
- Guantes quirúrgicos
- Jarra Plástica de litro
- Lombriz de tierra *Eisenia foetida*
- Malla raschel 4 mt x 100 mm
- Niple tubo de PVC 1/2"
- Tapón hembra PVC 1/2"
- Tee de PVC
- Triplay 1"
- Tubo de PVC 1/2"
- Tubo de PVC 2"
- Útiles de escritorio
- Válvula PVC bola 1/2"

Materiales para muestreo:

- Etiquetas
- Frascos, envases estériles y herméticas
- Químicos perseverantes
- Jarra plástica de 1L
- Guantes quirúrgicos
- Cooler
- útiles de escritorio

Equipos:

- Balanza de gr.
- Cámara fotográfica
- Computadora
- Potenciómetro o pH-metro
- Termómetro digital
- Turbidímetro

V. DISCUSIÓN

Los resultados mostraron que el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* consigue rendimientos eficientes en la reducción de los parámetros turbiedad, Sólidos suspendidos totales, Aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termotolerantes. Aun así, se consiguieron los mejores resultados de remoción de parámetros analizados en el biofiltro convencional.

Los parámetros analizados en ambos biofiltros se encontraron dentro de los estándares de calidad establecidos en la Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto, Categoría 3 parámetros para riego de vegetales del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Por ello, el agua residual tratada puede ser utilizada en el riesgo de vegetales. Pues, los biofiltros están considerados dentro de los sistemas ecológicos de tratamiento más amigables con el medio ambiente (Sinha et al., 2008), por no generar subproductos inestables, y hacer uso de la capacidad de degradación biológica de la micro y la macrofauna presente en el sustrato. El biofiltro con las lombrices *Eisenia foetida* genera como subproducto humus de lombriz, mientras que el biofiltro convencional, genera lodos en la superficie del piloto, que requieren ser dispuestos o tratados para su aprovechamiento.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1) Conclusiones

- Para el periodo analizado, los resultados experimentales mostraron que el biofiltro convencional, es más eficiente que el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* en la remoción turbiedad, sólidos totales en suspensión, aceites & grasas, DBO₅, y Coliformes termotolerantes, sin embargo, ambos efluentes cumplen los ECA agua vigentes en

periodo de análisis. Sin embargo, los resultados del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* muestran tendencia a seguir disminuyendo.

- En el biofiltro con *Eisenia foetida* el nivel de remoción del parámetro turbiedad en las aguas residuales domésticas fue de 80,36 - 89%, el nivel de remoción de Sólidos suspendidos totales en las aguas residuales domésticas alcanzó hasta el 40 %, el nivel de remoción de Aceites & grasas en las aguas residuales domésticas fue de 45,95 – 69,07%, el nivel de remoción de la demanda biológica del oxígeno (DBO₅) en las aguas residuales domésticas fue de 65 – 88,57 % y el nivel de remoción de Coliformes termotolerantes en las aguas residuales domésticas fue de 99,97 -99,99%,
- En el biofiltro convencional el nivel de remoción del parámetro turbiedad varía entre 95,01-99% el nivel de remoción de Sólidos suspendidos totales en las aguas residuales domésticas varía entre 54,27 - 75%, el nivel de remoción de Aceites & grasas en las aguas residuales domésticas varió entre 88,11- 89,69%, el nivel de remoción de la demanda biológica del oxígeno (DBO₅) en las aguas residuales domésticas varía entre 94,17 – 95,83% y el nivel de remoción de Coliformes termotolerantes en las aguas residuales domésticas fue del 99.9%.
- Los efluentes del biofiltro con la especie *Eisenia foetida* y el biofiltro convencional pueden ser usado en el riego de vegetales según lo establecido en la Categoría 3, Subcategoría D1 del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, de acuerdo a los parámetros evaluados.
- Los sistemas de tratamiento implementados a escala de laboratorio, dada su bajo costo de implementación y facilidad constructiva puede permitir su implementación en las zonas rurales del país, logrando así contribuir al control de la contaminación de los recursos hídricos que se ven afectados por la descarga agua residuales domésticas sin tratamiento. Sin embargo, el biofiltro con *Eisenia foetida* tiene una ventaja económica, al generar humus con valor comercial, que permitiría la sostenibilidad operativa del sistema de tratamiento.

6.2) Recomendaciones

- Realizar un estudio inicial o de línea base al agua residual doméstica que se someterá al tratamiento secundario.
- Realizar evaluaciones previas de tiempos de retención hidráulica en los sistemas de biofiltración, a fin de realizar las correcciones necesarias para mantener una humedad relativa entre 70 - 80%, necesarios para garantizar la vida de la *Eisenia Foetida*.
- Lavar los agregados con agua potable, antes de colocarlos dentro del biofiltro, a fin de limpiar las partículas finas existentes y evitar posibles interferencias en los resultados de laboratorio, así como la rápida saturación del medio soporte.
- Realizar estudios colocando mayor cantidad de lombrices y menos estiércol de vacuno durante el periodo de arranque del biofiltro con *Eisenia foetida*, ya que las lombrices

trabajan para formar un ecosistema propio que les permita alimentarse de las aguas residuales.

- Es importante que los tanques de almacenamiento de agua residual doméstica tengan una capacidad constante de flujo para garantizar que la concentración de los afluentes es la misma durante el periodo de alimentación al biofiltro.
- En caso de zonas que presenten precipitaciones o lloviznas, considerar la instalación de un techo sobre el sistema de biofiltración con la especie *Eisenia foetida*, para mantener una humedad óptima.
- Durante la primera semana de análisis se observó la presencia de aves en el ambiente instalado para los pilotos, por lo que se optó por colocar malla ratchet sobre el biofiltro que contenía a las lombrices *Eisenia foetida*.



Figura 53: Instalación de malla ratchet sobre el biofiltro con *Eisenia foetida*.

- Evaluar las propiedades del humus de lombriz generado en el biofiltro *Eisenia foetida* para determinar la viabilidad de su incorporación a cultivos orgánicos.



Figura 54: Humus de Lombriz obtenido del tratamiento.

- Realizar un estudio más detallado de la microbiología del biofiltro con *Eisenia foetida* en las diferentes capas del filtro.
- Evaluar previamente el tipo de sustrato que se utilizará para el lecho de las lombrices.
- Incrementar el periodo de análisis a seis semanas considerando una semana de periodo de arranque.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Aira, M., Sampedro, L., Monroy, F., Dominguez, J. 2008. Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry* 40:2511-2516.
2. Aguilera ML (2003). Purification of wastewater by vermifiltration. Doctoral Thesis. University of Montpellier 2, France, p. 188.
3. Arango Laws, Jessica (2003). Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas. Chile p 38-43.
4. Barbado, J. 2003. Cría de Lombrices. Su empresa la lombricultura.
5. Basaure, P.B. 1993. Manual de lombricultura. Chile.
6. Badii, M.H., J. Castillo, J. Rositas & G. Alarcón. 2007. Uso de un método de pronóstico en investigación. Pp. 137-155. In: M.H. Badii & J. Castillo (eds.). *Técnicas Cuantitativas en la Investigación*. UANL, Monterrey.
7. Baddi, M.H., J. Castillo, J. Landeros & K. Cortez. 2009. Papel de la estadística en la investigación científica. Pp. 1-43. In: M.H. Badii & J.Castillo (eds). *Desarrollo Sustentable: Métodos, Aplicaciones y Perspectivas*. UANL. Monterrey.
8. Bouché MB, Qiu JP (1998). Concrete contributions of earthworms in the environmental study. *Doc. Pédozool. Intégréol.* 3: 225-252.
9. Brack Egg, Antonio. (2009). Manual para municipios ecoeficientes. Ministerio del Ambiente. Lima- Perú. ENOTRIA SA.
10. Cardoso-Vigueros, Lina; Ramirez-Camperos, Esperanza y Garzón-Zúñiga, Marco (2013). Evaluación de un vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales.
11. Chavez, P. 1994. Lombricultura. Centro de promoción de la lombricultura (CEPROLA). Lima-Perú. 50 pp.
12. Código Penal, 1991. Descargado octubre, 18, 2018, de https://www.oas.org/juridico/mla/sp/per/sp_per_cod_pen.pdf
13. Curi Quinto, Katherine. (2006). Determinación Biológica de la calidad proteica de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*). Universidad Mayor de San Marcos. Lima- Perú.
14. Czys W. et al (1991). Manual de disposición de aguas residuales - Tomo I. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias Ambientales (CEPIS) / Organización Panamericana de Salud (OPS) /Organización Mundial de Salud.
15. Decreto Supremo N° 044-2006-AG, 2006, Diario el Peruano, Jueves 08 de Junio 2016. Descargado octubre, 18, 2018, de [http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normas_pdf/Junio_2006/08-06-2006/SE_Anexo%20I_\(1ra-parte\).pdf](http://www.gacetajuridica.com.pe/servicios/normas_pdf/Junio_2006/08-06-2006/SE_Anexo%20I_(1ra-parte).pdf)

16. Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. En: Edwards, C.A. (ed.), *Earthworm Ecology*, 2nd edn., pp. 401-424, , CRC Press, Boca Raton FL USA.
17. Domínguez, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18(2):20-31.
18. Duran L. Henriquez C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 33(2): 275-281. ISSN:0377-9424 / 2009
19. Figueroa Paez, Pablo (1993), *Establecimiento y Manejo de un criadero de lombrices en el Perú*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Perú. Pag. 5
20. Garcia J, Mujeriego R, Bourrouet Un, Penuelas G, Freixes Un (2000). Wastewater Tratamiento por pond sistemas: experiencias en Catalunya, España. *Agua Sci. Technol.* 42: 35-42.
21. Godefroid B, Yang J (2005). Synchronous municipal sewerage-sludge stabilization, J. *Environ. Sci. China* 17: 59-61.
22. Gómez Apac, H. et al. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. 05/05/2015, de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA Sitio web: http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
23. Hughes RJ, Nair J, Mathew K, Ho G (2007). Toxicity of domestic wastewater pH to key species within an innovative decentralized vermifiltration system. *Water Sci. Technol.* 55: 211-218.
24. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Resultados definitivos, IV Censo Nacional Agropecuario, 2013. Perú. Sitio Web: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
25. J. Glynn Henry y Gary W. Heinke. 1999. *Ingeniería Ambiental*. México. Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
26. Manahan, Stanley E (2007). *Introducción a la química ambiental*. Universidad Nacional Autónoma de México. 760 p.
27. METCALF & EDDY, Inc. (1979) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 2 a. Ed., USA.
28. Ministerio de Agricultura – MINAG (2009). *Marco del Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Gestión de Recursos Hídricos*. Autores: Guerrero, J. y Remigio, J. Informe preparado para el Ministerio del Ambiente en el marco del Proyecto Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Lima: MINAG. Mimeo.

29. Ministerio del Ambiente: La Situación del agua en el Perú, 2015. Sitio Web:<http://cambioclimatico.minam.gob.pe/manejo-de-la-tierra-y-el-agua/manejo-del-agua/la-situacion-del-agua-en-el-peru/>
30. Moscoso Cavallini, Julio. 2011. Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana.
31. Naciones Unidas, 2012. Programa Conjunto OMS / UNICEF. Informe 2012 acerca de los progresos sobre el agua potable y saneamiento. Sitio web: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/es/
32. Lakshmi C., Ranjitha J. y Vijayalakshmi S. (2014). Waste water treatment using vermifiltration technique at institutional level. International journal of advanced scientific and technical research. Issue 4 volume 1
33. Ley N°28611, 2005. Descargado octubre, 18, 2018, de http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4_per_ley28611.pdf
34. Li YS, Robin P, Cluzeau D, Bouché M, Qiu JP, Laplanche A, Hassouna M, Morand P, Dappelo C, Callarec J (2008). Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: monitoring methodology on an experimental farm. Ecol. Eng. 32: 301-309.
35. Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D., Domínguez, J. 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. Soil Biology and Biochemistry 38:2993-2996.
36. Ocala Salazar, Juan (2012). Protección del agua -vigilancia y control de vertimientos – PAVER, Autoridad Nacional del Agua. Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/media/353227/4-protecci%C3%B3n%20del%20agua%20vigilancia%20y%20control%20de%20vertimientos%20paver.%20%20lic.%20juan%20ocola.pdf>
37. Ongley E.D. (1996) Control of water pollution from agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper N°55, FAO, Rome.
38. Organización Panamericana de la Salud -OPS , (2005) Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org>
39. Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. acodal.
40. PAS- LAC (2004). Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE Programa de Agua y Saneamiento - PAS. Región América Latina y el Caribe - WSP-LAC. Estudios de base para la implementación de proyectos de agua y saneamiento en el área rural: Problemas, cobertura y sostenibilidad de los servicios. Estudio de la sostenibilidad en 104 sistemas de agua rural. Sitio Web: <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/handle/123456789/4950>
41. Pastorelly Ruiz, David. 2015 “Lombricultura”. Sitio Web: www.explora.cl/ohiggins/.../317_1bfc989c5cc9e6244d085a5566921beb
42. Pearson, K. 1920. Notes on the history of correlation. Biometrika, 25-45. Sokal, R..R. & F.J. Rohlf. 2006. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Ramalho, R. S., Beltrán, D. J., & de Lora, F. (1990). Tratamiento de aguas residuales. Reverté.

43. Rosas Bustamante, Ricardo y Ugaz Saavedra Juan Manuel. 2014. Tratamiento de aguas residuales por medio de filtros de arena para la remoción de Coliformes termotolerantes. Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
44. Salcedo Ccama José. 2016. *Pedirán reubicación de planta de aguas residuales*. La Republica. Recuperado de:
<http://larepublica.pe/impresa/sociedad/768833-pediran-reubicacion-de-planta-de-aguas-residuales>.
45. Sistema de las Naciones Unidas en el Perú: Agua y recursos hídricos, 2015. Sitio web:<http://www.onu.org.pe/Publico/infocus/agua.aspx>
46. Salazar Sosa, E et al (2003). *Abonos Orgánicos y Platicultura*. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México, COCyTED 2003. 233 p:24 cm ISBN: 658-6404-63-5
47. Salinas Breskovic, Claudia. (2009). *Planta de tratamiento de riles*. 07.01.2015, de Universidad de Magallanes, Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias y Tecnología en Recursos Agrícolas y Acuícolas. Sitio web:
http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/kusanovic_mariano_2009.pdf
48. Sardi, L. (1991). *Producción de compost*. IDMA. 1° Edición. Lima-Perú. Pag 97.
49. Schuldt M., Rumi A., Gutiérrez D. (2005). Determinación de “edades” (clases) en poblaciones de *E. fetida* (Annelida: Lumbricidae) y sus implicancias reprobilógicas. *Revista del Museo de la Plata Zoología* 17(170):1-10.
Sitio Web: http://www.fcnym.unlp.edu.ar/publi/revista/zoologia/2005-17-170-zoologia_alta.pdf.
50. Singh D. P.; Dwivedi S. K. 2005. *Environmental Microbiology and Biotechnology*. New Age International Publishers. 228 pp. ISBN: 81-224-1510-5. Printed in India. Chapter: Vermiculture Biotechnology an Biocomposting 97-105 pp.
51. Sinha RK, Bharambe G, Chaudhari U (2008). Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworm: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *Environmentalist*, 28: 409-420.
52. Solis-Mejía, Ludibeth; Islas-Espinoza, Marina y Esteller, Vicenta (2012). Vermicomposting of sewage sludge: Earthworm population and agronomic advantages. *Compost Science & Utilization*, Vol. 20, No. 1, 11-17
53. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), 2014. *Las EPS y su desarrollo 2014 (indicadores de gestión a junio de 2014)*. Reporte de los Indicadores de gestión de las EPS a junio de 2014. Sitio Web:
<http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/sunass/supervision-y-fiscalizacion/indicadores-de-gestion/benchmarking>.
54. Taylor M, Clarke WP, Greenfield PF (2003). The treatment of domestic wastewater using small-scale vermicompost filters beds. *Ecol. Eng.* 21: 197-203.
55. Thermo Scientific Orion AQUAfast AQ3010 Turbidity Meter User Guide. (2009). Rev. B. 06-09. Sitio Web:

<https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/D15881~.pdf>

56. Tineo, A. (1994). Crianza Y Manejo de Lombrices de Tierra Con Fines Agrícolas. Recuperado de <https://books.google.com.pe>
57. Tovar Pacheco, Jorge. (2012). El agua subterránea en el medio ambiente minero y su importancia en los planes de cierre. Sitio web: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/curso_cierreminas/02_T%C3%A9cnico/02_Hidrolog%C3%ADa/TecHidro-L2_Aguas%20Subterr%C3%A1neas.pdf
58. UNEP-United Nations Population Division (2001). World Urbanization Prospects: The 1999 Revision. Key Findings. United Nations Population Division. <http://www.un.org/esa/population/pubsarchive/urbanization/urbanization.pdf> [Geo-2-203]
59. University of California (1991).The Cultivar. The role of earthworms in agrosystems. Pag 5-6.
60. Vega Bardales, Víctor (2009). Implementación de filtros bioarena para mejorar la calidad de agua para consume humano en la asociación de pobladores 27 de Junio- Ñana. Lima-Peru. Universidad Agraria La Molina.
61. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2014. The United Nations World Water Development Report 2014:Water and Energy. Paris, UNESCO.Shanghai, China.
62. Xing M., Li X. and Yang J. (2010). Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. African Journal of Biotechnology Vol. 9(44), pp. 7513-7520. Shanghai, China.
63. Yang J, Xing M, Lu Z, Lu Y (2008). A decentralized and on-site option for rural settlements wastewater with the adoption of vermifiltration system. The 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical engineering, Shanghai, China.
64. Zhang D, Gersberg RM, Keat TS (2009). Construido wetlands en China. Ecol. Eng. 35: 1367-1378.

VIII. GLOSARIO

- **Afluente.** - agua residual que ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales o proceso de tratamiento. En la presente tesis se considera al agua residual extraída de la planta CITRAR, luego del tratamiento primario.
- **Agua servida o residual.** - Desecho líquido proveniente de las descargas por el uso de agua en actividades domésticas o de otra índole.
- **Aguas residuales domésticas.** - Son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana proveniente de los asentamientos humanos de El Ángel y El Milagro del distrito de Independencia.
- **Biofiltro.** - Es un sistema formado diferentes materiales con estructura porosa e inerte que sirve de soporte de los cultivos bacterianos que realizan la depuración del agua residual.
- **Calidad ambiental.** - Presencia de elementos, sustancias y tipos de energías que le confieren una propiedad específica al ambiente y al ecosistema.
- **Cadena de custodia.** - Documento para identificar, registrar y controlar los resultados del análisis del laboratorio realizado al agua residual doméstica del afluente y del efluente.
- **Caudal.** - Volumen de agua que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo.
- **Carga hidráulica.** - Es el volumen de agua aplicado por unidad de superficie en un determinado periodo de tiempo. Se mide en $m^3/m^2/d$.
- **Coliformes termotolerantes.** - Microorganismos patógenos presentes en aguas residuales domésticas que provienen de las excretas humanas. Son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a $44.5\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.2\text{ }^\circ\text{C}$ dentro de las 24 \pm 2 horas.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).** - Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico.
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA).** - Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular

a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

- Efluente. - líquido o agua residual previamente tratada proveniente de actividades antropogénicas que pueden ser vertidas a un recurso hídrico o reusadas. En la presente tesis se considera al agua residual extraída luego del tratamiento secundario en los biofiltros.
- In- situ. - En el lugar, en el sitio.
- Línea base. - Condición inicial de la calidad de agua que se utiliza en la presente tesis.
- Monitoreo de la calidad del agua.- Proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad del agua con el objeto de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control de las fuentes de contaminación.
- Muestra. - Parte representativa del material a estudiar en los cuales se analizarán los parámetros de interés.
- Oxígeno disuelto. - Concentración de oxígeno solubilizado en un líquido que depende de la temperatura y la presión atmosférica, condicionante para el desarrollo de la vida acuática.
- Parámetro. - valor numérico o dato fijo que se considera en el estudio o análisis de la presente tesis, respecto a las características físicas, químicas y biológicas de los afluentes y efluentes.
- Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).- Infraestructura y procesos que permiten la reducción de las concentraciones de las sustancias y de las densidades de patógenos contenidos en las aguas residuales.
- Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. - Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales domésticas o municipales.
- Punto de monitoreo. - Ubicación geográfica de un punto donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad en un cuerpo natural de agua en forma periódica.
- Límite Máximo Permisible (LMP).- Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.
- Reúso de agua residual tratada. - Reutilización de aguas residuales, previamente tratadas, resultantes de las actividades antropogénicas.
- Sólidos suspendidos totales (SST). - Es una fracción de sólidos totales retenidos en un filtro estándar de fibra de vidrio de tamaño de poros de aproximadamente 1.58 μm (filtro whatman), medido después que ha sido secado a una temperatura de 103 – 105°C. Indica la fracción inorgánica presente en el agua residual.
- Tratamiento primario. - Son sistemas de tratamiento de aguas residuales cuyo objetivo es remover un porcentaje de sólidos suspendidos y materia orgánica.

- UASB. - Reactor Anaerobio de Manto de lodos de flujo ascendente de donde se extrae el afluente a utilizar en la presente tesis.

IX. ANEXOS

Anexo 1: Delimitación de la zona de trabajo.

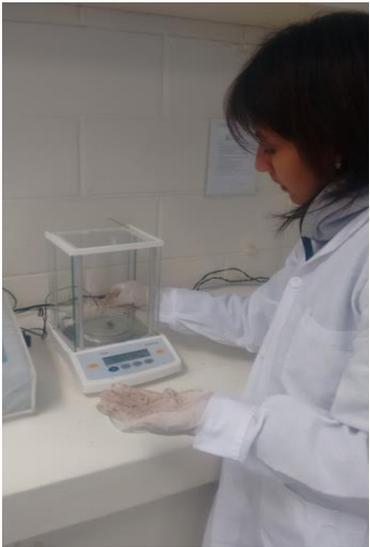
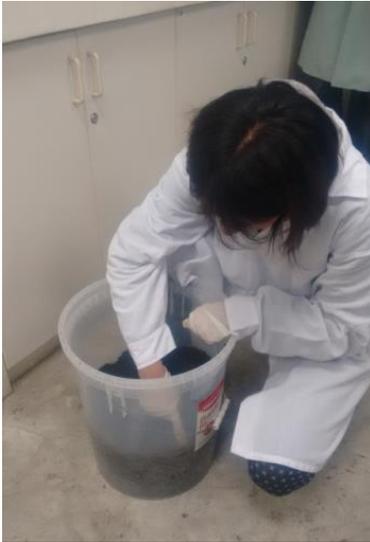


Anexo 2: Camas de lombricultura en Lurín.



Selección de lombrices adultas y juveniles.

Anexo 3: Selección de lombrices *Eisenia foetida*.



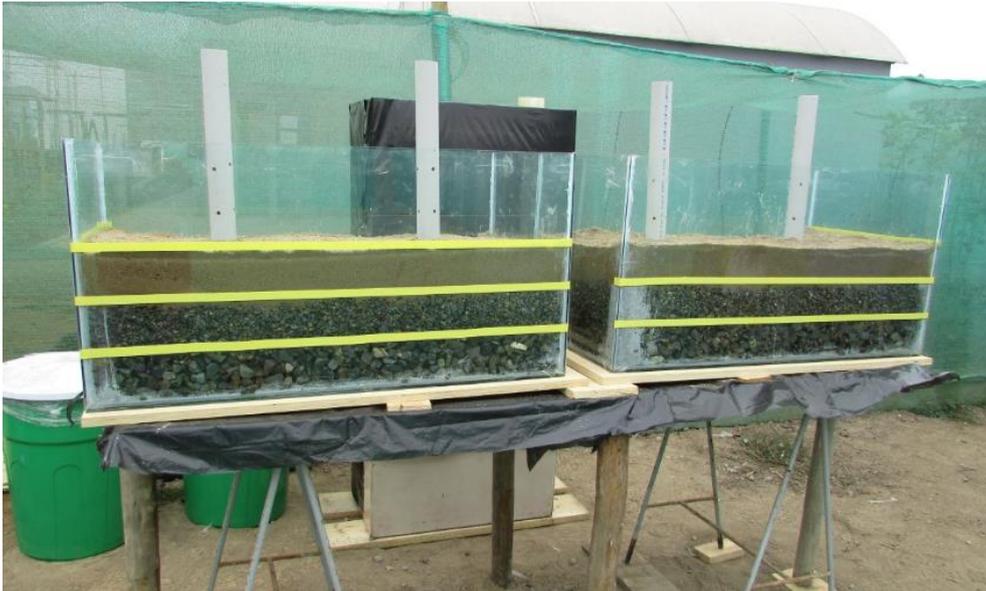
Toma de medidas longitudinales y peso de las lombrices adultas y

Anexo 4: Aclimatación de las lombrices Eisenia foetida.



Anexo 5: Instalación del material filtrante en los biofiltros.





Colocación de agregados en los biofiltros.

Anexo 6: Instalación de primera capa del biofiltro con *Eisenia foetida*.





Anexo 7: Instalación de tuberías en cada biofiltro.



Anexo 8: Biofiltros en Planta piloto.



Anexo 9: Extracción de Agua residual doméstica desde el reactor UASB.



Anexo 10: Materiales de laboratorio utilizados en campo.



Anexo 11: Registro de temperatura del agua (°C) en la planta piloto.

SEMANA	FECHA	HORA	AFLUENTE (T°C)	EFLUENTE DEL BIOFILTRO CONVENCIONAL (T°C)	EFLUENTE DE BIOFILTRO CON EISENIA FOETIDA (T°C)
Semana 1	12-Ago-16	3:00 p. m.	18.2	17.5	17.8
	13-Ago-16	3:00 p. m.	17.9	17.9	17.8
	14-Ago-16	3:00 p. m.	18.9	18.1	18.2
	15-Ago-16	3:00 p. m.	17.6	17.8	17.8
	16-Ago-16	3:00 p. m.	17.7	17.5	17.5
	17-Ago-16	3:00 p. m.	17.8	17.7	17.7
	18-Ago-16	3:00 p. m.	18.0	17.9	17.9
Semana 2	19-Ago-16	3:00 p. m.	18.1	18.0	18.0
	20-Ago-16	3:00 p. m.	17.9	17.8	17.8
	21-Ago-16	3:00 p. m.	18.7	18.6	18.6
	22-Ago-16	3:00 p. m.	18.1	18.0	18.0
	23-Ago-16	3:00 p. m.	17.9	17.3	17.3
	24-Ago-16	3:00 p. m.	18.2	17.6	17.6
	25-Ago-16	3:00 p. m.	18.3	18.1	18.1

	26-Ago-16	3:00 p. m.	17.9	18.0	18.0
Semana 3	27-Ago-16	3:00 p. m.	17.5	17.9	17.9
	28-Ago-16	3:00 p. m.	18.0	17.4	17.4
	29-Ago-16	3:00 p. m.	17.1	16.5	16.5
	30-Ago-16	3:00 p. m.	18.9	18.6	18.6
	31-Ago-16	3:00 p. m.	17.9	17.4	17.4
	1-Set-16	3:00 p. m.	18.0	17.9	17.9
	2-Set-16	3:00 p. m.	17.7	17.2	17.2
Semana 4	3-Set-16	3:00 p. m.	17.5	17.0	17.0
	4-Set-16	3:00 p. m.	18.7	18.3	18.3
	5-Set-16	3:00 p. m.	17.7	17.3	17.3
	6-Set-16	3:00 p. m.	19.7	19.3	19.3
	7-Set-16	3:00 p. m.	18.3	18.5	18.5
	8-Set-16	3:00 p. m.	18.7	18.3	18.3
	9-Set-16	3:00 p. m.	19.7	19.3	19.3

Anexo 12: Resultados del análisis de Turbiedad, Línea Base.

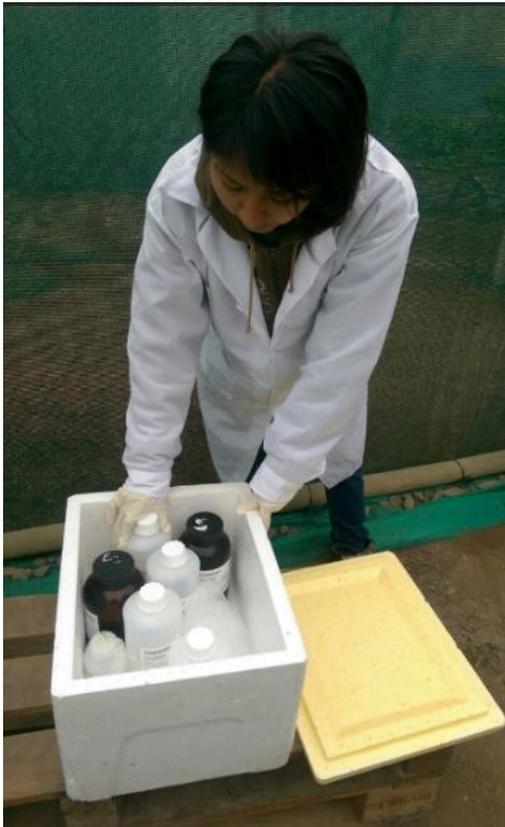




Anexo 13: Toma de muestras en el Reactor UASB.



Anexo 14: Toma de muestras en la planta piloto.



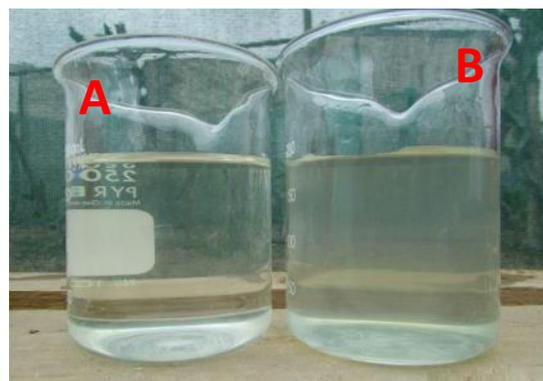
Anexo 15: Efluentes obtenidos en cada ensayo.



Ensayo 1

A: efluente del biofiltro convencional

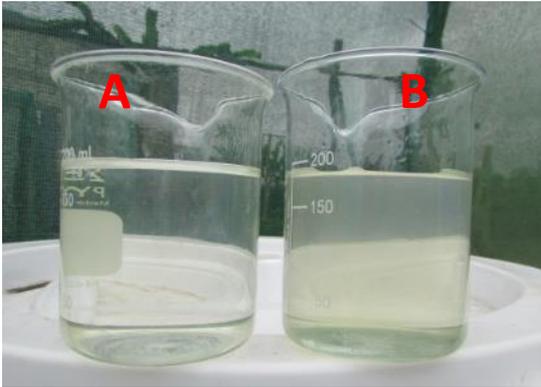
B: efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*



Ensayo 2

A: efluente del biofiltro convencional

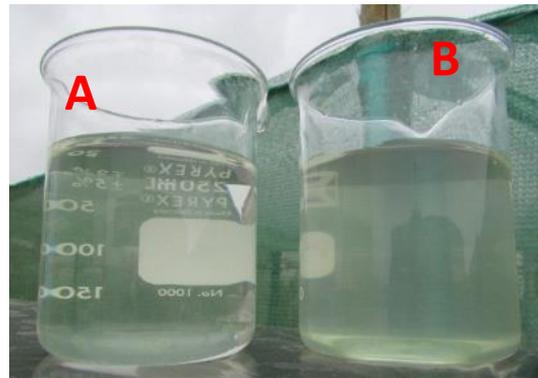
B: efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*



Ensayo 3

A: efluente del biofiltro convencional

B: efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*



Ensayo 4

A: efluente del biofiltro convencional

B: efluente del biofiltro con *Eisenia foetida*

Anexo 16: Formación de capa biológica en el biofiltro convencional.



Anexo 17: Crecimiento de lombriz en Biofiltro con *Eisenia foetida*.



Anexo 18: Resultados de laboratorio del análisis del afluente previo al tratamiento en los biofiltros.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 3-16125/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crl. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 3.52 L. apróx.
Muestra proporcionada por el solicitante
Forma de Presentación : En frascos de plástico, cerrados, preservados y refrigerados.
Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A1
Fecha de Recepción : 2016 - 08 - 04
Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 08 - 04
Fecha de Término del ensayo : 2016 - 08 - 09
Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
Identificado con : H/S 16012235 (EXMA-15240-2016)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Resultado
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	7 900 000

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Resultados
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	9,25
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	72,0
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	22,35

LD: Límite de detección

Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)

Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.

Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 2540 D, 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 12 de Agosto de 2016
DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIURA
Urb. Angamos IE Av. Panamericana
Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 3-17652/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crf. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 3.52 L. apróx.
Muestra proporcionada por el solicitante
Forma de Presentación : En frascos de plástico, cerrados, preservados y refrigerados.
Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A2
Fecha de Recepción : 2016 - 08 - 19
Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 08 - 19
Fecha de Término del ensayo : 2016 - 08 - 24
Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
Identificado con : H/S 16014257 (EXMA-15241-2016)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Resultado
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	7 500 000

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Resultados
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	9,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	75,0
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	22,35

LD: Límite de detección

Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)

Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.

Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.

Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 2540 D, 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 31 de Agosto de 2016
DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIURA
Urb. Angamos IE Av. Panamericana
Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

TEL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 3-17652/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crf. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 3,52 L. apróx.
Muestra proporcionada por el solicitante
Forma de Presentación : En frascos de plástico, cerrados, preservados y refrigerados.
Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A2
Fecha de Recepción : 2016 - 08 - 19
Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 08 - 19
Fecha de Término del ensayo : 2016 - 08 - 24
Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
Identificado con : H/S 16014257 (EXMA-15241-2016)
Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Resultado
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	7 500 000

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Resultados
Acetres y Grasas (mg/L) (L.D. 0,50 mg/L)	9,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (L.D. 2,00 mg/L)	75,0
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (L.D. 5,00 mg/L)	22,35

LD Límite de detección

Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)
Acetres y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 2540 D, 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 31 de Agosto de 2016
DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
C.I.P. N° 40302
JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
Oficina Principal
Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
T. (511) 319 9000
info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
Urb. José Carlos Mariátegui s/n
Centro Cívico, Nuevo Chimbote
T. (043) 311 048

PIURA
Urb. Angamos IE Av. Panamericana
Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 3-20053/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
 Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crf. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
 Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
 Cantidad de muestra para ensayo : 01 muestra x 3,52 L. apróx.
Muestra proporcionada por el solicitante
 Forma de Presentación : En frascos de plástico, cerrados, preservados y refrigerados.
 Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A4
 Fecha de Recepción : 2016 - 09 - 02
 Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 09 - 02
 Fecha de Término del ensayo : 2016 - 09 - 07
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
 Identificado con : H/S 16017280 (EXMA-15245-2016)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Resultado
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	7 200 000

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Resultados
Acetres y Grasas (mg/L) (L.D. 0,50 mg/L)	9,70
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (L.D. 2,00 mg/L)	70,0
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (L.D. 5,00 mg/L)	20,00

LD: Límite de detección

Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part. 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)
Acetres y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 2540 D, 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 19 de Setiembre de 2016
 DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

ING. ROSA PALOMINO LOO
 C.I.P. N° 40302
 JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048

PIURA
 Urb. Angamos IE Av. Panamericana
 Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 19: Resultados de laboratorio del análisis del efluente luego del tratamiento en los biofiltros.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



Registro N° LE - 003

INFORME DE ENSAYO N° 3-17738/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
 Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crf. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
 Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
 Cantidad de muestra para ensayo : 02 muestras x 3.25 L. c/u
Muestras proporcionadas por el solicitante
 Forma de Presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados, preservados y refrigerados.
 Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TRATADA
 Fecha de Recepción : 2016 - 08 - 20
 Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 08 - 20
 Fecha de Término del ensayo : 2016 - 08 - 25
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
 Identificado con : H/S 16013246 (EXMA-15242-2016)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas.

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A1-1)	PUNTO 2 (A1-2)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	2 300	280

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A1-1)	PUNTO 2 (A1-2)
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	5,00	1,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	25,20	4,20
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	48,58	10,22

LD: Límite de detección

Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)
Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 2540 D. 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 08 de Setiembre de 2016
 DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

 QUIM. GLORIA REYES ROBLES
 C.G.P. N° 408
 SUBGERENTE DE LABORATORIOS

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048

PIURA
 Urb. Angamos IE Av. Panamericana
 Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 3-19364/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
 Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crf. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
 Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
 Cantidad de muestra para ensayo : 02 muestras x 3.25 L. c/u
Muestras proporcionadas por el solicitante
 Forma de Presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados, preservados y refrigerados.
 Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TRATADA
 Fecha de Recepción : 2016 - 08 - 27
 Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 08 - 27
 Fecha de Término del ensayo : 2016 - 09 - 01
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
 Identificado con : H/S 16016279 (EXMA-15244-2016)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas.

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A2-1)	PUNTO 2 (A2-2)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	1 300	240

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A2-1)	PUNTO 2 (A2-2)
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	4,00	1,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	20,00	4,00
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	43,20	6,00

LD: Límite de detección

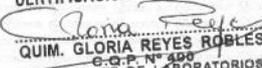
Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)
Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease, Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD), 5 Day BOD Test.
Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF, Part 2540 D, 22nd. Ed. 2012. Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 15 de Setiembre de 2016
DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

 QUIM. GLORIA REYES ROBLES
 C.O.P. N° 400
 SUBGERENTE DE LABORATORIOS

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048

PIURA
 Urb. Angamos IE Av. Panamericana
 Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 3-20056/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
 Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crf. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
 Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
 Cantidad de muestra para ensayo : 02 muestras x 3.25 L. c/u
Muestras proporcionadas por el solicitante
 Forma de Presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados, preservados y refrigerados.
 Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TRATADA
 Fecha de Recepción : 2016 - 09 - 02
 Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 09 - 02
 Fecha de Término del ensayo : 2016 - 09 - 07
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
 Identificado con : H/S 16018291 (EXMA-15246-2016)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas.

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A3-1)	PUNTO 2 (A3-2)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	1 000	280

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A3-1)	PUNTO 2 (A3-2)
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	4,00	1,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	10,00	3,00
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	23,00	8,00

LD: Límite de detección

Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 22 nd Ed. 2012. Multiple- tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform test (EC medium)
Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 2540 D. 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 21 de Setiembre de 2016
 DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

 QUIM. GLORIA REYES ROBLES
 C.G.P. N° 408
 SUBGERENTE DE LABORATORIOS

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048

PIURA
 Urb. Angamos IE Av. Panamericana
 Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE 003



INFORME DE ENSAYO N° 3-20509/16

Pág. 1/1

Solicitante : LORO OCAMPOS, ANA CECILIA
 Domicilio Legal : Bl. 16 Nro. S/N Dpto. 402 Res. Crí. José Joaquín Inclán - San Juan de Miraflores - Lima - Lima
 Producto Declarado : AGUA RESIDUAL
 Cantidad de muestra para ensayo : 02 muestras x 3.25 L. c/u
Muestras proporcionadas por el solicitante
 Forma de Presentación : En frascos de plástico y vidrio, cerrados, preservados y refrigerados.
 Identificación de la Muestra : AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TRATADA
 Fecha de Recepción : 2016 - 09 - 09
 Fecha de Inicio del ensayo : 2016 - 09 - 09
 Fecha de Término del ensayo : 2016 - 09 - 14
 Ensayo realizado en : Laboratorio Ambiental / Microbiología
 Identificado con : H/S 16019202 (EXMA-15247-2016)
 Validez del documento : Este documento es válido solo para las muestras descritas.

Análisis Microbiológico:

Ensayo	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A4-1)	PUNTO 2 (A4-2)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	800	200

Análisis Físico Químico:

Ensayos	Muestras / Resultados	
	PUNTO 1 (A4-1)	PUNTO 2 (A4-2)
Aceites y Grasas (mg/L) (LD: 0,50 mg/L)	3,00	1,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) (LD: 2,00 mg/L)	8,00	3,30
Sólidos suspendidos totales (mg/L) (LD: 5,00 mg/L)	12,00	5,00

LD: Límite de detección

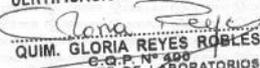
Métodos:

Coliformes termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 9221 E1, 22nd Ed. 2012. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group fecal coliform procedure. Thermotolerant Coliform: test (EC medium)
Aceites y Grasas: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 22nd Ed. 2012. Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 5210 B, 22nd. Ed. 2012. Biochemical oxygen demand (BOD). 5 Day BOD Test.
Sólidos suspendidos: SMEWW-APHA AWWA-WEF. Part 2540 D. 22nd. Ed. 2012. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C.

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 28 de Setiembre de 2016
DA

CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.

 QUIM. GLORIA REYES ROBLES
 S.O. N° 400
 SUBGERENTE DE LABORATORIOS

CALLAO
 Oficina Principal
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao
 T. (511) 319 9000
 info@cerper.com - www.cerper.com

CHIMBOTE
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote
 T. (043) 311 048

PIURA
 Urb. Angamos IE Av. Panamericana
 Nro. 0 Mz-A Lote - 02 - Piura
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

Anexo 20: Cálculo de Correlación de Pearson por parámetro estudiado.

	X: Turbiedad en afluente	Y: Turbiedad en efluente biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	Y1: Turbiedad en efluente biofiltro convencional
Muestra 1	138.00	25.20	4.20
Muestra 2	114.00	19.38	3.00
Muestra 3	126.00	13.86	1.26
Muestra 4	83.30	16.36	4.16
Coeficiente de Pearson (r)		0.5	-0.3
Determinación (r ²)		0.2	0.1

	X: Solidos Suspendidos Totales en afluente	Y: Solidos Suspendidos Totales en efluente del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	Y1: Solidos Suspendidos Totales en efluente del biofiltro convencional
Muestra 1	22.35	48.58	10.22
Muestra 2	22.35	43.20	8.00
Muestra 3	22.55	23.00	8.00
Muestra 4	20.00	12.00	5.00
Coeficiente de Pearson (r)		0.71	0.85
Determinación (r ²)		0.51	0.72

	X: Aceites y Grasa en Afluente	Y: Aceites y Grasa en efluente del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	Y1: Aceites y Grasa en efluente del biofiltro convencional
Muestra 1	9.25	5.00	1.10
Muestra 2	9.00	4.00	1.00
Muestra 3	9.20	1.00	1.10
Muestra 4	9.70	1.00	1.00
Coeficiente de Pearson (r)		-0.55	-0.24
Determinación (r ²)		0.31	0.06

	X: DBO ₅ en Afluente	Y: DBO ₅ en efluente del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	Y1: DBO ₅ en efluente del biofiltro convencional
Muestra 1	72.00	25.2	4.20
Muestra 2	75.00	20.00	4.00
Muestra 3	72.00	10.00	3.00
Muestra 4	70.00	8.00	3.30
Coeficiente de Pearson (r)		0.56	0.51
Determinación (r ²)		0.31	0.26

	X: Coliformes Termotolerantes en afluente	Y: Coliformes Termotolerantes en efluente del biofiltro con <i>Eisenia foetida</i>	Y1: Coliformes Termotolerantes en efluente de biofiltro convencional
Muestra 1	7900000	2300	280
Muestra 2	7500000	1300	240
Muestra 3	7700000	1000	280
Muestra 4	7200000	800	200
Coeficiente de Pearson (r)		0.80	0.96
Determinación (r ²)		0.63	0.93

Anexo 21: Planos de dimensionamiento de los biofiltros.

