

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“EVALUACIÓN DEL LOMBRIFILTRO COMO TRATAMIENTO
PRIMARIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL PROYECTO MANCHAY VERDE”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
GALLEGOS VALQUI, DIEGO GERARDO**

Villa El Salvador

2019

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza, salud, amor y perseverancia necesaria, que me permitió seguir adelante ante las adversidades.

A mi madre Nieves Valqui Tafur y mi padre Gerardo Gallegos Estrada que me brindaron siempre su amor y apoyo de manera incondicional.

A mi hermano Antony Gallegos Valqui quien me ayudó, animó y me dió el ejemplo de responsabilidad y lucha.

A toda mi familia y amigos por su continuo apoyo para poder culminar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el conocimiento y habilidades para poder terminar este trabajo, a mis padres por su apoyo en todo momento.

A mi asesor el Ing. Vilca Cáceres José Antonio por tiempo dedicado en revisar este proyecto, por su apoyo y sus consejos.

A los voluntarios del proyecto Manchay Verde Tanneguy de Barmon, Melchior Lambert y Massimo Scantamburlo por su apoyo a la investigación y confiar en mí y mis conocimientos para ejecutar este proyecto en Manchay Verde.

A todos mis familiares y amigos que ayudaron e incluso estuvieron presentes en las labores para realizar esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Justificación del problema	3
1.3. Delimitación del Proyecto	5
1.3.1. Teórica.....	5
1.3.2. Temporal.....	5
1.3.3. Espacial	5
1.4. Formulación del problema.....	7
1.4.1. Problema general.....	7
1.4.2. Problemas específicos.....	7
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1.- Antecedentes	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	10
2.2.- Bases Teóricas	12
2.2.1. Agua residual.....	12
2.2.2. Composición de las aguas residuales domésticas	13
2.2.3. Límite Máximos Permisibles (LMP)	14
2.2.4. Proyecto Medio Ambiental “Manchay Verde”	15
2.2.5. Planta de tratamiento “Manchay Verde”	18
2.2.6. Circuito de funcionamiento del sistema de tratamiento	23
2.2.7. Tratamiento biológico de aguas residuales	24

2.2.8.	Lombrifiltro o Técnica Tohá.....	24
2.2.9.	Historia del Lombrifiltro	26
2.2.10.	Funcionamiento del Lombrifiltro.....	26
2.2.11.	Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	28
2.2.12.	Humus de Lombriz.....	30
2.2.13.	Las lombrices como transformadoras de residuos orgánicos.....	30
2.2.14.	Eficiencia del Lombrifiltro	33
2.2.15.	Ventajas y desventajas	34
2.3.-	Definición de términos básicos	35
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA		
	PROFESIONAL	38
3.1.1.	Metodología de la Investigación	38
3.1.2.	Diseño del lombrifiltro	38
3.1.3.	Construcción del lombrifiltro	39
3.1.4.	Operación del lombrifiltro.....	43
3.1.5.	Toma de muestras del afluente y efluente.....	45
3.1.6.	Monitoreo de la población de lombrices	48
3.2.	RESULTADOS.....	50
3.2.1.	Determinación del caudal óptimo de operación.....	50
3.2.2.	Evaluación de la población de lombrices <i>Eisenia foetida</i>	51
3.2.3.	Resultados de los análisis del afluente y efluente	54
3.2.4.	Determinación de la tasa de eficiencia de tratamiento del lombrifiltro	57
	DISCUSIONES	62
	CONCLUSIONES	64
	RECOMENDACIONES	66
	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona, extraído de Google Earth, y adaptado en Arcgis.....	6
Figura 2. Participación de voluntarios de diversos colegios y organizaciones (Manchay Verde, 2015)	16
Figura 3. El proyecto cuenta con un área forestada de 6 hectáreas.	17
Figura 4. Proyecto Manchay Verde y el Instituto Trentino Juan Pablo II (Manchay Verde, 2015)	17
Figura 5. Esquema de funcionamiento de la trampa de grasa (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016)	19
Figura 6. Trampa de grasa instalada en el comedor Juan Pablo II.....	19
Figura 7. Esquema de funcionamiento de pozo de sedimentación	20
Figura 8. Pozo de sedimentación de la PTAR Manchay Verde	20
Figura 9. Esquema de funcionamiento de la laguna de estabilización (Tratamiento del agua, 2016)	21
Figura 10. Laguna de estabilización de la PTAR Manchay Verde.....	21
Figura 11. Esquema de funcionamiento del humedal artificial. (Sucher & Holzer, 1999)	22
Figura 12. Humedal artificial de la PTAR Juan Pablo II	22
Figura 13. Circuito del tratamiento de aguas residuales.....	23
Figura 14. Modelo de Biofiltro o Lombrifiltro de la Técnica Tohá (Sistema Tohá, 2013)	25
Figura 15. Dr. José Tohá Castellá (Sistema Tohá, 2013).....	26
Figura 16. Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	29
Figura 17. Función de las lombrices como aireadores (Capistrán, 2001).....	31
Figura 18. Función de las lombrices como biodigestores (Capistrán, 2001)	32
Figura 19. Diseño del sistema de tratamiento	39
Figura 20. Instalación de la base de apoyo del Lombrifiltro.....	40
Figura 21. Preparación de los tubos de ventilación	41
Figura 22 . Empaquetado y llenado de gravilla y aserrín.....	42
Figura 23. Instalación del sistema de riego por aspersión.....	42
Figura 24. Aclimatación a las lombrices con el agua residual	43

Figura 25. Método volumétrico para determinar el caudal de operación.....	44
Figura 26. Toma de muestras realizado el día 27 de marzo.	46
Figura 27. Toma de muestras realizado el día 29 de abril.....	46
Figura 28. Toma de muestras del afluente y efluente.....	47
Figura 29. Extractor para las muestras de población	48
Figura 30. Toma de muestras de lombrices	49
Figura 31. Zonas o cuadrantes del lombrifiltro	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de las aguas residuales domésticas	13
Tabla 2. Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 003-2010-MINAM.).....	14
Tabla 3. Eficiencia estimada del Lombrifiltro	34
Tabla 4. Materiales para la construcción del lombrifiltro.....	39
Tabla 5. Cálculo del caudal de operación del Lombrifiltro	50
Tabla 6. Calculo del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	51
Tabla 7. Registro de la población de Lombrices Eisenia foetida	52
Tabla 8. Parámetros de control antes del tratamiento con el Lombrifiltro	54
Tabla 9. Parámetros de control después del tratamiento con el Lombrifiltro	54
Tabla 10. Eficiencia del tratamiento del Lombrifiltro	60

INTRODUCCIÓN

El proyecto medioambiental “Manchay Verde” tiene como iniciativa el reúso de aguas residuales para riego forestal, es así que en el año 2012 se construyó una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales conformadas por las siguientes unidades operativas: (Trampa de grasa, Pozo Séptico, Laguna de oxidación y un Humedal subsuperficial de flujo horizontal) tratando el 100% de las aguas residuales del Instituto Trentino Juan Pablo II para posteriormente reusarlas en el área forestal que tiene una extensión de 6 hectáreas aproximadamente y es regada por un sistema de goteos. Actualmente el sistema de tratamiento necesita mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes ya que las infraestructuras de las unidades operativas de tratamiento se están deteriorando, en especial el humedal artificial ya que el lecho filtrante se colmata rápidamente y los goteros se taponean frecuentemente. Como parte de la mejora continua del proyecto se decidió implementar un sistema de depuración biológica llamado el Lombrifiltro donde se usó la especie de lombriz *Eisenia foetida*, con muchos beneficios en operación, construcción y mantenimiento en donde la presente investigación está sujeta a su evaluación para estudiar su viabilidad y eficiencia de remoción de contaminantes, analizando los siguientes parámetros de control (DBO, DQO, CF). Se inicia con la primera etapa de la investigación que es la construcción y operación del lombrifiltro para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del pozo séptico bombeadas por un motor; luego en la segunda etapa de la investigación se inicia con la toma de muestras y posterior análisis en dos puntos de muestreo, el primero en la entrada y el segundo en la salida del lombrifiltro; los resultados de máxima eficiencia de remoción que arroja el análisis de laboratorio es de: 95.46% DBO, 90.84% DQO, 99.37% Coliformes Fecales. Otro análisis en la investigación fue el monitoreo de la población de lombrices por un periodo de 30 días, para evaluar principalmente la viabilidad del lombrifiltro, donde se tuvo una población inicial de 5985 lombrices y una población final de 24 605 lombrices al finalizar la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Actualmente sabemos de la gran importancia de los servicios ecosistémicos que nos brindan los árboles, es que contar con muchas áreas verdes en zonas urbanas se traduce en una mejor calidad ambiental y por lo tanto una mejor calidad de vida; el proyecto ambiental “Manchay Verde” busca concientizar sobre el cuidado del medio ambiente a través de diversas actividades siendo una de ellas la plantación de árboles y el reúso de aguas residuales para el riego.

La más grande plantación se encuentra exactamente en el Instituto Trentino Juan Pablo II, contando con un área forestal de 6 hectáreas aproximadamente y con más de 1400 árboles que son regados con un sistema de mangueras y goteros. Para el riego de estos árboles se construyó un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes del instituto, este sistema de tratamiento cuenta con una trampa de grasa especialmente instalada para el comedor, también se cuenta con un pozo séptico, un estanque de estabilización aerobio, y un humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal. El sistema de tratamiento inició sus operaciones aproximadamente en el año 2012, actualmente se están teniendo problemas tanto en la operación como en el mantenimiento por lo que proyecto “Manchay Verde” decidió hacer un diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales tomándose muestras de afluentes y efluentes de cada unidad de tratamiento, este monitoreo se realizó el 15 de agosto del 2018 y el análisis fue realizado por los laboratorios de NSF INASSA S.A.C (Anexo C), con el fin de poder encontrar las deficiencias del sistema de tratamiento. Los problemas que se tienen son los siguientes:

- Las aguas residuales pre-tratadas por el pozo séptico tienen una alta concentración de contaminantes (Anexo C) que es difícil de remover por un sistema simple como es el estanque de estabilización aerobio, donde se puede apreciar con frecuencia un proceso de eutrofización que en

consecuencia va deteriorando las infraestructuras de las unidades tratamiento. (Anexo A)

- Las aguas tratadas por el estanque de estabilización aerobia que ingresan al humedal artificial tienen una elevada carga orgánica (Anexo C), concluyéndose que la eficiencia de remoción de contaminantes por el estanque de estabilización es deficiente y en consecuencia colmata rápidamente el lecho filtrante del humedal artificial. (Anexo A)
- El humedal artificial presenta malos olores, encharcamiento y hay presencia de vectores sobre su superficie como zancudos y larvas, siendo un potencial riesgo para la salud.(Anexo A)
- Se encuentran sólidos en las aguas residuales tratadas por el humedal artificial que taponean el sistema de riego por goteos y resulta ser perjudicialmente costoso para el mantenimiento. (Anexo A)
- Debido a la gran extensión del área forestal y los cientos de árboles es casi imposible supervisar que los goteros estén en buen estado y no taponeados por los sólidos que contiene el agua tratada, en consecuencia no se sabe de la situación de los goteros hasta que es muy visible que los árboles no están recibiendo agua, en algunos casos los árboles están muy secos y en otros casos los árbol ya están muerto. (Anexo A)

1.2. Justificación del problema

El tratamiento de aguas residuales es indispensable debido a la contaminación y el riesgo que representa a la salud, es por eso que el manejo y reúso de estas aguas residuales en este caso para el riego de un área forestal se debe tener criterios y manejos preventivos, por ejemplo como aplicar un tratamiento biológico óptimo para remover los contaminantes o reducirlos al tal punto de que no represente un riesgo para la salud y el medio ambiente.

Así mismo el Ministerio del Ambiente estipula en el *Decreto Supremo N°003-2010-MINAM* “Los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR) para el sector Vivienda” en el (Artículo 2°) se menciona que los LMPs son: “...la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente” (MINAM, 2010).

Por ello es importante que el tratamiento de aguas residuales realizado en el proyecto “Manchay Verde” sea eficiente para su posterior reuso, siendo el objetivo de este trabajo de investigación evaluar al lombrifiltro como alternativa de solución en reemplazo a las tecnologías de tratamiento convencionales además como mejora continua del sistema de tratamiento para llevar a cabo la finalidad de mitigar los problemas que se tiene actualmente, evitándose que el sistema de riego sea perjudicado y se reduzca los gastos en mantenimiento impulsando a que el proyecto siga alcanzando el éxito.

En su mayoría las tecnologías convencionales de tratamiento no dan una solución completa al problema que representan los contaminantes que contiene las aguas residuales ya que estos al ser removidos indirectamente también se generan lodos, residuos semisólidos con contaminantes concentrados, siendo su manejo muy dificultoso y complejo ya que se necesita de tecnología, maquinaria y personal capacitado resultando ser muy costoso; por otro lado en comparación con el proceso de operación del lombrifiltro este no genera lodos inestables sino por el contrario genera humus de lombriz que puede ser usado como un excelente abono orgánico para jardines y campos de cultivo.

El sistema de tratamiento biológico lombrifiltro podría representar una alternativa de solución más adecuada para las aguas residuales domésticas de zonas rurales y urbanas en el Perú, ya que estos sistemas son muy económicos por su bajo costo de construcción y porque requieren un menor gasto energético, son de fácil operación por lo que no necesitan de personal altamente calificado y requieren de un mantenimiento sencillo.

1.3. Delimitación del Proyecto

1.3.1. Teórica

La delimitación del tema de investigación se centró en la evaluación del sistema de tratamiento por el método de depuración lombrifiltro donde se analizaron parámetros de control del agua residual doméstica de un instituto antes y después del tratamiento, para evaluar su eficiencia. Se hicieron revisiones bibliográficas y recolectado información, hay pocas investigaciones que hacen seguimiento de la densidad poblacional de lombrices con respecto al periodo de tiempo al que están tratando las aguas residuales, siendo en la presente investigación incluida como un indicador de viabilidad.

1.3.2. Temporal

La presente investigación tiene 3 etapas de desarrollo siendo la primera de estas el diseño y construcción iniciado desde el mes de febrero, desde el inventariado y compra de materiales hasta el ensamblaje del proyecto, tomando el tiempo de un mes hasta culminarlo. Luego en las siguientes dos etapas, la evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes por parte del lombrifiltro y la evaluación de la población de lombrices, se desarrollaron de manera simultánea iniciando el día 27 de marzo hasta el día 29 de abril del 2019, para hacer un seguimiento por un tiempo total aproximado de un mes, para obtener datos representativos y confiables.

1.3.3. Espacial

La ejecución de la presente investigación se llevó a cabo en el proyecto medioambiental “Manchay Verde”, que se encuentra ubicado en la provincia de Lima, distrito de Pachacamac; en el Asentamiento Humano Huertos de Manchay dentro del Instituto Trentino Juan Pablo II siendo las coordenadas UTM. Este (296594.8E); Norte (8660741.2N) y una altitud de 404.97 msnm. (Figura 1)

MAPA DEL PROYECTO AMBIENTAL "MANCHAY VERDE"

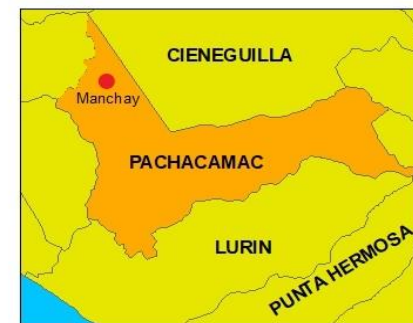
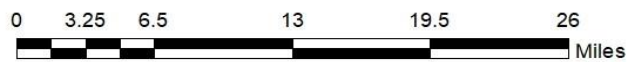


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona, extraído de Google Earth, y adaptado en Arcgis

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿Qué mejoras se obtienen en el tratamiento de las aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II usando el lombrifiltro como tratamiento primario para la remoción de contaminantes?

1.4.2. Problemas específicos

- 1) ¿Qué características tiene la implementación del lombrifiltro como tratamiento primario de las aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II?
- 2) ¿Cuál es la tasa de adaptabilidad de las lombrices *Eisenia foetida* como parte del lombrifiltro para el tratamiento primario de aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II?
- 3) ¿Cuál es la tasa de eficiencia del lombrifiltro como opción en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Conocer las mejoras que se obtienen en el tratamiento de aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II usando el lombrifiltro como tratamiento primario para la remoción de contaminantes.

1.5.2. Objetivos específicos

- 1) Describir las características de la implementación del lombrifiltro como tratamiento primario de aguas residuales domésticas del Instituto Juan Pablo II.
- 2) Evaluar la tasa de adaptabilidad de las lombrices *Eisenia foetida* como parte del lombrifiltro para el tratamiento primario de aguas domésticas del Instituto Juan Pablo II.
- 3) Evaluar la tasa de eficiencia del lombrifiltro como opción en el tratamiento primario de aguas domésticas del Instituto Juan Pablo II.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1.- Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Este trabajo de investigación fue realizado por (Delgado & Piñeros, 2016) en la ciudad de Bogotá D.C, donde se evaluó la viabilidad de usar el lombrifiltro como un sistema de tratamiento para efluentes de la industria de Lácteos Pasco, haciendo la comparación a nivel escala de laboratorio de dos tipos de sistemas con las mismas características de diseño: un área de 20 cm de largo y 25 cm de ancho, contando con grava, gravilla y piedras de río como materiales de relleno, una proporción de la altura de las camas de 1:2:1:1; pero con la diferencia que uno de los filtros contiene lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), con respecto al otro denominado geofiltro (sin lombrices), donde previamente se escogió la especie de lombriz especificada realizando una revisión bibliográfica con respecto a los mejores parámetros de diseño, siendo usadas lombrices de tierra de la especie *Eisenia foetida*, y manejando una temperatura ambiente. Donde se hizo seguimiento y análisis de los parámetros fisicoquímicos para la industria de alimentos exigidos por la normativa de Colombia en Resolución 0631 del 2015, la cual estipula los valores máximos permisibles de los parámetros de vertimientos de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado público siendo los parámetros exigidos el pH, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables y grasas y aceites. De la experimentación comparativa de ambos filtros se obtuvo como resultados de eficiencia de remoción lo siguiente, el DQO con un 79.56% de reducción en el lombrifiltro y de 55.18% en el geofiltro, el DBO no tuvo reducción respecto a la muestra sin tratar, el pH alcanzo un valor de 4.56. El agua residual después de pasar por el lombrifiltro no cumple con los valores límites máximos permisibles de los parámetros estipulados en la Resolución 0631 del 2015 de Colombia con respecto a DQO, DBO y pH.

Así mismo la investigación realizada por (Caicedo, 2017) en Ecuador en la granja del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca en la Provincia de Chimborazo. Donde diseñó, construyó y evaluó un prototipo de biofiltración usando a las lombrices *Eisenia foetida* y la planta *Agave filifera* una suculenta perteneciente a la familia de las agaváceas. La investigación inicia con la caracterización de las aguas residuales que serán tratadas, los análisis de caracterización y determinación de eficiencia fueron realizados cada semana, donde los parámetros fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales y también se hizo un seguimiento de los parámetros de control pH y Temperatura. El sistema de tratamiento contó con un tanque de almacenamiento de 60L de capacidad, una bomba sumergible, manguera corrugada y un aspersor tipo ducha. El caudal de operación fue de 148mL/min con un tiempo de retención de hidráulica de 7.28 horas. Los resultados de la tasa de eficiencia de remoción alcanzados en este estudio fueron: 94% en Coliformes fecales, 87.7% en Demanda Bioquímica de Oxígeno y 92.2% en Demanda Química de Oxígeno.

Otra investigación realizada por (Sukhdeep & Puneet, 2019) en la india fue para tratar las aguas residuales de la industria láctea y reusar el agua para fines de irrigación o procesos industriales, la investigación se centró en la evaluación del vermifiltro utilizando a la especie de lombriz de tierra *Eisenia foetida* y como sustrato de soporte del medio filtrante los residuos de jardín, se aplicaron tres diferentes tasas de carga hidráulicas de 1.5, 2 y 2.5 m³/m²/d para poder calcular el caudal óptimo de operación y poder obtener buenos resultados del tratamiento de las aguas residuales en el proceso de vermifiltración. Para evaluar el rendimiento del vermifiltro se analizaron los parámetros pH, DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), SST (Sólidos Suspendidos Totales) y TP (Fósforo Total). La eficiencia óptima se observó con la carga hidráulica de 1.5 m³/m²/d donde se obtuvieron los siguientes resultados para la DBO, DQO, SST y TP siendo de 95.76%, 90.56%, 80.24% y 88.76%, respectivamente. Además se encontró que el vermicompost que resulta de la vermifiltración es muy rico en nitratos y fosfatos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

El estudio de investigación fue realizado por (Saboya, 2018) en Chachapoyas distrito de la provincia de Amazonas, y tuvo como objetivo determinar el grado de eficiencia de remoción de contaminantes de dos especies de lombriz de tierra, específicamente entre la especie *Lumbricus terrestris* y la especie *Eisenia foetida* en el tratamiento de las aguas residuales del Distrito de Chachapoyas empleando el método de Lombrifiltro. Se hizo la adaptación de las dos especies mencionadas durante un periodo de tiempo de 7 días, luego se las colocó en el material vivo del sistema del Lombrifiltro conformado por dos estructuras de madera respectiva para capa especie de lombriz con cuatro capas o lechos filtrantes (piedras enteras, grava chancada, grava fina y aserrín en mezcla con las lombrices); además se utilizó un tanque de almacenamiento donde se depositó el agua residual para que alimente al lombrifiltro de manera continua durante 6 días, y estén en contacto con las especies de lombriz: *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida* en sus respectivos lechos. Para determinar la eficiencia de remoción de las especies de lombriz, se tuvo que caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingreso. Obteniéndose de los análisis de la entrada y salida los cálculos de remoción en porcentaje, resultando de la especie *Eisenia foetida* la reducción en un 92% la DBO5, 86% DQO, 78% NT, 84.4% turbidez, 93% pH y 84% en CT; a diferencia de la especie *Lumbricus terrestris* que se obtuvo una reducción del 91% en la DBO5, 84% DQO, 77% NT, 83% turbidez, 93% pH y 80% en CT. Concluyendo así que la especie de lombriz *Eisenia foetida* es más eficiente en la remoción de los contaminantes del agua residual doméstica con un promedio de 87% en comparación con la especie *Lumbricus terrestris* que logró un 85%. Habiéndose demostrado la eficiencia de ambas de lombriz para el tratamiento de aguas también se pudo observar que el agua tratada por el sistema cumple con los estándares de calidad ambiental del agua para el riego de vegetales no restringido y restringido, así como para bebidas de animales como lo estipula el Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM.

Otra investigación desarrollada por (Díaz & Zafra, 2018) en la provincia de Cajamarca, consistió en la implementación de un sistema piloto de lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cajamarca, con el objetivo de lograr sanear aguas de proceso industrial, doméstico y comercial, para luego poder descargarlas a la red de alcantarillado. El sistema piloto estuvo compuesto de varias capas iniciando de la parte superior con lombrices de la especie *Eisenia foetida* y aserrín, por donde las aguas residuales pasan seguidamente de una capa de arena fina de 0,5 mm, una capa de carbón mineral, una capa de piedra pómez, una capa fina de gravilla y una capa de piedra de río; con espacios entre cada capa de material para permitir oxigenar el agua a partir del goteo que existe entre cada una de las capas. La pruebas fueron realizadas en varias repeticiones y los análisis obtenidos medidos del afluente y efluente fueron positivos respecto a la eficiencia de remoción del método del lombrifiltro, ya que se logró reducir el DBO de 7004,00 mg/L a 280,16 mg/L en la primera repetición, mientras que en la segunda se redujo de 6906,60 mg/L a 210,12 mg/L; en el resultado de análisis del DQO también fueron reducidos de valores muy elevados de 8109,00 mg/L hasta llegar a 810,9 mg/L en la primera repetición y de 8025,5 mg/L a 486,54 mg/L en la segunda repetición. Los otros parámetros incluidos en los Valores máximos permisibles se mantuvieron dentro de lo exigido por la norma, obteniendo como resultados finales en la primera repetición los valores de 7,15 unidades de pH, 6,73 mg/L en oxígeno disuelto y 20,00 °C de temperatura, y en la segunda repetición se obtuvo 7,23 en pH, 19,80 °C de temperatura y 7,25 mg/L en el parámetro oxígeno disuelto.

Del mismo modo en la ciudad Bagua, Amazonas se realizó una investigación por (Acuña & Reyes, 2017) donde se tuvo como objetivo determinar mediante pruebas experimentales comparativas la eficiencia de remoción de contaminantes del Lombrifiltro como sistema de tratamiento de aguas residuales a condiciones ambientales de la ciudad de Bagua, usando dos especies distintas de lombriz específicamente la lombriz de tierra *Lumbricus terrestris* y la lombriz roja californiana *Eisenia Foetida*. Para dicha comparativa fue necesario la adaptación de las dos especies de lombriz al agua residual durante un periodo

de siete días, luego se inocularon al sistema de biofiltro conformado por dos estanques con capas inertes (bolones, grava, aserrín, tierra y compost) y organismos vivos (lombriz de tierra, roja californiana y microorganismos presentes en el sustrato) y un tanque donde se almacenó el agua residual de manera que ambos biofiltros con estructura de estakes de vidrio reciban un flujo continuo, alimentado por un tiempo de 6 días. Para determinar la eficiencia de remoción de las especies, se analizó la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual cruda (afluente) y del agua tratada (efluente). Obteniendo que los resultados de remoción de contaminantes del agua residual de la especie *Eisenia foetida* es la más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 73% mientras que *Lumbricus terrestris* obtuvo un promedio de remoción del 63%.

2.2.- Bases Teóricas

2.2.1. Agua residual

Las aguas residuales se generan por diversas actividades humanas, provenientes de las casas, instituciones, fábricas, etc.; estas resultan de la mezcla de líquidos y residuos siendo en su mayoría compuesta de agua aproximadamente (99.5%), y un bajo contenido de residuos pero que alteran las características físicas, químicas y biológicas. Su manejo actualmente es una problemática ambiental en la mayoría de países donde son vertidas sin tratamiento previo a cuerpos naturales de agua como en ríos, lagos, mares, etc.

Las aguas residuales se clasifican en:

- **Aguas residuales domésticas**, son aquellas que son producidas desde los hogares a través de actividades cotidianas del hombre por el consumo de agua potable tales como el aseo personal, lavado de ropa, lavado de trastes, preparado de alimentos, servicios higiénicos, etc.

- **Aguas residuales industriales**, son las aguas residuales que tienen origen en procesos industriales, el agua al ser usada se mezcla con subproductos sólidos o líquidos. Sus características físicas, químicas y biológicas varían de acuerdo a cada sector industrial.
- **Aguas residuales municipales**, son el resultado de la mezcla de las aguas residuales domésticas, las aguas de drenaje pluvial y las aguas residuales industriales previamente tratadas, todas estas enviadas al sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.2.2. Composición de las aguas residuales domésticas

Los elementos o componentes que se encuentran en las aguas residuales domésticas se clasifican en físicos, químicos y biológicos. Los parámetros de control de mayor seguimiento o importancia de las aguas residuales son los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los microorganismos patógenos, es por eso que en la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales se diseñan procesos y operaciones para su remoción. El estudio de caracterización de aguas residuales permite determinar que contaminantes están presentes y cuál es su nivel de concentración, como se muestra en la Tabla N°01.

Tabla 1. Composición de las aguas residuales domésticas

Componente	Concentración Fuerte (mg/L)	Concentración Media (mg/L)	Concentración Débil (mg/L)
Sólidos Totales	1200	720	350
Disueltos	950	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80

Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosforo Total	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas y Aceites	150	100	50

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

2.2.3. Límite Máximos Permisibles (LMP)

Cabe mencionar que las aguas tratadas no serán vertidas a un cuerpo de agua natural sino que estas serán reusadas para el riego y como tal en teoría no aplica los LMP para este caso, pero se está tomando su cumplimiento como referencia.

Para la evaluación de las aguas residuales como las aguas tratadas (afluente y efluente) los valores de los parámetros encontrados serán comparados con los Límites máximos permisibles como referencia de riesgo que representaría este a la salud y al medio ambiente.

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 003-2010-MINAM.)

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
<i>Aceites y grasa</i>	mg/L	20
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	NMP/100ml	10,000

<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	mg/L	100
<i>Demanda Química de Oxígeno</i>	mg/L	200
<i>pH</i>	Unidad	6.5 – 8.5
<i>Sólidos Totales en Suspensión</i>	mL/L	150
<i>Temperatura</i>	°C	< 35

Fuente: (MINAM, 2010)

2.2.4. Proyecto Medio Ambiental “Manchay Verde”

Manchay Verde es un proyecto medio ambiental iniciado en el año 2008 por el Arzobispado de Lima con el Monseñor Adriano Tomasi, franciscano y obispo auxiliar de Lima, en coordinación con los voluntarios de la ONG católica francesa Fidesco y el apoyo de organizaciones, la municipalidad y voluntarios, se realizó como obra social, a fin de difundir el mensaje de la iglesia sobre el medio ambiente y actuar para salvar nuestro planeta mejorando la vida diaria de los pobladores de Manchay.

Objetivos del proyecto Manchay Verde:

- Tratamiento del agua residual para el riego por goteo para verdear las zonas de Manchay para mejorar el entorno reforzando la autoestima de los que arboricen.
- Educación ambiental, promoviendo las buenas prácticas ecológicas enseñando como actuar por nuestro planeta, animar mediante actividades pedagógicas para educar sobre los desafíos medioambientales especialmente a través de concursos inter-escolares.
- Difundir la evangelización a través de las actividades, el mensaje de una evangelización verde protegiendo la creación y favorecer intercambios sobre la encíclica de Laudato Si (Carta escrita por el Papa Francisco).

Historia:

- Enero 2009: Llega al instituto la ingeniera sanitaria de la Universidad de Trento. Encargada de estudiar y proyectar un piloto de fitodepuración.

- Febrero 2009: Primera reunión de información manejada por los voluntarios de Fidesco.
- Marzo 2009: Empezó la construcción del piloto
- Junio 2010: Primer Libro editado por Manchay Verde “EL AGUA, un recurso en Manchay si la cuidamos”, patrocinado por la fundación Santa Maria.
- Junio 2011: Empezó el primer concurso de reciclaje con 5 colegios de Manchay
- Mayo 2012: Empieza las obras para la planta de tratamiento en el instituto; pozo, laguna, humedal y riego por goteros, 7m³/d.
- Octubre 2012: Funcionamiento de la PTAR en el instituto
- Mayo 2014: Siembra de 75 árboles en el cerro del colegio Victor Raúl Haya de la Torre reusando 0.5m³/d de aguas grises.
- Noviembre 2014: Visita de 4 periodistas por la COP 20 en Lima.
- Junio 2015: Concurso inter-escolar medio ambiental, incluyendo: el concurso de reciclaje, olimpiadas ambientales y concurso de maqueta.



Figura 2. Participación de voluntarios de diversos colegios y organizaciones (Manchay Verde, 2015)



Figura 3. El proyecto cuenta con un área forestada de 6 hectáreas.



Figura 4. Proyecto Manchay Verde y el Instituto Trentino Juan Pablo II
(Manchay Verde, 2015)

2.2.5. Planta de tratamiento “Manchay Verde”

La planta de tratamiento de aguas servidas del Instituto Trentino Juan Pablo II de Manchay fue desarrollada por “Manchay Verde” entre los meses de julio y octubre del 2012, al cabo de varios meses de preparación. Este proyecto, que continuó ampliando la experiencia para el tratamiento de las aguas residuales y la reutilización de estas, con varios objetivos complementarios. Las aguas servidas que no se evacuan no constituyen solamente un problema, sino también una oportunidad de mejorar el ambiente y las condiciones de vida en Manchay a la vez que preservamos este preciado recurso.

La planta de tratamiento fue diseñada con el objetivo de reutilizar las aguas servidas lo más ecológicamente posible, este tratamiento es necesario antes de reutilizar el agua para riego, ya que son aguas grises y negras mezcladas que representan un riesgo para salud y el ambiente.

Para ello se recupera todas las aguas servidas del Instituto Trentino Juan Pablo Segundo, incluyendo las aguas de las cocinas y de los baños y tratamos las aguas de forma física y biológica en varias etapas:

2.2.5.1. Trampa grasa

Proceso físico donde se separa por diferencia de densidad aceites y grasas, solidos sedimentables y flotantes del agua servida. Instalada especialmente en los comedores.

Las dimensiones de la trampa de grasa, de ancho interior de 1 metro, 2 metros de largo, 1 metro de altura y un volumen de 2 m³. Esta trampa instaló en marzo 2014.

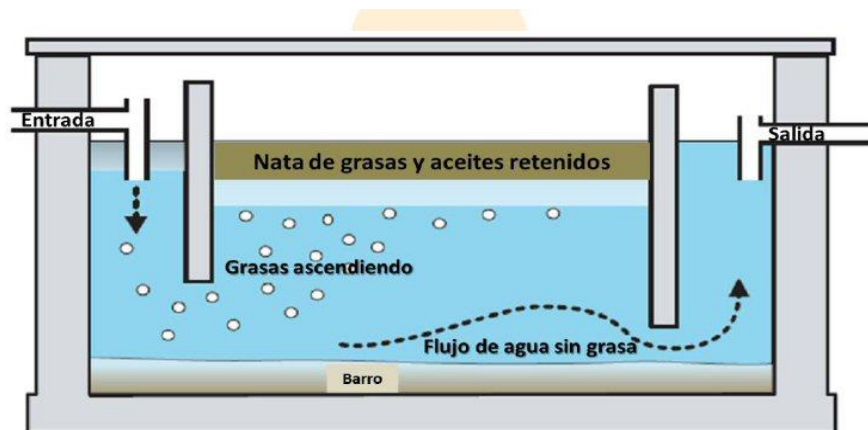


Figura 5. Esquema de funcionamiento de la trampa de grasa (Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016)



Figura 6. Trampa de grasa instalada en el comedor Juan Pablo II

2.2.5.2. Pozo sedimentación o tanque séptico

Proceso físico-químico que separa por acción de la gravedad sólidos sedimentables. Cuenta con dos pozos de sedimentación donde se separan los residuos sólidos y flotantes de los residuos líquidos.

Este pozo tiene como dimensiones internas 2.2 metros de ancho, 6.8 metros de largo, 1.8 metros de altura y un volumen de 27 m³. Una primera bomba de 20 HP está mandando el agua hasta la siguiente etapa, hacia la laguna de oxidación.

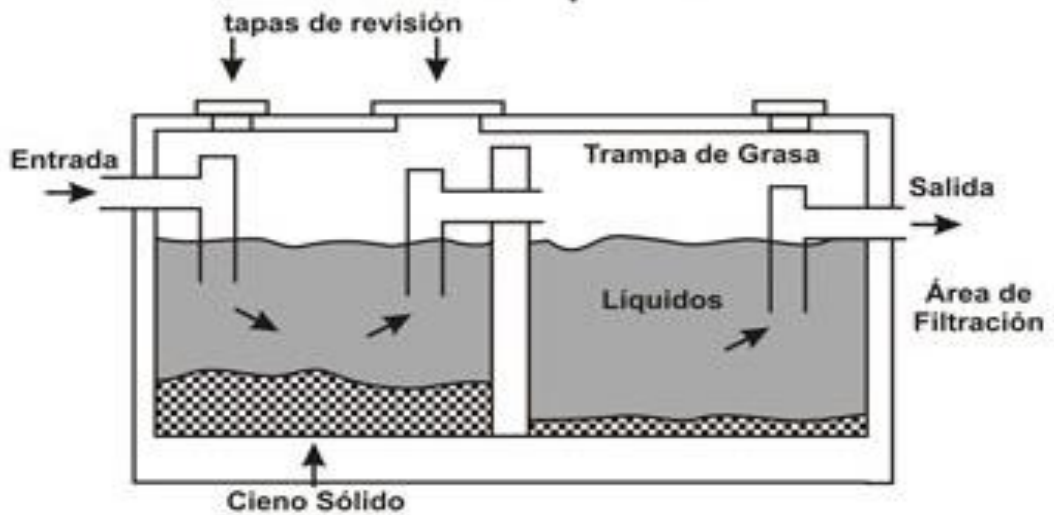


Figura 7. Esquema de funcionamiento de pozo de sedimentación



Figura 8. Pozo de sedimentación de la PTAR Manchay Verde

2.2.5.3. Estanque de estabilización aerobia

Proceso bioquímico en donde se transforman las impurezas (material orgánico) en gases, biomoléculas (nutrientes) por acción de algas, bacterias, hongos, protozoarios, la luz solar y el viento.

La laguna de oxidación está ubicada a media pendiente (20 metros de altura relativa), que realiza un primer tratamiento de las aguas servidas y permite dividir en dos secciones la subida del agua. La laguna tiene una capacidad máxima de aproximadamente 15 000 litros (dimensiones internas

570x370x75 cm). Con un nivel de agua fija en 0.6 metros, el volumen útil esta de 12.7 m³.

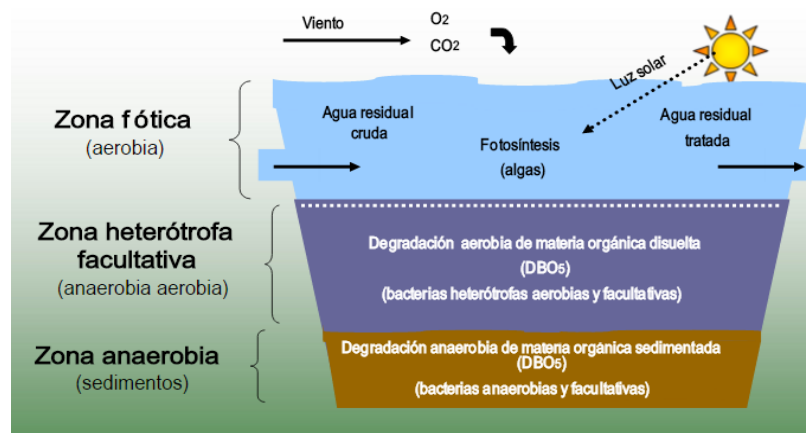


Figura 9. Esquema de funcionamiento de la laguna de estabilización (Tratamiento del agua, 2016)



Figura 10. Laguna de estabilización de la PTAR Manchay Verde

2.2.5.4. Humedal Artificial

Proceso biológico y de filtración donde las raíces de las plantas acuáticas (Juncos) contienen microorganismos que modifican nutrientes y otros compuestos presentes en el agua.

Está ubicada en la cima del cerro (55 metros de altura relativa), realiza la mayor parte del tratamiento del agua y se conecta al sistema de riego. El

humedal tiene como dimensiones internas 6.20 metros de largo, 4.20 metros de ancho y 62 centímetros de alto, esto es un volumen de 15.6 m³.

Está relleno en los extremos (ingreso y salida) con piedra chancada en un ancho de 100 y 150 cm. En el medio, se han colocado una capa de piedra confitillo de 25 cm, una capa de arena gruesa de 15 cm, y otra capa de piedra confitillo de 25 cm. El agua sale del humedal mediante un tubo hacia tres tanques plásticos con una capacidad total de 7,500 litros.

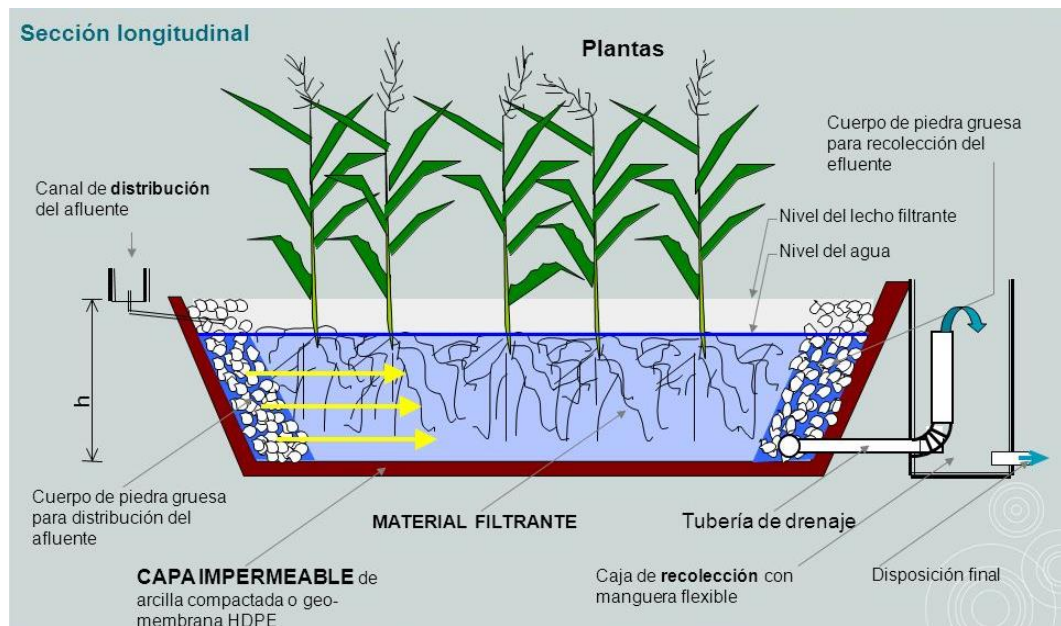


Figura 11. Esquema de funcionamiento del humedal artificial. (Sucher & Holzer, 1999)



Figura 12. Humedal artificial de la PTAR Juan Pablo II

2.2.6. Circuito de funcionamiento del sistema de tratamiento

El sistema funciona de manera automática con un conjunto de radares de nivel que activan y desactivan los 2 electros bombas. Como inicio la bomba que cuenta con una válvula check ubicada en la parte baja en el pozo séptico se activa cuando el nivel de agua en este está muy alto o cuando el nivel de agua en la laguna es muy baja, subiendo el agua hasta la laguna para oxigenarla y aprovechar de los rayos del sol que van a romper las moléculas de carga orgánica.

Luego subimos con otra hidro-bomba ubicada cerca de la laguna de oxigenación hacia un tanque de rotoplast con capacidad de 2500L ubicada muchos metros más arriba antes del ingreso al humedal, este tienen una llave de paso que regula el caudal de ingreso. El humedal artificial funciona como un filtro con arena, piedras de diferentes tamaños y juncos que se alimentan de la carga orgánica del agua.

El agua tratada se envía después a otros 3 tanques de rotoplast de 2500L de capacidad cada una, donde se almacenará el agua tratada, el sistema tenía una capacidad de tratamiento de 7500L por día (12 horas), actualmente es de 5000L por día (12 horas). Luego el agua tratada almacenada en los tanques será regada a través de un sistema de mangueras y goteros a los árboles.

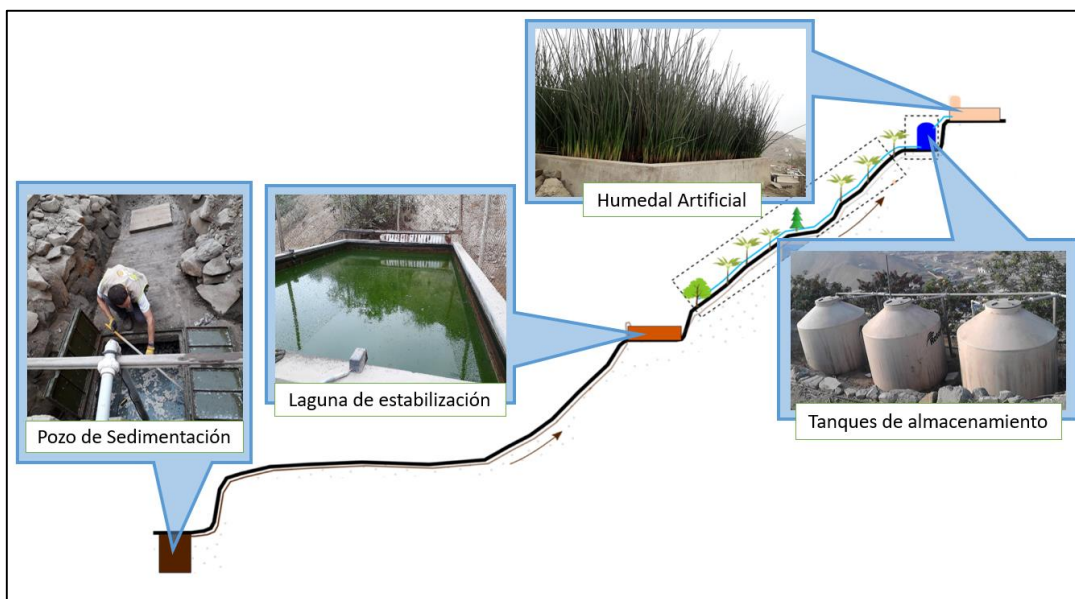


Figura 13. Circuito del tratamiento de aguas residuales.

2.2.7. Tratamiento biológico de aguas residuales

El proceso de tratamiento biológico consiste en aprovechar el metabolismo de organismos vivos para la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentables y para la estabilización de la materia orgánica disuelta en el agua, se puede tratar aguas residuales de distintas características y niveles de concentración siempre y cuando estas no tengan una elevada concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos que perjudiquen a los organismos vivos. (Metcalf & Eddy, 1995)

En el tratamiento biológico de aguas residuales se utiliza mayormente microorganismos, principalmente bacterias que convierten la materia orgánica coloidal y disuelta en gases y masa celular, pero no son los únicos organismos vivos que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales también están los hongos, protozoarios, micro algas, plantas acuáticas, etc. que reducen la materia orgánica presente y eliminan nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Los biofiltros son tratamientos de tipo biológico, reactores que utilizan materiales de empaque de origen orgánico e inorgánico estructuralmente diseñado para hacer pasar el agua contaminada y remover los residuos e impurezas indeseables, se utiliza un sistema complejo de organismos vivos que cohabitan en el reactor con la función de captar, transformar y estabilizar los contaminantes y nutrientes atrapados para su metabolismo. (Eweis, Ergas, Chang, D., & Schroeder, E., 1999)

2.2.8. Lombrifiltro o Técnica Tohá

Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales especialmente de los que contienen contaminantes orgánicos; los principales parámetros que remueve son: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes Termotolerantes (CF), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas.

El lombrifiltro es considerado una tecnología no convencional de tratamiento de aguas residuales, este biofiltro está conformado de varias capas o niveles con materiales filtrantes de origen orgánico e inorgánico donde habitan en asociación lombrices, hongos y bacterias que transforman y estabilizan los contaminantes atrapados del agua residual por proceso de metabolización.

El agua residual con carga orgánica es regada sobre el área superficial del lombrifiltro y va descendiendo a través de las capas filtrantes por acción de la gravedad y capilaridad donde los contaminantes van quedando inmobilizados; la materia orgánica de las aguas residuales es el contaminante principal y de gran importancia ya que a su vez es el alimento o sustrato para las lombrices que degradan y oxidan los compuestos retenidos del agua residual a depurar. (CONAMA, 2013)



Figura 14. Modelo de Biofiltro o Lombrifiltro de la Técnica Tohá (Sistema Tohá, 2013)

2.2.9. Historia del Lombrifiltro

Este sistema de tratamiento biológico fue creada por el Dr. José Tohá Castellá y desarrollada con sus colaboradores en el Laboratorio de Biofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad de Chile y fue patentada por la Fundación para la Transferencia Tecnológica a mediados de los años 90's. (Arango, 2003) (Guzmán, 2004) (TECSINOX, 2010).

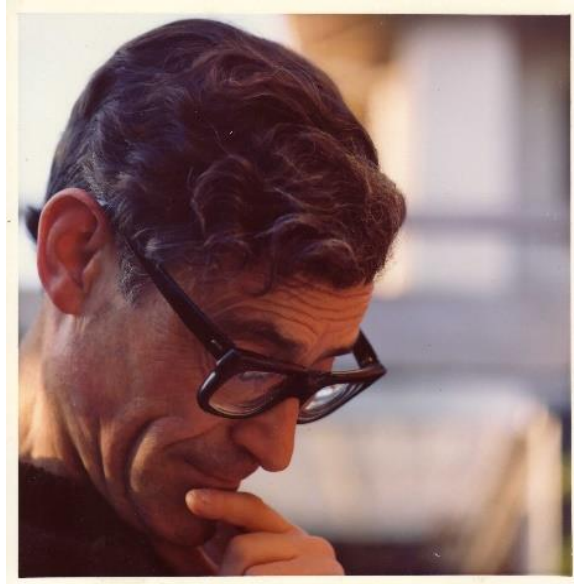


Figura 15. Dr. José Tohá Castellá (Sistema Tohá, 2013)

Esta técnica fue desarrollada como una propuesta de tratamiento y depuración de las aguas residuales de manera sustentable tanto ecológica como económica especialmente de las que tienen una alta carga orgánica. Las experiencias obtenidas en Chile desde 1994 con la implementación de esta tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas han sido con buenos resultados. (TECSINOX, 2010)

2.2.10. Funcionamiento del Lombrifiltro

El reactor del lombrifiltro tiene en su composición varias capas de diferentes materiales filtrantes que tiene como función principal retener los contaminantes del agua residual y un estrato de soporte que sirve como asiento del todo el

sistema y ayudar a descargar el agua tratada que va descendiendo por gravedad y por acción capilar.

La primera capa o capa superior del lombrifiltro está compuesta de material orgánico, mayormente se usa humus aunque también se usa una mezcla con compost, en este material habita gran cantidad de lombrices y microorganismos entre bacterias, hongos y protozoarios quienes digieren los contaminantes principalmente el de origen orgánico que queda retenida en esta capa. En la segunda capa o capa media del lombrifiltro se usa mayormente aserrín o viruta aunque también se usa hojarasca, esta capa orgánica cumple la función de retener los contaminantes mediante la absorción que a la vez servirá como alimento para las lombrices y la transformarán en humus. La tercera y última capa está formada de grava, piedras asentadas y ordenadas de mayor a menor tamaño sobre un falso fondo, esta capa provee soporte y aireación al sistema asegurando la permeabilidad del Biofiltro para facilitar la evacuación del agua tratada (Carmona, 2010)

El agua residual doméstica es regada de manera homogénea sobre el área superficial de la capa superior del lombrifiltro, las lombrices y microorganismos que habitan en esta capa digieren la materia orgánica que ha sido retenida mientras el agua continua atravesando las diferentes capas filtrantes por gravedad para emerger de la parte inferior del lombrifiltro con un aspecto mucho más claro (Arango, 2003)

Según Lay-Son (2002), citado por (Arango, 2003), para un apropiado funcionamiento del lombrifiltro, destaca que debe estar en estado de saturación en el cual debe regarse el agua residual de manera homogénea para que las lombrices puedan habitar completamente toda el área del biofiltro” y así las lombrices puedan disponer de alimento y humedad óptimos para su metabolismo caso contrario (Salazar, 2005), menciona que “si existe demasiada humedad en el lombrifiltro puede ocasionar problemas puesto que no se garantiza la sobrevivencia de las lombrices si hay demasiada saturación debido a que fallará la oxigenación del sistema” y si existen zonas de encharcamiento en la superficie

del biofiltro es peor, debido a que, ocasionarían zonas anaerobias matando a las lombrices por ahogamiento (Casas, 2009).

2.2.11. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Existe una amplia variedad de especies de lombrices de tierra aproximadamente 8000, de las cuales la especie de lombriz *Eisenia foetida* es la más conocida y empleada en más del 80% de los criaderos del mundo debido a sus propiedades y características al ser criadas en cautiverio.

Actualmente es la especie más cultivada en el mundo entero, dada su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales (pH, temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de apiñamiento.

Es hermafrodita incompleta (posee ambos sexos) y muy fecunda, se aparea cada siete días, ambas lombrices después del apareamiento ponen huevos o cápsulas, llamados cocón, que puede dar al nacimiento de una a veinte lombrices.

El promedio anual es de tres mil lombrices considerando las generaciones que se consiguen en el periodo. La incubación es de 14 a 21 días, maduran sexualmente a los 90 días. Tienen un peso de 0.5 a 1.0 gramos, una vida útil de 4 a 6 años.

Conceptos generales de la lombriz roja californiana:

- Es de color rojo oscuro
- Las lombrices viven manteniendo su cuerpo lo más mojado y húmedo posible pero no al extremo de ahogarse.
- Respira por medio de su piel, su boca tiene la única función de alimentarse y no cuentan siquiera con una nariz.
- Mide de 6 a 8 cm de largo, de 3 a 5 milímetros de diámetro y pesa hasta aproximadamente 1,4 gramos.

- No soporta la luz solar, una lombriz expuesta a los rayos del sol muere en unos pocos minutos.
- Vive aproximadamente unos 4,5 años y puede llegar a producir, bajo ciertas condiciones, hasta 1.300 lombrices al año.

La crianza de las lombrices puede realizarse en diversas partes del mundo siempre y cuando las temperaturas no superen los 40°C, pero al menos en un periodo no muy prolongado del año la temperatura promedio debe ser inferior a los 40°C, este balance de temperaturas en todo el periodo anual de crianza es beneficioso para las lombrices, por eso los climas templados son los ideales.

Estas lombrices, de 14°C a 27°C alcanzan la máxima capacidad de reproducción, se reproducirán menos durante los meses más cálidos y los más fríos. Cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.

La clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana (Alarcón, 2012):

- Reino: animal
- División: anélidos
- Clase: clitelados
- Familia: Lombrícidos
- Género: Eisenia
- Especie: Foetida



Figura 16. Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

2.2.12. Humus de Lombriz

Es un fertilizante orgánico con un gran contenido de fibra bacteriana que va de 40 a 60 millones de microorganismos por centímetro cúbico, con una capacidad de regenerar tierras erosionadas y enriquecer suelos infértiles. Su uso en la agricultura o jardinería reduce los gastos en compra de fertilizantes hasta en un 40%.

Tiene una elevada solubilización, debido a su composición bacteriana y enzimática, por lo que su asimilación y absorción por las raíces de las plantas es rápida. Aumenta notablemente el porte de las plantas, árboles y arbustos, además las protege de enfermedades y aumenta su resistencia a las plagas, equilibra los cambios bruscos de temperatura y humedad.

El humus de lombriz contiene cinco veces más nitrógeno, siete veces más fósforo y dos veces más potasio que el mismo material que ingirieron. Los valores de la producción del lombricompuesto humus; siendo un gramo el peso promedio de una lombriz adulta, este ingiere lo que pesa en un día de los cuales el 60% se convierte en humus (0.6 gramos).

La lombriz roja californiana avanza excavando en el terreno o sustrato a medida que se alimenta depositando sus deyecciones, convirtiendo este terreno en uno mucho más fértil que el que pueda lograrse con los mejores fertilizantes artificiales.

2.2.13. Las lombrices como transformadoras de residuos orgánicos.

Una de las funciones de las lombrices rojas californianas en el biofiltro es de mezclar y airear u oxigenar, la otra función es de ser biodigestores. Las lombrices son capaces de remover contaminantes del agua residual específicamente los parámetros Demanda Química de Oxígeno entre 80-90%, Demanda Bioquímica de Oxígeno en más de 90%, los Sólidos Suspendidos totales entre un 90-95% y Solidos Totales Disueltos entre 90-92% por medio de

mecanismos de digestión, biodegradación y absorción a través de las paredes de su cuerpo.

Las lombrices incrementan la aireación y conductividad hidráulica en el biofiltro, cuando las lombrices se movilizan granulan las partículas de arcilla evitando que se compacten, esta transformación física lo realizan al mezclar, triturar y movilizar partículas propiciando condiciones aerobias en el medio.

En la figura 17 se observa a las lombrices realizando la función de aireadores en el sistema. Las lombrices al excavar pequeñas galerías permiten que el aire, el agua y los nutrientes se filtren.

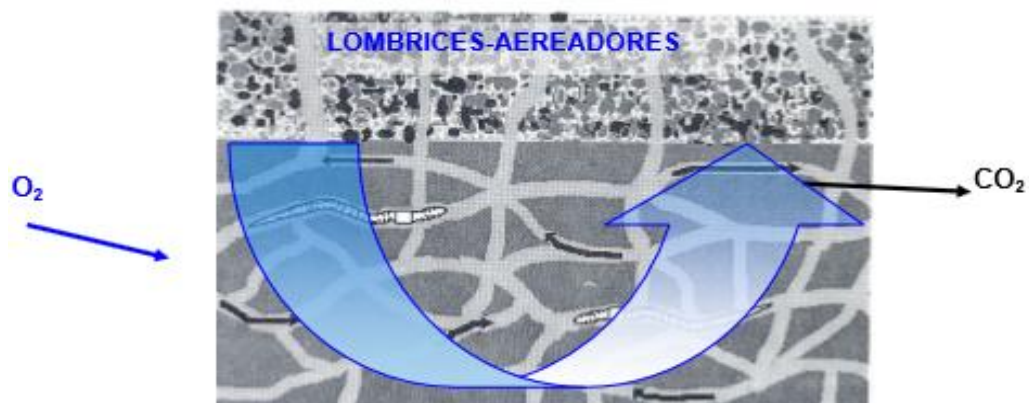


Figura 17. Función de las lombrices como aireadores (Capistrán, 2001)

Las pequeñas galerías generadas por la excavación de las lombrices favorecen a que en el medio circule el oxígeno y que el sistema se ventile, permitiendo que la degradación sea en condiciones aerobias y evitándose la generación de gases con malos olores, además las lombrices secretan una sustancia gelatinosa que favorece el desarrollo y crecimiento de microorganismos en todas las paredes de las galerías.

De acuerdo a Rodale, 1971, las lombrices succionan el alimento por la boca gracias a la bomba succionadora que se encuentra ubicada en la faringe, el alimento desde que es succionado a la boca se encuentra con enzimas como la amilasa luego en el esófago existen las glándulas de Morren que segregan carbonato de calcio, compuesto químico que ayuda a neutralizar el pH de

alimentos ligeramente ácidos, finalmente en la molleja el material es molido antes de ser digerido mezclándose con enzimas como la mucina.

En el tracto digestivo de la lombriz se lleva a cabo una acción enzimática endógena producto de los jugos digestivos que son ricos en hormonas, enzimas y otras sustancias fermentativas que ayudan al proceso de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y también se lleva a cabo una acción enzimática exógena producto de la actividad bacteriana. Al intestino llega el alimento completamente molido y químicamente modificado, estructurándose las micelas que son las moléculas base del humus. Las excretas o turrículos se forman como pelets cubiertos de una mucoproteína, que es una membrana peritrófica, que proporciona cohesión y soporte a la materia orgánica que favorece el crecimiento microbiano. El humus es un material fino con un gran contenido de bacterias y material orgánico, enriquecido con nitrógeno, calcio, magnesio, fósforo y potasio.

En la figura 18 se observan las funciones de la lombriz como biodigestores.

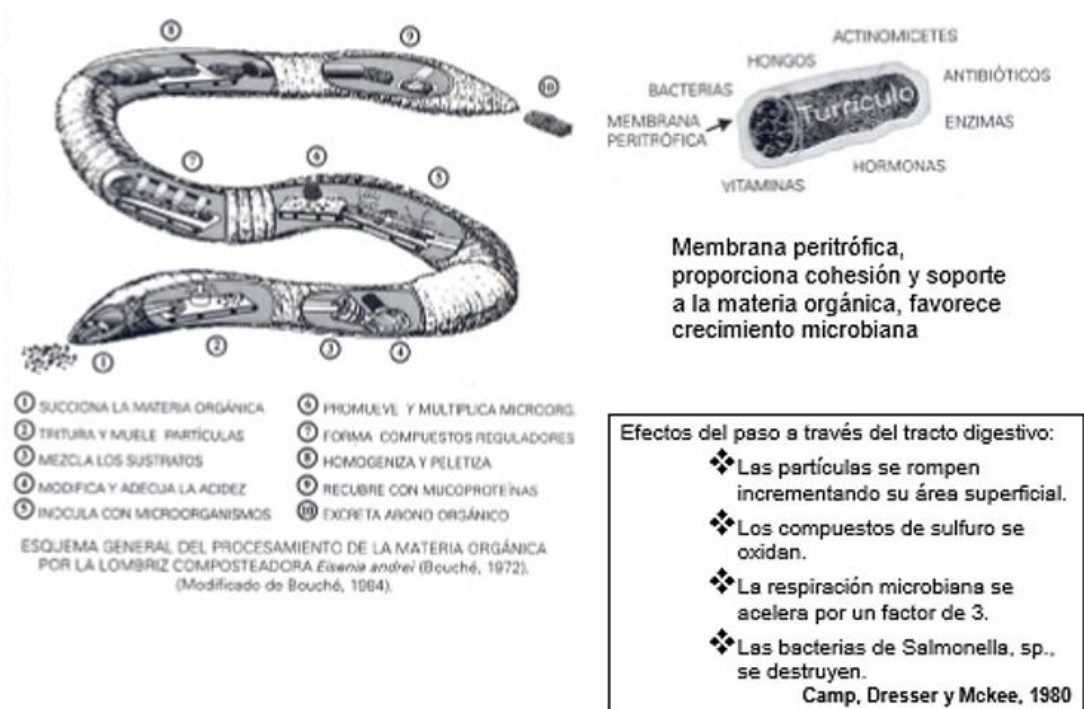


Figura 18. Función de las lombrices como biodigestores (Capistrán, 2001)

2.2.14. Eficiencia del Lombrifiltro

Esta tecnología no convencional de tratamiento de aguas residuales permite descontaminar el 100 % de las aguas servidas de origen doméstico ya sea que se generen de distintos usos o consumos, y también puede tratar aguas procedentes de actividades industriales siempre y cuando el contenido de compuestos tóxicos no sea muy elevada ya que perjudicaría directamente a las lombrices.

De acuerdo a (Guzmán, 2004), “la eficiencia del Biofiltro ha sido determinada en base a estudios de las experiencias de su aplicación llegando a determinarse que para aguas servidas el sistema permite el tratamiento de 1000 litros por metro cuadrado por día. Es decir se necesita 1 m² efectivo de Biofiltro para tratar 1 m³ de aguas servidas”. Es una estandarización en cuanto a las experiencias adquiridas mediante el uso del lombrifiltro, siendo del lado del operador hacer un cálculo del caudal de operación y suministrar mediante el riego esos 1000L en todo el día, puede ser de manera continua o por intervalos de tiempo.

También la Fundación para la Transferencia Tecnológica (2005), citado por (Hernández, 2005) corrobora lo anteriormente descrito al señalar que “se sugiere 1 m² efectivo de Biofiltro para tratar 1 m³ de aguas servidas diarias” y añade que “para tratar 1 m³ de residuos industriales líquidos se requerirá mayor superficie, debido a los parámetros contaminantes que posee”. Según Lay-Son (2002), citado por (Hernández, 2005), destacan que “el dimensionamiento del Lombrifiltro va a depender del propósito para el cual fue diseñado”. Según a lo citado el dimensionamiento del área del lombrifiltro es directamente proporcional al volumen de agua residual a tratar, lo que equivale a decir que si tenemos cierta generación de volumen de agua residual por día basándonos en la estandarización de los autores citados, es el área una variable más no la altura.

En la Tabla N°03 se muestra el índice de eficiencia estimada de remoción de contaminantes respecto a cada parámetro de control, esto varía en base a las características y condiciones del diseño del lombrifiltro.

Tabla 3. Eficiencia estimada del Lombrifiltro

Parámetro	Eficiencia %
<i>DBO5</i>	90
<i>Aceites y Grasas</i>	90
<i>Sólidos Suspendidos</i>	95
<i>Nitrogeno Total</i>	60 a 80
<i>Fosforo Total</i>	80
<i>Coliformes Fecales</i>	99

Fuente: (TECSINOX, 2010) (CONAMA, 2013)

2.2.15. Ventajas y desventajas

De acuerdo a (Arango, 2003) las ventajas y desventajas que se destacan del Lombrifiltro como tratamiento de aguas residuales son:

Ventajas:

- Tienen bajo costo de construcción y de operación: No requieren de materiales sumamente costosos ni difíciles de conseguir tampoco necesita insumos químicos, su construcción es sencilla y no necesita de una alta tecnología ni personal altamente calificado. Solo requiere energía para distribuir en forma de riego el agua contaminada sobre el lecho filtrante.
- El filtro no se colmata: El lombrifiltro no se impermeabiliza debido al desplazamiento de las lombrices por todo el lecho del biofiltro creando pequeños canales o galerías en el humus permitiendo porosidad y permeabilidad en el Biofiltro.
- No genera lodos residuales inestables: Todos los contaminantes sólidos y líquidos orgánicos contenidos en el agua residual es biodegradado y transformado en humus de manera que no hay producción de lodos inestables a comparación de las tecnologías de tratamiento convencionales.

- Produce humus de lombriz, un abono orgánico y natural: Este abono es muy usado en la agricultura y jardinería por sus múltiples beneficios y es muy cotizado en el mercado, puede ser extraído del lombrifiltro cada cierto tiempo cuando el estrato de soporte aserrín sea consumido por las lombrices.

Desventajas:

- Necesita de bombeo constante: El lombrifiltro debe ser permanentemente regado con las aguas residuales debido a que el material orgánico que contiene es el alimento para las lombrices y en periodos largos sin riego sería perjudicial.
- Sensible a sustancias tóxicas y a variaciones bruscas de pH: Debido a que en el sistema habitan organismos vivos estos son muy sensibles y resultan perjudicados tanto al ingerir o estar en contacto con estos compuestos.
- Reposición del sustrato de soporte: Aproximadamente cada año el material de soporte aserrín debe ser reemplazado por uno nuevo para reponer el anterior que ha sido transformado en humus.

2.3.- Definición de términos básicos

- **Afluente:** Es el ingreso del agua residual a una unidad de tratamiento o planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- **Efluente:** Es la salida del agua residual tratada de una unidad de tratamiento o planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- **Materia Orgánica:** La materia orgánica de origen animal o vegetal presente en las aguas, proviene de combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y

nitrógeno. Los principales grupos de compuestos de este tipo presentes en las aguas residuales son los hidratos de carbono, las proteínas, los aceites y grasas, y los productos de la descomposición de los mismos.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Permite determinar la materia orgánica biodegradable. Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia de los microorganismos. Mide únicamente la materia orgánica.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la cantidad de oxígeno consumido por los agentes químicos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos. Efectúa la determinación del contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no. Mide la materia orgánica e inorgánica.
- **Sólidos Totales (ST):** Son todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua que no son líquidos ni gases. Se pueden clasificar en sólidos disueltos y sólidos en suspensión.
- **Coliformes Fecales (CF):** Son considerados indicadores de contaminación del agua y alimentos. Son un grupo de especies bacterianas. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que es necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos. Se distinguen, por lo tanto, los “Coliformes Totales” que comprenden la totalidad del grupo y los “Coliformes Fecales”, aquellos de origen intestinal.
- **Caudal:** Es el volumen de agua que pasa por un área dada en una unidad de tiempo. La cantidad de fluido que circula a través de la sección de una tubería, cañería, oleoducto, río, canal, etc. por una unidad de tiempo.
- **Tiempo de Retención Hidráulica (TRH):** Es el tiempo que una unidad de fluido o líquido permanece en un recipiente hasta salir del mismo.

- **Infiltración:** Es el proceso por el cual el agua en la superficie entra al suelo. Está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar.
- **Material filtrante Vermicomposta:** Es la primera capa del lombrifiltro, material de empaque orgánico completamente estabilizado que cumple la función de sustrato para albergar a las lombrices y a los microorganismos además es la capa donde se retiene la gran parte de los sólidos y contaminantes disueltos en el agua residual y se comienza el proceso de estabilización de la materia orgánica.
- **Material filtrante Aserrín:** Material de empaque que tiene la característica de descomponerse fácilmente, cumple la función de lecho filtrante de soporte, retiene sólidos y otros contaminantes disueltos en el agua, capa orgánica que a su vez sirve de alimento para las lombrices, mayormente se usa aserrín de madera blanca ya que el aserrín de la madera rojiza contiene taninos que resultan tóxicos para las lombrices. Este material soporte se cambia cada cierto periodo de tiempo como parte del mantenimiento ya que se transforma en humus de lombriz.
- **Material filtrante Grava:** Componen las últimas dos capas del lombrifiltro, son de material inorgánico conocidas con el nombre común de piedras en la que se lleva a cabo una estabilización y remoción adicional de contaminantes gracias a la biocapa que se desarrolla en su superficie. La tercera capa tiene grava triturada con una granulometría de 3/8" de pulgada, la cuarta y última capa tiene grava chancada con una granulometría de 1/2" pulgada que sirve como asiento de todo el sistema y ayuda a descargar el agua tratada.

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1.1. Metodología de la Investigación

La presente investigación asume un diseño pre experimental ya que se hizo un seguimiento a un grupo de prueba, antes y después del tratamiento. El tipo de investigación es de tipo aplicada ya que su fin es específico, por la utilización de conocimientos en la práctica y el nivel de la investigación es de tipo exploratoria por el tema y los objetivos.

Para procesar la información recolectada de campo y de los análisis de laboratorio los datos fueron introducidos y analizados mediante el software Microsoft Office Excel 2013, estos datos fueron tabulados y graficados estadísticamente, donde se hizo uso de la estadística descriptiva para poder determinar promedios, mínimos y máximos de remoción de contaminantes. Estos análisis de datos que se obtienen de los experimentos permiten estudiar el comportamiento del grupo experimental.

3.1.2. Diseño del lombrifiltro

El diseño del reactor lombrifiltro se realizó con el objetivo de poder implementar una nueva unidad de tratamiento primario, de manera que el agua residual doméstica pre-tratada del pozo séptico que ingresa al estanque de estabilización, 30% de caudal sea desviado y regado sobre el lombrifiltro y posteriormente el agua tratada sea descargada nuevamente al estanque de estabilización aerobia. El diseño es la base para poder construir e instalar el lombrifiltro, nos permite realizar el dimensionamiento del reactor, su capacidad de tratamiento y los materiales que serían necesarios para su construcción. En la figura 19 se aprecia las dimensiones reactor lombrifiltro.

La altura de cada capa filtrante tiene diferentes medidas, para determinar la medida de dichas alturas se tomó como referencia el estudio de (Salazar, 2005)

titulado “Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales”.

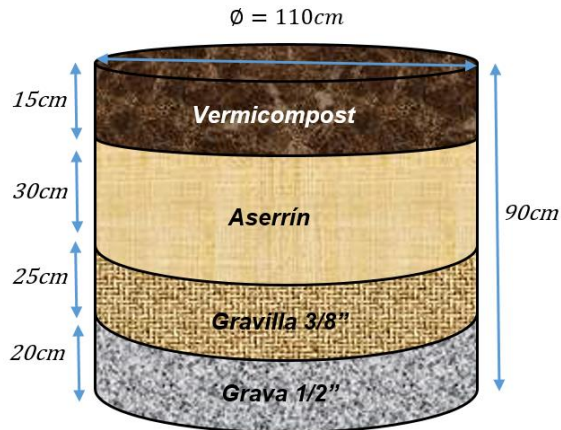


Figura 19. Diseño del sistema de tratamiento

Dimensiones del reactor lombrifiltro:

- Volumen del reactor (VR): $VR = \pi \times r^2 \times h = 0.85529m^3 \approx 0.9m^3$
- Área superficial (As): $As = \pi \times r^2 = 0.95033m^2 \approx 1m^2$

3.1.3. Construcción del lombrifiltro

Para la construcción del lombrifiltro se optó por trabajar con materiales que estén a nuestro alcance, sean fáciles de conseguir, y que sean económicamente más accesibles. Como primera etapa se inició con el inventario y recolección de los materiales necesarios para su posterior ensamblaje.

- **Recolección de los materiales y componentes del lombrifiltro:**

Tabla 4. Materiales para la construcción del lombrifiltro

Especificaciones	Unidad	Cantidad
Tanque de fibra de vidrio 1000L	Nº	1
Lombriz <i>Eisenia foetida</i>	Kg	4
Humus de Lombriz	Kg	18
Composta	Kg	12
Aserrín	Kg	20

<i>Grava pequeña 3/8"</i>	m ³	0,3
<i>Grava mediana 1/2"</i>	m ³	0,2
<i>Malla mosquitera</i>	m ²	3
<i>Aspersor</i>	N°	4
<i>Tubo de 1"</i>	m	4,5
<i>Niple de 1/2"</i>	N°	1
<i>Llave de paso 1/2"</i>	N°	1

- **Ensamblaje del lombrifiltro:**

- Para ensamblar los componentes del lombrifiltro uno de las partes más importantes es la estructura de soporte que contendrá todas las capas filtrantes, normalmente estas estructuras de soporte son de concreto pero en este caso se optó por un tanque de fibra de vidrio para agua de un volumen de 1000 litros de capacidad, adicional se lo acopló un niple y una llave de paso de 1/2 pulgada.
- .
- Luego se inicia con la colocación de una base de apoyo, para ello conseguimos dos mesones grandes de 55cm de alto 50cm de ancho y 210cm de largo cada uno, en estos mesones descansará la estructura el reactor lombrifiltro. Los dos mesones juntos fueron instalados con una inclinación de 5° grados aproximadamente para favorecer la salida de las aguas tratadas por la llave de paso de 1/2" pulgada hacia el estanque de estabilización. (Figura 20)



Figura 20. Instalación de la base de apoyo del Lombrifiltro

- Se procedió a la preparación de los tubos de ventilación para favorecer la oxigenación interna del lombrifiltro, para ello se procedió a cortar 3 tubos de 1" pulgada con una altura de 1,5 metros cada uno (Figura 21), se hicieron varios huecos pequeños con taladro en la parte baja para distribuir el oxígeno en el interior del lombrifiltro y también se hizo 4 huecos en el cabezal para el ingreso del oxígeno de la atmósfera, luego fueron previamente colocados dentro del tanque de fibra de vidrio.



Figura 21. Preparación de los tubos de ventilación

- Luego se procedió con el empaquetado manual de los materiales filtrantes previamente lavados dentro del tanque de fibra de vidrio, el primer material de empaque fue la grava mediana de 1/2" hasta una altura de 20cm luego se colocó una malla mosquitera para evitar que los materiales filtrantes que se coloquen posteriormente se mesclen entre sí, luego se colocó el siguiente material filtrante que era la grava pequeña de 3/8" hasta una altura de 25cm, luego se colocó otra malla mosquitera para posteriormente colocar el aserrín humedecido hasta una altura de 30cm y por último se colocó el compost, el humus y las lombrices hasta una altura de 15cm.



Figura 22 . Empaquetado y llenado de gravilla y aserrín

- Adicional se instaló un sistema de riego por aspersión, donde se requirió de 3 metros de manguera, 2 llaves de paso pequeños y 4 aspersores para regar cuatro cuadrantes de la superficie del lombrifiltro.



Figura 23. Instalación del sistema de riego por aspersión

3.1.4. Operación del lombrifiltro

- **Aclimatación de las Lombrices *Eisenia foetida*:**

Antes de colocar a las lombrices *Eisenia foetida* en el reactor lombrifiltro para iniciar el proceso tratamiento primario de la aguas residuales, es necesario que las lombrices pasen por un proceso de aclimatación para que logren adaptarse de manera progresiva a estar en contacto con las aguas residuales, de lo contrario exponerlas de manera directa dañaría la epidermis de las lombrices, incluso podría generar cambios bruscos de su entorno o hábitat afectando su metabolismo.

La etapa de aclimatación consistió en regar diariamente 3 litros de aguas residuales domésticas provenientes del pozo séptico a 2 cajas con sustrato (humus) donde habitaban todas las lombrices, estas cajas tenían agujeros en la base lo cual permitían evacuar el exceso de agua que escurría por infiltración pero a su vez mantener húmedo el sustrato necesario para la respiración de las lombrices, se regó 1,5 litros de agua residual por cada caja. (Figura 24).



Figura 24. Aclimatación a las lombrices con el agua residual

- **Cálculo del caudal de operación del lombrifiltro:**

Para poder trabajar de la manera más óptima es necesario poder determinar el caudal de operación, es uno de los parámetros más importantes ya que influye en la eficiencia del tratamiento, en el tiempo de retención hidráulica TRH e incluso en el comportamiento de la población de lombrices.

Para poder estimar el caudal se hizo el método de medición volumétrico que consistió en trabajar 3 niveles de abertura de la llave de alimentación, cada nivel de abertura tiene un caudal por calcular, para ello se colocó un recipiente graduado de 1,5 litros debajo de cada aspersor para captar las aguas residuales durante el tiempo de 1 minuto, luego se procedió a medir el volumen de agua residual recolectada, se repitió esta operación 3 veces por cada nivel de abertura para los 4 aspersores que riegan el agua sobre la superficie del reactor lombrifiltro. Las repeticiones se hicieron con el fin de tener mayor precisión en el cálculo del caudal óptimo (Figura 25).



Figura 25. Método volumétrico para determinar el caudal de operación.

Adicional a la determinación del caudal, también fue necesario estimar y evaluar el tiempo de retención hidráulica THR para cada nivel de abertura de la

llave de alimentación, donde se midió el tiempo en que tarda el agua desde que es regada en la superficie hasta llegar a la última capa del lombrifiltro.

3.1.5. Toma de muestras del afluente y efluente

Para la toma de muestras se establecieron 2 puntos o estaciones de muestreo en la entrada y la salida del Lombrifiltro, el primer punto se encuentra ubicado en una llave de paso antes de los aspersores de riego o de alimentación al que nombramos con el código “AR-2” y el segundo punto ubicado en la llave de paso de descarga del lombrifiltro con el código “AR-1”. (Figura 28)

Para evaluar el tratamiento del lombrifiltro se analizaron los siguientes parámetros de control: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), y Coliformes Fecales (CF), el parámetro sólidos totales en suspensión no fue considerado ya que en la caracterización realizada anteriormente por el proyecto Manchay Verde (Anexo C) las aguas residual provenientes del pozo séptico tienen una remoción muy elevada de éste parámetro, obteniéndose valores de 20mg/L de sólidos totales en suspensión, siendo valores muy bajos incluso comparándolas con los Límites Máximos Permisibles, por lo tanto no se consideró como un parámetro de control problema. Otro parámetro que no se consideró en la evaluación del lombrifiltro fue los aceites y grasas ya que estos son eliminados en la trampa de grasa y también en el pozo séptico.

El monitoreo y análisis de laboratorio se realizaron en dos fechas representativas de todo el periodo de evaluación con la finalidad de determinar cambios o tendencias de la eficiencia de remoción de contaminantes. El primer análisis se hizo el día 27 de marzo representado la eficiencia de tratamiento al inicio de la investigación; el segundo análisis se hizo el día 29 de abril representando la eficiencia de tratamiento al final de la investigación.



Figura 26. Toma de muestras realizado el día 27 de marzo.



Figura 27. Toma de muestras realizado el día 29 de abril.

Los análisis de laboratorio de los parámetros de control (DBO5, DQO y Coliformes Fecales) fueron realizados por los laboratorios ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L de la muestra tomada el 27 de marzo, y la muestra tomada el 29 de abril fue analizada por los laboratorios R LAB S.A.C ambos laboratorios acreditados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL)



Figura 28. Toma de muestras del afluente y efluente

3.1.6. Monitoreo de la población de lombrices

Uno de los objetivos del presente estudio fue evaluar el comportamiento de la población de lombrices *Eisenia foetida*, un indicador importante que permitirá analizar la viabilidad del sistema de tratamiento. Para lograr este análisis fue necesario llevar un registro del comportamiento de la población, donde se tomaron muestras por un periodo de tiempo de 30 días de las lombrices que habitaban en el lombrifiltro desde el día que se inició las operaciones de tratamiento de las aguas residuales. La toma de muestras, conteo, cálculo y registro de lombrices se realizó dos días a la semana específicamente cada martes y viernes durante toda la evaluación.

Para poder tomar las muestras se elaboró un extractor con madera y clavos de hierro, con las siguientes dimensiones: 10cm de ancho, 10cm de largo, con esto se obtuvo un área de 0.01m² (Figura 29).



Figura 29. Extractor para las muestras de población

El área superficial del Lombrifiltro de 0.950m² fue dividido en 4 zonas o cuadrantes (Figura 31) y en cada una de ellas se tomaba una muestra al azar ya que el total del sustrato vivo donde habitan las lombrices tiene las mismas condiciones de vida y por lo tanto se concluye que están distribuidos de forma homogénea. Se tomaba una muestra de los cuadrantes con el extractor

fabricado, se contabilizaba las lombrices y se las registraba en instrumento de recolección de datos (Tabla 7), para luego promediar el número de lombrices registradas para tener mayor representatividad. En las muestras se contaron las lombrices adultas, las juveniles y los huevos o cocones, donde a cada cocón se la consideró como un individuo más en la población.



Figura 30. Toma de muestras de lombrices



Figura 31. Zonas o cuadrantes del lombrifiltro

La metodología para determinar la densidad poblacional de lombrices que se usó fue la propuesta por (Schuldt, 1998) con la siguiente fórmula de cálculo:

$$\text{Número de lombrices (N}^\circ) = \frac{(\text{Lombrices extraídas(p)}) \times (\text{Área del lecho m}^2)}{\text{Área del extractor m}^2}$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de lombrices (N}^\circ)}{\text{m}^2}$$

3.2. RESULTADOS

3.2.1. Determinación del caudal óptimo de operación

Se trabajó con 3 niveles de abertura de la llave de alimentación, se colocó un recipiente graduado de 1,5 litros debajo de cada uno de los 4 aspersores para captar las aguas durante el tiempo de 1 minuto. Se realizó 3 repeticiones para mayor proximidad.

Tabla 5. Cálculo del caudal de operación del Lombrifiltro

Caudal (Q)(*)	Mediciones (mL/min)(**)				Promedio (mL/min)				Caudal total (L/min) (***)
	Asp1	Asp2	Asp3	Asp4	Asp1	Asp2	Asp3	Asp4	
Q ₁	220	210	240	210	226.6	230	253.3	220	0.929
	210	250	270	220					
	250	230	250	230					
Q ₂	510	450	425	450	511.6	451.6	441.6	436.6	1.8414
	500	425	450	410					
	525	480	450	450					
Q ₃	1250	1000	980	1100	1183.3	1050	1026.6	1010	4.2699
	1200	1100	1050	950					
	1100	1050	1050	980					

(*) Caudales con diferentes niveles de abertura de la llave de control (3 niveles)

(**) Se realizaron 3 repeticiones por cada nivel de abertura de la llave, para los 4 aspersores, tomando el promedio para obtener mayor precisión y proximidad

(***) Suma total de los caudales de los 4 aspersores que riegan la superficie del lombrifiltro

También se evaluó el tiempo de retención hidráulica (THR) para cada nivel de abertura de la llave de alimentación. En la tabla N°06 se registraron los tiempos.

Tabla 6. Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

Caudales (L/min)	Q₁	Q₂	Q₃
<i>Tiempos de retención</i>	<i>THR₁</i>	<i>THR₂</i>	<i>THR₃</i>
<i>Lombrifiltro</i>	<i>8h 40min</i>	<i>4h 30min</i>	<i>2h 40min</i>

De la experimentación anterior con los 3 niveles de caudal distintos se observó que en el primer caudal de 0.929L/min el tiempo de retención hidráulica fue muy elevada por lo que tarda mucho tiempo en filtrarse, el tercer caudal de 4.2699L/min en tiempos prolongados de riego mayores a 5min provocaba encharcamiento en la superficie por la saturación de agua en el lombrifiltro lo que no era favorable para las lombrices, aunque el tiempo de filtración es más corto se puede apreciar mucha turbidez en el efluente lo que se traduce en una mala eficiencia de tratamiento. En el segundo caudal de 1.8414L/min se pudo apreciar un riego más homogéneo que favorecía una filtración estable y constante durante un periodo de riego prolongado, por lo que se concluyó que el caudal más óptimo de operación es el segundo caudal.

3.2.2. Evaluación de la población de lombrices *Eisenia foetida*

Para poder determinar la densidad poblacional de lombrices se tomaba una muestra con el extractor al azar de las 4 zonas o cuadrantes que se dividió el lombrifiltro, donde se contabilizó las lombrices adultas, las juveniles y los huevos o cocones, donde a cada cocón se la consideró como un individuo más en la población, se las registraba en el instrumento de recolección de datos (Tabla N°07), para luego promediar el número de lombrices (p) de cada cuadrante y reemplazarla en la fórmula.

Se calculó el área superficial del Lombrifiltro y del extractor, datos que eran constantes en nuestro estudio. El promedio (p) de lombrices extraídas y contadas por cada cuadrante eran datos obtenidos en campo.

$$\text{Área superficial del Lombrifiltro (As)} = \pi \times r^2 = \pi \times (0.55\text{m})^2 = 0.950\text{m}^2$$

$$\text{Área superficial del Extractor (As)} = \text{Base} \times \text{Altura} = (0.1\text{m}) \times (0.1\text{m}) = 0.01\text{m}^2$$

$$\text{Número de lombrices (N}^\circ\text{)} = \frac{(\text{Lombrices extraídas(p)}) \times (\text{Área del lecho m}^2\text{)}}{\text{Área del extractor m}^2}$$

$$\text{Número de lombrices (N}^\circ\text{)} = \frac{(\text{Lombrices extraídas(p)}) \times (0.950\text{ m}^2\text{)}}{0.01\text{ m}^2}$$

$$\text{Densidad Poblacional} = \frac{\text{Número de lombrices (N}^\circ\text{)}}{\text{m}^2}$$

Tabla 7. Registro de la población de Lombrices Eisenia foetida

Semana	Muestreo	Fecha	Número de lombrices extraídas por zona (*)					Densidad Poblacional (**)
			Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Promedio(p)	
1	1	26/03/19	25	109	38	79	63	5985
	2	29/03/19	43	47	154	59	75	7125
2	3	02/04/19	41	43	48	81	53	5035
	4	05/04/19	45	51	63	78	59	5605
3	5	09/04/19	62	84	136	107	97	9215
	6	12/04/19	203	85	135	189	153	14 535
4	7	16/04/19	239	73	133	297	185	17 575
	8	19/04/19	224	172	187	247	207	19 665
5	9	23/04/19	224	134	182	278	204	19 380
	10	26/04/19	234	221	354	225	259	24 605

(*) El reactor Lombrifiltro se dividió en 4 zonas para mayor representatividad y obtener un promedio.

(**) Densidad poblacional que indica el número de lombrices por m² (N°Lombrices/m²)

La evaluación inició el 26 de marzo del 2019 y finalizó 26 de abril del 2019. Donde el comportamiento de la densidad poblacional de las lombrices se aprecia en el (Gráfico N°01).

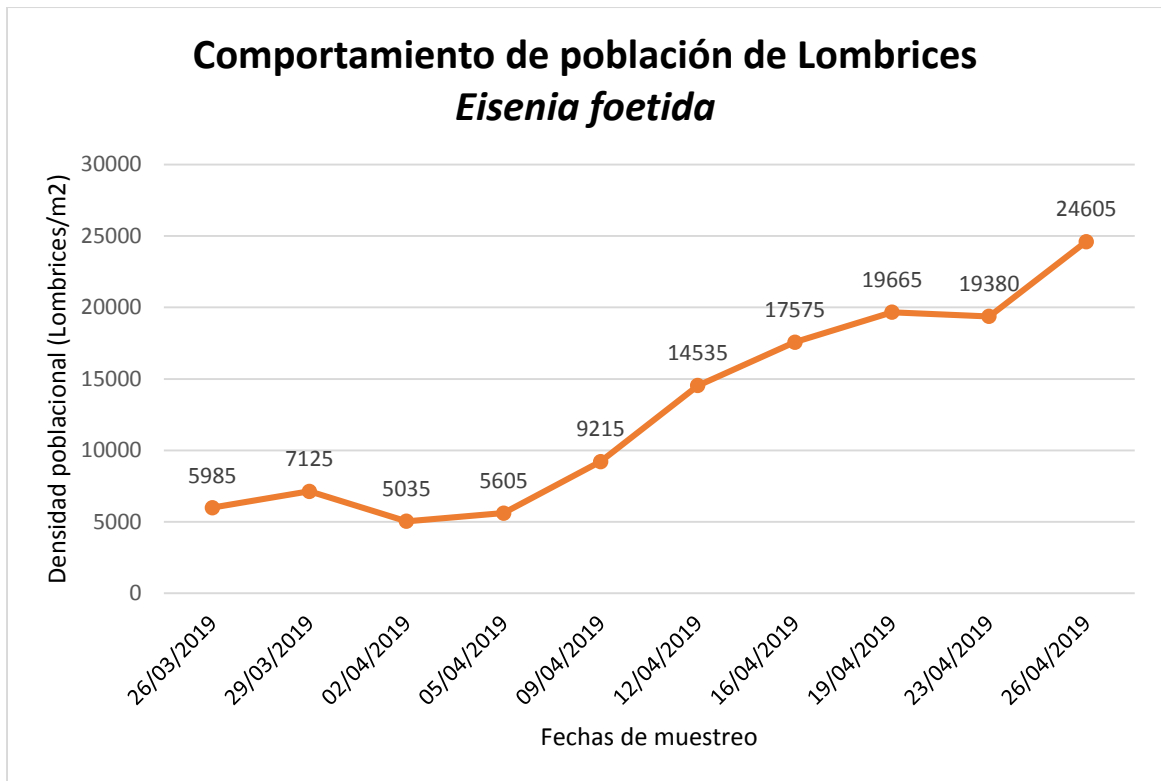


Gráfico N°01. Evaluación de la población de Lombrices del Lombrifiltro

En la gráfica anterior se puede apreciar la fuerte tendencia del crecimiento poblacional de las lombrices, para lo cual se hará el cálculo de la Tasa de crecimiento mensual de las lombrices:

$$Tasa\ de\ Crecimiento = \frac{Valor\ final - Valor\ inicial}{Valor\ inicial} \times 100$$

$$Tasa\ de\ Crecimiento = \frac{24\ 605 - 5985}{5985} \times 100$$

$$Tasa\ de\ Crecimiento = 311.1\%$$

Se obtuvo un crecimiento poblacional en el tiempo de un mes del 311.1%, una tasa de adaptabilidad bastante alto que se traduce como un indicador positivo de que las lombrices metabolizan los contaminantes como materia orgánica disuelta y nutrientes transformándola en energía para su supervivencia y reproducción, siendo el lombrifiltro un medio de vida ideal para las lombrices *Eisenia foetida*.

3.2.3. Resultados de los análisis del afluente y efluente

Los análisis de los parámetros de control (DBO₅, DQO y Coliformes Fecales) de las muestras tomadas el día 27 de marzo fueron realizados por los laboratorios ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L ubicada en el Callao con registro N° LE-096 Lima, mientras que las muestras tomadas el día 29 de abril fueron analizadas por los laboratorios R LAB S.A.C ubicada en Villa El Salvador con registro N° LE-103 Lima, ambos laboratorios acreditados por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

Los resultados del análisis monitoreados en las dos fechas al inicio y al final del periodo de evaluación del afluente y efluente se muestran en la Tabla N°08 y Tabla N°09 respectivamente.

Tabla 8. Parámetros de control antes del tratamiento con el Lombrifiltro

Parámetros de control	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Coliformes Fecales (CF)
Resultados (27/03/19)	155.4mg/L	795mg/L	<1.8NMP/100ml (*)
Resultados (29/04/19)	149.8mg/L	758.4mg/L	79x10 ⁴ NMP/100ml

Tabla 9. Parámetros de control después del tratamiento con el Lombrifiltro

Parámetros de control	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Coliformes Fecales (CF)
Resultados (27/03/19)	85.5mg/L	189mg/L	<1.8NMP/100ml (*)
Resultados (29/04/19)	6.8mg/L	69.4mg/L	49x10 ² NMP/100ml

A continuación se muestra las gráficas de comparación de parámetros del antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro

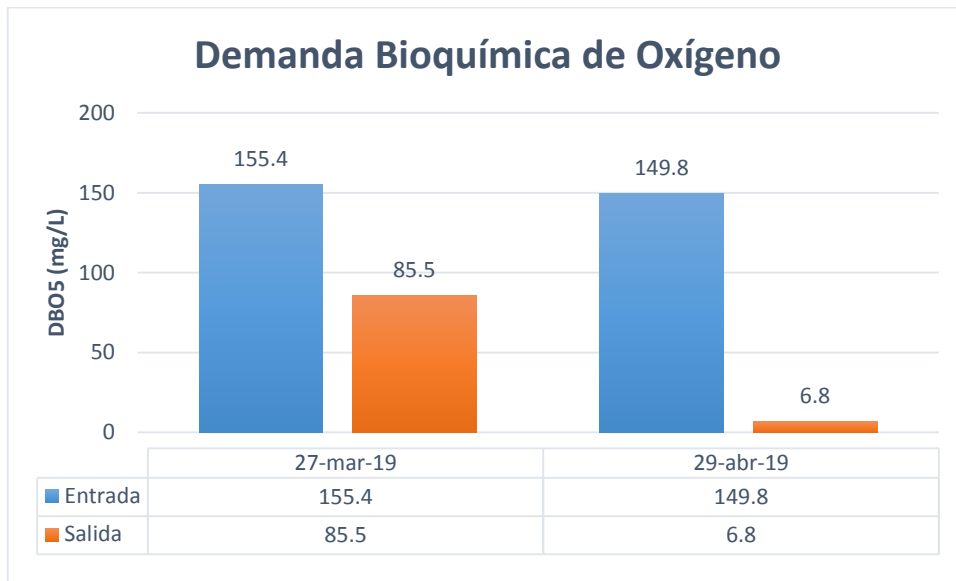


Gráfico N°02. Comparación del parámetro DBO₅ antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida*

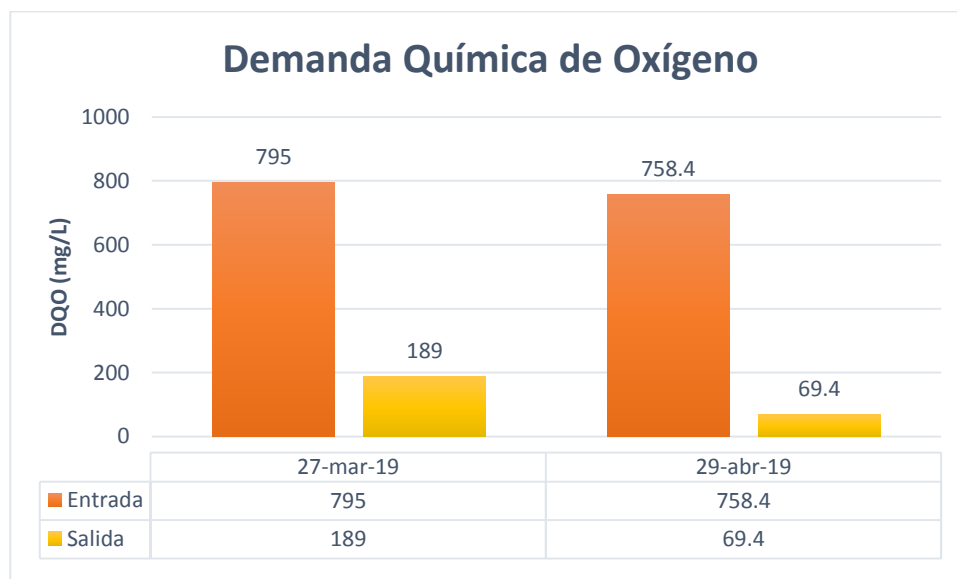


Gráfico N°03. Comparación del parámetro DQO antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies *Eisenia foetida*

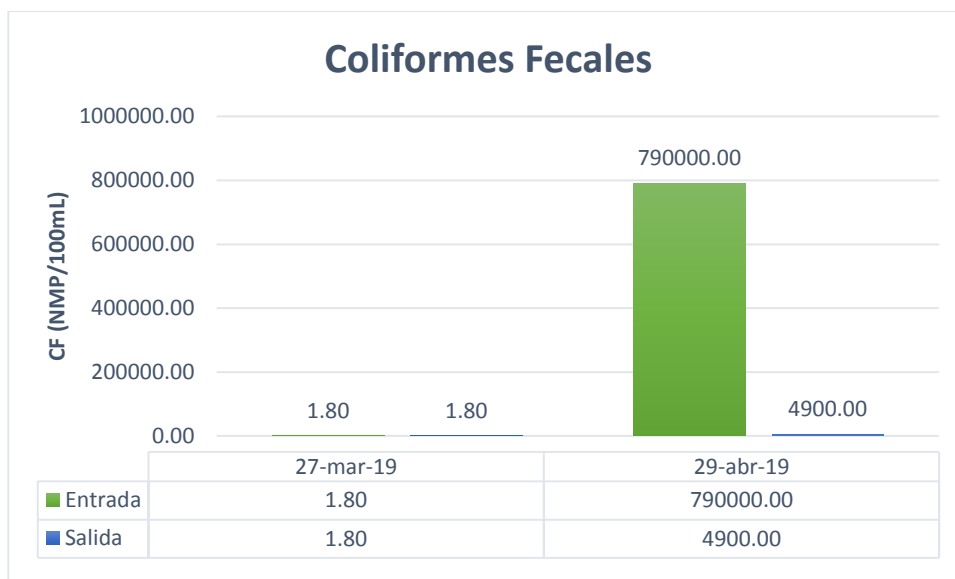


Gráfico N°04. Comparación del parámetro CF antes y después del tratamiento mediante el lombrifiltro con las especies Eisenia foetida

Se puede apreciar que los valores de la Demanda Bioquímica son elevados lo que se puede interpretar que el agua residual del pozo séptico tiene residuos disueltos de origen orgánico como carbohidratos, proteínas, aceites y grasas u otros provenientes de la descomposición de los mismos posiblemente provienen de las actividades desarrolladas en las cocinas y de los baños.

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno los valores son muy elevados posiblemente a causa de que el pozo séptico funciona como un tanque homogeneizador que capta, almacena y mezcla todas aguas residuales del instituto Juan Pablo II haciendo que eleve su concentración de contaminantes de origen orgánico e inorgánico.

El parámetro de control Coliformes Fecales o termotolerantes no superan los Límites Máximos Permisibles que estipula la norma por lo que no representa un peligro muy grave pero que sigue representado un riesgo de contaminación a diversas enfermedades.

(*) Se tuvo inconvenientes en el ensayo de laboratorio realizado el 27 de marzo por ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L para determinar el parámetro Coliformes Fecales puesto que por motivos internos del laboratorio que aún se

desconocen los valores del parámetro salieron muy por debajo del Límite de cuantificación del método es decir valores tan bajos que el ensayo no pudo detectarlo y cuantificarlo, algo que era casi imposible puesto que la muestra era agua residual doméstica. Otro punto a mencionar es que el laboratorio demoró más de fecha pactada en entregar los resultados, incidente que causa desconfianza en la realización de su trabajo.

3.2.4. Determinación de la tasa de eficiencia de tratamiento del lombrifiltro

Para poder determinar el porcentaje de eficiencia se hicieron los siguientes cálculos para cada parámetro de control (DBO₅, DQO, CF), antes y después del tratamiento con el Lombrifiltro.

a. Eficiencia en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción de la DBO₅ del Lombrifiltro

-Eficiencia obtenida al inicio de la evaluación (27 de marzo)

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ inicial} \times 100$$
$$Eficiencia = \frac{(155.4mg/l - 85.5mg/l)}{155.4mg/l} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 44.98\%$$

-Eficiencia obtenida al final de la evaluación (29 de abril)

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ inicial} \times 100$$
$$Eficiencia = \frac{(149.8mg/l - 6.8mg/l)}{149.8mg/l} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 95.46\%$$

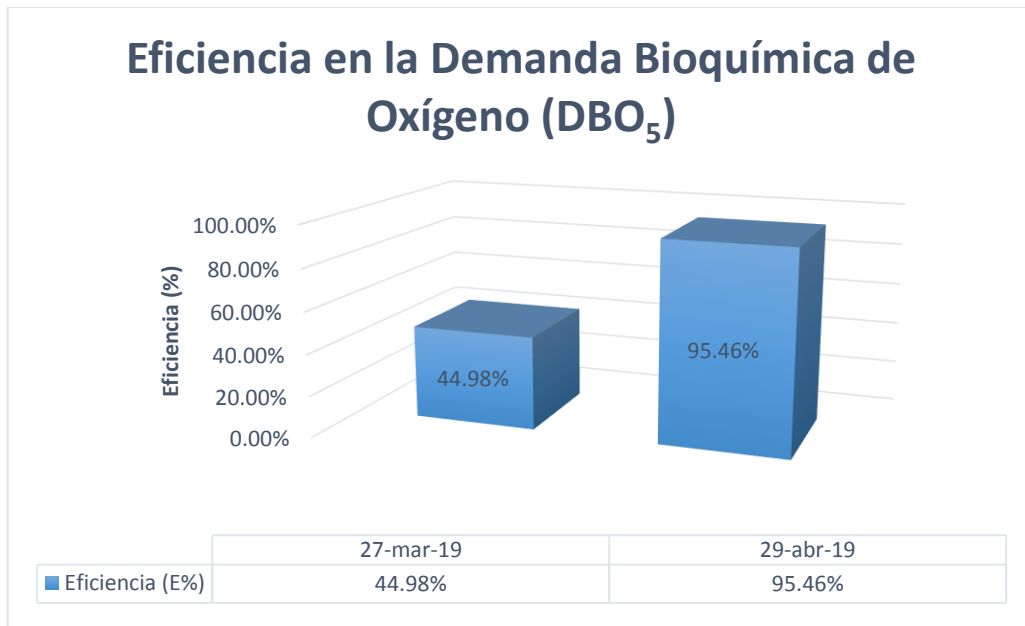


Gráfico N°05. Comparación de eficiencias al inicio y al final de la evaluación (DBO₅)

b. Eficiencia en la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción de la DQO del Lombrifiltro

-Eficiencia obtenida al inicio de la evaluación (27 de marzo)

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ inicial} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{(795\ mg/l - 189\ mg/l)}{795\ mg/l} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 76.22\%$$

-Eficiencia obtenida al final de la evaluación (29 de abril)

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ inicial} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{(758.4\ mg/l - 69.4\ mg/l)}{758.4\ mg/l} \times 100$$

$\%Eficiencia = 90.84\%$

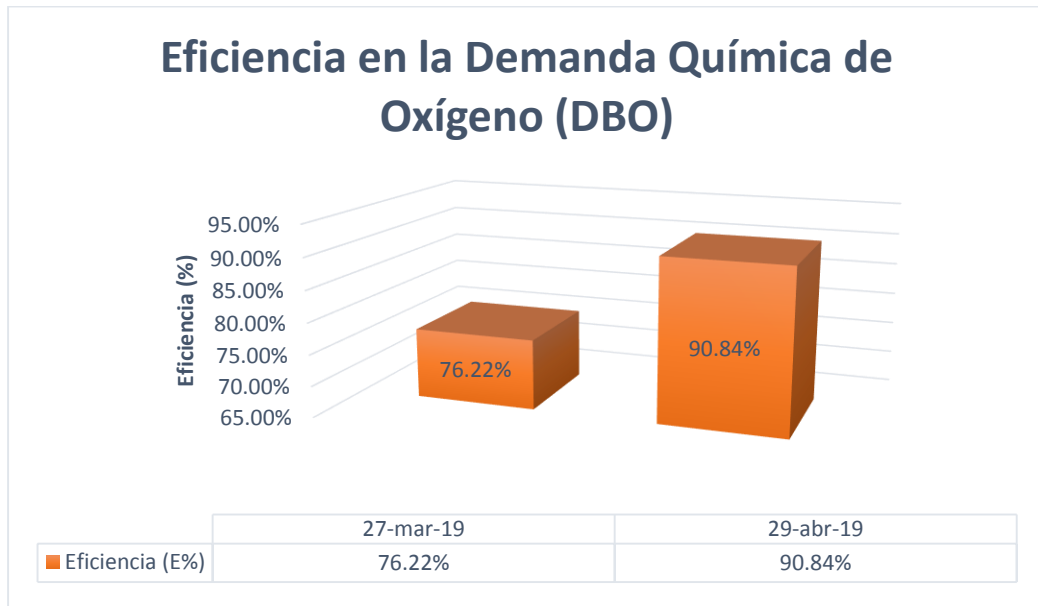


Gráfico N°06. Comparación de eficiencias al inicio y al final de la evaluación (DQO)

c. Eficiencia en los Coliformes Fecales (CF)

Cálculo de la tasa de eficiencia de remoción de CF del Lombrifiltro

-Eficiencia obtenida al inicio de la evaluación (27 de marzo)

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ inicial} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{\left[\left(< 1.8 \frac{NMP}{100ml} \right) - \left(< 1.8 \frac{NMP}{100ml} \right) \right]}{NMP/100ml} \times 100$$

$\%Eficiencia =$ No se precisa por el Límite de Cuantificación del método que uso el laboratorio (Anexo D) (*)

-Eficiencia obtenida al final de la evaluación (29 de abril)

$$\%Eficiencia = \frac{(Concentración\ inicial - Concentración\ final)}{Concentración\ inicial} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{(79 \times 10^4 NMP/100ml - 49 \times 10^2 NMP/100ml)}{79 \times 10^4 NMP/100ml} \times 100$$

$$\%Eficiencia = 99.37\%$$

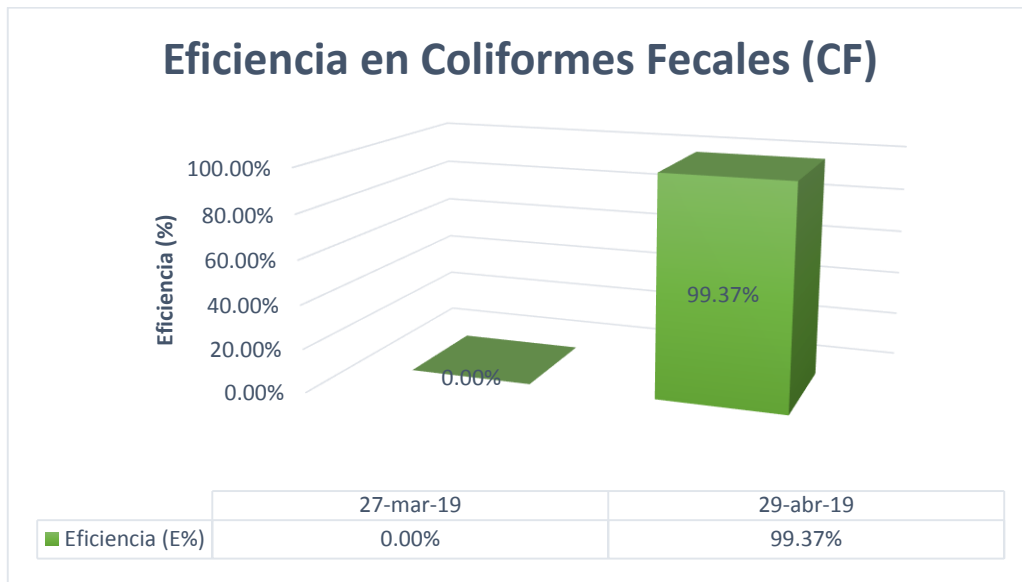


Gráfico N°07. Comparación de eficiencias al inicio y al final de la evaluación (CF)

A continuación en la Tabla N°10 se muestra las eficiencias alcanzadas en las dos fechas evaluadas al inicio y al final:

Tabla 10. Eficiencia del tratamiento del Lombrifiltro

Parámetros de control	Eficiencia (%) (27/03/2019)	Eficiencia (%) (29/04/2019)
<i>DBO₅</i>	44.98%	95.46%
<i>DQO</i>	76.22%	90.84%
<i>Coliformes Fecales</i>	-	99.37%
<i>Promedio total de Eficiencia</i>	60.60%	95.22%

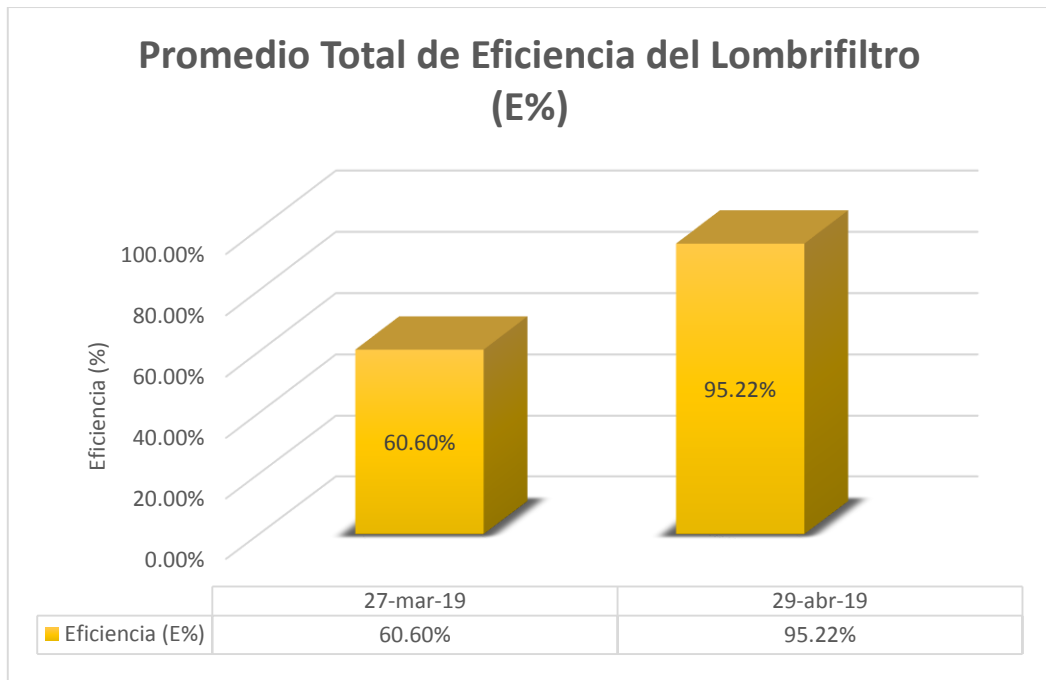


Gráfico N°08. Comparación del promedio total de eficiencia al inicio y al final de la evaluación

Se aprecia que los resultados de la eficiencia fueron favorables para ambas fechas de evaluación, pero la máxima o mejor eficiencia alcanzada es en la última fecha, con una mejora evidente respecto a la primera fecha concluyéndose que el tratamiento del lombrifiltro mejoró respecto al tiempo de los 30 días continuos que estuvo en operación. Los factores que contribuyeron a la tendencia de la mejora de la eficiencia del lombrifiltro son haber trabajado con caudales de operación óptimos, otro factor importante que influyó en el resultado es que la población de lombrices aumentó desde que se inició la evaluación lo que se traduce en que las lombrices *Eisenia foetida* se alimentan de la materia orgánica y bacterias de las aguas residuales que quedan atrapadas en la superficie del lombrifiltro.

DISCUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar al lombrifiltro como tratamiento primario, para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas del instituto Juan Pablo II.

Los resultados que se obtuvieron del análisis de los tres parámetros de control de las aguas residuales pre tratadas por el pozo séptico (afluente) demostraron que presentan concentraciones y valores característicos de las aguas residuales domésticas. Asimismo, presentó una concentración débil en la Demanda Bioquímica de Oxígeno de 155.4mg/L (Metcalf & Eddy, 1995). Por otra parte, presentó una concentración media de Demanda Química de Oxígeno de 795mg/L (Metcalf & Eddy, 1995). Y, en cuanto al parámetro microbiológico Coliformes Fecales o termotolerantes, se obtuvo una concentración débil de 79×10^4 NMP/100mL (Metcalf & Eddy, 1995).

Respecto a la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al inicio de la evaluación fue de un valor de 69.9mg/L (44.98% de remoción), y al final de la evaluación fue removido un valor de 142.2mg/L (95.46% de remoción), aunque en ambos casos los resultados fueron favorables, existen diferencias a considerarse de que el tratamiento obtuvo un mejor resultado después del arranque. Sin embargo esta remoción fue mayor a las mostradas en las investigaciones de (Coronel, 2015) quién consiguió un porcentaje de reducción de 84.38%, también fue mayor al de (Caicedo, 2017) quien obtuvo una remoción de 87.70% en DBO, y también fue mayor al de (Saboya, 2018) quien consiguió una remoción de 92% de DBO empleando a la especie de lombriz *Eisenia foetida*.

Por otra parte, respecto a la remoción de la Demanda Química de Oxígeno al inicio de la evaluación fue de un valor de 606mg/L (remoción de 76.22%), y al final de la evaluación se removió un valor de 689mg/L (remoción de 90.84%), en ambos casos los resultados fueron favorables para el tratamiento, aunque se pudo observar una tendencia de obtener mejores resultados de remoción respecto al inicio de la operación del lombrifiltro, así mismo (Coronel, 2015) en su investigación diseño e

implementación a escala de un biofiltro Tohá para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos - la Nube en Ecuador: Riobamba, logró un porcentaje de 51.69% de remoción de DQO. Por otro lado, (Caicedo, 2017) obtuvo una remoción mayor que la alcanzada en el presente estudio con una tasa de eficiencia de 92.2% en DQO, otra investigación desarrollada por (Saboya, 2018) consiguió una eficiencia del 86% en DQO.

Así mismo, en lo que respecta a Coliformes Fecales se experimentó una reducción importante, donde el valor de remoción que se obtuvo fue de 78.51×10^4 NMP/100mL representando una tasa de eficiencia de remoción de 99.37%, sin embargo el autor (Vicente, 2014) obtuvo un resultado similar obteniendo una tasa de remoción de este parámetro de 98.90%, asimismo el autor (Arango, 2003) obtuvo una eficiencia de 91.36% en remoción de Coliformes Fecales, otro autor (Caicedo, 2017) obtuvo una eficiencia de remoción 94% de este parámetro, por otro lado (Saboya, 2018) consiguió una eficiencia de remoción ligeramente menor de 84% en Coliformes Fecales.

Los resultados obtenidos del agua tratada por el lombrifiltro (efluente) fueron comparados con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que aprueba los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, donde se pudo observar que en las dos fechas de evaluación tanto al inicio como al final de los 3 parámetros de control DBO, DQO y CF cumplen con los límites establecidos en esta normativa, por otro lado las aguas residuales antes del tratamiento sobrepasan los Límites Máximos Permisibles sobre todo en Coliformes Fecales superando hasta en 79 veces más lo permitido, evidenciando el riesgo que representa a la salud y al medio ambiente.

CONCLUSIONES

- No hubo complicaciones en el diseño y construcción del Lombrifiltro, se tuvo que hacer unas revisiones bibliográficas para tener criterios en el manejo y gestión de los recursos a emplear, los materiales se podrían obtener a precios muy accesibles en las ferreterías y en la mano de obra no era muy exigente, por lo que se pudo comprobar y afirmar que una de las ventajas de este método de tratamiento biológico es el bajo costo de construcción, operación y mantenimiento.
- Es muy importante calcular un caudal óptimo ya que viene a ser un parámetro de operación determinante en el tratamiento de las aguas residuales por parte del Lombrifiltro, pues se pudo apreciar mediante el proceso de experimentación probando distintos niveles de abertura de la llave de alimentación que la turbidez del agua tratada aumentaba a medida que el caudal era mayor puesto que la presión y fuerza con el que el agua era regada, arrastraba y lavaba parte del sustrato humus y compost diluyéndola en el agua de tratada. En cambio al poder determinar el caudal de óptimo en este caso de 1.8414L/min se pudo apreciar un riego más homogéneo que favorecía una filtración estable y constante e incluso se podía operar en tiempos prolongados mayores a 20 minutos y los resultados positivos eran visibles.
- En la primera etapa de la evaluación de la población de lombrices se pudo observar un incremento de huevos o cocones de lombriz en el Lombrifiltro, por lo que se concluye que las lombrices se adaptaron al medio iniciando su reproducción. Se tuvo una población inicial de 5985 lombrices y al terminar la evaluación se calculó una población final de 24 605 lombrices obteniéndose un crecimiento poblacional en el tiempo de un mes del 311.1%, una tasa de adaptabilidad bastante alto que se traduce como un indicador positivo de que las lombrices metabolizan los contaminantes.
- Se realizaron dos análisis de laboratorio durante todo el periodo de evaluación, el día 27 de marzo se realizó la evaluación inicial y el día 29 de abril se realizó

la evaluación final con objetivo de poder observar cambios o tendencias en la eficiencia de tratamiento del Lombrifiltro, donde la eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales del Instituto Juan Pablo II más alta alcanzada fue: 95.46% Demanda Bioquímica de Oxígeno, 90.84% Demanda Química de oxígeno, 99.37% Coliformes Fecales y se obtuvo un promedio total de eficiencia del lombrifiltro del 95.22% esta eficiencia fue alcanzada en la evaluación final aunque en la evaluación inicial también hubo un resultado favorable pero no el ideal.

- En general se pudo observar y evidenciar mediante el presente estudio que el lombrifiltro es una gran propuesta y alternativa ideal como tratamiento primario de aguas residuales del instituto Juan Pablo II, ya que la remoción de contaminantes o carga orgánica por parte del lombrifiltro fue bastante alto, además otra ventaja que se obtuvo es que la población de lombrices incremento visiblemente resultado que fue muy satisfactorio ya que el beneficio del uso de estos seres vivos es diverso, por ejemplo en el tratamiento de residuos orgánicos razón por el cual tiene un gran valor en el mercado de fertilizantes orgánicos.
- Un beneficio adicional que se obtendrá por parte del lombrifiltro es que se cosecharán de manera periódica humus de lombriz, un fertilizante orgánico que puede ser usado en las plantaciones de árboles del proyecto Manchay Verde o incluso se puede comercializar para tener beneficios económicos.

RECOMENDACIONES

- Tener un buen sistema de aspersión que facilite un riego fino y homogéneo sobre la superficie del lombrifiltro, además que permita regular el control del caudal en diferentes niveles, facilitando encontrar el caudal óptimo de operación.
- Para obtener un color más claro y cristalino del agua tratada se recomienda usar aserrín de madera blanca, también lavar previamente los materiales de empaque antes de ser colocadas en el lombrifiltro. Además tomar en cuenta que hay una excepción en el uso del aserrín que posee una coloración rojiza debido a la presencia de taninos que resultan tóxicos para las lombrices.
- Para mejorar la remoción de sólidos y otros contaminantes se puede usar un filtro de carbón activado o complementarlo con un tratamiento terciario como un humedal artificial de flujo libre.
- Antes de iniciar el proceso de tratamiento del Lombrifiltro, es importante ir aclimatando a las lombrices al agua residual al que van a ser expuestos e ir registrando el Ph y la temperatura de estas aguas.
- Utilizar un caudal óptimo de operación que permita tener un tiempo de retención hidráulico medio, de manera que el agua residual permanezca en contacto con los materiales filtrantes en un tiempo moderado y así retener los contaminantes.
- Considerar como una variable la población de lombrices ya que es un aporte importante en la investigación, es un indicador que permite analizar la eficiencia y viabilidad del tratamiento del lombrifiltro, un aumento de la población indica la metabolización de contaminantes por parte de las lombrices y por otra parte una disminución indica la mortandad producto de la toxicidad de los contaminantes.

- A pesar que las lombrices tienen una gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4000 a 50 000 individuos por metro cuadrado según (Salazar, 2005) se recomienda no superar este límite de densidad poblacional ya que las lombrices estarían sometidas a un estrés por la falta de espacio, movilidad y alimento; por lo que también se recomienda cosechar las lombrices a manera de controlar la densidad poblacional si éste fuera el caso.
- Si se desea tratar un mayor volumen de aguas residuales es necesario aumentar el área superficial del lombrifiltro ya que éstas dos variables son directamente proporcionales, teniendo en cuenta que el método de lombrifiltro permite el tratamiento de 1000 litros de aguas residuales por metro cuadrado por día.
- Se recomienda asegurar un riego laminar y homogéneo sobre la superficie del lombrifiltro a lo igual que una buena evacuación y descarga del agua tratada, ya que si existe demasiada humedad puede ocasionar problemas para las lombrices puesto que no se garantiza la sobrevivencia de las lombrices si hay demasiada saturación debido a que fallará la oxigenación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, M. J., & Reyes, S. J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus Terrestis y Eisenia Foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua- Amazonas*. Bagua, Amazonas, Perú.
- American Public Health Association, American Water Association, Water Pollution Control Federation. (s.f.). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- Arango, J. (2003). Evaluación ambiental del Sistema Tohá en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas. *Biblioteca de la Universidad de Chile*.
- Caicedo, C. J. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y Agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca, Riobamba 2015.
- Capistrán, F. E. (2001). Manual de Reciclaje, Compostaje y Lombricompostaje. *Instituto de Tecnología*, 151.
- Carmona, C. (2010). Estudio del Comportamiento de una Mezcla de Aserrín y Grasa Láctea de Desecho. *Universidad Austral de Chile. : Biblioteca de la Universidad Austral de Chile*.
- Casas, F. (2009). Caracterización de los Sistemas de Tratamiento de Riles en la Industria Lechera y Propuestas de Mejora. *Biblioteca de la Universidad Austral de Chile*.
- CONAMA. (4 de Diciembre de 2013). *SINIA*. Obtenido de Tecnología de lombrifiltros. : CONAMA. (4 de Diciembre de 2013). Tecnología de lombrifiltros. http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_09.pdf
- Coronel, N. P. (2015). Diseño e Implementación a Escala de un Biofiltro Tohá en la Espoch para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Delgado, E. P., & Piñeros, C. J. (2016). *Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (Eisenia Foetida) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio*. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.

- Díaz, R. L., & Zafra, O. A. (2018). *Implementación de un lombrifiltro para el tratamiento de aguas residuales precendentes del camal municipal de Cajamarca en 2017*. Cajamarca.
- Eweis, J., Ergas, S., Chang, D., & Schroeder, E. (1999). *Principios de Biorrecuperación*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Guzmán, M. (2004). Estudio de factibilidad de la aplicación del Sistema Tohá en la planta de tratamiento de aguas servidas de la universidad Austral de Chile. *Universidad Austral de Chile. Biblioteca de la Universidad Austral de Chile*.
- Hernández, Y. (2005). Anteproyecto de construcción para aplicación de Lombricultura al tratamiento de planta Llau-Llao de Salmonera Invertec S.A. *Biblioteca de la Universidad Austral de Chile*.
- Manchay Verde. (2015). Obtenido de www.manchayverde.org
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. Madrid: Impresos y Revistas, S.A.
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N°003-2010-MINAM. *Limites Máximos Permisibles, Ministerio del ambiente*.
- Phillips, P. W. (Mayo de 2010). Obtenido de Phillips, P., Wolcott, R., Fletcher, J., & Schultz, G. (Mayo de 2010). Biofilms. Recuperado el 12 de Julio de http://www.woundsinternational.com/pdf/content_10739.pdf
- Recicluc. (2010). Obtenido de Recicluc.com
- Saboya, R. X. (2018). *Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas en el Distrito de Chachapoyas - Amazonas*. Chachapoyas, Amazonas, Perú.
- Salazar, P. (2005). Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales. *Biblioteca de la Universidad Austral de Chile*.
- Schuldt, M. (1998). Programación de muestreo en cultivos de *Eisenia foetida* (Annelida, Lumbricidae). Adecuación a diferentes alternativas de manejo. *Revista Argentina de Producción Animal*, 15.
- Sistema Tohá. (2013). Obtenido de <http://sistematoha.cl/newSistematoha/sistema-toha/>
- Sucher, & Holzer. (1999). *Su Biofiltro. Una Alternativa Viable para el Tratamiento de Agua Residual en Países Tropicales*.

- Sukhdeep, K., & Puneet, P. S. (2019). Kaur, Sukhdeep Vermifiltration Using Garden Waste as Padding Media for Treatment of Dairy Wastewater.
- TECSINOX. (2010). Tratamiento de aguas servidas sistema ecológico sin generación de lodos – sin emisión de olores. *Fundación para la Transferencia Tecnológica*.
- Tratamiento del agua*. (24 de Mayo de 2016). Obtenido de <http://www.tratamientodelagua.com.mx/laguna-facultativa/>
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. (27 de Enero de 2016). Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_31_tratamientos_minimos_requeridos_para_los_vertidos_industriales.html
- Vicente, J. (2014). Propuesta de diseño de un sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales producidas en la central termoeléctrica Sacha de la unidad de negocio Termopichincha - CELEC EP. *Universidad Tecnológica Equinoccial*.

ANEXOS

ANEXO A: Galería fotográfica del trabajo de investigación



Fotografía 1. Proceso de eutrofización en el estanque de estabilización



Fotografía 2. Colmatación del lecho filtrante del humedal



Fotografía 3. Encharcamiento y presencia de vectores



Fotografía 4. Goteros taponeados por los sólidos del agua tratada



Fotografía 5. Árboles muertos que no recibían agua de los goteros



Fotografía 6. Lombrices Rojas Californianas (Eisenia Foetida)



Fotografía 7. Recolección de aguas residuales del pozo séptico



Fotografía 8. Recolección de aguas residuales para la aclimatación de las lombrices



Fotografía 9. Material de empaque grava de media 1/2"



Fotografía 10. Malla mosquitera de nailon para separar las capas filtrantes



Fotografía 11. Material de empaque gravilla o grava confitillo de 3/8"



Fotografía 12. Llenado del material gravilla



Fotografía 13. Material de empaque aserrín



Fotografía 14. Área de estudio



Fotografía 15. Material filtrante vermicompost Fotografía 16. Tubos de ventilación del Lombrifiltro



Fotografía 17. Control del Ph del vermicompost Fotografía 18. Las 4 zonas o cuadrantes



Fotografía 19. Efluentes del Lombrifiltro



Fotografía 20. Materiales proporcionados por ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L



Fotografía 21. Toma de muestras el día 27 de marzo



Fotografía 22. Materiales proporcionados por el laboratorio R LAB S.A.C



Fotografía 23. Toma de muestras el día 29 de abril



Fotografía 24. Toma de muestras en el punto AR-2



Fotografía 25. Toma de muestras en el punto AR-1



Fotografía 26. Muestras para el conteo de lombrices



Fotografía 27. Muestra de agua tratada por el lombrifiltro



CADENA DE CUSTODIA

F-RTM-04
 Revisión: 04
 Fecha: 10-01-2019
 Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE Y FACTURACIÓN								N° Cadena de Custodia: 1904/39A		N° Plan de Muestreo: —										
Cliente:	Diego Gerardo Gallegos Valqui							Preservante												
Dirección del Cliente:	Mz G7 Lt 7 Huertos de Manchay, Pachacamac							H ₂ SO ₄	-	Trióxido de Sodio (10%) + EDTA (0.32 mg/L)										
RUC:		Teléfono(s):	920 508196																	
Atención a:	cliente	Correo:	diegogv003@gmail.com																	
DATOS PARA EJECUCIÓN DEL MUESTREO								Tipo de frasco / envase (2)												
Usuario:	—			N° de Orden de Trabajo:	1904030			P	P	P										
Muestreo realizado por:	Cliente			Analista de Campo:	—															
Lugar de Muestreo:	Calle S/N Sector G, Huertos de Manchay, Pachacamac							ENSAYO (S) SOLICITADO (S)												
Procedimiento del Muestreo:	—			Ensayo:	—			DQO	DBO	Coliformes fecales										
Contacto de Campo:	—			Teléfono(s):	—															
Contacto R-LAB:	—			Teléfono(s):	—															
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	CÓDIGO DEL LABORATORIO	FECHA DE MUESTREO (dd-mm-aa)	HORA DE MUESTREO (24:00)	TIPO DE MATRIZ Y/O PRODUCTO (1)	N° DE ENVASES/FRASCOS	ESTADO DE CONSERV. (3)	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO													
AR-2	1904139A-01	29-04-19	14:55	ARD	1	P/R	Afluyente	X	-	-										
AR-2	1904139A-02	29-04-19	15:03	ARD	1	R	Afluyente	-	X	-										
AR-2	1904139A-03	29-04-19	15:06	ARD	1	P/R	Afluyente	-	-	X										
AR-1	1904139A-04	29-04-19	14:35	ARD	1	P/R	Efluyente	X	-	-										
AR-1	1904139A-05	29-04-19	14:40	ARD	1	R	Efluyente	-	X	-										
AR-1	1904139A-06	29-04-19	14:45	ARD	1	P/R	Efluyente	-	-	X										
OBSERVACIÓN: —								CONFORMIDAD DEL SERVICIO POR EL CLIENTE (EN CAMPO)												
Devolución de Ítems de Ensayo: SI () NO (X) (3) TEMPERATURA: AMBIENTE (T), PRESERVADO (P), REFRIGERADO (R)								NOMBRE:	Diego Gerardo Gallegos Valqui											
(1) MATRIZ: AGUA NATURAL: Superficial Lago/Laguna (ANSLA), Río(ANSR); Subterránea: Manantial(ANSbM) / Pozo(ANSbP), Termal (ANSbT) AGUA SALINA: Mar(ASAM), Salobre(ASAO); AGUA RESIDUAL: Doméstico(ARD), Industrial (ARI), Municipal(ARM); AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO: Bebida Potable(ACHPo), Mesa(ACHM), Envasada(ACHE), Piscina(ACHP), Laguna Artificial(ACHLa), SUELO: Suelo (S), Lodo(SL), Sedimento(SSED), AIRE:H, EMISIONES EN FUENTES ESTACIONARIAS: (EM) OTROS(O):								CARGO:	Técnico											
(2) ENVASE: PLÁSTICO(P); VIDRIO(V); VIDRIO ÁMBAR(VA); BOLSA ZIPLOC(BZ); SOBRE MANILA(SM); PLACA PETRI (PP), TUBOS ABSORVENTES (TA), OTROS(O)								FIRMA:												
SOLO PARA SER LLENADO POR PERSONAL DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																				
Entregado por:	Firma:	Recibido por:	Firma:	CONDICIÓN DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS																
Diego Gerardo Gallegos Valqui		Deisy Cortez Estrada		En buen estado:	SI	X	NO													
OBSERVACIONES: —				Recipiente apropiado:	SI	X	NO													
				Dentro del tiempo de conservación:	SI	X	NO													
				Correctamente preservadas:	SI	X	NO													
				CONFORME	X		NO CONFORME													

ANEXO C: Resultados de los análisis para el diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manchay Verde



Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 38492 (Ago-262)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Misión y Caridad Instituto Trentino Juan Pablo II Proyecto Manchay Verde

Identificación de Laboratorio: S-0001518309
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica
 Identificación de Muestra: Entrada Tanque Séptico
 Fecha y Hora de Muestreo: 2018-08-15 15:30
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2018-08-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2018-08-18

Análisis	Resultado	Unidad
Química		
DBO5. Agua. EPA Method 405.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Biochemical Oxygen Demand (5 Days, 20°C)		
DBO5	100	mg/L
DQO. Agua. EPA Method 410.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	208	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	73	mg/L

Figura 20. Resultados de análisis de la caracterización de las aguas residuales



Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 38492 (Ago-261)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Misión y Caridad Instituto Trentino Juan Pablo II Proyecto Manchay Verde

Identificación de Laboratorio: S-0001518299
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica
 Identificación de Muestra: Entrada a Laguna
 Fecha y Hora de Muestreo: 2018-08-15 15:50
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2018-08-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2018-08-18

Análisis	Resultado	Unidad
Química		
DBO5. Agua. EPA Method 405.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Biochemical Oxygen Demand (5 Days, 20°C)		
DBO5	340	mg/L
DQO. Agua. EPA Method 410.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	700	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	20	mg/L

Figura 21. Resultados de análisis de la salida del pozo séptico

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 38492 (Ago-263)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Misión y Caridad Instituto Trentino Juan Pablo II Proyecto Manchay Verde

Identificación de Laboratorio: S-0001518307
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica
 Identificación de Muestra: Entrada Humedal
 Fecha y Hora de Muestreo: 2018-08-15 16:05
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2018-08-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2018-08-18

Análisis	Resultado	Unidad
Química		
DBO5. Agua. EPA Method 405.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Biochemical Oxygen Demand (5 Days, 20°C)		
DBO5	83	mg/L
DQO. Agua. EPA Method 410.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	180	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	30	mg/L

Figura 22. Resultados de análisis de la salida del estanque de estabilización

Información General

Matriz: Agua
 Solicitud de Análisis: Cotización N° 38492 (Ago-264)
 Muestreado por: Cliente
 Procedencia: Misión y Caridad Instituto Trentino Juan Pablo II Proyecto Manchay Verde

Identificación de Laboratorio: S-0001518312
 Tipo de Muestra: Agua Residual Doméstica
 Identificación de Muestra: Salida Humedal
 Fecha y Hora de Muestreo: 2018-08-15 16:10
 Fecha de Recepción de la Muestra: 2018-08-15
 Fecha de Inicio de análisis: 2018-08-18

Análisis	Resultado	Unidad
Química		
DBO5. Agua. EPA Method 405.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Biochemical Oxygen Demand (5 Days, 20°C)		
DBO5	40	mg/L
DQO. Agua. EPA Method 410.1 600/4-79-020 Revised March. 1983. Chemical Oxygen Demand (Titrimetric. Mid - Level)		
DQO	88	mg/L
Sólidos Totales en Suspensión. Agua. SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105°C		
Sólidos Totales en Suspensión	9	mg/L

Figura 23. Resultados del análisis de la salida del humedal artificial

ANEXO D: Resultados de los análisis de laboratorio

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-1572

I.- DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: DIEGO GERARDO GALLEGOS VALQUI
2.-DIRECCIÓN	: MZ. G7 LT. 7 AV. MANCHAY, PACHACAMAC
3.-PROYECTO	: BIOFILTRO
4.-PROCEDENCIA	: NOINDICA
5.-SOLICITANTE	: DIEGO GERARDO GALLEGOS VALQUI
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-19-0556
7.-PLAN DE MONITOREO	: NO INDICA
8.-MUESTREO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2019-04-13

II.-DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-MATRIZ	: AGUA
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.-FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2019-03-27
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2019-03-27 al 2019-04-13

INFORME DE ENSAYO N°: IE-19-1572

IV. RESULTADOS

ITEM			1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-03840	M-03841
CÓDIGO DEL CLIENTE:			AR-1	AR-2
COORDENADAS:			NO INDICA	
UTM WGS 84:			NO INDICA	
MATRIZ:			AGUA	
GRUPO			RESIDUAL	
SUB GRUPO			DOMESTICA	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA	
MUESTREO			NO INDICA	
FECHA:			2019-03-27	2019-03-27
HORA:			NO INDICA	NO INDICA
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP)	NMP/100mL	1.8	<1.8	<1.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.0	85.5	155.4
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5	189	795

L.C.M.: Limite de cuantificación de método

¹ Parámetros acreditados por INACAL-DA

² Parámetros acreditados por IAS

Figura 24. Resultados de los ensayos realizados por laboratorios ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L

INFORME DE ENSAYO

N° 1904139A

Cliente	: DIEGO GERARDO GALLEGOS VALQUI
Dirección del cliente	: MZ. G7 LT.7 HUERTOS DE MANCHAY, PACHACAMAC
Usuario	: No aplica
Lugar de Muestreo	: CALLE S/N SECTOR G HUERTOS DE MANCHAY, PACHACAMAC
Tipo de Matriz y/o Producto	: AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA
Muestreo Realizado por	: EL CLIENTE
Procedimiento de Muestreo	: No aplica
Referencia al Plan de Muestreo	: No aplica
Número de Muestras	: 06
Fecha de Recepción	: 29-04-2019
Fecha de Inicio y Término de Ensayo:	29-04-2019 al 05-05-2019

Código de Laboratorio	1904139A-01	1904139A-02	1904139A-03
Identificación de la Muestra	AR-2	AR-2	AR-2
Descripción del Punto de Muestreo	Afluente	Afluente	Afluente
Fecha y hora de muestreo	29-04-2019 (14:55)	29-04-2019 (15:03)	29-04-2019 (15:06)
Ubicación Geográfica (WGS-84)	N: --- E: ---	N: --- E: ---	N: --- E: ---
Tipo de Matriz y/o Producto	AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA		

Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M	Resultados		
² Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	0,4	0,1	-	149,8	-
² Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5,0	1,2	758,4	-	-
Coliformes Fecales por Número más probable (NMP)	NMP/ 100mL	-	1,8	-	-	79 x 10 ⁴

	Código de Laboratorio			1904139A-04	1904139A-05	1904139A-06
	Identificación de la Muestra			AR-1	AR-1	AR-1
	Descripción del Punto de Muestreo			Efluente	Efluente	Efluente
	Fecha y hora de muestreo			29-04-2019 (14:35)	29-04-2019 (14:40)	29-04-2019 (14:45)
	Ubicación Geográfica (WGS-84)			N: --- E: ---	N: --- E: ---	N: --- E: ---
	Tipo de Matriz y/o Producto			AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA		
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	L.D.M	Resultados		
² Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	0,4	0,1	-	6,8	-
² Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5,0	1,2	69,4	-	-
Coliformes Fecales por Número más probable (NMP)	NMP/ 100mL	-	1,8	-	-	49 x 10 ²

Figura 25. Resultados de los ensayos realizados por laboratorios R LAB S.A.C