



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE UN BIOFILTRO DE LOMBRICES PARA LA
DISMINUCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN LAS AGUAS
RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE PELILEO**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: DIANA ANABELLE MANJARRES CAMPAÑA

DIRECTOR: Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA, MSc.

Riobamba- Ecuador

2023

©2023, Diana Anabelle Manjarres Campaña

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, DIANA ANABELLE MANJARRES CAMPAÑA, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de febrero de 2023



Diana Anabelle Manjarres Campaña

C.I. 180550341-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación, Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE UN BIOFILTRO DE LOMBRICES PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE PELILEO**, realizado por la señorita: **DIANA ANABELLE MANJARRES CAMPAÑA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Lic. Paul Rolando Armas Pesántez, Mg. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-02-23
Dr. José Gerardo León Chimbolema, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-02-23
Ing. Juan Carlos González García, PhD. MIEMBRO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-02-23

DEDICATORIA

A mi madre Blanca Campaña por ser mi amiga, mi inspiración y mi fuerza para llegar a donde estoy, al aconsejarme y alentarme a seguir adelante, y a mi padre Hector Manjarres por brindarme su apoyo incondicional para llegar a cumplir con cada una de mis metas, a los dos por el esfuerzo que han realizado siempre por apoyarnos, muchas gracias.

Diana

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por hacer posible mi formación universitaria brindándome una educación de calidad durante todo este tiempo. A todos los docentes que estuvieron presentes en mi formación, en especial al Dr. José Gerardo León Chimbolema y al Ing. Juan Carlos González García por brindarme su apoyo y compartir sus conocimientos para poder llevar a cabo la realización de mi Trabajo de Titulación. A Dios por ser el que siempre me cuida y guía mis pasos, a mis padres, hermanos y tíos por apoyarme incondicionalmente y hacer posible esta etapa de mi vida. A mis amigas, por ser un apoyo incondicional en los momentos difíciles y por compartir conmigo todo este tiempo que hemos pasado en la universidad brindándome su amistad, su confianza y respeto y a mis amigos y amigas que hasta el día de hoy me han brindado su apoyo, su cariño y sus conocimientos, muchas gracias a todos.

Diana

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Marco conceptual	5
1.2.1. Aguas residuales	5
1.2.2. Características de las aguas residuales	6
1.2.2.1. Características físicas	6
1.2.2.2. Características químicas	7
1.2.3. Gases presentes en el agua residual.....	9
1.2.4. Aguas residuales de camales	9
1.2.4.1. Caracterización del agua de matadero	9
1.2.5. Tratamientos de aguas residuales	9
1.2.6. Sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales	10
1.2.6.1. Lagunas de estabilización	10
1.2.6.2. Lombrifiltro	10
1.2.6.3. Humedales artificiales.....	11
1.2.7. Sistema tohá.....	11
1.2.7.1. Historia del lombrifiltro	11
1.2.7.2. Descripción	12
1.2.7.3. Descripción de las capas del lombrifiltro	12
1.2.7.4. Microbiología del biofiltro Tohá.....	13
1.2.7.5. Operación y mantenimiento del lombrifiltro	13
1.2.8. La lombriz roja californiana (Eisenia foetida).....	14
1.2.8.1. Características de la lombriz Eisenia foetida	14
1.2.8.2. Alimentación.....	15
1.2.9. Áreas de aplicación del sistema	15

1.2.9.1.	<i>Área industrial</i>	15
1.2.9.2.	<i>Área forestal</i>	16
1.2.10.	<i>Aplicación del sistema en el país</i>	17
1.3.	Base legal	18
1.3.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	18
1.3.2.	<i>Código Orgánico Ambiental (COA) 2017</i>	18
1.3.3.	<i>Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua</i>	18
1.3.4.	<i>Acuerdo ministerial 097-A</i>	19

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	20
2.1.	Localización del estudio	20
2.2.	Tipo de investigación	21
2.3.	Diseño de la investigación	21
2.3.1.	<i>Cuasi experimental</i>	21
2.3.2.	<i>Identificaciones variables</i>	21
2.3.3.	<i>Hipótesis de investigación</i>	22
2.4.	Métodos y técnicas	22
2.4.1.	<i>Fase de diseño y construcción del biofiltro de lombrices o biofiltro Tohá</i>	22
2.4.1.1.	<i>Materiales</i>	23
2.4.1.2.	<i>Método</i>	23
2.4.2.	<i>Muestreo del agua residual industrial</i>	24
2.4.2.1.	<i>Materiales</i>	24
2.4.2.2.	<i>Método</i>	25
2.4.3.	<i>Adaptación de Eisenia foétida al agua residual del camal</i>	25
2.4.3.1.	<i>Materiales</i>	25
2.4.3.2.	<i>Método</i>	26
2.4.4.	<i>Relleno del tanque de biofiltración</i>	26
2.4.4.1.	<i>Materiales</i>	26
2.4.4.2.	<i>Método</i>	27
2.4.5.	<i>Determinación del caudal de entrada y salida del agua residual cruda y tratada</i>	28
2.4.5.1.	<i>Materiales</i>	28
2.4.5.2.	<i>Método</i>	28
2.4.7.	<i>Determinación del área del tanque de biofiltración y tasa de riego</i>	29
2.4.8.	<i>Análisis fisicoquímicos del agua residual industrial cruda y tratada</i>	29
2.4.8.1.	<i>Materiales</i>	29
2.4.8.2.	<i>Método</i>	29

2.4.9.	<i>Cuidado del biofiltro de lombrices</i>	29
2.4.9.1.	<i>Materiales</i>	29
2.4.9.2.	<i>Método</i>	30

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN LOS RESULTADOS	31
3.1.	Diseño y construcción del biofiltro de lombrices	31
3.1.1.	<i>Tambor de homogenización</i>	31
3.1.2.	<i>Tanque de biofiltración</i>	31
3.1.2.1.	<i>Cálculo del volumen del tanque de biofiltración</i>	32
3.1.3.	<i>El tanque de almacenamiento del agua filtrada</i>	32
3.1.3.1.	<i>Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento</i>	33
3.1.4.	<i>Soporte del biofiltro</i>	33
3.2.	Muestreo del agua residual industrial	34
3.3.	Adaptación de <i>Eisenia foetida</i>	36
3.4.	Relleno del tanque de biofiltración	43
3.4.1.	<i>Resultado obtenido del área afectiva del tanque de biofiltración</i>	46
3.4.2.	<i>Resultado obtenido del volumen útil del tanque de biofiltración</i>	46
3.5.	Determinación del caudal de entrada al tanque de biofiltración y salida del agua biofiltrada	46
3.5.1.	<i>Cálculo del caudal de entrada</i>	47
3.5.2.	<i>Cálculo del caudal de salida</i>	47
3.6.	Determinación del tiempo de retención hidráulico	47
3.6.1.	<i>Resultados obtenidos de la carga hidráulica</i>	48
3.6.2.	<i>Resultados obtenidos de la retención hidráulica</i>	48
3.7.	Cálculo del área del tanque de biofiltración y la tasa de riego	48
3.7.1.	<i>Área del tanque de biofiltración</i>	48
3.7.2.	<i>Cálculo de la tasa de riego</i>	49
3.8.	Análisis fisicoquímicos del agua residual cruda y tratada	49
3.9.	Cuidado del biofiltro de lombrices	59
	CONCLUSIONES	60
	RECOMENDACIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana	14
Tabla 2-2:	Variables de la investigación	22
Tabla 1-3:	Medidas del tanque de biofiltración y doble fondo	32
Tabla 2-3:	Medidas del tanque de almacenamiento	32
Tabla 3-3:	Medidas del soporte del biofiltro de lombrices	33
Tabla 4-3:	Resultados del muestreo semanal de aguas residuales del Camal	34
Tabla 5-3:	Datos obtenidos en la Adaptación de <i>Eisenia Foetida</i> en T1	39
Tabla 6-3:	Datos obtenidos en la Adaptación de <i>Eisenia Foetida</i> en T2	40
Tabla 7-3:	Datos obtenidos en la Adaptación de <i>Eisenia Foetida</i> en T3	41
Tabla 8-3:	Relleno del tanque de biofiltración	44
Tabla 9-3:	Cálculos obtenidos para el relleno del biofiltro de lombrices	44
Tabla 10-3:	Cálculos obtenidos de la altura de aserrín-viruta-humus	44
Tabla 11-3:	Determinación del caudal de entrada	47
Tabla 12-3:	Determinación del caudal de salida del agua filtrada	47
Tabla 13-3:	Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la primera semana	49
Tabla 14-3:	Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la segunda semana	51
Tabla 15-3:	Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la tercera semana	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Laguna de estabilización.....	10
Ilustración 2-1:	Lombrifiltro Modelo Sistema Tohá	11
Ilustración 3-1:	Sistema de Humedal Artificial.....	11
Ilustración 4-1:	Modelo del lombrifiltro en corte esquemático.....	12
Ilustración 5-1:	Capas del Lombrifiltro.....	13
Ilustración 1-2:	Ubicación del camal municipal.....	20
Ilustración 2-2:	Etapas actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales	21
Ilustración 3-2:	Etapas de la investigación.....	22
Ilustración 1-3:	Tambor de homogenización.....	31
Ilustración 2-3:	Tanque de biofiltración	32
Ilustración 3-3:	Tanque de almacenamiento.....	33
Ilustración 4-3:	Soporte de biofiltro	34
Ilustración 5-3:	Purgación de las botellas ambar.....	35
Ilustración 6-3:	Recolección de la muestra	35
Ilustración 7-3:	Toma de muestra.....	35
Ilustración 8-3:	Refrigeración de la muestra	36
Ilustración 9-3:	Perforación del recipiente	36
Ilustración 10-3:	Colocación de la malla dentro del recipiente.....	37
Ilustración 11-3:	Pesaje del aserrín.....	37
Ilustración 12-3:	Pesaje de lombriz + humus	37
Ilustración 13-3:	Determinación del porcentaje de humedad del aserrín	38
Ilustración 14-3:	Relleno del recipiente para la adaptación de las lombrices	38
Ilustración 15-3:	Medición de la humedad.....	38
Ilustración 16-3:	Medición de temperatura	39
Ilustración 17-3:	Medición de pH.....	39
Ilustración 18-3:	Demostración de la adaptación de la lombriz durante la semana en T1	40
Ilustración 19-3:	Demostración de la adaptación de la lombriz durante la semana en T2.....	41
Ilustración 20-3:	Demostración de la adaptación de la lombriz durante la semana en T3.....	42
Ilustración 21-3:	Lavado de las piedras.....	45
Ilustración 22-3:	Relleno de piedra bola	45
Ilustración 23-3:	Relleno de piedra grava	45
Ilustración 24-3:	Relleno de arena.....	46
Ilustración 25-3:	Relleno de aserrín	46
Ilustración 26-3:	Relleno de viruta.....	46
Ilustración 27-3:	Medidas del tanque de biofiltración.....	48

Ilustración 28-3: Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración en la primera semana	51
Ilustración 29-3: Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración de la segunda semana.....	53
Ilustración -30-3: Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración en la tercera semana.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA FRONTAL
- ANEXO B:** ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA LATERAL
- ANEXO C:** ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA ISOMETRICA
- ANEXO D:** ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA POSTERIOR
- ANEXO E:** ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA SUPERIOR
- ANEXO F:** INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL ANTES DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA PRIMERA SEMANA
- ANEXO G:** INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA PRIMERA SEMANA
- ANEXO H:** INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL ANTES DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA SEGUNDA SEMANA
- ANEXO I:** INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA SEGUNDA SEMANA
- ANEXO J:** INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL ANTES DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA TERCERA SEMANA
- ANEXO K:** INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA TERCERA SEMANA
- ANEXO L:** FUNCIONAMIENTO DEL BIOFILTRO
- ANEXO M:** TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA Y TRATADA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

μSiems/cm	microsiems por centímetro
COT	Carbono Orgánico Total
CO2	Dióxido de Carbono
cm	Centímetros
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
FONDEF	Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico
gr	Gramos
HFS	Humedal de Flujo Superficial
HSS	Humedal de Flujo Subsuperficial
ha	Hectáreas
in	Pulgada
L/s	Litros por segundo
lb	Libra
mg/L	Miligramos por litro
mm	Milímetros
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
PVC	Policloruro de Vinilo
Q	Caudal
T	Tratamiento
TDS	Sólidos Disueltos Totales
TN	Nitrógeno Total
TP	Fosforo Total
TRH	Tiempo de Retención Hidráulico
TS	Sólidos Totales
TSS	Sólidos Suspendidos Totales
Und. Pt/co	Unidades de Platino y Cobalto
UTN	Unidad nefelométrica de turbidez

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la disminución de la materia orgánica presente en las aguas residuales del Camal Municipal de Pelileo mediante un biofiltro de lombrices al determinar la eficiencia del sistema. Para cumplir con el objetivo primero se construyó el biofiltro de lombrices identificando los parámetros de diseño, después se recolectó las muestras para la adaptación de las lombrices de la especie *Eisenia Foetida* y se controló los parámetros importantes como el pH, temperatura y humedad. La eficiencia del biofiltro se determinó después de las filtraciones realizadas mediante los estratos de piedra bola, piedra grava y arena en conjunto con el aserrín, la viruta y el humus más las lombrices, el tratamiento se realizó durante tres semanas, sin embargo, la mejor eficiencia de remoción se consiguió en la tercera semana, los resultados que se obtuvieron para la muestra del afluente fueron: pH de 8.61, conductividad 1393 μ Siems/cm, color 15700 Und. Pt/co, turbiedad 470 UTN, N-nitritos 2.9 mg/L, N- nitratos 79 mg/L, fosfatos 49mg/L, DQO 4980 mg/L, DBO₅ 2900 mg/L, sólidos disueltos 847.7 mg/L y sólidos totales 4524 mg/L y para el efluente fueron: un pH de 7.64, conductividad 887.2 μ Siems/cm, color 965 Und. Pt/co, turbiedad 32 UTN, N-nitritos 0.15 mg/L, N- nitratos 45.0 mg/L, fosfatos 9.5 mg/L, DQO 350 mg/L, DBO 178 mg/L, sólidos disueltos 560 mg/L y sólidos totales 6.25 mg/L obteniendo un promedio de eficiencia de remoción de 74.87%. Concluyendo así que el biofiltro de lombrices es eficiente en el tratamiento de las aguas residuales del camal y de que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles del TULSMA. No obstante, se recomienda mejorar el sistema buscando el mejor material filtrante además de un mayor tiempo de retención hidráulica para que haya una mejor remoción de materia orgánica.

Palabras clave:< BIOFILTRO DE LOMBRICES>, < EISENIA FOETIDA>, < CAMAL>, < AGUAS RESIDUALES>, < EFICIENCIA>, < REMOCIÓN>, < TULSMA>.



0408-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the reduction of organic matter present in the wastewater of the Camal Municipal de Pelileo through a worm biofilter when determining the system's efficiency. To meet the objective, the worm biofilter was first built, identifying the design parameters, then the samples for the adaptation of the worms of the *Eisenia Foetida* species were collected and essential parameters such as pH, temperature and humidity were controlled. The efficiency of the biofilter was determined after the filtrations were carried out through the layers of ball stone, gravel stone and sand together with sawdust, shavings and humus plus worms; the treatment was carried out for three weeks; however, the best removal efficiency was achieved in the third week, the results obtained for the influent sample were: pH 8.61, conductivity 1393 μ Siems/cm, colour 15700 Und. Pt/co, turbidity 470 UTN, N-nitrites 2.9 mg/L, N-nitrates 79 mg/L, phosphates 49mg/L, COD 4980 mg/L, BOD5 2900 mg/L, dissolved solids 847.7 mg/L and total solids 4524 mg/L and for the effluent were: a pH of 7.64, conductivity 887.2 μ Siems/cm, colour 965 Und. Pt/co, turbidity 32 UTN, N-nitrites 0.15 mg/L, N-nitrates 45.0 mg/L, phosphates 9.5 mg/L, COD 350 mg/L, BOD 178 mg/L, dissolved solids 560 mg/L and solids total 6.25 mg/L obtaining an average removal efficiency of 74.87%. It is concluded that the worm biofilter is efficient in treating wastewater from the slaughterhouse and is within the maximum permissible limits of the TULSMA. It is recommended to improve the system by looking for the best filter material in addition to a longer hydraulic retention time to remove organic matter better.

Keywords: <WORM BIOFILTER>, <EISENIA FOETIDA>, <CAMAL>, <WASTEWATER>, <EFFICIENCY>, <REMOVAL>, <TULSMA>.



Ing. Angel Paul Obregón Mayorga, Mgs.

C.I. 060192712-2

INTRODUCCIÓN

La contaminación de los recursos hídricos ha sido uno de los problemas más importantes en el mundo, ya que el aumento de la población y el desarrollo socioeconómico ha generado un bajo acceso a este recurso natural principalmente en zonas rurales y en países en vías de desarrollo (Gamarra, 2021) debido a que los sectores públicos y privados en las áreas industriales contaminan el ambiente debido al mal manejo de los residuos generados en los Centros de Faenamiento y a la inadecuada descarga de los efluentes lo cual ha provocado pérdidas en los ecosistemas y ha perjudicado la salud y bienestar de la población (Landeta, 2019, p.3).

Los mataderos o centros de faenamiento se encuentran entre las industrias cárnicas más contaminantes debido a que estos generalmente desechan materia orgánica, grasas, sólidos en suspensión, fosfatos, nitratos, nitritos y cloruro de sodio producto de excretas, limpieza y desinfección del agua y de la matanza de los animales que genera una gran cantidad de sangre, grasa, restos de carne, pelos y rumen, agua que se utiliza para el lavado de estómagos e intestinos, y detergentes utilizados en la limpieza y desinfección de las instalaciones (Soto et al., 2020: p.21).

Actualmente en el mundo existen diversos sistemas de tratamiento convencionales que han sido utilizados por mucho tiempo, debido a las características, ventajas y desventajas que son conocidas por los años de estudio y seguimiento. Sin embargo, las plantas de tratamiento convencionales tienen un precio alto de construcción, operación principalmente en la parte eléctrica y en el mantenimiento ya que necesitan de personas calificadas, además generan subproductos indeseables como los lodos. Por lo expuesto anteriormente, no es apto para zonas rurales ya que carecen de presupuesto, por tal motivo, surge la necesidad de indagar sobre otros posibles métodos alternativos a los ya conocidos que sean económicamente factibles y auto sustentables para poder cumplir con las normas de emisión, protegiendo la salud de las personas y el medio ambiente (Salazar, 2005, pp.1-2).

Es por eso que los biofiltros son una alternativa aplicable para el tratamiento de aguas residuales ya que permiten eliminar con gran eficacia materias orgánicas, un claro ejemplo es el Vermifiltro, estudios demuestran que el biofiltro es capaz de quitar de en medio la mayor parte de la materia orgánica existente en el agua residual, además resulta ser un procedimiento de tratamiento barato en el que se no se necesita de un mayor esfuerzo de operación, mantenimiento además de ser un método seguro para el ambiente (Vásconez, 2017, p.1).

Justificación

El sector ganadero es importante en la economía mundial ya que proporciona alimentos como carne y leche, además de la producción de pieles y fibras, para lograr el sacrificio de los animales en condiciones adecuadas se ha acudido a los centros de faenamiento o mataderos los mismos que se encuentran entre las industrias cárnicas más contaminantes debido a la alta generación de

materia orgánica, sólidos en suspensión, grasas y sustancias químicas que provienen de la matanza, de las heces o de los productos de limpieza utilizados en la desinfección. Además, esta actividad utiliza en demasía la energía y el agua generando malos olores e impactos visuales y de ruido (Quishpe et al., 2020: p.60).

En el Ecuador a los Centros de Faenamiento se considera inseguros y poco tecnificados razón por la cual se ha visto condiciones insalubres al momento de manejar la carne, provocando que la calidad sanitaria del producto final sea baja para el consumo de la población, incrementando los desechos y provocando una gestión no controlada de emisiones que superan los límites normativos, además de las descargas sin tratamiento que tienen como consecuencia la contaminación ambiental y conflictos en los lugares donde están implantados (GAD Ibarra, 2018, p.2). El cantón San Pedro de Pelileo se ha visto afectado por la gran demanda de productos cárnicos debido al crecimiento poblacional que ha generado un incremento significativo en el faenamiento provocando altos grados de contaminación por los efluentes de las aguas residuales de la actividad industrial las cuales son descargadas sin aplicar un tratamiento adecuado, lo que origina la contaminación directa a los sectores aledaños del camal (Rodríguez, 2021, p.19), por tal motivo, el Camal Municipal de Pelileo se ve en la necesidad de mejorar el tratamiento de las aguas residuales proponiendo métodos ecológicos como es el caso del Biofiltro de Lombrices o Sistema Tohá el cual permite tratar las aguas residuales y con ello remover la materia orgánica y organismos patógenos, debido a que las lombrices (*Eisenia Foetida*) degradan la materia orgánica de las aguas residuales, generando aguas limpias disminuyendo la contaminación ya que, al no tener malos olores se podría ahorrar el agua reutilizándola para el uso para riego de cultivos, lavar el establecimiento e incluso se utilizaría para los servicios higiénicos, lo cual aparte de beneficiar al camal beneficiaría también al medio ambiente. Por otro lado, el humus que es generado mediante el tratamiento puede ser utilizado como abono para los parques del cantón (Bermúdez, 2019, p. 2). Esta investigación tiene como objetivo el mejorar la calidad del agua mediante técnicas amigables al ambiente con el fin de disminuir su contaminación, además dar a conocer mediante la aplicación del biofiltro las bondades que tiene el sistema hacia el ambiente y la sociedad, ya que esta técnica es recomendable para tratar aguas residuales de diferente tipo las cuales podrán ser aptas para darles los usos mencionados anteriormente.

El proyecto de investigación tiene relevancia social ya que los beneficiarios serán las personas que viven alrededor del Camal, los operarios del mismo, el Municipio y en si el cantón, ya que mediante esta investigación se podrá facilitar la información de esta técnica lo cual permitirá dar a conocer opciones de tratamiento para mejorar y evitar la contaminación del agua, debido a que esta contiene contaminantes que traen consigo diferentes vectores que perjudican la salud.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la disminución de la materia orgánica en las aguas residuales del Camal Municipal de Pelileo mediante un Biofiltro de lombrices.

Objetivos específicos

- Caracterizar mediante análisis físicos - químicos la calidad de las aguas residuales procedentes del Camal Municipal de Pelileo.
- Identificar los parámetros de diseño mediante revisión bibliográfica para la construcción del Biofiltro de lombrices.
- Determinar la eficiencia del sistema de Biofiltro de lombrices en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento del Camal de Pelileo para el análisis del cumplimiento de los límites máximos permisibles de la normativa ecuatoriana vigente.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Arora y Saraswat (2021, p.5) en su investigación demuestran que las lombrices ayudan a degradar la materia orgánica presente en el agua residual por interacciones simbióticas y sinérgicas con los microorganismos autóctonos, además mencionan que se ha aplicado con éxito para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Por otro lado, afirman que, si se aplica a escala completa la tecnología de vermifiltración, ayudará a la sociedad a alcanzar el triple resultado final de la sostenibilidad: bueno para el medio ambiente, la economía y para las personas. Además, da a conocer las ventajas del sistema de vermifiltración los cuales son: económicamente viable, social y ecológicamente aceptable, libre de olores, operación y mantenimiento libre.

Misal y Mohite (2017, p.365) demuestran que el funcionamiento de Vermifiltro mediante el uso de lombrices de tierra *Eisenia foetida*, para tratar las aguas residuales muestran una reducción significativa para parámetros importantes como pH, DBO, DQO, TS, TSS, TDS, aceite y grasa, ya que los resultados indican que las lombrices de tierra degradan significativamente el material de desecho sin generación de lodos, además de que este es asequible, seguro, convencional, ecológico, ahorra espacio razón por la cual puede ser implementada en las comunidades.

Phothisansakul y Runguphan (2017, p. 64) en su investigación encontraron que la vermifiltración era la más adecuada para tratar aguas residuales con nivel medio de concentración, es decir, DQO entre 500-800 mg / L ya que los resultados mostraron que el sistema de vermifiltración combinando la fitorremediación de suelos y plantas, fue eficaz en el tratamiento de la escorrentía de aguas residuales domésticas y produjo parámetros de calidad del agua significativamente mejores (en términos de concentración de DQO, TSS, TDS y TS) en comparación con sistema que solo se sometió a filtración.

Biswas (2021, pp. 457-460) en su estudio reveló que la calidad de las aguas residuales municipales tratadas varió en función del tiempo de retención hidráulica (TRH) y demostró la eficiencia de eliminación de DBO, DQO, coliformes fecales, E. Coli y otras impurezas biológicas por vermifiltración ya que estas fueron más del 90%. Simultáneamente, la vermifiltración también fue capaz de eliminar todas las sustancias indeseables con un costo mínimo al preservar todos los nutrientes vegetales esenciales, por lo que recomienda este sistema para los países en desarrollo debido a que es viable por el bajo costo operativo y de mantenimiento.

Qiu et al. (2016, p. 410) en su estudio concluyó que *Eisenia foetida* puede mejorar la condición del OD en el humedal cuando la carga hidráulica es $0,3 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{D})$, ya que el promedio de la concentración del efluente para DQO es 41.02 mg / L, para TN es 4.59 mg / L y para TP son 12.58 mg / L y 0.44 mg/L respectivamente, por lo que, la calidad del agua efluente satisface

el estándar de descarga de contaminantes para planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

Manyuchi, et al. (2017, p.538) En su investigación al tratar las aguas residuales con el objetivo de disminuir los contaminantes para su posible uso en el riego de vegetales mediante lombrices de la especie *Eisenia foetida* con el apoyo de un filtro biológico, muestra los resultados de remoción los cuales fueron: 98% en la DBO₅, 70% en la DQO, 95% sólidos disueltos totales y solubles y turbidez en un 98%. Llegando a la conclusión que el agua tratada es adecuada para el uso en el riego según la normativa del lugar.

1.2. Marco conceptual

1.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales provienen del acopio de agua de una población, después de haber sido alterada por diferentes usos que se le ha dado en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976; citado en Blazquez y Montero, 2010, p.5).

Las aguas residuales según su origen son el resultado de la mezcla de líquidos y residuos sólidos que son acarreados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación (Mendonca, 1987; citado en Blazquez y Montero, 2010, p.2).

1.2.1.1. Tipos de aguas residuales

- **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** Son el producto de las actividades humanas cotidianas las cuales pueden contener abundante materia orgánica y microorganismos, como residuos de detergentes, jabones y otros productos de uso doméstico (Portero, 2017; citado en Liberio, 2019, p.2).
- **Aguas residuales industriales:** Según el (MAE, 2015; citado en Lima, 2016, p.3) las aguas residuales industriales son consideradas como “agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales”.
- **Aguas residuales agrícolas:** son el resultado de las actividades agrícolas que llevan en sus aguas residuales los contaminantes que están en los fertilizantes, insecticidas, herbicidas, entre otros, los cuales poseen productos químicos con alta toxicidad (Poveda, 2014; citado en Landeta, 2019, p.7).
- **Aguas residuales municipales:** son aquellas que resultan de la mezcla de aguas pluviales con aguas de industrias que fueron previamente tratadas para luego ser emitidas en los sistemas de alcantarillado con los valores permitidos según normativa (Bermúdez, 2019, pp. 9-10).

1.2.2. Características de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales posee características, químicas, físicas y biológicas las cuales varían dependiendo el uso de agua que se le atribuya, estas pueden ser portadoras de residuos domésticos e industriales dependiendo totalmente la actividad que desarrolle la empresa, generando así sustancias tóxicas como metales pesados además de materia orgánica que alteran el ambiente y deben ser tratadas para evitar la contaminación (Camacho, et al 2020; citados en Rodríguez, 2021, p.7).

1.2.2.1. Características físicas

Sólidos totales: son aquellos que poseen tanto las sales inorgánicas como carbonatos, bicarbonato, cloruros, sulfatos y nitratos de sodio además de materia orgánica, son clasificados por su tamaño y estado como sólidos en suspensión, coloidales y sólidos disueltos (Ríos, 2017; citado en Liberio, 2019, p.3).

Sólidos disueltos: Está compuesta por sólidos coloidales y disueltos los cuales son moléculas que están presentes en el agua. La concentración de sólidos disueltos es resultado de la presencia de minerales y gases producto de la descomposición de materia orgánica (Lara, 2015; citado en Liberio, 2019, p.5).

Sólidos suspendidos: En estos se encuentran el plancton, minerales de arena, arcilla, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica fraccionados finamente además de otros microorganismos en el agua procedentes de fuentes alóctonas o particularmente de levantamientos de tierra (Ruiz, 2017; citado en Liberio, 2019, p.7).

Sólidos volátiles y sólidos fijos: Son los que se pueden considerar en una cantidad cercana al contenido de materia orgánica o en algunos casos tendrá concentraciones de sólidos biológicos como bacterias o protozoos (Valdez, 2013; citado en Liberio, 2019, p.8).

Turbidez: La turbidez muestra la baja transparencia que existe en el agua residual, esto se debe a la presencia de materia en suspensión como limo o arcilla, cuando existe un grado de turbidez alto significa que el agua está más contaminada lo que obstaculiza la depuración de la misma (Andrade, 2010; citado en Landeta, 2019, p.9).

Temperatura: es importante para las diferentes actividades biológicas ya que cuando esta sube la actividad es mayor, así mismo cuando la temperatura sube en el agua residual existe una escasez de oxígeno provocando un agotamiento del oxígeno disuelto (Metcalf & Eddy, 1995; citado en Coronel, 2015).

Color: El color es un indicador de aquella composición y concentración que va desde un gris hasta un negro, esto depende de la cantidad de materia orgánica que exista ya que cuando las aguas son muy oscuras impide el paso de luz solar evitando que se realice la fotosíntesis (Andrade, 2010; citado en Landeta, 2019, p.12).

Olor: La principal peculiaridad al vaciar las aguas residuales es que son prácticamente inodoras y con los olores desagradables, esto sucede cuando están en descomposición (Andrade, et al., 2010; citados en Coronel, 2015, p.7).

Conductividad eléctrica: es aquella que se encarga de la materia concentrada que esta diluido en el agua por lo que, debido a que tienen cargas iónicas estas son capaces de transportar corriente eléctrica (Romero, 2002; citado en Coronel, 2015, p.8).

1.2.2.2. Características químicas

Existen una serie de parámetros que tienen especial importancia para describir la composición de las aguas residuales las cuales son:

- **Materia orgánica**

La materia orgánica conforma la tercera parte de los componentes de las aguas residuales, siendo los compuestos más importantes que se puede encontrar en estas los carbohidratos en un 25 a 50 %, las proteínas en un 40-60 % y las grasas y aceites en un 10 % (Bermúdez, 2019, p.13).

Existe una gran variedad de parámetros que son de mucho interés en el tratamiento de las aguas residuales debido a que permite saber sobre la cantidad de materia orgánica que poseen las aguas residuales. Los más importantes son:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): es la porción de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica biodegradable en un determinado tiempo y temperatura los cuales corresponden a cinco días y 20°C (Mayunga, 2012; citado en Rodríguez, 2021, p.1).

Demanda química de oxígeno (DQO): según Ramírez et al. (2008, p. 13) es un parámetro químico que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución suspendida que puede ser químicamente oxidada por agentes oxidantes bajo condiciones ácidas, las unidades en las que se mide son en miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta o suspendida por litro de disolución (agua residual).

Carbono orgánico total (COT): la medición de COT se realiza a través de la preparación de una cantidad de muestra conocida sometida a combustión. El carbono orgánico se oxida a CO₂, en presencia de un catalizador y se determina por medio de un analizador de infrarrojos (Bermúdez, 2019, p.14).

- **Materia inorgánica**

Los componentes inorgánicos de mayor interés, en las aguas residuales, son:

pH: El pH es la concentración relativa de iones de hidrógeno presentes en el agua, lo que determinará si esta actuará como una solución ácida o alcalina (Amaya, 2011; citado en Liberio, 2019,

p.6).

Cloruros: se consideraban como indicativo indirecto de contaminación fecal, puesto que los seres humanos excretan 6 gr de cloruros al día aproximadamente en las heces (Crites & Tchobanoglous, 2000; citado en Coronel, 2015, p.2).

Alcalinidad: La alcalinidad es la medida de la capacidad para neutralizar ácidos a diferencia del pH el cual indica cuando una solución es un ácido o una base (HANNA instruments, 2020, p.8).

Nitrógeno: es necesario para el desarrollo de microorganismos y plantas; una limitación de nitrógeno puede generar alteraciones en la composición bioquímica de los organismos y disminuir sus tasas de crecimiento. Por otra parte, el nitrógeno es un contribuyente característico para el agotamiento del oxígeno y la eutrofización de las aguas receptoras, cuando se encuentra en altas concentraciones (Bermúdez, 2019, p.15, p.4).

Fósforo: el fosforo es indispensable para el desarrollo de los organismos y se puede encontrar en las aguas residuales en formas como: orto fosfato, poli fosfato y fosfato orgánico. El fosfato compensa los requerimientos de fósforo de todos los organismos y se requiere en niveles más bajos que el nitrógeno (Bermúdez, 2019, p.16).

Azufre: se requiere para la síntesis de proteínas y se desprende cuando éstas se descomponen. En realidad, todos los microorganismos pueden utilizar el sulfato como fuente de azufre, sin embargo, ciertas especies necesitan compuestos en forma más reducida para la biosíntesis (Bermúdez, 2019, p.16).

Metales pesados: son de carácter tóxico y producen anomalías, se los encuentra en las aguas residuales en forma de plomo, cromo, cobre, boro (causa el saturnismo y la acumulación en moluscos), plata (logran causar argüiría), arsénico (melanodermia del pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario (efectos sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio (origina cáncer y caries) (Bermúdez, 2019, p.16).

- **Características biológicas**

Las aguas residuales tienen la presencia de microorganismos los que causan daños a plantas y seres humanos, como son las coliformes que son bacterias del tracto digestivo de humanos y animales.

Materia orgánica: incluyen los residuos vegetales o animales que las lombrices y los microorganismos eliminan cuando se encuentran adheridos a un sustrato, esto debido a que es una fuente de alimento además de servirle como energía para su metabolismo (Landeta, 2019, p.17).

Coliformes fecales: son agentes patógenos como *Escherichia* y otras bacterias que son transmitidas por excretas y normalmente por la ingestión de aguas contaminadas. Estos agentes patógenos no sobreviven mucho tiempo en el agua de mar, pero otros coliformes fecales si por lo que suelen considerarse indicadores de la contaminación bacteriológica de ríos y playas (Olivas et

al. 2011; citados en Liberio, 2020, p.1).

1.2.3. Gases presentes en el agua residual

En el agua residual están presentes gases como el amoníaco, el metano, el oxígeno, dióxido de carbono y sulfhídrico, pero solo el N₂, O₂ y CO₂ están exhibidos a la atmosfera por ser frecuentes en el mismo (Bermúdez, 2019, p.16).

Dentro de estos gases, los de mayor interés son:

- **Oxígeno disuelto:** es la medida de la porción de oxígeno que está repartido en un sistema. Generalmente, las medidas se recogen del agua utilizando una sonda de OD y un medidor (kalstein, 2021), además es de vital importancia para los organismos aerobios ya que, si existe un aumento desenfrenado de organismos y microorganismos en las aguas, puede conducir a su agotamiento (Bermúdez, 2019, p.16).
- **Sulfuro de hidrógeno:** es un gas inflamable, incoloro y de un olor peculiar muy desagradable, este se origina por la descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada o a su vez por la disminución de sulfatos y sulfitos minerales, cuando el agua residual presenta un color negro es porque contiene sulfuro de hierro, esto debido a la combinación de hierro con sulfuro de hidrógeno (Bermúdez, 2019, p. 17, p.1).

1.2.4. Aguas residuales de camales

Las aguas residuales de camales contienen muchos residuos, pero los que sobresalen son el estiércol, la sangre, los huesos, el pelo y la grasa. El agua residual generada en el establecimiento dependerá de las diversas formas de producción con las que se trabaje en cada área (Landeta, 2019, p.9).

1.2.4.1. Caracterización del agua de matadero

Las características del agua residual generada en los centros de faenamiento se determina mediante parámetros como pH, temperatura, SS, DQO, DBO₅, NT, color, olor, aceites y grasas, turbidez y el caudal (Landeta, 2009; citado en Landeta, 2019, p.2).

1.2.5. Tratamientos de aguas residuales

Al pasar del tiempo los seres humanos han creado nuevas tecnologías con diversos métodos para el tratamiento de las aguas residuales y los han ido combinando de tal manera que sean amigables con el medio ambiente (Muñoz, 2009; citado en Coronel, 2015, p.4).

En el tratamiento primario se considera utilizar operaciones físicas como la sedimentación y el

desbaste ya que permiten la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual. En el tratamiento secundario se efectúan procesos biológicos y químicos, los cuales se emplean para eliminar en gran parte la materia orgánica (Muñoz, 2009; citado en Coronel, 2015, p.1). Por último, en el tratamiento terciario se aplican combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias para disminuir nutrientes que en el tratamiento secundario no es significativo (Manrique y Piñeros, 2016: p.20), el objetivo es disminuir la DBO₅, la toxicidad de la polución y eliminar patógenos y parásitos (Marsilli, 2005; citado en Coronel, 2015, p.7).

1.2.6. Sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales

Entre las tecnologías naturales más destacadas son: las lagunas de estabilización, el Lombrifiltro (modelo Toha) y los humedales artificiales (Parra y Chiang, 2013; citados en Lima, 2016, p.5).

1.2.6.1. Lagunas de estabilización

Constituyen el tratamiento de desagües utilizado para pequeñas comunidades en Latinoamérica y corresponde a un proceso de estabilización natural que radica en la conservar el desagüe en las lagunas por un periodo de retención mayor a 20 días hasta alcanzar la estabilización de la materia orgánica que se obtiene a través de la simbiosis entre las algas productoras de oxígeno y las bacterias que lo utilizan para metabolizar la materia orgánica produciendo CO₂, que a su vez consumen las algas (Parra y Chiang, 2013; citados en Lima, 2016, p.6).

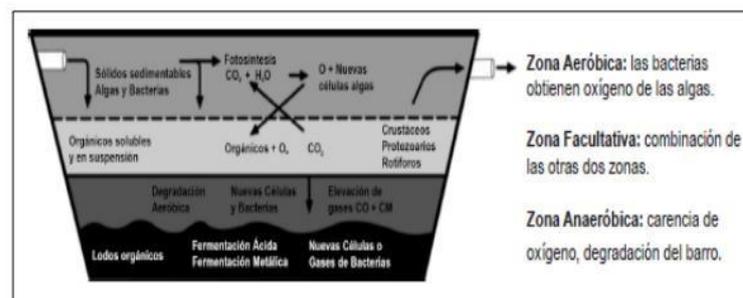


Ilustración 1-1: Laguna de estabilización

Fuente: (Parra y Chiang, 2013, 2016).

1.2.6.2. Lombrifiltro

El biofiltro o lombrifiltro es un sistema de tratamiento biológico de cultivo fijo que se fundamenta en la utilización de lombrices y bacterias combinadas con diferentes materiales filtrantes dentro del cual, el efluente es aspergeado sobre la superficie del Biofiltro y este es escurrido por el medio filtrante permaneciendo retenida la materia orgánica la cual es consumida por las lombrices,

oxidándola y degradándola (Gobierno de Chile CONAMA, s.f; citado en Lima, 2016, p.2).

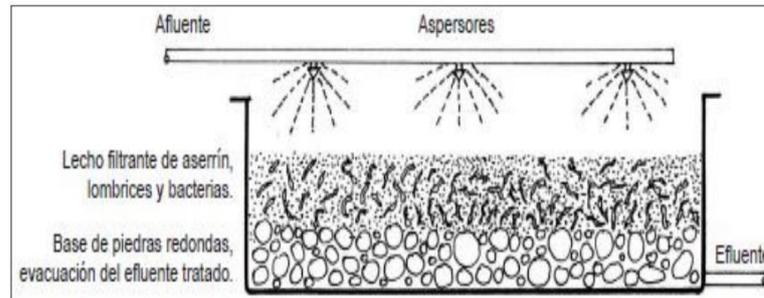


Ilustración 2-1: Lombrifiltro Modelo Sistema Tohá

Fuente: (Parra y Chiang, 2013, 2016).

1.2.6.3. Humedales artificiales

Según Sánchez (citado por Cueva y Rivadeneira, 2013, p.9) hay dos tipos para el tratamiento de agua residual, el primero es el Humedal de Flujo Superficial (HFS) y el segundo el Humedal de Flujo Subsuperficial (HSS) los cuales funcionan aplicando el agua residual retratada en forma continua, estos tratamientos se producen durante la circulación del agua a través de estos (Lima, 2016, p.20).

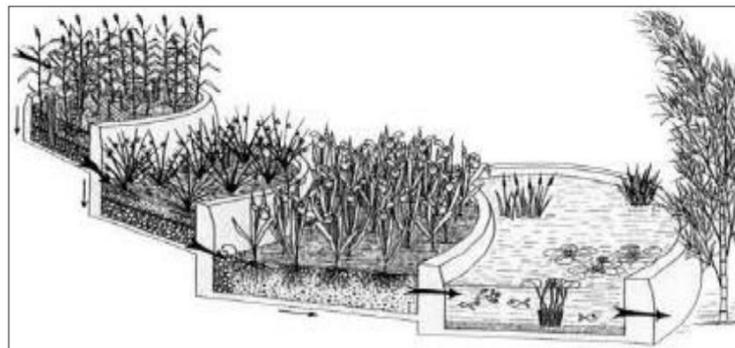


Ilustración 3-1: Sistema de Humedal Artificial

Fuente: (Parra y Chiang, 2013; citados en Lima, 2016).

1.2.7. Sistema tohá

1.2.7.1. Historia del lombrifiltro

José Tohá, un investigador de la Universidad de Chile fue quien descubrió este sistema en el año de 1947, actualmente este sistema es estudiado en gran amplitud en la estación de Texas, Melipilla en donde se encuentra la primera réplica del tratamiento de aguas residuales diseñado y construido aproximadamente en el año de 1947 para una población de 1.000 personas con el financiamiento de FONDEF, en la actualidad el método de este sistema se encuentra mejorando y estudiando

(Coila, 2013; citado en Bermúdez, 2019, p.7).

1.2.7.2. Descripción

Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales de origen doméstico o industrial, el cual se fundamenta en el empleo de lombrices rojas californianas de nombre científico *Eisenia Foetida*, ya que por las características físicas y estructurales que poseen un gran porcentaje de eficacia en la disminución de materia orgánica y organismos patógenos (Rodríguez, 2011; citado en Bermúdez, 2019), en este sistema no se necesita realizar tratamientos primarios, secundarios ni terciarios ya que tiene en su estructura varias etapas que reemplazan estos tratamientos, además no genera lodos debido a que las lombrices comen la materia orgánica que se encuentra en el agua residual y lo más importante es que no necesita de aditivos químicos, por otro lado, sus costos de inversión y operación son bajos comparado a otros tratamientos tradicionales de aguas residuales (Manrique y Piñeros, 2016: p.20).

Las capas que conforman el Lombrifiltro son 3: en la base piedras, después una capa de ripio o grava y finalmente el aserrín o viruta en donde las lombrices se sitúan para el proceso (Bermúdez, 2019, p.27).

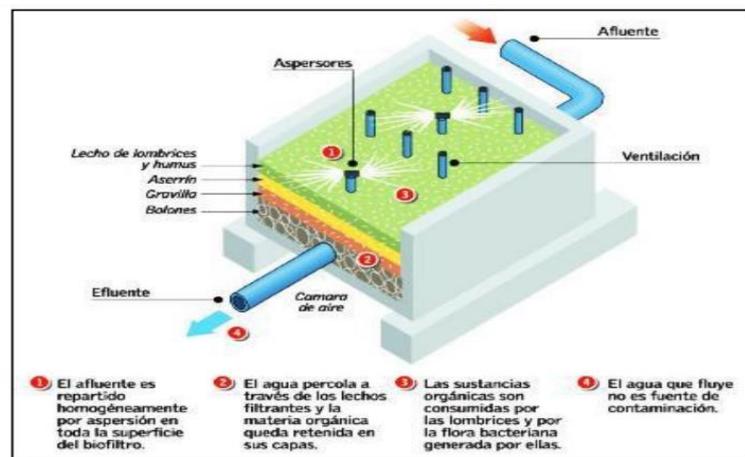


Ilustración 4-1: Modelo del lombrifiltro en corte esquemático

Fuente: (Sinha et al., 2008; citados en Bermúdez, 2019)

1.2.7.3. Descripción de las capas del lombrifiltro

Se recomienda tomar en cuenta los parámetros como el caudal, velocidad del caudal, tiempo de retención hidráulico (TRH), profundidad, ancho, largo y altura del sistema para su diseño ya que estos intervienen en el proceso de tratamiento para reducir el grado de contaminación de las aguas residuales urbanas o rurales (Bermúdez, 2019, pp. 28-29).

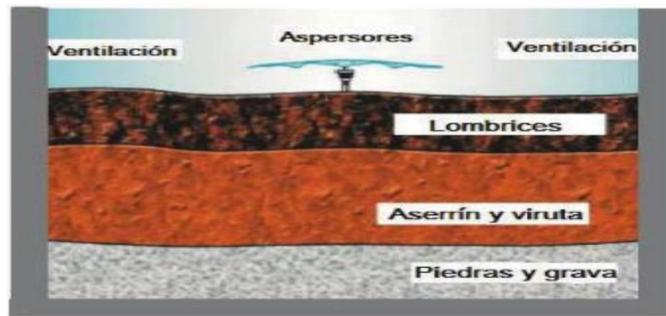


Ilustración 5-1: Capas del Lombrifiltro

Fuente: (Jimenez, 2016; citado en Bermúdez, 2019).

La primera capa es una combinación de aserrín o viruta mezclada con lombrices, el fin de esta capa es servir de alimento para las lombrices en caso de que la materia orgánica del afluente no sea suficiente, lo recomendable para obtener un resultado eficiente es que tenga un espesor de 25cm. La segunda constituye una capa de ripio o grava de distintas granulometrías la cual es aconsejable ya que esta facilita la creación rápida de la biopelícula que es un ecosistema microbiano, conformado por uno o varios microorganismos. Por último, la tercera capa consiste en piedras enteras que cumplen con la función de soporte y de filtro, debido al tamaño estas piedras van en la parte inferior y se recomienda una altura máxima de 10cm. En la parte inferior del sistema, se encuentra una losa de concreto con una pendiente aproximada de un 1%, en el área interna del lombrifiltro se instalan tubos de PVC en forma vertical para que su parte superior sobresalga, estos están sujetos al concreto (Bermúdez, 2019, p. 29).

1.2.7.4. Microbiología del biofiltro Tohá

En la capa de aserrín se puede encontrar bacterias filamentosas como *Sphaerotilus natans* y *Beggiatoa* además de un consorcio bacteriano constituido por: *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes*, en cambio en los estratos inferiores se encuentran las bacterias nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* las cuales pueden generar malos olores debido a la falta de sistemas de ventilación, por otro lado, en el sistema de filtración se puede encontrar protozoos del grupo *Ciliata* incluyendo *Vorticella*, *Opercularia* y *Epistylis* que son microorganismos que tienen un dominio sobre las bacterias, además las bacterias establecen agua residual cuando el pH es bajo (Coronel, 2015, p.19).

1.2.7.5. Operación y mantenimiento del lombrifiltro

Es necesario realizar un movimiento constante mezclando la viruta con el lecho filtrante para mejorar la permeabilidad y para prevenir el empozamiento del agua (Bermúdez, 2019, p. 34). Además, es importante también que el alimento este en un estado de saturación para evitar la acumulación

del agua ya que la lombriz no hace un trabajo adecuado y podría causar su muerte provocando que se pierda la homogeneidad del sistema (Pérez, 2010; citado en Bermúdez 2019, p.7)

1.2.8. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Según Coronel (2015, p.2) es considerado como un animal ecológico y su función es transformar los residuos orgánicos en humus. Por otra parte, para Liberio (2019, p.8) es un invertebrado de cuerpo cilíndrico y alargado que en su estado adulto puede medir entre 5 a 6 mm, estas son sensibles a la luz por lo que un tiempo corto expuestas a los rayos solares las podría matar. Tienen mayor adaptabilidad a varios sustratos, cambios de temperatura, variabilidad de pH y humedad (Compagnoni y Ptzolu, 1998; citados en Coronel, 2015, p.4). La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) llega a su estado de madurez en 3 meses, es hermafrodita, su alimentación son desechos orgánicos y necesita de un sustrato que posea aireación, porosidad y movimiento (Paco, 2011; citado en Liberio, 2019, p.26).

Tabla 1-2: Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana

Reino	Animal
División	Anélidos
Clase	Clitelados
Orden	Oligoquetos
Familia	Lombrícidos
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	Foetida

Fuente: Vásquez, 2017, p.8.

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

1.2.8.1. Características de la lombriz *Eisenia foetida*

Las lombrices son capaces de modificar las propiedades físicas del suelo como la formación de canales, la porosidad, el estado de agregación de las partículas y la composición química y biológica por otro lado, regulan algunas actividades de otros microorganismos (Monroy, et al, 2008; citados en Landeta, 2019, p.3), son epigeas y se las puede hallar en el horizonte orgánico del suelo alimentándose de materia orgánica (Domínguez y Gómez, 2010; citados en Landeta, 2019, p.5).

Esta especie puede adaptarse a temperaturas de entre 15 y 25°C a un pH de 7 y 8 que es lo idóneo para el crecimiento, tienen una elevada tasa de reproducción, son capaces de adaptarse en sitios de espacios reducidos, cuando una lombriz se divide en dos partes la parte que sobrevive es la parte posterior ya que en sus metámeros se encuentra un corazón y dos riñones asimismo posee un

sistema circulatorio, nervioso y muscular (Mejía, 2006; citado en Coronel, 2015, p.6), lo interesante es que no transmiten enfermedades (Duran y Henríquez, 2009; citados en Landeta, 2019, p.6). Lo importante sobre esta especie es que el color define el ciclo biológico ya que la coloración blanca es cuando están empezando a crecer, la rosada cuando están en su estado juvenil y las de color rojo oscuro cuando ya son adultas (Duran y Henríquez, 2010; citados en Landeta, 2019, p.12).

1.2.8.2. Alimentación

La lombriz se alimenta succionando el alimento por la boca la cual está ubicada en el primer anillo, cuando el alimento llega al estómago las glándulas calcíferas o glándulas de Morren son las que se encargan de segregar carbonato cálcico con el fin de neutralizar los ácidos de los alimentos ingeridos que una vez atravesados por el aparato digestivo son excretados por el ano que está situado en la parte posterior de la lombriz, estas tienen la capacidad de alimentarse de sustratos que posean un pH de 6 a 8.5 (Mejía, 2006; citado en Coronel, 2015, p.98).

Las lombrices se cultivan en un sustrato y se alimentan del mismo, este sustrato puede tener en su composición una gran variedad de materia orgánica la misma que determinara el crecimiento de la población, la reproducción, la talla y el peso de la especie (Crespo, et al., 2012; citados en Coronel, 2015, p.1).

1.2.9. Áreas de aplicación del sistema

1.2.9.1. Área industrial

- **Industria alimentaria**

La producción de Carragenina es utilizada como gelificante o a su vez como estabilizante en la industria alimentaria, la elaboración de este producto desencadena una gran cantidad de residuos líquidos industriales (RILes) originando elevados valores de DBO₅ y DQO. Por lo que han realizado un estudio de una alternativa que se basa en la utilización de un lombrifiltro a escala de laboratorio para reducir la DBO₅ y DQO en donde obtuvieron como resultados para los ensayos con RIL diluido y sin diluir una reducción del 77% y 60% para DBO₅, un 78% y 58% para DQO y para sólidos suspendidos totales un 98% y 97% mediante el cual realizaron el análisis de factibilidad económica del proceso para ser instalado a escala industrial y concluyeron que es viable (Bravo, 2019, p.25).

- **Industria láctea**

La factibilidad del sistema denominado lombrifiltro es comparado con un geofiltro tratando aguas

residuales de la industria Láctea Pasco. Los parámetros fisicoquímicos que se estudian para determinar la eficiencia de estos dos sistemas fueron DQO, DBO y pH obteniendo como resultados un 79.56% y 55.18% de remoción en el lombrifiltro y en el geofiltro para DQO, para DBO no se obtuvo reducción alguna comparando con el agua sin tratar, por otro lado, el pH alcanza un valor de 4.56 (Manrique y Piñeros, 2016: p.15).

La fabricación de quesos y yogures origina un elevado contenido de materia orgánica en las aguas residuales que vierte la industria láctea. Aunque esta ya cuenta con un sistema de tratamiento de biodigestores y humedales, estos no son suficientes para el tratamiento de sus aguas residuales ya que la producción de la empresa Flor de leche ha incrementado, por tal razón, se ha visto en la necesidad de implementar un sistema que se acople a los mencionados anteriormente, este sistema es el lombrifiltro con el cual han obtenido óptimos resultados en la degradación de materia orgánica con valores que difiere de un 70 a 95% de eficiencia (Pérez y Carrasco, 2019, p. 42).

- Industria de embutidos

Con el fin de que el efluente cumpla con la norma para descargas líquidas al alcantarillado en la ciudad de Quito, han desarrollado un sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de embutidos que incluye: un interceptor de grasas y aceites, un sistema de flotación por aire y un lombrifiltro, para lo cual, primeramente caracterizaron las aguas residuales crudas de la industria para posterior a ello, diseñar el sistema de tratamiento para determinar la eficiencia de remoción. Los resultados que obtuvieron fue que *Eisenia Foetida* remueve una gran cantidad de materia orgánica en un tiempo de retención de 14 horas, además de que el lombrifiltro tiene un porcentaje de eficiencia de remoción de 86,9% para DBO₅ por lo que al medir los parámetros después del tratamiento cumplen con los requisitos establecidos por el municipio de Quito (Cabrera et al., 2022: pp.47-54).

- Industria pesquera

El lombrifiltro fue utilizado para tratar las aguas residuales que provienen de la Empresa Comercializadora de Productos Hidrobiológicos Sociedad Anonimia ECOMPHISA obteniendo como resultados una disminución del 94.19% para turbidez, un 87.21% para DBO y un 85.78% para la DQO, además se observó un pH promedio de 7.61 y la disminución de 160 mg/L a 63 mg/L de SST después del tratamiento (Maza, 2017, p.55)

1.2.9.2. Área forestal

Machay verde, un proyecto medioambiental que mantiene la determinación de reutilizar el agua residual para fines de riego forestal se ha visto en la necesidad de implementar un sistema que le

permita acrecentar la eficiencia de la remoción de los contaminantes debido a que, la planta de tratamiento que posee ha disminuido su eficacia por motivos de deterioro de las infraestructuras de las áreas operativas. Por tal motivo, implementan el lombrifiltro para determinar la viabilidad y eficiencia mediante análisis de laboratorio obteniendo como resultado una eficiencia de remoción de 90.84% para DQO, 95.46% para DBO y 99.37% para Coliformes Fecales obteniendo como promedio de eficiencia del lombrifiltro un 95.22% (Gallegos, 2019, pp. 1-65).

1.2.10. Aplicación del sistema en el país

Las descargas con elevadas cantidades de materia orgánica que genera la industria Láctea es un gran problema en zonas rurales, debido a que estas no pasan por un tratamiento previo, razón por la cual, han desarrollado una investigación enfocada a la determinación de la eficiencia del sistema Toha a escala de laboratorio en el tratamiento de las aguas residuales en donde encontraron que la carga contaminante había reducido obteniendo como resultados la remoción del 77% en DQO, el 68% en turbidez, el 65% en sólidos suspendidos, un 63% en aceites y grasas y por último un pH neutro (Orozco y Sánchez, 2020: p.30).

Debido a que el lombrifiltro o sistema Toha es un método económicamente viable y eficiente en la remoción de contaminantes que afectan la calidad del agua y que, la industria Láctea produce cantidades inmensas de desechos, han optado por esta alternativa para tratar el agua residual de la empresa Grupo Rossi del cantón Mejía, provincia de Pichincha en el cual han experimentado con este sistema y han obtenido mediante laboratorio resultados de eficiencia del lombrifiltro del 81% para materia orgánica y más del 90% para la remoción de nutrientes (Lara y Ruchi, 2022: p. 39). En las zonas rurales se vierten las aguas residuales sin un tratamiento previo, lo cual provoca un problema de contaminación ambiental y salud pública. Es así que el objetivo de este estudio es la evaluación de la eficiencia de remoción de la materia orgánica presente en el agua residual doméstica por medio de lombrifiltro en el que alcanzó una mayor remoción en el tratamiento 1 con porcentajes de remoción para DBO₅ y DQO de 52,25%, para SST un porcentaje de 66,74% y para ST 52,91% con un caudal y TRH de $1,8 \times 10^{-2}$ L/s y 0.92h respectivamente (Castillo y Chimbo, 2019: p. 45).

El diseño y construcción de un sistema de biofiltración se realizó con la finalidad de comprobar el grado de purificación que se consigue después del tratamiento de las aguas residuales, para ello realizaron análisis de laboratorio en los que encontraron que para sólidos suspendidos y grasas y aceites obtuvieron un porcentaje de remoción de 90% y 92,57%, para la DBO y DQO un porcentaje de 86,71% y 89,17% respectivamente concluyendo que es un sistema idóneo para depurar las aguas residuales procedentes de la cría de cerdos (Lima, 2016, p.2).

La investigación realizada en el Camal de Ibarra tiene como fin determinar la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales por medio de Vermifiltros mediante la disminución de sólidos totales y DQO. Los resultados fueron eficientes en los dos tratamientos que utilizaron sustratos

de grava, aserrín, viruta y lombrices *Eisenia foetida* con la diferencia uno del otro es que el Vermifiltro 1 se utilizó piedra pómez y en el Vermifiltro 2 piedra bola obteniendo así mejores resultados en el primero con un 92.27% de reducción para DQO y un 64,01% en sólidos totales (Landeta, 2019, p.1).

1.3. Base legal

1.3.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 14. “Establece como un derecho de las personas a vivir en un ambiente ecológicamente equilibrado y sano, donde se garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay” (Constitución del Ecuador, 2008, p.13).

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama en donde se reproduce la vida, tiene el derecho a su existencia, mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos (Constitución del Ecuador, 2008, p.33).

Art. 396.- El Estado deberá adoptar políticas y medidas para evitar los impactos ambientales negativos adoptando medidas protectoras eficaces y oportunas (Constitución del Ecuador, 2008, p.119).

Art. 411.- El Estado deberá garantizar la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico, además deberá regular toda actividad que pueda afectar la calidad y la cantidad del agua, así como los ecosistemas principalmente las fuentes y zonas de recarga de agua (Constitución del Ecuador, 2008, p.123).

1.3.2. Código Orgánico Ambiental (COA) 2017

Art. 1. Debe garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o Sumak kawsay (COA, 2017; citado en Liberio, 2019).

Art. 191. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto (COA, 2017; citado en Liberio, 2019, p.2).

1.3.3. Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua

Artículo 64. Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
 - b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad,
 - c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico; d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos” (Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014, p.3).

1.3.4. Acuerdo ministerial 097-A

Art. 72.- Muestreo: En la toma de muestras se observarán además de las disposiciones establecidas en el plan de manejo ambiental del regulado (programa de monitoreo) las disposiciones sobre:

- Tipo y frecuencia de muestreo
- Procedimientos o Métodos de muestreo (Núñez, 2015; citado en Liberio, 2019, p.21).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Localización del estudio

El camal municipal del Cantón San Pedro de Pelileo tiene un área total de 5,3 ha y está ubicado en la Provincia de Tungurahua, cantón Pelileo entre la Avenida de los Recuerdos y barrio la Loma (Rodríguez, 2021, p.23).

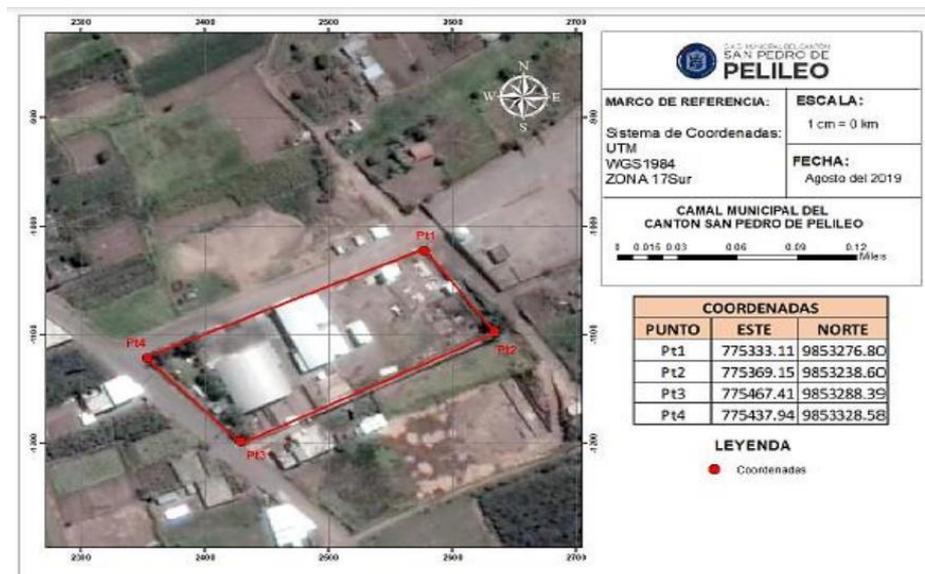


Ilustración 1-2: Ubicación del camal municipal

Fuente: (PDYOT, 2020; citado en Rodríguez, 2021).

El camal está destinado al faenamiento y desposte de ganado porcino y bovino para después despacharlo y comercializarlo, cuenta con un promedio de producción de 600 cabezas de ganado bovino y 1500 cabezas de ganado porcino. Este cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales diseñado para un caudal de 2,714 L/s la cual incluye procesos para el tratamiento de efluentes con alta carga orgánica el cual se puede observar en el siguiente diagrama (Rodríguez, 2021, p. 24-25).

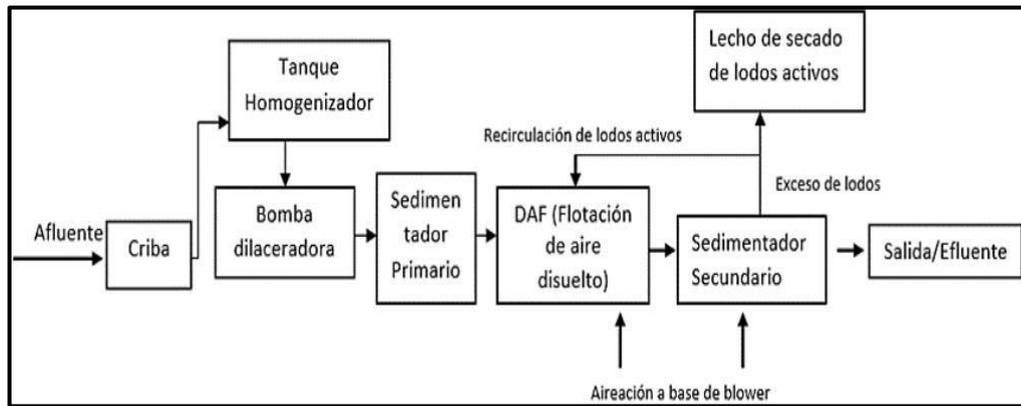


Ilustración 2-2: Etapas actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales

Fuente: (Casamco, 2019; citado en Rodríguez, 2021).

2.2. Tipo de investigación

Por el método de investigación: Cuantitativa debido a que se va a recoger datos antes y después de la biofiltración con lombrices.

Aplicada, porque tiene un fin directo el cual plantea disminuir la carga orgánica de las aguas residuales con la utilización del biofiltro de lombrices

Explicativa, porque se va detallando los métodos y las técnicas utilizadas para la construcción del biofiltro, adaptación de la lombriz y el tratamiento de las aguas residuales.

Experimental, porque tenemos dos grupos de estudios ya establecidos: Grupo Control y Grupo Experimental, ya que se propone un Biofiltro compuesto de lombrices para la disminución de carga orgánica de las aguas residuales, las cuales serán métodos experimentales.

Hipotética-deductiva, ya que se parte de una hipótesis y se trata de probarla

2.3. Diseño de la investigación

2.3.1. Cuasi experimental

Cuasi experimentos: porque tiene grupo control y grupo de experimentación, pero la asignación de los participantes no es al azar por lo tanto es no probabilístico.

2.3.2. Identificaciones variables

Tabla 2-2: Variables de la investigación

Variable independiente	Variable dependiente	Variable Intervinientes
Peso Lombrices (<i>Eisenia foetida</i>)	Eficiencia del Biofiltro de lombrices	Adaptación de las lombrices (pH, humedad, temperatura) Análisis de laboratorio (pH, conductividad, color, turbiedad, nitritos, nitratos, fosfatos, DBO, DQO, sólidos disueltos y sólidos totales)

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

2.3.3. Hipótesis de investigación

El biofiltro de lombrices elaborado disminuirá la carga orgánica del agua residual proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal.

2.4. Métodos y técnicas

El proceso que se llevará a cabo en la investigación se presenta en la Ilustración 3-3, la misma que se puede observar que se inicia con el diseño y construcción del biofiltro de lombrices para posteriormente, realizar el muestreo del agua residual y la adaptación de la lombriz la cual, una vez adaptada se procederá a la recolección del agua residual del camal para llevarla al laboratorio para su respectiva caracterización y para ser aspergeada en el biofiltro de lombrices, una vez terminado el tratamiento se realizara el muestreo del agua tratada para ser llevada al laboratorio para sus respectivos análisis.

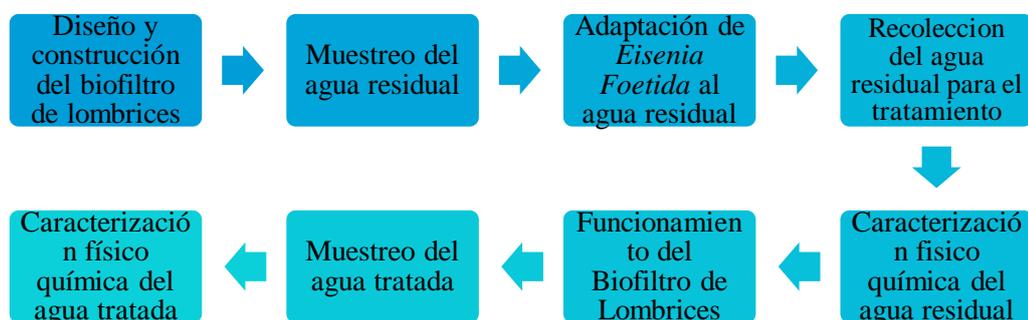


Ilustración 3-2: Etapas de la investigación

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

2.4.1. Fase de diseño y construcción del biofiltro de lombrices o biofiltro Tohá

La fase de diseño y construcción del biofiltro se realizó en mi domicilio en el Barrio el Tambo de la ciudad de Pelileo, provincia de Tungurahua

2.4.1.1. Materiales

- Un tanque de 60 litros de capacidad
- 3 tubos cuadrados galvanizados de 25x25mm y 1.5 mm de espesor
- ½ tubo redondo de 25mm de diámetro x1.5mm de espesor
- 1 plancha de acero inoxidable de 2mm de espesor
- 2 ruedas locas fijas y 2 ruedas locas con freno
- neplós de acero inoxidable
- 1 vidrio transparente de 8mm de espesor
- 3 llaves de paso de acero
- 1 tubo de PVC de presión
- 2 discos de corte
- 2lb de Electrodo 60/11
- 2lb electrodo de acero inoxidable
- Piedra de desbaste
- Piedras de corte
- Brocas
- Fondo anticorrosivo
- Thinner
- Pintura sintética
- 1 tarraja

2.4.1.2. Método

El sistema de biofiltración fue diseñado tomando en cuenta las siguientes partes:

- Un tambor de homogenización
- Un sistema de distribución de agua residual (aspersión)
- Un tanque de biofiltración
- Un tanque de almacenamiento

El tambor Homogenizador es de material PVC y tiene una capacidad de 60 litros, en este se realizó un orificio en la parte inferior del mismo en el cual se colocó un tubo de PVC de 1/2 pulgada con una llave de paso. Finalmente se conectó a la llave un sistema de aspersión formado por tubos curvos de alta presión perforados a cada 5cm por el cual se riega el agua residual que contiene el

tambor hacia el tanque de biofiltración.

La construcción del tanque de biofiltración fue diseñado en base a la tesis realizada por (Coronel, 2015, p.29) el cual lo construyó con una lámina de acero inoxidable de 2mm de las dimensiones de 50x30x39cm doblados y soldados con electrodo de acero inoxidable, además se ha instalado una llave de paso de ½ pulgada; en la parte frontal se ha colocado un vidrio transparente de 8mm de espesor, el tanque de biofiltración tiene en el fondo una pendiente del 1% y en su interior una gradilla que es un doble fondo el cual tiene perforaciones de 5mm de diámetro a cada 2cm, por otro lado se colocó un sistema de ventilación constituido por dos tubos verticales de PVC de ½ pulgada con codos con dirección opuesta al tanque de biofiltración.

Finalmente, el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se lo realizó tomando en cuenta el 70% del tambor homogenizador y el tiempo que se llevó a cabo cada ensayo. La construcción se realizó con acero inoxidable y contendrá una tapa la cual evite que el agua tratada se contamine, además en el fondo se encuentra un nepló en forma de L el cual conduce a la parte frontal del tanque y se conecta con una llave de paso por la cual saldrá el agua tratada.

Para el cálculo del volumen del tanque de biofiltración y del tanque de almacenamiento se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$V_{total} = L * A * H$$

El soporte que sostiene todo el biofiltro de lombrices fue construido con 3 tubos cuadrados galvanizados de las medidas que se muestra en el ANEXO B soldado con electrodo 60/11, pulido y fondeado con anticorrosivo para su protección y pintado con pintura sintética. En la parte inferior se instala 4 ruedas locas, dos sin freno en la parte frontal del biofiltro y dos ruedas con freno en la parte posterior con el objetivo de facilitar el movimiento del mismo. El soporte cuenta en su parte superior con una estructura que permite que el tambor de homogenización se mantenga en su sitio.

2.4.2. Muestreo del agua residual industrial

2.4.2.1. Materiales

- Botellas ámbar de 1L con tapa
- Botellas de plástico de 6L
- Balde
- Soga
- Guantes
- Mascarilla

- Cooler
- Gel Hielo

2.4.2.2. Método

Para el muestreo del agua residual es necesario ponerse la protección adecuada, la recolección de las muestras se tomará de la caja de revisión que se encuentra en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Municipal de Pelileo, este proceso se lo realizará en 2 fases.

El procedimiento que se llevó a cabo para el muestreo fue en base a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 (Agua. Calidad del agua, 2013b), para lo cual fue necesario purgar las botellas ámbar tres veces antes de realizar la recolección de la muestra para ser transportadas y almacenadas en un cooler para posterior a ello ser refrigeradas a 4° C.

Primera fase: Adaptación de las lombrices

La recolección de las muestras fue mediante el Método manual a partir de un muestreo por conveniencia, es decir por el método no probabilístico o dirigido en las horas donde existe mayor número de animales faenados. Se realizará por muestra compuesta tomando muestras simples 3 días a las 07H00 y a las 11h00, para la primera fase se recolectará un total de 12L es decir, que se recolectara 4L diarios en los días Lunes, Miércoles y Viernes.

Segunda fase: Funcionamiento del biofiltro

Para esta fase se recolectará la cantidad de 180L los cuales serán destinados para el proceso de filtración y los análisis físico-químicos antes y después del tratamiento, es decir se tomara la cantidad de 60L de agua residual, una semana antes del primer tratamiento, 3 días a la semana a las 07H00am y a las 11h00am, horas donde existe mayor número de animales faenados, las muestras serán etiquetadas y refrigeradas a 4°C para posterior a ello ingresar las muestras en el tambor de homogenización esperando que se encuentre a temperatura ambiente para proceder a aspergear el agua residual sobre el tanque de filtración.

2.4.3. Adaptación de Eisenia foétida al agua residual del camal

2.4.3.1. Materiales

- Recipientes de plástico
- Agua residual
- Termómetro digital
- Tiras medidoras de pH
- Balanza electrónica
- Un vaso de precipitación de 1000 ml

- Una probeta graduada de 100ml
- Mascarilla
- Guantes
- Rotuladores
- Agua destilada
- Toallas de papel
- 1.5 kg de *Eisenia foétida* o lombriz californiana
- Malla plástica
- Aspersor
- Aserrín

2.4.3.2. Método

- Identificar los recipientes que fueron utilizados para el proceso como T1, T2 Y T3.
- Hacer agujeros en el recipiente.
- Colocar la malla plástica en el fondo de cada uno de los recipientes.
- Pesar 1000g (aserrín+viruta) y 500g de lombriz (lombriz + humus) para cada uno de los recipientes.
- Preparar el sustrato para cada tratamiento en un recipiente aspergeando agua residual sobre los 1000g de aserrín de modo que este quede húmedo, posterior a ello colocar los 500g de lombriz.
- Aspergear 500ml distribuidos 3 veces al día diluyendo la concentración.
- Verificar el porcentaje de humedad mediante la prueba de puño, registrar el pH y la temperatura de cada uno.
- Pesar el sustrato con las lombrices los días de la adaptación.
- Registrar los valores obtenidos durante los 7 días de adaptación de las lombrices.

2.4.4. Relleno del tanque de biofiltración

2.4.4.1. Materiales

- Piedra bola # 1 (piedra bola < 3 cm de grosor)
- Piedra bola #2 (piedra bola de < 2 cm de grosor)
- Grava #1 (piedra de < 2 cm de grosor)
- Grava #2 (piedra de <1 cm de grosor)
- Arena <0.5mm
- Aserrín

- Viruta
- Humus y *Eisenia foétida*
- Malla tipo raschell

2.4.4.2. Método

Para el llenado del biofiltro se agregará de manera manual: una capa de piedra bola #1 y piedra bola #2, después una capa de grava #1 y #2, y una capa de 2.5cm de arena y se cubrirá con una malla Raschel. Finalmente se colocará una capa de aserrín, una capa de viruta y una capa de humus con las lombrices que se adaptaron al agua residual del Camal Municipal. Todas las capas serán aspergeadas con agua residual sobre el tanque de biofiltración.

Para el cálculo del llenado del tanque de biofiltración se utilizó las siguientes ecuaciones:

- Capa de piedra (cm):

$$x = \frac{\% \text{ total del estrato piedra} * \text{altitud util del biofiltro en cm}}{100}$$

- Capa de aserrín- viruta-humus (cm):

$$x = \frac{\% \text{ total del estrato aserrín} - \text{viruta} - \text{humus} * \text{altitud util del biofiltro en cm}}{100}$$

- Porcentaje de la capa de humus:

$$x = \frac{\text{estrato humus en cm} * 100}{\text{altitud de la capa de aserrin} - \text{viruta} - \text{humus en cm}}$$

- Capa de aserrín en el biofiltro (cm):

$$x = \frac{\% \text{ estrato aserrin} * \text{altitud de la capa de aserrin} - \text{viruta} - \text{humus en cm}}{100}$$

- Capa de viruta en el biofiltro (cm):

$$x = \frac{\% \text{ estrato viruta} * \text{altitud de la capa de aserrin} - \text{viruta} - \text{humus en cm}}{100}$$

- Área afectiva del tanque de biofiltración:

$$\text{Área} = L * A$$

Donde:

L: largo del tanque de biofiltración

A: ancho del tanque de biofiltración

- Volumen útil del tanque de biofiltración:

$$V_{\text{útil}} = L * A * AE$$

Donde:

L= largo del tanque

A= ancho del tanque

AE= altura de los estratos

2.4.5. Determinación del caudal de entrada y salida del agua residual cruda y tratada

2.4.5.1. Materiales

- Sistema de biofiltración
- Cronómetro
- Un vaso de precipitación de 1000 ml
- Cuaderno de apuntes

2.4.5.2. Método

Para la determinación del caudal se procedió abrir la llave de control del tambor de homogenización en tres distintas aberturas, se colocó un vaso de precipitación de un litro debajo de la llave de paso y se tomó el tiempo, posterior a ello se cerró la llave y se recogió el vaso con el agua recogida, finalmente se midió la cantidad de agua residual, esto se repitió tres veces para conseguir resultados más acertados en cada una de las aberturas de la llave (Bermúdez, 2019, p.62). El caudal del tanque de almacenamiento se lo realizó de la misma manera que el tambor de homogenización con la diferencia que esta se hizo abriendo la llave completa.

Para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

V: volumen

t: tiempo

2.4.6. Determinación del tiempo de retención hidráulico

- Carga hidráulica:

$$CH = \frac{\text{caudal de entrada}}{\text{area util}}$$

- Retención hidráulica:

$$TRH = \frac{\text{volumen util}}{\text{caudal de entrada}}$$

2.4.7. Determinación del área del tanque de biofiltración y tasa de riego

- Área del tanque de biofiltración:

$$\text{Área} = 2(ab + ac + bc)$$

- Tasa de riego:

$$\text{tasa de riego} = \frac{Q}{A} \leq 1\text{m}^3/1\text{m}^2/\text{dia}$$

Donde:

Q: caudal en m^3/dia

A: Área en m^2

2.4.8. Análisis físicoquímicos del agua residual industrial cruda y tratada

2.4.8.1. Materiales

- Sistema de biofiltración
- Agua residual de camal
- Botellas plásticas de 1l
- Cooler
- Gel hielo

2.4.8.2. Método

Para el muestreo del agua cruda se purgo tres veces las botellas plásticas antes de recolectar el agua residual de la caja de revisión. La cantidad que se tomo fue de un litro posterior a ello se etiqueto y se almaceno en refrigeración con gel hielo a 4°C para transportarlo para su respectivo análisis. Para el muestreo del agua residual tratada se realizó la purga tres veces y se tomó la cantidad de 1 litro de la llave de salida del biofiltro, de la misma manera fue etiquetada y almacenada en refrigeración con gel hielo a 4°C para transportarlo para su respectivo análisis en el laboratorio. Esto se lo realizó durante tres semanas consecutivas, tiempo en el que el biofiltro de lombrices estará funcionando.

2.4.9. Cuidado del biofiltro de lombrices

2.4.9.1. Materiales

- horqueta
- un recipiente
- una malla de lombriz

2.4.9.2. Método

Mediante el horqueteo de la viruta que está en la superficie del biofiltro se retirará la vegetación que crezca en el tanque de biofiltración, y se limpiará todas las llaves, así como el sistema de aspersión para proceder a cosechar el humus (Coronel, 2015, pp. 35-36).

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN LOS RESULTADOS

3.1. Diseño y construcción del biofiltro de lombrices

La construcción del biofiltro de lombrices se lo realizó tomando en cuenta los parámetros que intervienen en el proceso los cuales, según (Jiménez, 2016; citado en Bermúdez, 2019, p.96) son el caudal, tiempo de retención hidráulico (TRH), profundidad, ancho, largo y altura del sistema; los mismos que permitirán reducir el grado de contaminación de las aguas residuales urbanas o rurales. Además, se tomó como referencia el diseño propuesto por Coronel (2015, pp. 27-36) el cual consta de lo siguiente:

3.1.1. *Tambor de homogenización*



Ilustración 1-3: Tambor de homogenización

Fuente: (Dreamstime, 2022)

Es de capacidad de 60L en el cual se almacenarán las submuestras de agua residual para el tratamiento que se lo realizara mediante el biofiltro de lombrices durante tres semanas. En el tambor de homogenización se colocó un tubo PVC de ½ pulgada con una llave de paso que conecta al sistema de aspersión mediante una unión universal que distribuye el agua homogéneamente por todo el sistema de biofiltración.

3.1.2. *Tanque de biofiltración*

Este fue realizado en base a la escala 1:4, los cálculos obtenidos se encuentran en la tabla 1-3: Dimensiones del tanque de biofiltración y gradilla, el tanque fue construido con una plancha de acero inoxidable de 2mm con su parte frontal conformado de un vidrio mediante el cual se podrá visualizar el proceso de filtración. El fondo del tanque tiene en su estructura una pendiente del

1% el cual tiene la finalidad de guiar al agua biofiltrada a un solo punto por el cual desciende al tanque de almacenamiento por medio de un neplo que posee una llave de paso. El tanque de biofiltración tiene una gradilla o doble fondo con perforaciones de 0.5cm a cada 2cm, por otra parte, se encuentra un sistema de ventilación el cual está compuesto por dos tubos verticales de PVC de ½ pulgada para proporcionar la aireación de los estratos del biofiltro.

Tabla 1-3: Medidas del tanque de biofiltración y doble fondo

TANQUE DE BIOFILTRACIÓN		
Descripción	Símbolo	Medida (m)
Ancho	A	0.30
Largo	L	0.50
Alto	H	0,39
GRADILLA O DOBLE FONDO		
Tamaño de agujero (cm)	0.5	

Fuente: Coronel, 2015, p. 39.

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.1.2.1. Cálculo del volumen del tanque de biofiltración

$$V_{total} = L * A * H$$

$$V_{total} = 60L$$



Ilustración 2-3: Tanque de biofiltración

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.1.3. El tanque de almacenamiento del agua filtrada

El tanque de almacenamiento se dimensionó tomando en cuenta que cada día el agua tratada será recolectada para ello se tomó en cuenta el 70% del tambor de homogenización.

Tabla 2-3: Medidas del tanque de almacenamiento

TANQUE DE ALMACENAMIENTO		
Descripción	Símbolo	Medida(m)
Largo	L	0.40
Ancho	A	0.30
Alto	H	0.35

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.1.3.1. Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento

$$V_{total} = L * A * H$$

$$V_{total} = 42L$$



Ilustración 3-3: Tanque de almacenamiento

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.1.4. Soporte del biofiltro

El soporte está elaborado por 3 tubos cuadrados de 1inx2mm galvanizado el mismo que en su base contiene 4 ruedas locas las cuales están distribuidas de la siguiente manera: 2 ruedas sin freno en la parte frontal y 2 ruedas con freno en la parte posterior del biofiltro de lombrices.

Tabla 3-3: Medidas del soporte del biofiltro de lombrices

SOPORTE DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES		
Descripción	Símbolo	Medida(m)
Largo	L	0.85
Ancho	A	0.50
Alto	H	1.16

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 4-3: Soporte del Biofiltro

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.2. Muestreo del agua residual industrial

Las muestras fueron recolectadas y almacenadas en refrigeración a 4°C una semana antes de cada fase: para la adaptación se recolectó el total de 12L distribuidos en la semana y para cada tratamiento se recolectó un total de 180L, es decir, cada semana 60L durante el tiempo en que se realizó la filtración para posterior a ello colocar en el tambor de homogenización y esperar a que el agua residual se encuentre a temperatura ambiente para poder aspergearla.

Tabla 4-3: Resultados del muestreo semanal de aguas residuales del Camal

Fase	Días	Numero de muestras diarias	Número de semanas	Volumen recolectado por día (L)	Total volumen recolectado(L)
Adaptación	Lunes	2	1	4	12
	Miércoles	2		4	
	Viernes	2		4	
Filtración	Lunes	2	3	20	180
	Miércoles	2		20	
	Viernes	2		20	
Análisis AR cruda		1	3	1	3

	Total	195
--	--------------	------------

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

Por lo tanto, en la tabla 4-3 se puede observar que la cantidad que se utilizó para la investigación fue de 195 litros de agua residual del Camal Municipal de Pelileo.



Ilustración 5-3: Purgación de las botellas ambar

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 6-3: Recolección de la muestra

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 7-3: Toma de muestra

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 8-3: Refrigeración de la muestra

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.3. Adaptación de *Eisenia foetida*

La Adaptación de las lombrices se realizó en mi domicilio ubicado en el barrio El Tambo del cantón de Pelileo, provincia de Tungurahua.

Según Somarriba y Guzmán (2004, p.11) la cantidad de lombrices a manejar por 1m^2 es de 10kilos de lombriz, por lo tanto, tomando en cuenta que el área del biofiltro es de $0,15\text{ m}^2$ se utilizó la cantidad de 1,5kg de lombriz para la biofiltración.

Para la adaptación de la lombriz se utilizó la cantidad de 1,5L de agua residual diarios tomando en cuenta el estudio realizado por (Bermúdez, 2019, p.61) y (Loro, 2018; citado en Castillo & Chimbo, 2021, p.12) donde se observa que para 1kg de lombriz utiliza 1000mL de agua residual por día. Las lombrices se colocaron en tres recipientes, cada uno etiquetado como T1, T2 y T3 respectivamente, después se procedió a perforar a cada uno para colocar mallas en su base, finalmente se añadió 1000g de aserrín+ viruta el cual fue aspergeado con el agua residual verificando el porcentaje de humedad mediante la prueba de puño para después colocar 500g de lombriz más humus sobre ello. La adaptación tuvo una duración de 7 días en los cuales el agua residual fue aspergeada distribuyéndose 3 veces al día la cantidad de 500mL, esto fue a las 8h00, 13h00 y a las 18h00 controlando la temperatura, el pH y humedad.



Ilustración 9-3: Perforación del recipiente

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 10-3: Colocación de la malla dentro del recipiente

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

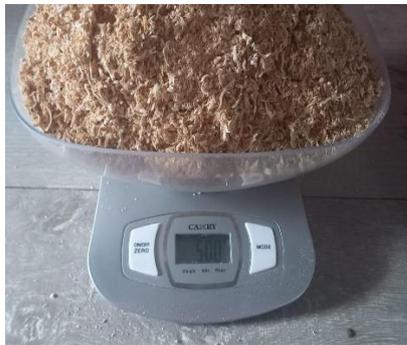


Ilustración 11-3: Pesaje del aserrín

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 12-3: Pesaje de lombriz + humus

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

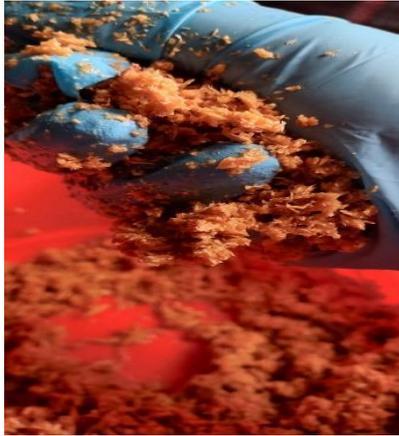


Ilustración 13-3: Determinación del porcentaje de humedad del aserrín

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 14-3: Relleno del recipiente para la adaptación de las lombrices

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 15-3: Medición de la humedad

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 16-3: Medición de temperatura

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

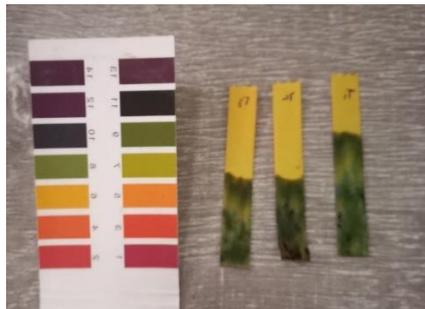


Ilustración 17-3: Medición de pH

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

Tabla 5-3: Datos obtenidos en la Adaptación de *Eisenia Foetida* en T1

TRATAMIENTO 1						
Día	Concentración [AR: H ₂ O]	Hora	T	pH	H	Peso
1	[50:50]	8H00	15.6	7	75	1518
		13H00	17.0		75	
		18H00	16.3		80	
2	[50:50]	8H00	16.2	7	70	1515
		13H00	18.4		75	
		18H00	18.8		75	
3	[75:25]	8H00	16.6	8	70	1523
		13H00	19.1		75	
		18H00	18.0		80	
4	[75:25]	8H00	15.2	8	75	1520
		13H00	17.8		75	
		18H00	15.5		80	
5	[100:0]	8H00	15.7	7	70	1525
		13H00	18.1		80	

		18H00	16.2		75	
6	[100:0]	8H00	16.3	7	75	1528
		13H00	20.4		80	
		18H00	18.1		80	
7	[100:0]	8H00	17.2	7.5	80	1532
		13H00	19.6		80	
		18H00	18.7		80	
	Promedio		17.4	7.4	76.42	

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

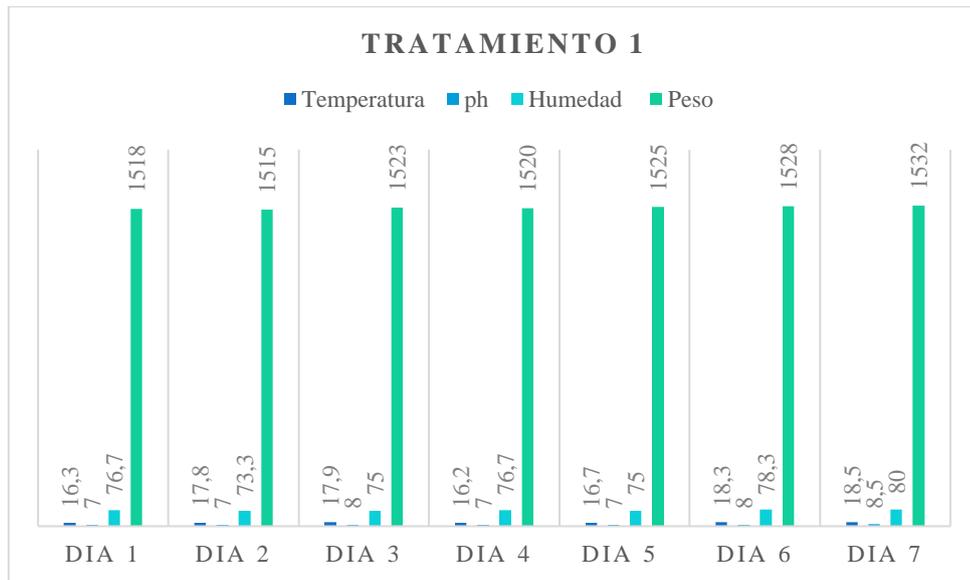


Ilustración 18-3: Demostración de la adaptación de la lombriz durante la semana en T1

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

Tabla 6-3: Datos obtenidos en la Adaptación de *Eisenia Foetida* en T2

TRATAMIENTO 2						
Dia	Concentración [AR: H ₂ O]	Hora	T	pH	H	Peso
1	[50:50]	8H00	16.5	7	75	1525
		13H00	21.1		75	
		18H00	20.1		80	
2	[50:50]	8H00	18.1	8	70	1522
		13H00	21.4		80	
		18H00	19.1		80	
3	[75:25]	8H00	15.9	7	75	1525
		13H00	21.0		80	
		18H00	19.3		80	

4	[75:25]	8H00	18.0	7	75	1523
		13H00	19.5		80	
		18H00	18.0		75	
5	[100:0]	8H00	18.5	8	70	1527
		13H00	18.3		80	
		18H00	16.2		80	
6	[100:0]	8H00	16.6	8.5	75	1532
		13H00	19.4		80	
		18H00	18.0		80	
7	[100:0]	8H00	16.6	8	80	1538
		13H00	19.7		80	
		18H00	17.8		80	
Promedio			18.5	7.64	77.62	

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

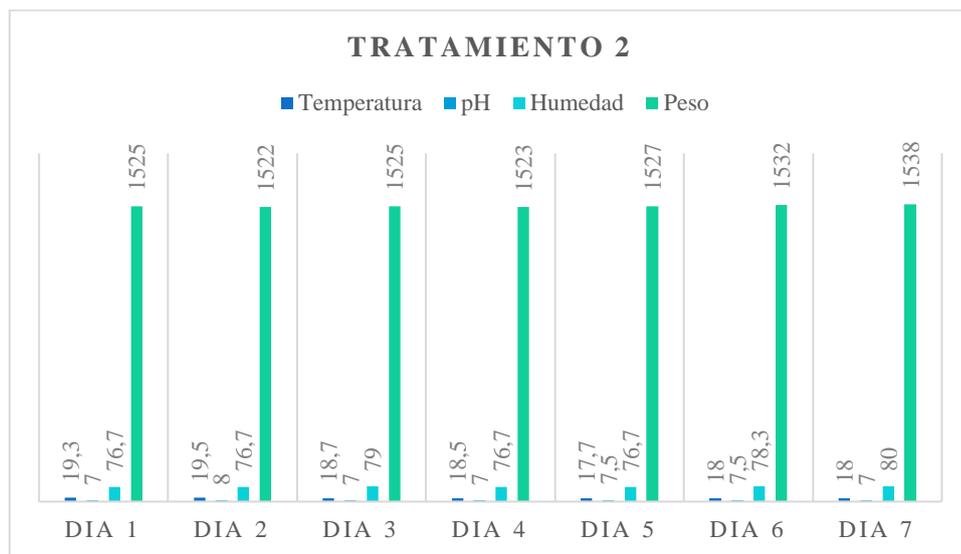


Ilustración 19-3: Demostración de la adaptación de la lombriz durante la semana en T2

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

Tabla 7-3: Datos obtenidos en la Adaptación de *Eisenia Foetida* en T3

TRATAMIENTO 3						
Dia	Concentración [AR: H₂O]	Hora	T	pH	H	Peso
1	[50:50]	8H00	17.8	8	75	1523
		13H00	20.4		80	
		18H00	18.7		80	
2	[50:50]	8H00	20.5	7	70	1520

		13H00	21.2		75	
		18H00	18.5		80	
3	[100:0]	8H00	18.7	7.5	75	1522
		13H00	20.5		75	
		18H00	17.7		80	
4	[100:0]	8H00	19.1	8.5	75	1526
		13H00	20.4		80	
		18H00	19.5		80	
5	[100:0]	8H00	18.8	8	80	1531
		13H00	20.2		75	
		18H00	18.8		80	
6	[100:0]	8H00	18.2	7.5	80	1537
		13H00	19.9		80	
		18H00	19.9		80	
7	[100:0]	8H00	18.4	7.5	80	1540
		13H00	19.3		80	
		18H00	18.0		80	
	Promedio		19.26	7.71	78.1	

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

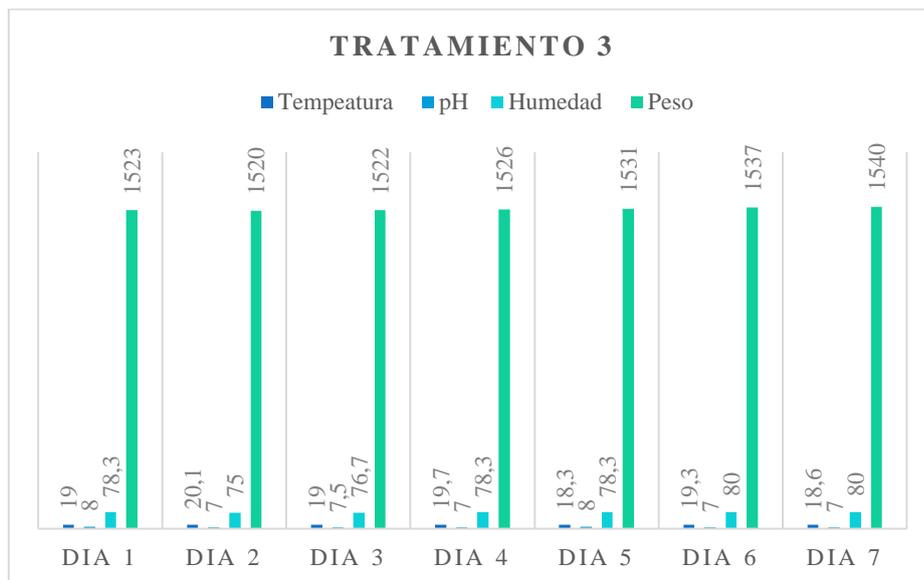


Ilustración 20-3: Demostración de la adaptación de la lombriz durante la semana en T3

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

Antes de que las lombrices fueran introducidas en el tanque de biofiltración se realizó un proceso

de adaptación de la lombriz *Eisenia Foetida* ya que las lombrices fueron extraídas de la empresa Lombrices Californianas Ecuador que se dedican a la cría y venta de lombrices rojas californianas *Eisenia Foetida* y humus de lombriz, esta se encuentra ubicada en la ciudad de Quito.

Debido a que para la alimentación utilizan frutas y vegetales y para mantener la humedad utilizan agua lluvia, fue necesario la adaptación de estas a las nuevas condiciones para conseguir un adecuado tratamiento del agua residual, debido a que son seres vivos y tienen la necesidad de adaptarse al medio al cual van a estar expuestas ya que contiene muchos contaminantes (Saboya, 2021, p. 67).

En las tablas 5-3, 6-3 y 7-3 Datos obtenidos en la Adaptación de *Eisenia Foetida* en T1, T2 y T3 se puede observar que el peso inicial fue de 1518g, 1525g y 1523g respectivamente controlando el porcentaje de humedad ya que según (Fuentes, sf., p.19), (Salazar, 2005, p.65) y (Somarriba y Guzmán, 2004: p.9) la humedad óptima del alimento para que las condiciones sean más favorables y para que la lombriz produzca y se reproduzca va del 70 al 80%, así mismo se controló el pH que según (Fuentes, sf., p. 12) y (Somarriba y Guzmán, 2004: p.9) es de e 6,5 y 7,5 y los valores óptimos se encuentran entre 6,8 y 7,2 por otro lado la temperatura ideal según (Somarriba y Guzmán, 2004, p.9) está entre 15-24°C.

Todos los parámetros fueron controlados, sin embargo, hubo un descenso en el peso posiblemente por el sustrato y por el tipo de agua al cual fueron expuestas, además de los cambios progresivos de temperatura humedad y pH al cual se iban adaptando, se puede observar que el peso ya no decrecía a partir del cuarto día ya que el peso iba ascendiendo en los últimos días hasta llegar al séptimo día con un peso final de 1532g, 1538g y 1540g para T1, T2 y T3.

La importancia de estos parámetros según Ortigoza, sf es que la humedad y la aireación del sustrato están vinculadas ya que cuando el sustrato está húmedo, las gotas de agua desplazan las burbujas de aire y se produce falta de oxígeno y ventilación, por lo que ambos factores influyen tanto en la ingesta de alimento como en la respiración y la reproducción de las lombrices. Además, menciona que, para la supervivencia de las lombrices, la humedad debe estar entre el 70 y 80% ya que si esta excede y es superior a 85% la oxigenación del sustrato es insuficiente lo cual provocaría la falta de aireación, reducción de consumo de alimento y que estas entren en un periodo de latencia, asimismo si la humedad está por debajo del 70% el sustrato se encuentra seco y dificulta el desplazamiento de la lombriz y la ingestión del alimento. Cuando la temperatura está por debajo de 15°C las lombrices mueren y disminuyen su actividad por lo que dejan de reproducirse y crecer, y los espermatóforos no eclosionan hasta que se presentan condiciones favorables. Finalmente, si la lombriz vive en sustratos fuera del pH al que pueden sobrevivir la lombriz entra en una etapa de latencia y con pH ácido en el sustrato (<7) puede desarrollarse una plaga conocida en el mundo de la lombricultura como planaria.

3.4. Relleno del tanque de biofiltración

El relleno del tanque de biofiltración se lo realizó a partir de la gradilla o doble fondo de manera manual tomando en cuenta que para (Salazar, 2005; citado en Gamarra, 2021), sugiere que la parte biológica debe estar entre 60% a 70%, por lo tanto se dispuso que la capa de aserrín-viruta-humus ocupe un 60% del tamaño total del biofiltro y las capas de piedra bola, piedra grava y arena en sus diferentes granulometrías ocupen el 40%, ya que la altura que ocupa el biofiltro es de 26cm además de un margen de seguridad de 3cm. Según el estudio realizado por (Gamarra,2021, p.30) sugiere usar una mayor cantidad de aserrín en la parte biológica del vermifiltro para obtener una mejor retención de materia orgánica, razón por la cual se ha relleno en un 65% de la parte biológica de aserrín, el 22% de viruta y el 13% de humus.

Tabla 8-3: Relleno del tanque de biofiltración

Humus
Viruta
Aserrín
Arena
Grava #2
Grava # 1
Piedra bola #2
Piedra bola #1

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

Tabla 9-3: Cálculos obtenidos para el relleno del biofiltro de lombrices

Estratos	% del tanque de biofiltración	Altura(cm)
Piedra	40	10.4
Aserrín- viruta- humus	60	15.6
Total	100	26

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Tabla 9-3 Cálculos obtenidos para el relleno del biofiltro de lombrices se puede observar que la altura de 10.4 cm de piedra corresponde al 40% del área útil del tanque de biofiltración y la altura de 15.6cm de Aserrín- viruta-humus al 60%. Los cálculos fueron obtenidos a partir del estudio realizado por (Coronel,2015, pp. 45-46) en su propuesta de 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.

Tabla 10-3: Cálculos obtenidos de la altura de aserrín-viruta-humus

Estratos	%	Altura(cm)
Aserrín	65	10.15
Viruta	22	3.45
Humus	13	2
Total	100	15.6

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la tabla 10-3 Cálculos obtenidos de la altura de aserrín-viruta-humus se puede apreciar que el 65% de los estratos aserrín viruta y humus corresponden a 10.15cm de altura, el 22% a 3.45cm y el 13% a 2cm de la parte biológica que conforma el biofiltro de lombrices.



Ilustración 21-3: Lavado de las piedras

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 22-3: Relleno de piedra bola

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 23-3: Relleno de piedra grava

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 24-3: Relleno de arena

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 25-3: Relleno de aserrín

Realizado por: Manjarres, D, 2022.



Ilustración 26-3: Relleno de viruta

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.4.1. Resultado obtenido del área afectiva del tanque de biofiltración

$$\begin{aligned} \text{Área} &= L * A \\ \text{Área} &= 1500\text{cm}^2 \end{aligned}$$

3.4.2. Resultado obtenido del volumen útil del tanque de biofiltración

$$\begin{aligned} V_{\text{útil}} &= L * A * AE \\ V_{\text{útil}} &= 39000\text{mL} \end{aligned}$$

3.5. Determinación del caudal de entrada al tanque de biofiltración y salida del agua biofiltrada

3.5.1. Cálculo del caudal de entrada

Para calcular el caudal del tambor homogenizador hacia el tanque de biofiltración se empleó el método volumétrico recolectando el agua con un vaso de precipitación de 1L por el tiempo de un minuto, este procedimiento se lo realizo 3 veces y a diferentes aberturas de la llave (100%, 50% y 25%) para determinar cuál es el óptimo.

Tabla 11-3: Determinación del caudal de entrada

Llave abierta a 90°	Caudal mL/min	Promedio mL/min
Dato 1	5672	5482
Dato 2	5474	
Dato 3	5300	
Llave abierta a 45°	Caudal mL/min	Promedio mL/min
Dato 1	2061	2379.7
Dato 2	2500	
Dato 3	2578	
Llave abierta a 23°	Caudal mL/min	Promedio mL/min
Dato 1	340	325
Dato 2	315	
Dato 3	320	

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.5.2. Cálculo del caudal de salida

Tabla 12-3: Determinación del caudal de salida del agua filtrada

Llave completamente abierta	Caudal mL/min	Promedio mL/min
Dato 1	2.67	2.7
Dato 2	2.69	
Dato 3	2.75	

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

3.6. Determinación del tiempo de retención hidráulico

Es el más importante y está definido como el tiempo que se demora las aguas residuales en filtrarse a través del lecho donde viven las lombrices (Calvache, 2002; citado en Bravo, 2019) debido a que el agua que cae sobre el filtro requiere mantenerse por un determinado tiempo en un acercamiento con las lombrices para la eliminación de materia orgánica, el límite de tiempo que debe estar según (Sinha y colab, 2008; citado en Bravo, 2019, p.1) es mínimo de 2 horas.

Según (Manyuchi et al. 2019; citado en Castillo y Chimbo, 2021) el tiempo de retención hidráulico influye principalmente en el rendimiento del lombrifiltro ya que a mayor tiempo de retención mayor será la eficiencia de remoción debido a que favorecerá la calidad de biomasa y eludirá la aglomeración de materia (Kumar et al., 2016; citado en Castillo y Chimbo, 2021, p.1).

3.6.1. Resultados obtenidos de la carga hidráulica

$$CH = \frac{\text{caudal de entrada}}{\text{area util}}$$

$$CH = \frac{0.22 \text{ cm}^3}{\text{cm}^2 \text{ min}}$$

3.6.2. Resultados obtenidos de la retención hidráulica

$$TRH = \frac{\text{volumen util}}{\text{caudal de entrada}}$$

$$TRH = 120 \text{ min} = 2 \text{ horas}$$

3.7. Cálculo del área del tanque de biofiltración y la tasa de riego

3.7.1. Área del tanque de biofiltración

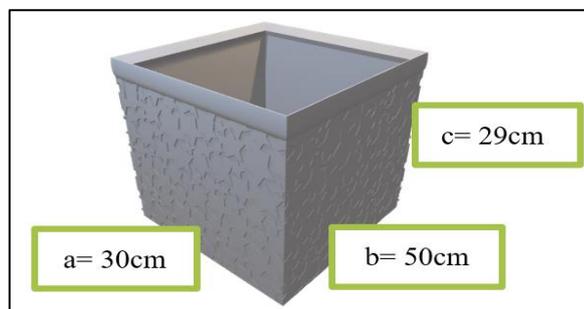


Ilustración 27-3: Medidas del tanque de biofiltración

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

$$\text{Área} = 2(ab + ac + bc)$$

$$\text{Área} = 0.764\text{m}^2$$

3.7.2. Cálculo de la tasa de riego

Para el cálculo de la tasa de riego del tanque de biofiltración se tomó en cuenta el estudio de (Salazar, 2005; citado en Gamarra, 2021) la cual menciona que en el sistema Tohá, la tasa de riego es igual al caudal entre área y esta debe ser menor o igual a una tasa de riego de $1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$, es decir:

$$\text{tasa de riego} = \frac{Q}{A}$$

$$\text{tasa de riego} = 0.62\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{ día}$$

3.8. Análisis fisicoquímicos del agua residual cruda y tratada

Para los análisis fisicoquímicos se utilizó el agua residual recolectada durante la segunda fase, la misma que se homogenizó y esperó que llegue a temperatura ambiente para posterior a ello, tomar una muestra en la entrada al tambor homogenizador y en la salida del tanque de biofiltración una vez realizado el tratamiento durante las tres semanas, las muestras del agua residual y del agua residual tratada se las tomó cada semana para después ser etiquetadas y transportadas en un cooler al laboratorio SAQMIC para sus respectivos análisis, los resultados de los mismos se pueden observar en el ANEXOS(F-K)

Para calcular el porcentaje de remoción y deducir la eficiencia del proceso se realizaron según el STANDARMETHOD en la cual utilizó la siguiente formula: % de remoción = (afluente-efluente/afluente) * 100 (American Society Foresting and Materials, 1994; citado en Coronel, 2015). Para determinar si los resultados obtenidos están dentro de los límites máximos permisibles se tomó en cuenta el Libro VI del TULSMA Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Sistema de alcantarillado (TULSMA, 2013; citado en Landeta, 2019, p.3).

- **Semana 1:** 24 de noviembre del 2022

Tabla 13-3: Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la primera semana

Parámetros	Unidades	Métodos de análisis	Límites	Medición entrada	Medición salida	% Remoción
pH	-	4500-H-B	5-9	7.29	7.95	
Conductividad	$\mu\text{Siems/cm}$	2510-B	-	1199.0	940.7	21.54

Color	Und. Pt/co	2120-C	Inapreciable en solución	3184.0	3320	
Turbiedad	UTN	2130-B	-	158.0	154	2.53
N-Nitritos	mg/L	4500-NH ₄ -C	-	10.5	1.5	85.7
N- Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -E	-	125.0	18.0	85.6
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	15	29.0	15.0	48.27
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	500	2510.0	1320	47.41
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	1400.0	130	90.71
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	-	895.0	587.0	34.41
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1600	1873	1860	0.69
Promedio de eficiencia						46.32

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Tabla 13-3: Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la primera semana se determinaron los parámetros del agua residual cruda y tratada procedente del Camal municipal de Pelileo en el laboratorio Saqmic mediante el método de análisis del Standar Methods APHA AWWA en donde se obtienen los siguientes resultados: para la muestra cruda o sin filtración se obtuvo un pH de 7.29, conductividad 1199.0 μ Siems/cm, color 3184.0 Und. Pt/co, turbiedad 158.0 UTN, N-nitritos 10.5 mg/L, N- nitratos 125.0 mg/L, fosfatos 29.0 mg/L, DQO 2510.0 mg/L, DBO 1400.0 mg/L, sólidos disueltos 895.0 mg/L y sólidos totales 1873 mg/L. En el agua tratada o biofiltrada se realizó la determinación de los mismos parámetros y se obtuvo un pH de 7.95, conductividad 940.7 μ Siems/cm, color 3320 Und. Pt/co, turbiedad 154 UTN, N-nitritos 1.5 mg/L, N- nitratos 18.0 mg/L, fosfatos 15.0 mg/L, DQO 1320 mg/L, DBO 130 mg/L, sólidos disueltos 587.0 mg/L y sólidos totales 1860 mg/L obteniendo un acrecentamiento en el pH de 0.66 y el color de 136 Und. Pt/co y una reducción del 21.54% en la conductividad, 2.53% en la turbiedad, 85.7% en N-nitritos, 85.6% en N- nitratos, 48.27% en fosfatos, 47.41% en DQO, 90.71% en DBO, 34.41% en sólidos disueltos y 0.69% en sólidos totales alcanzando un porcentaje promedio de eficiencia del 46.32% de remoción en la primera semana con un TRH de 2 horas.

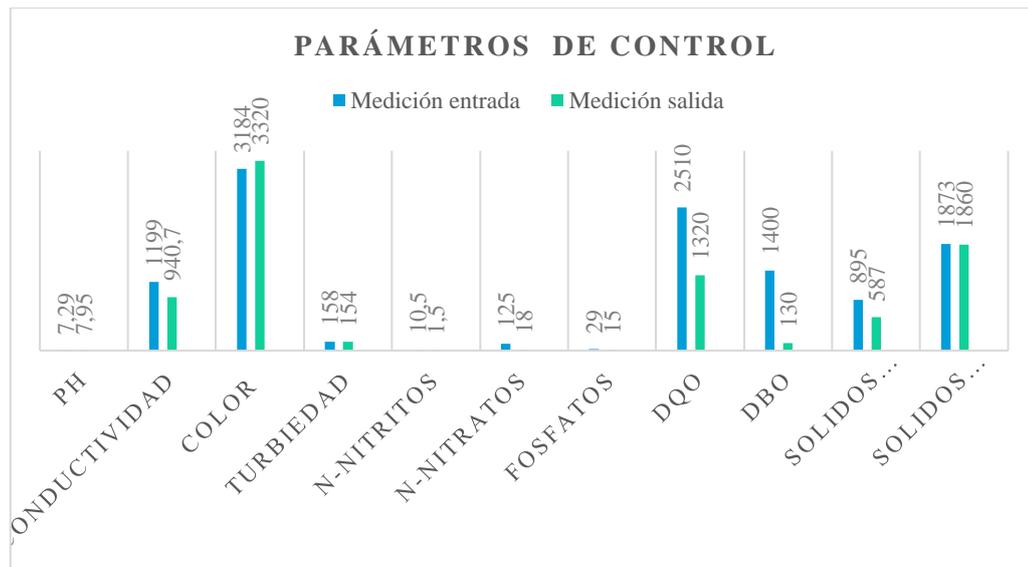


Ilustración 28-3: Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración en la primera semana

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Ilustración 6-3 Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración en la primera semana se puede observar que el pH ha aumentado esto se debe a que las lombrices son capaces de estabilizar la acidez del agua por medio de las glándulas calcíferas que poseen y que están ubicadas en su esófago, este proceso empieza con la ingesta del alimento, cuando el material orgánico llega al estómago las glándulas calcíferas se encargan de segregar carbonato cálcico con la finalidad de neutralizar los ácidos presentes en el alimento ingerido para después atravesar el aparato digestivo y ser expulsado o excretado (Chavez & Fuentes, 2013; citado en Bermúdez, 2019, p.3). Sin embargo, este parámetro si se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, a diferencia de la DQO y los sólidos totales que no están dentro de los límites máximos permisibles del TULSMA.

- **Semana 2:** 01 de diciembre del 2022

Tabla 14-3: Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la segunda semana

Parámetros	Unidades	Métodos de análisis	Límites	Medición entrada	Medición salida	% Remoción
pH	-	4500-H-B	5-9	7.35	8.47	
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	1470	1110	24.48

Color	Und. Pt/co	2120-C	Inapreci able en solución	5050	3500	30.69
Turbiedad	UTN	2130-B	-	194	66	65.97
N-Nitritos	mg/L	4500-NH ₄ - C	-	2.7	0.8	70.37
N- Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ - E	-	28.0	44	
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	15	48.0	10	79.17
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	500	2820	990	64.89
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	310	150	51.61
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	-	880	674.5	23.35
Sólidos totales	mg/L	2540-B	1600	2400	904.0	62.33
Promedio de eficiencia						53.54

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Tabla 14-3: Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la segunda semana se determinaron los parámetros del agua residual cruda y tratada procedente del Camal municipal de Pelileo en el laboratorio Saqmic mediante el método de análisis del Standar Methods APHA AWWA en donde se obtienen los siguientes resultados: para la muestra cruda o sin filtración se obtuvo un pH de 7.35, conductividad 1470 μ Siems/cm, color 5050 Und. Pt/co, turbiedad 194 UTN, N-nitritos 2.7 mg/L, N- nitratos 28.0 mg/L, fosfatos 48.0 mg/L, DQO 2820 mg/L, DBO 310 mg/L, sólidos disueltos 880 mg/L y sólidos totales 2400 mg/L. En el agua tratada o biofiltrada se realizó la determinación de los mismos parámetros y se obtuvo un pH de 8.47, conductividad 1110 μ Siems/cm, color 3500 Und. Pt/co, turbiedad 66 UTN, N-nitritos 0.8 mg/L, N- nitratos 44 mg/L, fosfatos 10 mg/L, DQO 990 mg/L, DBO 150 mg/L, sólidos disueltos 674.5 mg/L y sólidos totales 904.0 mg/L obteniendo un aumento en el pH de 1.12 y N- nitratos de 16 mg/L y una reducción del 24.48% en la conductividad, 30.69% en el color, 65.97% en la turbiedad, 70.37% en N-nitritos, 79.17% en fosfatos, 64.89% en DQO, 51.61% en DBO, 23.35% en sólidos disueltos y 62.33% en sólidos totales alcanzando un porcentaje promedio de eficiencia del 53.54% de remoción en la segunda semana la cual ha alcanzado un porcentaje mayor que la primera semana.

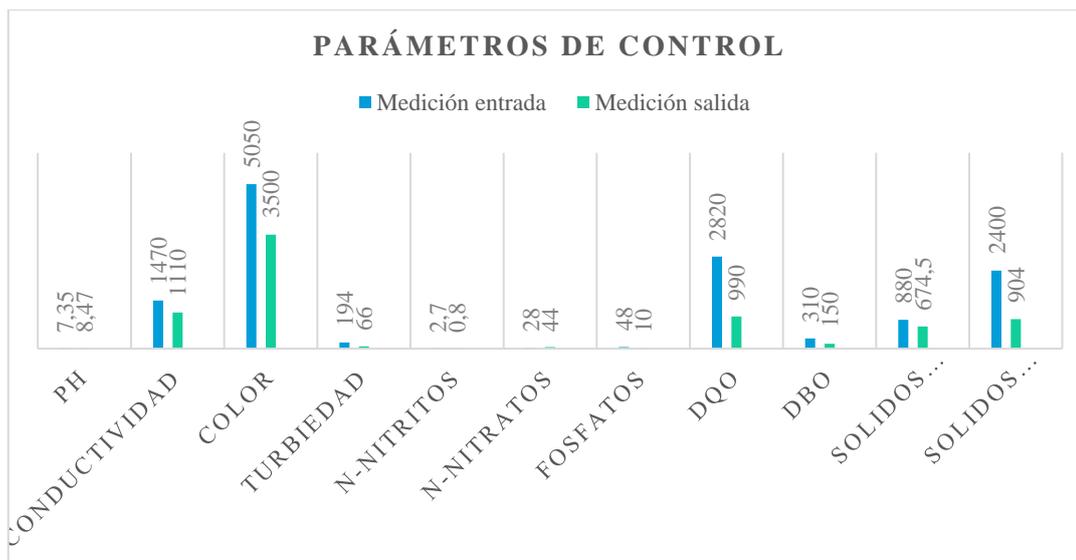


Ilustración 29-3: Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración de la segunda semana

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Ilustración 7-3 Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración de la segunda semana se observa que los N-Nitratos aumentan al igual que el pH en la semana 1, sin embargo, este se encuentra dentro de los límites máximos permisibles del TULSMA, por otro lado, la DQO es el único parámetro que no está dentro del límite máximo permisible ya que excede al valor requerido, no obstante se puede observar que la eficiencia de remoción de este parámetro fue de 64.89% y la eficiencia de remoción promedio de la biofiltración fue de 53.54% el cual es mayor que la primera semana.

- **Semana 3:** 08 de diciembre del 2022

Tabla 15-3: Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la tercera semana

Parámetros	Unidades	Métodos de análisis	Límites	Medición entrada	Medición salida	% Remoción
pH	-	4500-H-B	5-9	8.61	7.64	
Conductividad	µSiems/cm	2510-B	-	1393	887.2	36.31
Color	Und. Pt/co	2120-C	Inapreciable en solución	15700	965	93.85
Turbiedad	UTN	2130-B	-	470	32	93.19

N-Nitritos	mg/L	4500-NH ₄ -C	-	2.9	0.15	94.82
N- Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -E	-	79	45.0	43.04
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	15	49	9.5	80.61
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	500	4980	350	92.97
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	2900	178	93.86
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	-	847.7	560	33.94
Sólidos totales	mg/L	2540-B	1600	4524	625	86.18
Promedio de eficiencia						74.87

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Tabla 15-3: Análisis obtenidos del agua residual cruda y tratada de la tercera semana se determinaron los parámetros del agua residual cruda y tratada procedente del camal municipal de Pelileo en el laboratorio Saqmic mediante el método de análisis del Standar Methods APHA AWWA en donde se obtienen los siguientes resultados: para la muestra cruda o sin filtración se obtuvo un pH de 8.61, conductividad 1393 μ Siems/cm, color 15700 Und. Pt/co, turbiedad 470 UTN, N-nitritos 2.9 mg/L, N- nitratos 79 mg/L, fosfatos 49mg/L, DQO 4980 mg/L, DBO 2900 mg/L, sólidos disueltos 847.7 mg/L y sólidos totales 4524 mg/L. En el agua tratada o biofiltrada se realizó la determinación de los mismos parámetros y se obtuvo un pH de 7.64, conductividad 887.2 μ Siems/cm, color 965 Und. Pt/co, turbiedad 32 UTN, N-nitritos 0.15 mg/L, N- nitratos 45.0 mg/L, fosfatos 9.5 mg/L, DQO 350 mg/L, DBO 178 mg/L, sólidos disueltos 560 mg/L y sólidos totales 6.25 mg/L obteniendo una disminución del pH de 0.97 y una remoción del 36.31% en la conductividad, 93.85% en el color, 93.19% en la turbiedad, 94.82% en N-nitritos, 43.04% en N-nitratos, 80.61% en fosfatos, 92.97% en DQO, 93.86% en DBO, 33.94% en sólidos disueltos y 86.18% en sólidos totales alcanzando un porcentaje promedio de eficiencia del 74.87% de remoción en la tercera semana la cual ha alcanzado un porcentaje más significativo que la segunda semana.

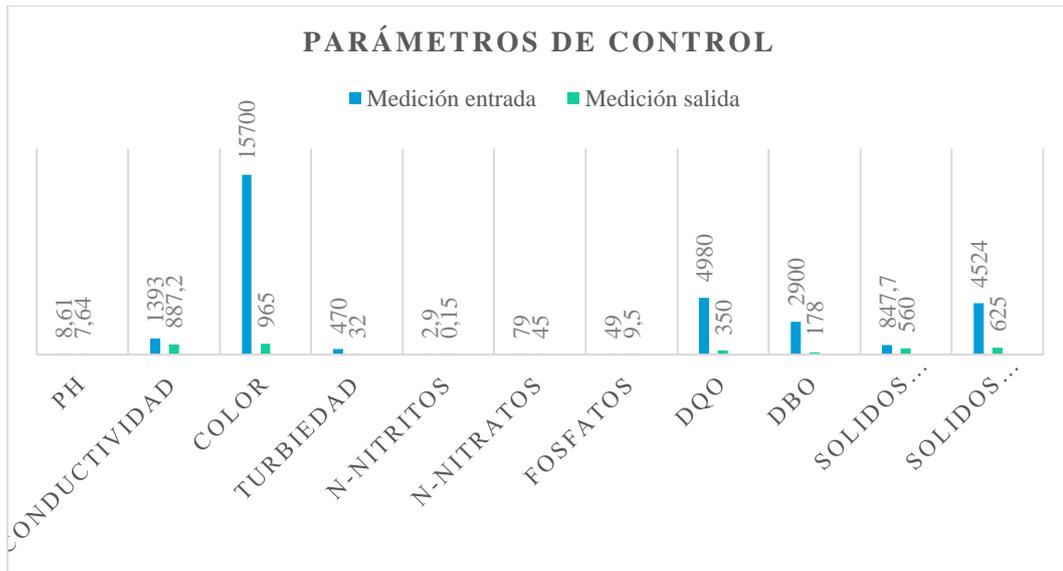


Ilustración 30-3: Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración en la tercera semana

Realizado por: Manjarres, D, 2022.

En la Ilustración 8-3 Comparación de los parámetros analizados antes y después de la biofiltración de la tercera semana se puede observar que todos los parámetros cumplen con los límites máximos permisibles del TULSMA además de que la eficiencia de remoción de la biofiltración fue del 74.87% el cual supera a las biofiltraciones realizadas en la primera y segunda semana de tratamiento.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la Ilustración 7-3 se puede demostrar que la DQO del agua residual que entro al biofiltro con la DQO de la salida del mismo disminuyo significativamente, ya que se puede observar los valores de 4980mg/L para el afluente y 350mg/L para el efluente disminuyendo 4628 mg/L con una eficiencia de remoción de este parámetro de 92.97%, el resultado obtenido se pueden corroborar con el estudio realizado por (Cardoso, L., Ramírez, E., & Garzón, M.,2013; citado en Bermúdez, 2019) Evaluation of a Pilot Vermifilter for the Treatment of Wastewater en el cual el resultado de la eficiencia de remoción para DQO fue de 92%. Por otro lado, el estudio realizado por (Mendoza y Sanchez, 2021, p.44) en el cual obtuvo valores de 97.32% de efectividad en este parámetro.

Esta reducción se da a causa de la actividad biológica que realizan los microorganismos desnitrificadores en condiciones aeróbicas dentro del biofiltro, puesto que estos descomponen los compuestos orgánicos disminuyendo el oxígeno y transformándolo en CO₂ y agua en el que una porción del CO₂ se disipa en la atmosfera y el restante es absorbida por los microorganismos con el fin de sintetizar nuevas células, esta transformación dependerá ante todo de la disponibilidad de oxígeno disuelto y las lombrices desempeñan un papel fundamental en esta transformación o

proceso(Arenas & Nuncira, 2010; citado en Saboya, 2021, p.1).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Se puede ver que la DBO₅ ha disminuido de manera notoria a 2722 mg/L ya que paso de 2900mg/L a 178mg/L al ser filtrada mediante el biofiltro, por lo cual se puede decir que la eficiencia de remoción para este parámetro fue de 93.86% lo cual es alto al comparar las dos semanas anteriores de tratamiento, esto se puede constatar con el estudio realizado por (Saboya, 20, p.72) el cual en su investigación obtuvo un porcentaje de remoción significativa de 92% para este parámetro, así mismo (Acuña y Reyes, 2017: p.61) en su investigación obtuvieron como resultado la eficiencia en la DBO₅ de 94,51% valores que se encuentra muy cerca al obtenido en esta investigación.

- Conductividad

Se puede observar que la conductividad en la entrada fue de 1393 μ Siems/cm y en la salida fue de 887,2 μ Siems/cm disminuyendo 505.8 μ Siems/cm y obteniendo una eficiencia de remoción de 36.31%, estos resultados se semejan al estudio realizado por (Coronel, 2015, p.54, p.76) ya que se observó una eficiencia en la remoción de este parámetro del 35,16% en su investigación realizada.

- Turbiedad

En este caso los resultados de la turbidez del agua residual al ingreso del biofiltro fueron de 479 UNT disminuyendo a 447 UNT obteniendo como resultado a su salida 32 UNT lo que indica una eficiencia de remoción del 93.19% lo cual se puede corroborar con los resultados obtenidos en el estudio realizado por (Mendoza y Sánchez, 2021, p.44) en donde obtuvieron como resultado la efectividad del proceso en un 96.09% lo cual se acerca mucho con lo obtenido en la presente investigación, concluyendo que es un sistema con mucha validez. Por otro lado, la disminución es evidente ya que se puede observar que en el agua residual ya no existe muchos sólidos debido a la transparencia que se observa en el agua residual filtrada y al trabajo que han realizado las lombrices al consumir como su alimento, los sólidos que han quedado en los estratos en donde ellas habitan.

- pH

El pH que se encontró en el agua residual cruda fue de 8.61 el cual fue disminuyendo un 0.97 durante los días de tratamiento obteniendo así en el día siete un pH de 7.64.

- Color

El resultado de los análisis del color a la entrada del biofiltro fue de 15700 UTN disminuyendo significativamente a 14735 UTN ya que en la salida se evidencio el valor de 965UTN con una eficiencia de remoción de color del 93.85%. El color es un indicador visible porque demuestra la composición y la concentración de materia orgánica que contiene el agua residual al ser esta muy oscura evita la radiación solar y como consecuencia la fotosíntesis (Lacrampe, 1992; citado en Acuña y Reyes, 2017, p.1)

- Nitritos y nitratos

En el agua residual se encontró también 2.9 mg/L de nitritos a la entrada del biofiltro y 0.15 mg/L en la salida de este, observando que ha disminuido mediante el biofiltro 2,75 mg/L por lo cual se puede observar una eficiencia de remoción de 94.82% lo cual es importantes en el estudio de aguas residuales, debido a la toxicidad que presenta para todas las especies acuáticas. Además de los nitratos con un valor en el agua residual cruda de 79mg/L mientras que en el agua residual tratada 45 mg/L demostrando una disminución de 34 mg/L con una eficiencia de remoción de 43.04% para este parámetro medido.

- Fosfatos

En los resultados se puede observar que los fosfatos presentes en el afluente son 49mg/L y en el efluente 9,5mg/L alcanzando una disminución de 39.5mg/L y eficiencia de remoción de 80.61% lo cual es favorable ya que el exceso de fosforo incita el crecimiento excesivo de organismos fotosintéticos provocando la eutrofización y afectando la calidad del agua (Dawood, et al, 2011; citado en Landeta, 2019, p.2).

- Sólidos disueltos y totales

La presencia de sólidos disueltos en el agua residual a la entrada del biofiltro fue de 847.7mg/L y a la salida 560 mg/L disminuyendo 287.7 mg/L con una eficiencia de remoción del 33.94%, por otro lado, la presencia de sólidos totales en el agua residual cruda fue de 4524mg/L y para el agua residual tratada 625mg/L obteniendo una disminución de 3899 mg/L, notándose una reducción significativa y obteniendo como resultado una eficiencia considerable del 86.18% el cual demostraría que el sistema fue eficiente.

Los resultados obtenidos se pueden constatar en el estudio realizado por (Cáceres et al., 2018, p.13) en donde al evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua con diferentes tasas de riego de 0,5 y 1 [m³ /día]/m² encontraron que

hubo una mejor remoción de STS con el primero y con los dos tratamientos encontraron una mayor eficiencia en el caso de DBO₅ y pH, razón por la cual determinaron que existió una disminución del 61,11% de STS, 50,14% de DBO₅, 99,71% de coliformes termotolerantes, y un pH final de 8,27.

La investigación realizada por (García, 2021, p.57) debido a la problemática sanitaria que acarrea las aguas residuales, puso en marcha un sistema a nivel piloto y obtuvo resultados en la eficiencia de remoción para pH de 23.56%, para SST de 20.79%, para DQO de 76.12%, para DBO₅ un 84.21%, y las coliformes fecales 52.86%.

El estudio realizado por (Umasi, 2021, p. 62) tiene como objetivo la evaluación de un biofiltro de tres capas en el tratamiento de las aguas residuales domésticas a través de análisis fisicoquímicos y microbiológicos a fin de que este recurso se aproveche en el riego de plantas en Cusipata. El biofiltro compuesto de compost y aserrín con lombrices *Eisenia Foetida*, una capa de piedra de río, grava mediana y arena y con parámetros de TRH de 8h y un Q igual a 0.77L/min hace que los resultados de remoción de la materia orgánica por la especie *Eisenia Foetida* sean eficientes, esto se puede evidenciar ya que en la determinación después de la biofiltración ha disminuido en un 86% la DQO, 88% la DBO₅, un 95% en SST y 99% *Escherichia Coli* concluyendo que este sistema logra valores aceptables para el riego de vegetales.

Los resultados obtenidos en la investigación sobre la Eficiencia del sistema de Vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta - Sapallanga fueron los siguientes: el Vermifiltro está compuesto por tres tratamientos en donde el primero tiene un Q igual a 25mL/min, el segundo un Q de 50 mL/min y el tercero un Q de 75 mL/min, para determinar la eficiencia de remoción del sistema se realizaron análisis fisicoquímicos del agua que ingresa y del que sale del Vermifiltro obteniendo resultados de remoción de 96,7% de DBO₅ para los 3 tratamientos; 86,5%, 82,57% y 79,95% de DQO para T1, T2 y T3 respectivamente; 95,3%, 96,1% y 95,5% de SST para T1, T2 y T3 respectivamente. Concluyendo que el Vermifiltro es muy eficiente en la depuración de contaminantes de las aguas residuales domésticas (Gamarra, 2021, p.71).

El estudio realizado por Liberio (2019, p.44) tiene como objetivo caracterizar el agua del río Quevedo mediante análisis que determinen la calidad del agua, esto debido a las descargas que contienen muchos contaminantes los cuales son perjudiciales para la salud y el medio ambiente, por tal motivo, plantean un tratamiento biológico llamado biofiltro de tres tratamientos el primero en base a lombrices rojas californianas de la especie *Eisenia Foetida*, el segundo a partir de lenteja de agua o conocida como *Lemna minor* y por último, la combinación de las dos especies obteniendo como resultado que el mejor tratamiento es al combinar las dos especies ya que se evidencia una reducción del DQO de 37,25 a 1,07 mg/L, el DBO de 44,3 a 2,92 mg/L, los sólidos suspendidos totales de 37,13 a 14,90 mg/L, los sólidos totales de 146,75 a 85,95 mg/L, el oxígeno disuelto de 1,37 a 3,29 mg/L y coliformes fecales de 137,5 a 20,17 NMP.

El trabajo de investigación presentado por (Vásquez, 2017, pp. 83-84) tiene como objetivo mostrar la

eficiencia del biofiltro de lombrices rojas californianas como uno de los estratos que conforman el filtro. Los resultados que demostraron es que los tres biofiltros fueron eficientes en la disminución de los parámetros de pH, temperatura, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, cloruros, DQO, DBO, coliformes termotolerantes, aceites y grasas con una eficiencia para el Biofiltro Bola de 69.25%, para el Biofiltro Pómez de 67.84% y para el Biofiltro Lombriz una eficiencia del 65.71%. Sin embargo, el tratamiento más eficiente fue el conformado por piedra bola, piedra grava, aserrín y lombrices con una eficiencia promedio de 69.25 % notándose que la composición del biofiltro también influye en la eficiencia del mismo.

3.9. Cuidado del biofiltro de lombrices

Se retiro la maleza cada 15 días y el horqueto se realizó diariamente una vez al día con el objetivo de airear el sistema y de retirar cualquier maleza ya que según (Bermúdez, 2019, p. 34) se debe realizar un constante movimiento de la mezcla de la viruta con el lecho filtrante, con el propósito de mejorar la permeabilidad y así evitar el empozamiento del agua ya que, la lombriz no realiza un trabajo adecuado y puede llegar a causar la muerte de estas, haciendo perder la homogeneidad del sistema (Pérez, 2010; citado en Bermúdez, 2019, p.4).

CONCLUSIONES

- Se evaluó la disminución de la materia orgánica que existe en las aguas residuales que provienen del camal municipal de Pelileo mediante el biofiltro de lombrices, esto se realizó a partir de la caracterización del agua cruda que proviene del camal y del agua tratada que proviene del biofiltro y se encontró que el agua cruda contiene una elevada cantidad de carga orgánica debido a la actividad que realizan, por otro lado, para la evaluación de la disminución se hizo análisis los cuales fueron realizados por el laboratorio Saqmic en donde se determinó mediante una comparación que si existió una disminución de materia orgánica a partir de las filtraciones realizadas por el biofiltro de lombrices.
- Se caracterizó las aguas residuales procedentes del camal municipal de Pelileo en las tres semanas de tratamiento y se obtuvo los siguientes resultados para la primera semana, un pH de 7.29, conductividad 1199.0 μ Siems/cm, color 3184.0 Und. Pt/co, turbiedad 158.0 UTN, N-nitritos 10.5 mg/L, N- nitratos 125.0 mg/L, fosfatos 29.0 mg/L, DQO 2510.0 mg/L, DBO 1400.0 mg/L, sólidos disueltos 895.0 mg/L y sólidos totales 1873 mg/L. Para la segunda semana un pH de 7.35, conductividad 1470 μ Siems/cm, color 5050 Und. Pt/co, turbiedad 194 UTN, N-nitritos 2.7 mg/L, N- nitratos 28.0 mg/L, fosfatos 48.0 mg/L, DQO 2820 mg/L, DBO 310 mg/L, sólidos disueltos 880 mg/L y sólidos totales 2400 mg/L y para la tercera semana un pH de 8.61, conductividad 1393 μ Siems/cm, color 15700 Und. Pt/co, turbiedad 470 UTN, N-nitritos 2.9 mg/L, N- nitratos 79 mg/L, fosfatos 49mg/L, DQO 4980 mg/L, DBO 2900 mg/L, sólidos disueltos 847.7 mg/L y sólidos totales 4524 mg/L.
- Se identificó los parámetros con los cuales se diseñó y construyó el biofiltro mediante revisión bibliográfica estos fueron: el caudal de 325mL/min, este fue el óptimo para el biofiltro ya que con este el agua residual no estaba en exceso ni en escases, lo cual es importante para que las lombrices permanezcan húmedas y con aireación en el sustrato ya que sin estos parámetros ellas mueren; el tiempo de retención hidráulico (TRH) fue de 2 horas en el caso de este biofiltro, este se encuentra en un tiempo mínimo óptimo en que el agua residual requiere mantenerse en relación con las lombrices para la remoción de materia orgánica; la profundidad, ancho, largo y la altura del sistema los cuales fueron 0.26m, 0.30m, 0.50m y 0.39m respectivamente; la cantidad necesaria de lombrices que para este caso fue de 1,5kg de lombriz; el relleno del tanque de biofiltración en el cual se determinó un 60% para la parte biológica, en este se usó mayor cantidad de aserrín ya que permite una mayor retención hidráulica y un 40% para las capas de piedra bola, piedra grava y arena en sus diferentes granulometrías; finalmente la taza de riego la cual es importante para este sistema ya que este debe ser menor o igual a 1 m³ /m² /día, en la presente investigación se obtuvo una taza de riego de 0.62m³/m²/ día la cual está dentro de los valores óptimos para el sistema. Todos estos parámetros permitirán la reducción de los contaminantes de las aguas residuales.
- Se determinó la eficiencia del sistema de biofiltro de lombrices tratando las aguas residuales

procedentes del Camal Municipal de Pelileo y se obtuvo una mayor eficiencia en la tercera semana de tratamiento ya que en esta se observó mayor disminución de la materia orgánica mediante los parámetros analizados en las aguas residuales antes y después de la biofiltración, estos resultados fueron, a la entrada un pH de 8.61, conductividad 1393 μ Siems/cm, color 15700 Und. Pt/co, turbiedad 470 UTN, N-nitritos 2.9 mg/L, N- nitratos 79 mg/L, fosfatos 49mg/L, DQO 4980 mg/L, DBO 2900 mg/L, sólidos disueltos 847.7 mg/L y sólidos totales 4524 mg/L y en la salida del biofiltro un pH de 7.64, conductividad 887.2 μ Siems/cm, color 965 Und. Pt/co, turbiedad 32 UTN, N-nitritos 0.15 mg/L, N- nitratos 45.0 mg/L, fosfatos 9.5 mg/L, DQO 350 mg/L, DBO 178 mg/L, sólidos disueltos 560 mg/L y sólidos totales 6.25 mg/L, como se puede observar los valores que se obtienen después de la biofiltración están dentro de los límites máximos permisibles del Libro VI del TULSMA Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Sistema de alcantarillado. Por otro lado, se obtuvo una disminución de pH del 0.97 y una eficiencia de remoción de 36.31% en la conductividad, 93.85% en el color, 93.19% en la turbiedad, 94.82% en N-nitritos, 43.04% en N-nitratos, 80.61% en fosfatos, 92.97% en DQO, 93.86% en DBO, 33.94% en sólidos disueltos y 86.18% en sólidos totales alcanzando un porcentaje promedio de eficiencia del 74.87% de remoción en la presente investigación con el biofiltro de lombrices.

RECOMENDACIONES

- Para la dilución se recomienda usar agua sin cloro o a su vez agua lluvia ya que el cloro puede causar la muerte de las lombrices.
- En el caso de la construcción se recomienda que el tambor homogenizador este a una mayor altura con el objetivo que exista mayor presión al momento de regar el agua residual sobre el biofiltro.
- En el sistema de aspersión colocar microaspersores para que el riego sea más homogéneo.
- Determinar mayores tiempos de retención hidráulico para una mayor remoción de materia orgánica.
- Buscar el mejor material filtrante para una mayor eficiencia.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA MARRUFO, José Edgardo, & REYES SÁNCHEZ, Jean Jhonatan. Eficiencia de *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia Foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad De Bagua-Amazonas, 2015 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Bagua, Perú. 2017. p. 25-61. [Consulta: 2023-01-10]. Disponible en:

<https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/1208/JOSE%20EDGARDO%20ACU%C3%91A%20MARRUFO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARORA, Sudipti.; & SARASWAT, Sakshi. “Vermifiltration as a natural, sustainable and green technology for environmental remediation: A new paradigm for wastewater treatment process”. *Elsevier*, vol. 4. (2021), (Jaipur, India) pp. 1-6.

BERMUDEZ TIMOTEO, Guillermo W. Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines [En línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Universidad San Pedro, Chimbote, Perú. 2019. p. 2-76. [Consulta 2021-12-10]. Disponible en: http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/12476/Tesis_61801.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

BISWAS, Amit. “Vermi-Biofiltration for Removal of Chemical and Biological Pollutants from Municipal Wastewater for Agriculture – A Review”. *Pollution Research*. Vol. 40, n°2(2021), (West Bengal, India) pp. 457-460.

BLAZQUEZ, Pamela; & MONTERO, Cecilia. *Reutilización de agua en Bahía Blanca Planta 3era Cuenca* [En línea]. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2010. p.6. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf.

BRAVO MARINNI, Marcelo Andrés. Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad del Bío-Bío, Chile, 2019. p. 18-25. [Consulta: 2022-11-23]. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3456/3/Bravo_Marinni_Marcelo_Andr%C3%A9s.pdf

CABRERA, Marcelo; et al. “Análisis de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de una Industria de Embutidos”. *Revista Politécnica* [En línea], 2022, (Ecuador) 49(2), pp. 47-54.

[Consulta: 19 de enero 2023]. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/journal/6887/688772211005/html/>

CÁCERES POMA, D; et al. “Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas”. *Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-UJCM*, vol. 4, (2018), (Moquegua, Perú) pp. 13-23. [Consulta: 20 de enero 2023]. Disponible en:
<https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115>

CASTILLO SÁNCHEZ, Jonathan G.; & CHIMBO SOLÓRZANO, Jessica E. “Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales”. *Enfoque UTE*, vol. 12, n°2 (2021), pp. 80-99.

CASTILLO SÁNCHEZ, Jonathan Gustavo, & CHIMBO SOLÓRZANO, Jessica Estefania. Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia Foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Calceta, Manabí.2021. p. 45. [Consulta: 2023-01-19]. Disponible en:
<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1434/1/TTMA24D.pdf>

CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR. Decreto Legislativo. Recuperado de
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

CORONEL PAZMIÑO, Nancy Patricia. 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 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015.p.6-54. [Consulta: 2022-01-19]. Disponible en:
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4802>

DREAMSTIME. Barril plástico azul del almacenamiento en el fondo blanco - ejemplo 3D [Consulta: 15 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://es.dreamstime.com/barril-pl%C3%A1stico-image101740928>

FUENTES YAGUE, J. *La Crianza de la Lombriz Roja:* Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [en línea]. Madrid. Rivadeneyra S.A. [Consulta: 12 noviembre 2022]. Disponible en:
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1987_01.pdf.

GAD IBARRA, *Estudio de Impacto Ambiental Expost y Plan de Manejo* [en línea]. Ibarra,

Ecuador, 2018. [Consulta: 17 enero 2021]. Disponible en: https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/Estudio-Impacto Ambiental/EsIA_CENTRO_FAENAMIENTO_IBARRA.pdf

GALLEGOS VALQUI, Diego Gerardo. Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Villa El Salvador, Perú. 2019. pp. 1-65. [Consulta: 2023-01-19]. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JPkA-xqVxDQJ:repositorio.unfels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/177/1/Gallegos_Diego_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf&cd=20&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec&client=avast-a-1#26

GAMARRA SILVA, Baneza. Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Continental, Huancayo, Perú. 2021. pp. 26- 71.

GARCÍA VELA, Claudia Jhamira. Evaluación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en las aguas residuales domésticas, aplicando el sistema biológico Tohá a nivel de planta piloto [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú. 2021. p. 57 [Consulta: 2023-01-20]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3159357>

HANNA instruments. *¿Por qué medir la alcalinidad en el agua potable?* [blog]. [Consulta: 1 diciembre 2022]. Disponible en: <https://hannainst.com.mx/blog/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/>

Kalstein. *Métodos para medir el oxígeno disuelto* [blog]. [Consulta: 18 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://kalstein.ec/metodos-para-medir-el-oxigeno-disuelto/>

LANDETA FLORES, Fernanda Estefanía. Evaluación de la Eficiencia de un Sistema de Vermifiltros en el Tratamiento de Aguas Residuales del Camal de Ibarra [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Ibarra, Ecuador. 2019. p. 1- 17. [Consulta: 2022-08-23]. Disponible en: https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/533/1/1_Tesis.pdf.pdf

LARA RAMÓN, Daniela Abigail, & RUCHI DUCHI, Lissette Gabriela. Evaluación de un Lombrifiltro para el tratamiento del agua residual de Grupo Rossi [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2022. p. 39. [Consulta: 2023-

01-19]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22130/1/CD%2011627.pdf>

LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA, Asamblea Nacional [Consulta: 20 de noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

LIBERIO ACOSTA, Francisco Javier. Incidencia de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) y Lenteja de Agua (*Lemna Minor*) en el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas en el Cantón Quevedo, Año 2018(Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador. 2019.pp. 8-44.

LIBERIO ACOSTA, Francisco Javier; & VÁSCONEZ MONTÚFAR, Gregorio. Incidencia de Lombriz Roja Californiana y Lenteja de Agua en el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas [en línea]. Guayaquil, Ecuador: Editorial Grupo Compás, 2020. p.20. [12 enero 2022]. Disponible en: <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/572/1/leberio.pdf>

LIMA CORONEL, José David. Diseño, implementación y evaluación de un sistema de biofiltración con lombrices (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la crianza de cerdos en la propiedad de la familia Lima ubicada en el barrio Playas la Florida, cantón Yantzaza provincia de Zamora Chinchipe” [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Loja, Zamora, Ecuador. 2016. p.2-20. [Consulta: 2021-12-13]. Disponible en: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17588/1/Tesis_Jos%c3%a9_Lima.pdf

MANRIQUE DELGADO, Erika Paola; & PIÑEROS CASTAÑEDA, Jennifer. Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio (Trabajo de titulación). (Grado) Fundación Universidad de América. Bogotá D.C. 2016. p.15-20.

MANYUCHI, Mercy; et al. “Vermifiltration of sewage wastewater for potential use in irrigation purposes using *Eisenia fetida* earthworms”. *Research Gate*, vol. 78(2013) pp.538-542.

MAZA MEJÍA, Jhonatan Raúl. Lombrifiltro para mejorar la calidad de las aguas residuales [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú. 2017. p.55. [Consulta: 2023-01-19]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33169/Maza_MJR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MENDOZA LLANOS, Ever Enov, & SÁNCHEZ, Simón Ishpilco. Eficacia del lombrifiltro (lombrices rojas californianas) en la degradación de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas de Huambocancha alta. Cajamarca – 2021 [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú. 2021. p.44. [Consulta: 2023-01-20]. Disponible

MISAL, Nandini.; & MOHITE, Nitisha.” Community Wastewater Treatment By Using Vermifiltration Technique”. *International Journal of Engineering Research and Technology*. vol 10, n° 1 (2017), (KasabaBawada, Kolhapur) pp. 363-365.

OROZCO VILLALBA, Patricia Alexandra, & SÁNCHEZ CHERREZ, Walter Rodrigo. Biorremediación de las aguas residuales provenientes de la Industria láctea a escala de laboratorio mediante el sistema Tohá [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. p. 30. [Consulta: 2023-01-19]. Disponible en: [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6363/1/BIORREMEDIACI%
c3%93N%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20PROVENIENTES%20DE%20LA%20INDUSTRIA%20L%
c3%81CTEA.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6363/1/BIORREMEDIACI%c3%93N%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20PROVENIENTES%20DE%20LA%20INDUSTRIA%20L%c3%81CTEA.pdf)

ORTIGOSA RIVAS, Concha. Anatomía y fisiología de la lombriz roja [blog]. [Consulta: 07 enero 2023]. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/biodiversidad-en-mi-compostador/160-anatomia-y-fisiologia-de-la-lombriz-roja.html>

PÉREZ FLORES, M., & CARRASCO VILLANUEVA, C. “Diseño y construcción de un filtro biológico para el tratamiento de aguas residuales de la empresa de lácteos Flor de Leche S.R.L mediante el uso de la Lombriz *Eisenia Foetida*, Lombrifiltro”. *CienciAgro*, vol. 9, n°1(2019), (Achocalla, Bolivia) pp. 42-49. [Consulta: 19 de enero 2023]. ISSN 2072-1404. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v9n1/v9n1_a05.pdf

PHOTHISANSKUL, Amornrat.; & RUNGUPHAN, Theerawat. “Remediation of Domestic Wastewater Runoff Using Vermi-biofiltration”. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, vol. 5, n° 2 (2017), (Nakorn Pathom, Thailand) pp.60-64.

QIU, Jin; et al.” Effect of Earthworm *Eisenia foetida* in Constructed Wetland on Purification of Country Wastewater”. *Elsevier*, vol. 154 (2016) (Nanjing, China) pp.406 – 411.

QUISHPE, J; et al. “La producción más limpia, como estrategia de valorización (ecoeficiencia)

del centro de faenamiento, Puyo, Pastaza, Ecuador”. *Revista Científica de la UCSA*, vol.7, n° 3(2020), (Puyo, Ecuador) pp. 59-71.

RAMÍREZ, Landy; et al. *Demanda Química de Oxígeno de Muestras Acuosa*. México- D.F. México: 2008, p.13.

RODRÍGUEZ LINARES, Marlon Saul. Análisis de la eficiencia y propuesta de alternativas en el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del Cantón San Pedro de Pelileo, Provincia de Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito, Ecuador. 2021. p.12-25 [Consulta 2021-12-10]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4456/1/MANUSCRITO%20FINAL%20MARLON%20SAUL%20RODR%C3%8D%20GUEZ%20LINARES.pdf>

SABOYA RÍOS, X. V. “Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas”. *Muro de la Investigación* [en línea], 2021, (Perú) (1), pp. 60-83. [Consulta: 07 enero 2023]. ISSN 2523-2886. Disponible en: <https://doi.org/10.17162/rmi.v6i1.1439>

SALAZAR MIRANDA, Patricia Isabel. Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad Austral de Chile, Chile. 2005. pp. 1-73 [Consulta: 2022-05-20]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/idi/tesis-doctorales/sistema-toha-una-alternativa-ecologica-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-sectores-rurales>

SOMARRIBA REYES, Ricardo José; & GUZMÁN GUILLÉN, Fidel. Guía de Lombricultura. (Guía Técnica No.4). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 2004. p.9-11.

SOTO CABRERA et al. “Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador”, *Prospectiva*, vol 18, n°1(2020), (Ecuador)pp.60-68.

UMASI THEA, Edison Irwin. Evaluación de la eficiencia de un lombrifiltro (tres capas) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el distrito de Cusipata-Cusco [En línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Peruana Unión, Cusco, Perú. 2021. p.62. [Consulta: 2023-01-20]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4739>

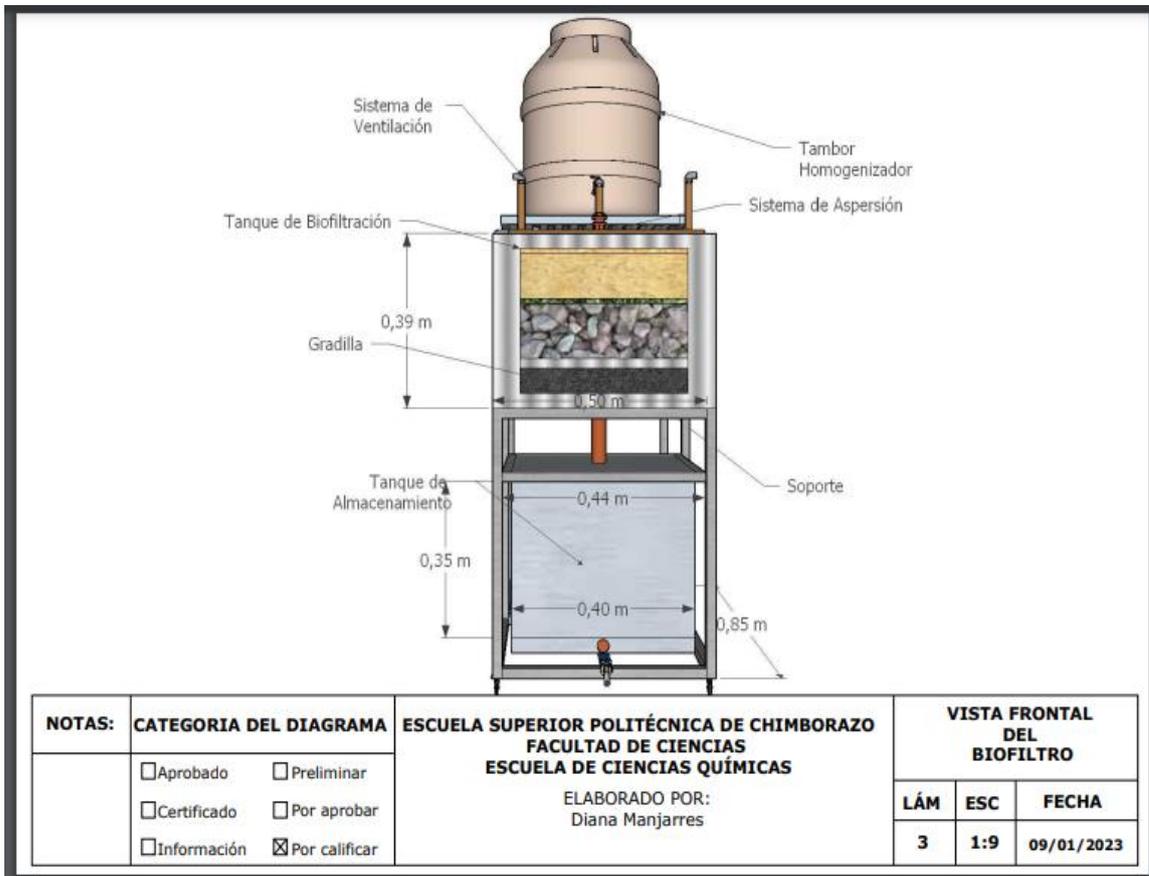
VÁSCONEZ VELÁSTEGUI, Víctor Hugo. Análisis de la piedra pómez como filtro en el

tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento Ocaña del cantón Quero (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 2017. p.1.

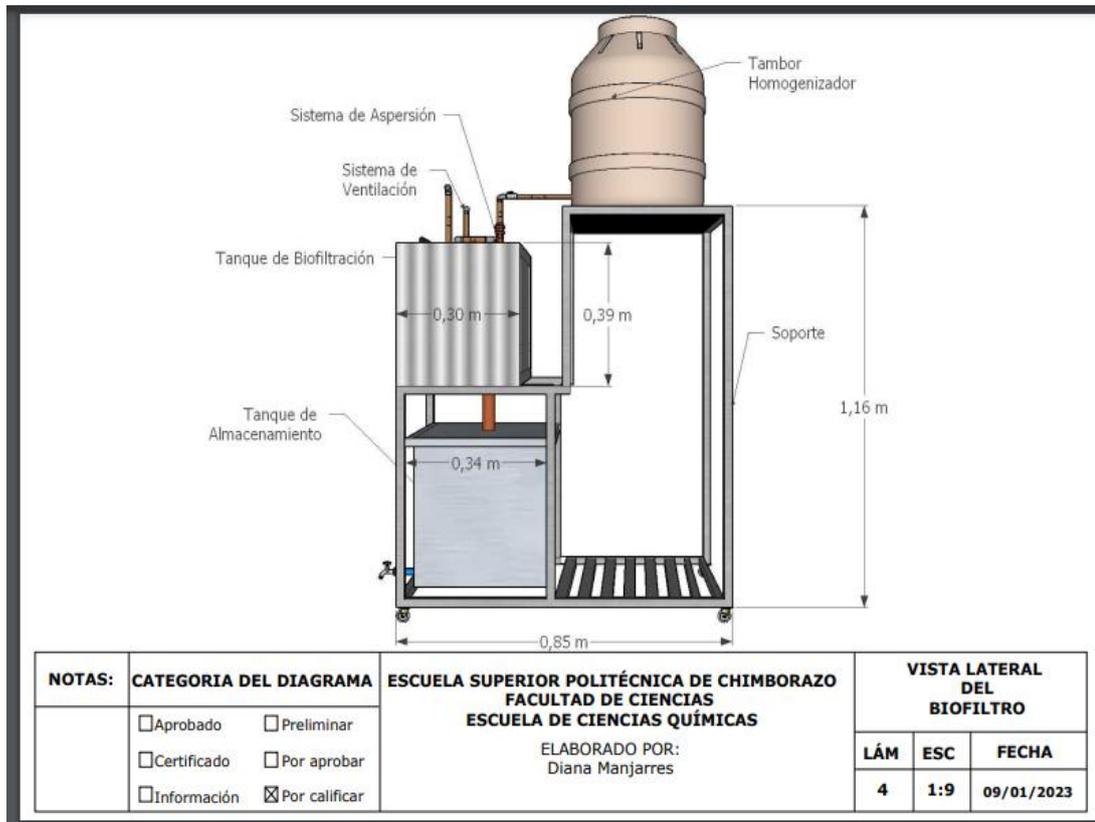
VASQUEZ PEREZ, Sheyli Jazmín. Análisis de la eficiencia de un prototipo de Biofiltro en el tratamiento de aguas residuales para riego en Trapiche, Comas, 2017. (Trabajo de titulación) (Grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. 2017.pp.8-84.

ANEXOS

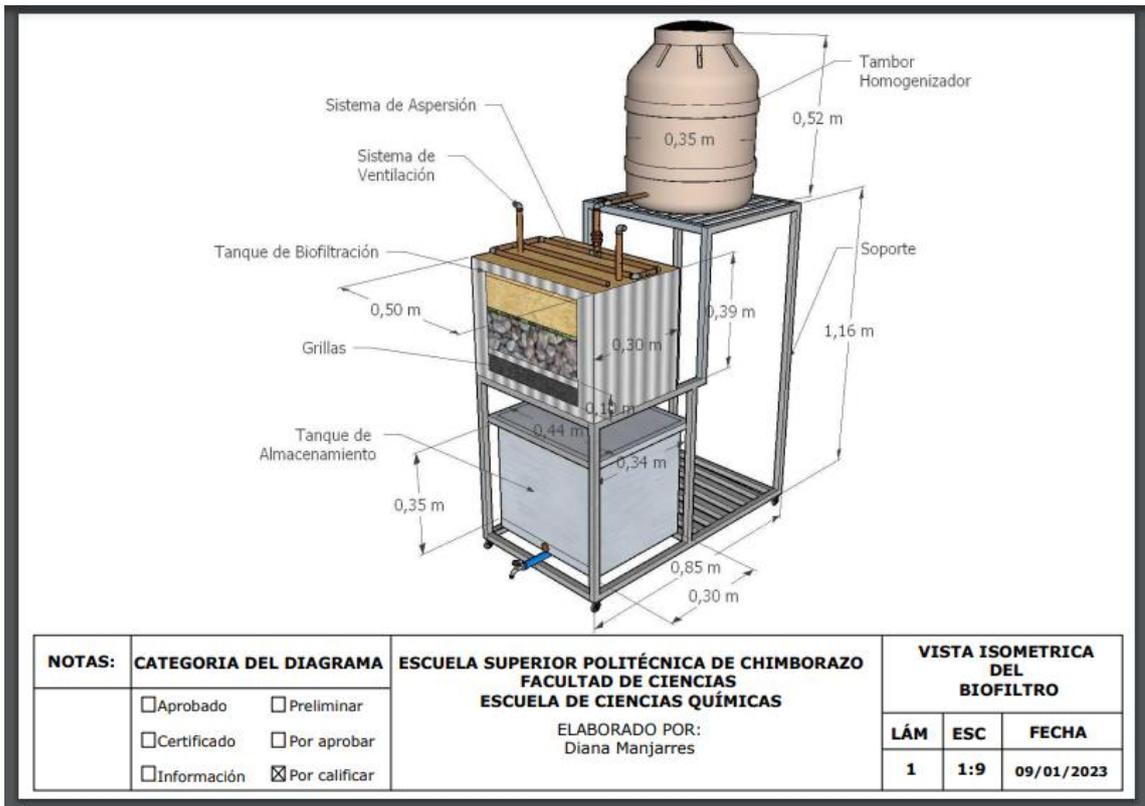
ANEXO A: ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICIAS VISTA FRONTAL



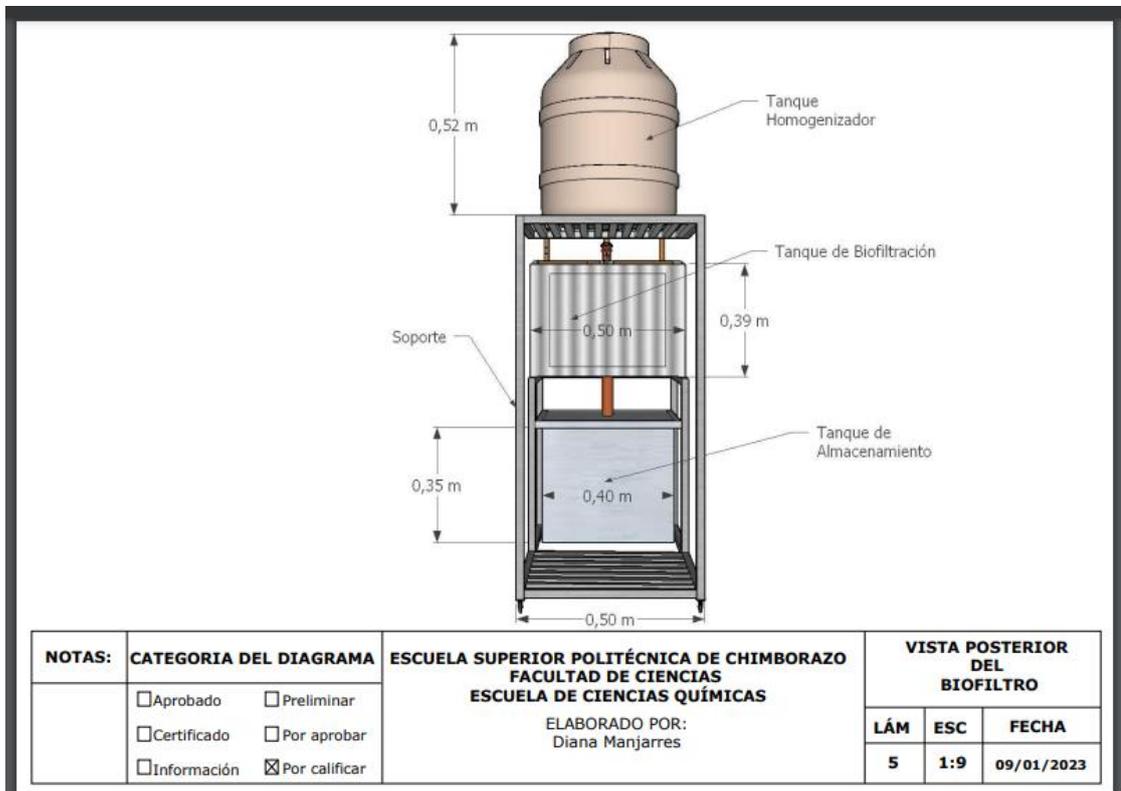
ANEXO B: ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA LATERAL



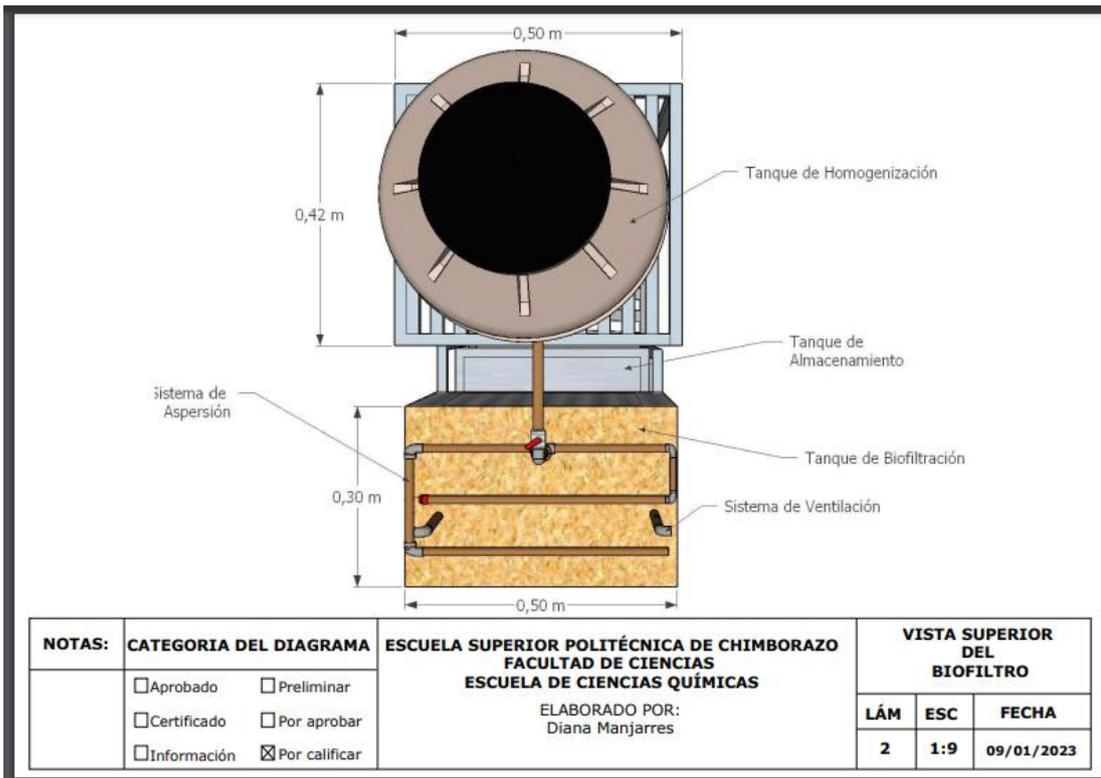
ANEXO C: ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA ISOMETRICA



ANEXO D: ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA POSTERIOR



ANEXO E: ESQUEMA DEL BIOFILTRO DE LOMBRICES VISTA SUPERIOR



ANEXO F: INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL ANTES DE LA
BIOFILTRACIÓN EN LA PRIMERA SEMANA


saqmic
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIVIANOS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 24 de noviembre del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Diana Manjares
Tipo de muestras: Agua Residual muestra de agua de canal
Localidad: Canal del Cantón Palileo

Muestra agua residual Cruda Semana 1

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
pH	-	4500-H-B	7.28
Conductividad	µSiems/cm	2510-B	1 199.0
Color	Und. Pt/co	2120-C	3 184.0
Turbiedad	UTN	2130-B	158.0
N-Nitritos	mg/L	4500-NH ₂ -C	10.5
N-Nitros	mg/L	4500-NO ₂ -E	125.0
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	29.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	2 510.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	1 400.0
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	895.0
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 873

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA

Observaciones:

Atentamente,


Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO


Servicio de Análisis
Químicos y
Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez
Tel. 2 324 322 y Cel. 998582114

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid Q
Contactanos: 0998580374 ☎ 032 942 322
Saqmic Laboratorio 📍
Riobamba - Ecuador



ANEXO G: INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA
BIOFILTRACIÓN EN LA PRIMERA SEMANA



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 01 de diciembre del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Diana Manjares
Tipo de muestras: Agua Residual muestra de agua de canal
Localidad: Canal del Cantón Pelileo

Muestra agua residual Tratada Semana 1

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados Muestra 2
pH	-	4500-H-B	7.95
Conductividad	µSiema/cm	2510-B	940.7
Color	Und. Pt/co	2120-C	3.320
Turbiedad	UTN	2130-B	154
N-Nitritos	mg/L	4500-NO ₂ -B	1.5
N-Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -E	18.0
Fosfatos	mg/L	4500-P-O	15.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	1.320
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	130
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	587.0
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-F	3.0
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	587.0
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1.860

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA.

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid 9
Contactarnos: ☎0998580374 ☎032 942 322
SAQMIC Laboratorio
Nobamba - Ecuador

SAQMIC

ANEXO H: INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL ANTES DE LA
BIOFILTRACIÓN EN LA SEGUNDA SEMANA



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 01 de diciembre del 2022

Análisis solicitado por: Sra. Diana Manjames

Tipo de muestras: Agua Residual muestra de agua de canal

Localidad: Canal del Cantón Pelileo

Muestra agua residual Cruda Semana 2

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados Muestra
pH	-	4500-H-B	7.35
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	1 470
Color	Und. Pt/co	2120-C	5 050
Turbiedad	UTN	2130-B	194
N-Nitritos	mg/L	4500-NO ₂ -B	2.7
N-Nitrosos	mg/L	4500-NO ₂ -E	28.0
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	48.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	2 820
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	310
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	897
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-F	6.0
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	880
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	2 400

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA.

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Cantácharos ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmíc Laboratorio
Riobamba - Ecuador

saqmíc

ANEXO I: INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA
BIOFILTRACIÓN EN LA SEGUNDA SEMANA



saqmic
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 08 de diciembre del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Diana Marjares
Tipo de muestras: Agua Residual muestra de agua de canal
Localidad: Canal del Cantón Pelileo

Muestra agua residual tratada Semana 2

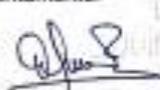
Análisis Químico

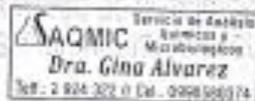
Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados Muestra 2
pH	-	4500-H-B	8.47
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	1 110
Color	Ued. Pt/co	2120-C	3 500
Turbiedad	UTN	2130-B	66
N-Nitritos	mg/L	4500-NO ₂ -B	0.8
N-Nitatos	mg/L	4500-NO ₃ -E	44
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	10
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	990
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	150
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	150
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-F	< 0.1
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	674.5
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	904.0

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA.

Observaciones:

Atentamente:





Servicio de Análisis
Químico y
Microbiológico
Dra. Gina Álvarez
Tel.: 2 924 272 0 | Cel.: 0998 525 074

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contactanos: (0)0998580374 (0)032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



ANEXO J: INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL ANTES DE LA BIOFILTRACIÓN EN LA TERCERA SEMANA



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 08 de diciembre del 2022

Análisis solicitado por: Srta. Diana Manjares

Tipo de muestras: Agua Residual muestra de agua de canal

Localidad: Canal del Cantón Pelileo

Muestra agua residual Cruda Semana 3

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados Muestra
pH	-	4500-H-B	8.81
Conductividad	µSiemens/cm	2510-B	1 393
Color	Und. Pt/co	2120-C	15 700
Turbiedad	LJTN	2130-B	470
N-Nitros	mg/L	4500-NO ₂ -B	2.9
N-Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -E	79
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	49
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	4 900
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	2900
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	800
Sólidos Sedimentables	mg/L	2540-F	11
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	847.7
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	4 524

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Note: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contactanos: @0998580374 @032 942 322
Saqmic Laboratorios
Robamba - Ecuador

saqmic

ANEXO K: INFORME DEL ANÁLISIS DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA
BIOFILTRACIÓN EN LA TERCERA SEMANA



INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 15 de diciembre del 2022
Análisis solicitado por: Sra. Diana Marjares
Tipo de muestras: Agua Residual muestra de agua de canal
Localidad: Canal del Cantón Pelileo

Muestra agua residual Tratada Semana 3

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados Muestra
pH	-	4500-H-B	7.64
Conductividad	µSiemalcm	2510-B	887.2
Color	Uad. Pt/co	2120-C	905
Turbiedad	UTN	2130-B	32
N-Nitritos	mg/L	4500-ND ₂ -B	0.15
N-Nitros	mg/L	4500-ND ₂ -E	45.0
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	9.5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	350
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	178
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	36
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-F	< 0.1
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	560
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	625

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA.
Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid 9
Cotacanes - (01)98580374-9032 942 322
Saqmik Laboratorio
Robamba - Ecuador

saqmik

ANEXO L: FUNCIONAMIENTO DEL BIOFILTRO

		
<p>Colocar el biofiltro en un lugar donde no lleguen los rayos del sol</p>	<p>Colocar el humus+lombriz en el tanque de biofiltración</p>	<p>Llenar el tambor homogenizador con el agua residual del Camal</p>
 <p>Aspergear el agua residual sobre el biofiltro de lombrices</p>		

ANEXO M: TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL CRUDA Y TRATADA

 <p>Toma de la muestra del camal</p>	 <p>Toma de muestra del biofiltro</p>
---	---



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 04 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Diana Anabelle Manjarres Campaña
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0408-DBRA-UPT-2023