

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Informe de Tesis

**EFICIENCIA DE *Lumbricus Terrestris* Y *Eisenia Foetida* EN EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA
CIUDAD DE BAGUA-AMAZONAS, 2015**

**Para obtener el título Profesional de
Ingeniero Ambiental**

Autores:

Br. José Edgardo Acuña Marrufo

Br. Jean Jhonatan Reyes Sánchez

Asesor:

Dr. José Darwin Farje Escobedo

Bagua - Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Informe de Tesis

**EFICIENCIA DE *Lumbricus Terrestris* Y *Eisenia Foetida* EN EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA
CIUDAD DE BAGUA-AMAZONAS, 2015**

**Para obtener el título Profesional de
Ingeniero Ambiental**

Autores:

Br. José Edgardo Acuña Marrufo

Br. Jean Jhonatan Reyes Sánchez

Asesor:

Dr. José Darwin Farje Escobedo

Bagua - Perú

2017

DEDICATORIA

Al todo creador por permitirme existir, por su gran amor y la fuerza dada para vencer las dificultades de cada día.

A mi madre María Elidía Marrufo Caruhajulca, por darme la vida, brindarme su amor y todo su apoyo incondicional.

A mi padre quien siempre me apoyo, lo que más quería era ver a sus hijos profesionales y sé que desde el cielo me iluminas y cuidas en cada momento de mi vida.

A mis hermanos Reyna, Rosita, Elizabeth y Walter, quienes me brindaron su apoyo y me animaron cada día.

A mi esposa, hija, maestros, amigos, por su apoyo, amor recibido, por todos los conocimientos adquiridos y sobre todo porque de una u otra manera me ayudaron para poder culminar este trabajo.

José Edgardo

Al todo poderoso, por darme la capacidad necesaria para alcanzar mis sueños, la salud, la perseverancia, sobre todo su infinita misericordia y amor que me ha permitido terminar mi carrera profesional.

A mi madre, hermanos, amigos y maestros, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional, supieron encaminarme con sabios consejos, y por el conocimiento recibido durante todo el tiempo que fui un estudiante universitario y así poder hacer realidad este sueño.

Al biólogo Mg. Carlos Vergara Díaz quien en su inicio fue quien nos dio la idea para investigar acerca de tratamiento de agua residual empleando la lombricultura, a su vez nos apoyó en la revisión de la estructura inicial de esta investigación.

Jean Jhonatan

AGRADECIMIENTO

A nuestro Dios por darnos el conocimiento necesario para terminar nuestra carrera profesional y a nuestros padres, quienes nos apoyaron en cada momento.

A nuestro asesor Dr. José Darwin Farje Escobedo, por su tiempo dedicado a la revisión de este proyecto.

A los miembros del jurado MSc. Ing. Wagner Guzmán Castillo, Lic. José Luis Quispe Osorio, Ing. Jorge Chávez Guivin por sus aportes y recomendaciones a fin de visualizar mejor los errores y presentar un adecuado trabajo.

A todos nuestros amigos, familiares y compañeros de clases que de una u otra forma nos ayudaron en el presente trabajo de Investigación.

Al Ing. Alex Fernando Berna García ya que más que un compañero de clases un gran amigo, por su apoyo en algunas correcciones de este informe de investigación.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph. D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector académico

Dr. MARÍA NELLY LUJAN ESPINOZA

Vicerrector de Investigación

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

MSc. Blga. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

Directora de Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

En mi calidad de docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, yo Dr. José Darwin Farje Escobedo, que suscribo, hago constar que he asesorado la ejecución y elaboración del informe de tesis titulado “Eficiencia de *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia Foetida* en el Tratamiento de las Aguas Residuales en la ciudad de Bagua - Amazonas, 2015” de los tesisistas, José Edgardo Acuña Marrufo y Jean Jhonatan Reyes Sánchez egresados de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM – Amazonas.

Chachapoyas, 12 de septiembre del 2017

DR. JOSÉ DARWIN FARJE ESCOBEDO
Asesor

JURADO EVALUADOR

MSc. Ing. Wagner Guzmán Castillo

Presidente

Lic. José Luis Quispe Osorio

Secretario

Ing. Jorge Chávez Guivin

Vocal

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Nosotros, JOSÉ EDGARDO ACUÑA MARRUFO, identificado con DNI N° 47478285 con domicilio real en Jr. Arequipa N° 181, distrito de Bagua, departamento de Amazonas y JEAN JHONATAN REYES SÁNCHEZ, identificado con DNI N°46740929, con domicilio real en Jr. 28 de julio N° 900, Distrito de Bagua, Departamento Amazonas; mediante el presente documento, **DECLARAMOS BAJO JURAMENTO:**

Que la información no citada que aparece en la Tesis Titulada: EFICIENCIA DE *LUMBRICUS TERRESTRIS* Y *EISENIA FOETIDA* EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAGUA - AMAZONAS, 2015, departamento Amazonas es de nuestra propiedad y coautoría.

A continuación firmamos la presente de conformidad a lo escrito y en caso necesario nos sometemos a las verificaciones correspondientes y las sanciones establecidas por ley.

Bagua, 12 de septiembre del 2017

José Edgardo Acuña Marrufo

DNI. N°47478285

Jean Jhonatan Reyes Sánchez

DNI. N°46740929

ÍNDICE

CARÁTULA	i
CONTRACARÁTULA.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
PÁGINA DE AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
PÁGINA DE VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
PÁGINA DEL JURADO EVALUADOR	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	viii
ÍNDICE	ix
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Antecedentes de la Investigación.....	4
3.2. Base teórica.....	5
3.2.1. La lombricultura	5
3.2.2. La Lombriz de Tierra.....	6
3.2.3. La Lombriz Roja Californiana.....	11
3.2.3.1. Principales cualidades de la <i>Eisenia Foetida</i>	13
3.2.3.2. Condiciones ideales y desfavorables de su hábitad	14
3.2.4. El polvo de aserrín como sustrato para lombrices.....	16
3.3. El Sistema Tohá.....	16
3.3.1. Características del Sistema Tohá.....	18
3.3.2. Descripción de las capas del Lombrifiltro.....	21
3.3.3. Microbiología del biofiltro Tohá	23
3.4. Aguas Residuales.....	23
3.5. Constituyentes del agua residual.....	24

3.6. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales	24
3.7. Normas Nacionales	30
3.7.1. Normas para descargas de aguas residuales en Perú	30
3.8. Hipótesis.....	31
3.9. Variables de Estudio.....	31
3.9.1. Variable Independiente.....	31
3.9.2. Variable Dependiente	31
3.9.3. Definición de términos	31
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.1. Objeto de estudio.....	33
4.2. Área de estudio.....	33
4.3. Diseño de investigación	34
4.4. Población.....	34
4.5. Muestreo.....	34
4.6. Muestra.....	34
4.7. Fuentes de información	34
4.8. Métodos.....	35
4.8.1. Sistemas de Tratamiento.....	35
4.8.2. Método de análisis de datos.....	35
4.9. Técnicas	36
4.9.1. La observación.....	36
4.10. Instrumentos.....	36
4.10.1. Formato de registro para la adaptación de las lombrices.....	36
4.10.2. Formato de registro para parámetros tomados en campo.....	36
4.11. Procedimiento	36
4.11.1. Diseño, dimensionamiento y construcción del lombrifiltro.....	37
4.11.2. Acondicionamiento del lugar.....	39
4.11.3. Instalación de los Sistemas.....	40
4.11.4. Recolección de las especies de lombrices.....	41
4.11.5. Adaptación de la <i>Eisenia Foetida</i> y <i>Lumbricus Terrestris</i> al agua residual doméstica.....	43
4.11.5.1. Materiales.....	43
4.11.6. Relleno del estanque de biofiltro.....	44
4.11.7. Medición del caudal de entrada al estanque de biofiltración.....	45
4.11.7.1. Materiales.....	45

4.11.8. Toma de muestra.....	46
4.11.9. Análisis de las muestras.....	47
V. RESULTADOS.....	49
5.1. Análisis de remoción de contaminantes	49
5.2. Comparación de los tratamientos en la remoción de los contaminantes.....	52
5.2.1. Conductividad eléctrica	52
5.2.2. Ph	52
5.2.3. Sulfatos	53
5.2.4. Fósforo total	53
5.2.5. Nitratos	54
5.2.6. Nitrógeno total	54
5.2.7. Aceites y grasas	55
5.2.8. Sólidos suspendidos totales	55
5.2.9. Demanda bioquímica de oxígeno.....	56
5.2.10. Demanda química de oxígeno	56
5.2.11. Coliformes totales.....	57
5.2.12. Coliformes fecales	57
5.2.13. <i>Escherichia Coli</i>	58
5.3. Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles.....	58
VI. DISCUSIÓN	61
VII. CONCLUSIONES.....	63
VIII. RECOMENDACIONES.....	64
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
X. ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Límites máximos permisibles para efluentes de PTAR/MINAN.....	30
Tabla 02: Tratamientos aplicados en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	35
Tabla 03: Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	49
Tabla 04: Comparación de los resultados obtenidos por los tratamientos con los Límites Máximos Permisibles	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Capas del Lombrifiltro.....	21
Figura 02: Mapa de Ubicación Geográfica	33
Figura 03: Diseño del sistema de tratamiento.....	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Porcentaje de variación de conductividad eléctrica	52
Gráfico 02: Porcentaje de variación del pH	52
Gráfico 03: Porcentaje de remoción de sulfatos	53
Gráfico 04: Porcentaje de remoción de fósforo total.....	53
Gráfico 05: Porcentaje de remoción de nitratos	54
Gráfico 06: Porcentaje de remoción de nitrógeno total.....	54
Gráfico 07: Porcentaje de remoción de aceites y grasas	55
Gráfico 08: Porcentaje de remoción SST	55
Gráfico 09: Porcentaje de remoción DBO ₅	56
Gráfico 10: Porcentaje de remoción DQO	56
Gráfico 11: Porcentaje de remoción coliformes totales.....	57
Gráfico 12: Porcentaje de remoción coliformes fecales.....	57
Gráfico 13: Porcentaje de remoción de <i>Escherichia coli</i>	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 01: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	70
ANEXO 02: Constancia de veracidad de datos obtenidos en laboratorio.....	76
ANEXO 03: Plano de diseño de los tratamientos	77
ANEXO 04: Galería fotográfica del trabajo de investigación	78
ANEXO 05: Resultados de la adaptación de las lombrices	81
ANEXO 06: Certificado de verificación de la lombriz Roja Californiana.....	83

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 01: Lombriz de tierra (<i>Lumbricus Terrestris</i>) empleada en el T1	8
Foto 02: Lombriz roja californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) empleada en el T2.....	11
Foto 03: Ubicación del tanque de almacenamiento.....	39
Foto 04: Acondicionamiento para los lombrifiltros.....	40
Foto 05: Instalación de los sistemas de lombrifiltro	41
Foto 06: Recolección de la <i>Lumbricus Terrestris</i>	42
Foto 07: <i>Eisenia Foetida</i> comprada de la provincia de Chiclayo	42
Foto 08: Adaptación de la <i>Lumbricus Terrestris</i> y <i>Eisenia Foetida</i>	44
Foto 09: Lombrifiltros con las especies <i>Lumbricus Terrestris</i> y <i>Eisenia Foetida</i>	45
Foto 10: Toma de muestra sin tratamiento en campo	46
Foto 11: Medición en campo de muestra sin tratamiento	47
Foto 12: Medición de muestra con T1 y T2.....	47
Foto 13: Muestras enviadas al laboratorio para su respectivo análisis	48

GLOSARIO DE TÉRMINOS

OD	: Oxígeno disuelto
CE	: Conductividad eléctrica
SST	: Sólidos suspendidos totales
SDT	: Sólidos Disueltos totales
DQO	: Demanda química de oxígeno
CT	: Coliformes totales
CF	: Coliformes fecales
EC	: <i>Escherichia coli</i>
E	: Efluente
M-ST	: Muestra sin tratamiento
C	: Control
M-T1	: Muestra de <i>Lumbricus Terrestris</i>
M-T2	: Muestra de <i>Eisenia Foetida</i>
LMP	: Límite máximo permisible
PTAR-M	: Planta de tratamiento de aguas residuales municipales
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
UTM	: Universal Transversal Mercator
T1	: <i>Lumbricus Terrestris</i>
T2	: <i>Eisenia Foetida</i>

- pH : Significa potencial de hidrógeno, es una medida de la acidez de una solución.
- Umho/cm : Micromhos por centímetro
- Ms/cm : Mili siemens por metro
- DBO₅ : Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (mg/l)
- NMP : Número más probable

RESUMEN

En la presente investigación se determinó la eficiencia de la lombriz de tierra (*Lumbricus Terrestris*) y la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales de la ciudad de Bagua. Se aplicó la adaptación de las dos especies durante un periodo de siete días, luego se inocularon al sistema de biofiltro conformado por dos estanques con capas inertes (bolones, grava, aserrín, tierra y compost) y organismos vivos (lombriz de tierra, roja californiana y microorganismos presentes en el sustrato) y un tanque de almacenamiento (aguas residuales), flujo continuo.

Se depositó el agua residual en un tanque de almacenamiento alimentado por un tiempo de seis días para luego pasar a los estanques de vidrio con *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia Foetida*. Para determinar la eficiencia de remoción de las especies, se analizó la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó a los tratamientos. Obteniendo los resultados que la especie *Eisenia Foetida* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, con un porcentaje promedio de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 73% mientras que *Lumbricus Terrestris* obtuvo un promedio de remoción del 63%.

Palabras claves: Eficiencia, lombrifiltros, tratamiento de aguas residuales, *Eisenia Foetida*, *Lumbricus Terrestris*, ciudad de Bagua, sistema Tohá.

ABSTRACT

In the present investigation, the efficiency of the earthworm (*Lumbricus Terrestris*) and the Californian red worm (*Eisenia Foetida*) in the treatment of the wastewater to environmental conditions of the city of Bagua was determined. Adaptation of the two species was applied over a period of seven days, then inoculated to the biofilter system consisting of two ponds with inert layers (grains, gravel, sawdust, soil and compost) and living organisms (earthworm, Californian red And microorganisms present in the substrate) and a storage tank (wastewater), continuous flow.

The residual water was deposited in a storage tank fed for a period of six days and then passed to the glass ponds with *Lumbricus terrestris* and *Eisenia Foetida*. To determine the efficiency of removal of the species, the concentration of the physicochemical and microbiological parameters of the residual water that entered the treatments was analyzed. Obtaining the results that the species *Eisenia Foetida* is more efficient in the wastewater treatment of the city of Bagua, with an average percentage of removal of physicochemical and microbiological parameters of 73%, while *Lumbricus Terrestris* obtained an average removal of 63%.

Key words: Efficiency, lombrifiltros, treatment of wastewater, *Eisenia Foetida*, *Lumbricus Terrestris*, Bagua city, Tohá system.

I. INTRODUCCIÓN

Sincronizando con la actualidad, la sociedad de hoy, en general cada vez más se interesa por tener una mejor calidad de vida pero muchas veces la demanda solamente queda en la teoría porque los patrones culturales por un lado y los intereses de las empresas transnacionales no permiten cumplir con esta necesidad, se imponen las inmoralidades ambientales de los pobladores, en detrimento de proveer a las personas una mejor calidad de vida.

En el contexto latinoamericano la situación es aún peor, dado que la mayoría de los países son por excelencia exportadores de materias primas y consumistas, y en algunos casos somos depósito o sucursal de grandes fábricas transnacionales cuya operatividad que funciona en algún espacio de nuestro continente, afecta todo tipo de vida, y contaminando el agua, el suelo y el aire. Otra sombría realidad es que la mayor parte de las aguas servidas discurren en ríos, quebradas, lagos, lagunas, alterando el estado natural de los ecosistemas acuáticos.

En nuestro país, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo el 29% de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para su depuración (Mejía y Pérez, 2016).

En la región Amazonas y particularmente en la ciudad de Bagua, capital de la provincia del mismo nombre, se evidencia un inexistente tratamiento de aguas residuales domésticas que se generan diariamente, al notar un completo desinterés por parte de las autoridades ediles actuales y anteriores y también por la negligencia de la ciudadanía para exigir el acceso a una mejor calidad de vida a sus funcionarios y autoridades, que nunca se preocuparon por ejecutar algún tipo de tratamiento para las aguas residuales que se vierten directamente al río Utcubamba contaminando este ecosistema acuático. Con este panorama y teniendo en cuenta los beneficios ecológicos y de salud pública, se realizó el presente estudio de

investigación, siendo el problema: ¿Cuál será la eficiencia de la *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia Foetida* en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Bagua – Amazonas?, frente a ello se estableció la hipótesis donde el sistema de tratamiento con *Eisenia Foetida* es el más eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales de la ciudad de Bagua.

II. OBJETIVOS

Los objetivos de esta investigación fueron

2.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de *Lumbricus Terrestris* y *Eisenia Foetida* en el tratamiento de las aguas residuales a condiciones ambientales, de la ciudad de Bagua – Amazonas, 2015.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Implementar un sistema de biofiltro, con el empleo de dos especies de lombrices de forma independiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- ✓ Determinar los parámetros físico-químicos (Temperatura, PH, Aceite y Grasas, DBO₅, DQO, Nitratos, Fosfatos, SST, SDT) y bacteriológicos (Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *Escherichia Coli*), de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Bagua.
- ✓ Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes entre *Eisenia Foetida* y *Lumbricus Terrestris*, utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, desarrolló un sistema de tratamiento para aguas residuales domésticas, mediante la aplicación de lombrices (*E. Foetida*), denominado técnica Tohá o Lombrifiltro, con resultados exitosos los cuales son eficientes en la remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003).

Vizcaíno y Fuentes, (2016) en la Universidad de la Guajira, Riohacha - Colombia, en su investigación Efectos de *E. Foetida* y *E. Crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos, a una concentración inicial de oxígeno disuelto fue 0,98 mg O₂/l. y *E. Foetida* aumentó esta concentración a 3,17 mg O₂/l. quedando comprobado al igual que en nuestra investigación, que el oxígeno disuelto inicial aumentó con la *E. Foetida*.

Pereira, capital del departamento de Risaralda en Colombia, se estudió la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial, ubicados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira, dichos humedales se alimentaron con agua residual sintética preparada con sustancias que simulan la composición y concentración del agua residual doméstica, obteniendo resultados eficientes en la remoción de DQO, DBO, y SST mayores al 80%; en NTK mayores al 45% y para fosforo total mayores al 55% (Londoño y Marín, 2009).

En la Universidad de Chile se realizó estudios en la evaluación ambiental del Sistema Tohá en la remoción de Salmonella en Aguas servidas domésticas. Los resultados arrojaron un 80% de eficiencia en la remoción de Salmonella y una remoción de

coliformes totales y fecales de 6 escalas logarítmicas de (107 a 100). En las pruebas de calidad de agua, el Sistema resultó ser efectivo en un 95% en la remoción de DBO5, un 80% en sólidos suspendidos totales (SST), y un 70% en nitrógeno y fósforo (Arango, 2003).

A nivel nacional

La Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, ha desarrollado un estudio comparativo acerca de la capacidad depuradora de nutrientes presentes en las aguas residuales, de tres plantas acuáticas flotantes, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, en el estudio realizado se observó que fue posible remover los nutrientes a un 90% como se esperaba pues estudios recientes hechos en el Perú y en América Latina que señalan eficiencia promedio del 95% (García, 2012).

En el Perú, donde se plantea la presente investigación no existe antecedente o información relacionada a un sistema de tratamiento de similares características al planteado.

A nivel regional

Dentro de la región Amazonas, hasta el momento no se han realizado investigaciones o estudios sobre el uso de las lombrices para en el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Existen comunidades donde se vierten aguas servidas a los cursos de agua, arroyos o quebradas, como es el caso de la ciudad de Bagua, donde se dispone del efluente de dichas aguas sin ningún tipo de tratamiento hacia el río Utcubamba, contaminando este ecosistema acuático.

3.2. Base teórica

3.2.1. La lombricultura

La lombriz es conocida desde tiempos inmemoriales como el animal ecológico por definición, transforma todos los residuos de la sociedad humana convirtiéndolo en un humus de óptima calidad, que devuelve al suelo,

revitalizándolo; además, es muy útil y conocido el empleo de su carne. En el antiguo Egipto se consideraba a la lombriz como un animal valioso. Se considera que la fertilidad del valle del Nilo, se debe en parte a la actividad desarrollada por las lombrices, que reciclan los nutrientes y los dejan disponibles para los cultivos anuales. El gran filósofo griego Aristóteles las definió certeramente como "los intestinos de la tierra", porque excava en el terreno galerías, volviéndolo poroso y facilitando la oxigenación y permeabilidad al agua (Salazar, 2005).

Los primeros estudios profundos sobre el tema y las primeras nociones sobre el hábitat y el sistema de reproducción de las lombrices, datan de 1837. Estas investigaciones fueron dirigidas por el biólogo Charles Darwin (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

A partir de la década del 50, los primeros criaderos intensivos fueron desarrollados en el estado de California, EE.UU. desde entonces no se han dejado de efectuar estudios e investigaciones que han tenido como resultado la obtención de varios tipos de lombrices cada vez más selectas (Salazar, 2005).

Actualmente los tipos más utilizados en la lombricultura son tres de ocho mil especies existentes:

- ✓ *Eisenia Foetida*
- ✓ *Lumbricus Rubellus*
- ✓ *Rojo Híbrido*

3.2.2. La lombriz de tierra

Descripción

Las lombrices son animales que no poseen esqueleto (invertebrados) del tipo anélidos. Tienen un sistema muscular muy desarrollado lo que les facilita el

movimiento. No tienen ojos pero sí células especiales en todo el cuerpo sensibles a la luz solar. Casi a un cuarto de longitud desde la cabeza presentan un anillo llamado clitelum que ayuda en el proceso de reproducción ya que al efectuarse la cópula, este produce una sustancia mucosa que se forma envolviendo a los dos animales acopiando (Avilés, 2011).

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

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

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

Lombriz de tierra empleada en el primer lombrifiltro



Foto 01: Lombriz de tierra (*L. terrestris*) empleada en el T1

Morfología y fisiología de los sistemas de la lombriz de tierra

Las lombrices tienen un cuerpo alargado y cilíndrico que consiste en dos tubos concéntricos: la pared del cuerpo y el tubo digestivo, separados por el celoma (Martínez, 1999, citado por Alanís, 2003).

Sistema digestivo

El conducto digestivo es un tubo recto que consiste en orden de: boca, esófago, buche, molleja, intestino y finalmente el ano. A los lados del esófago tiene tres pares de glándulas calcáreas (Gordon, 1986, citado por Alanís, 2003).

La boca es una pequeña cavidad que se une con la faringe y en ella se lubrica el alimento que pasa posteriormente al esófago en el cual se encuentran las glándulas calcáreas, cuya función es excretar carbonato cálcico para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el alimento (Primavesi, 1984, citado por Alanís, 2003).

Sistema circulatorio

Las lombrices tienen un sistema circulatorio cerrado, constituido por dos grandes vasos sanguíneos uno dorsal y el otro ventral; además, de cinco vasos principales a lo largo del cuerpo y cinco pares de corazones, uno en cada uno de los somitos del siete al once. La sangre de las lombrices está compuesta por un plasma líquido de color rojo, debido a la presencia de hemoglobina. La función de la sangre es absorber las sustancias alimenticias de los intestinos, liberar residuos solubles en los riñones, transportar el oxígeno y liberar gas carbónico a través de la piel (Martínez, 1999, citado por Alanís, 2003).

Sistema respiratorio

Respira a través de la cutícula húmeda que cubre toda su superficie. Los vasos capilares de la pared del cuerpo toman el oxígeno y liberan al CO₂ (Gordon, 1986, citado por Alanís, 2003).

Sistema excretor

Este sistema lo componen dos pares de nefridios que se encuentran en los somitos, excepto en los tres primeros y en el último. Se inicia con una especie de embudo llamado nefrostoma y termina con el nefridioporo, estructura que descarga los desechos en el exterior. Los productos a excretar se forman en la sangre y en la pared del cuerpo y tubo digestivo, y ambos entran en la sangre y en el líquido celómico. El nefrostoma es ciliado y el movimiento de los cilios permite la liberación del líquido celómico (Martínez, 1999, citado por Alanís, 2003).

Sistemas nervioso y sensorial

Está formado por un cerebro, que a su vez lo integran dos ganglios suprafaríngeos. En cada somito se presenta un ganglio que se origina a partir del cordón nervioso ventral, del cual emergen tres pares de nervios laterales, que se conectan con las fibras sensitivas y las fibras motoras (Martínez, 1999, citado por Alanís, 2003).

Existen órganos sensoriales en la piel que son sensibles al tacto y a la luz, el sistema nervioso es una cadena ventral de ganglios, uno en cada segmento a partir del cuarto (Gordon, 1986, citado por Alanís, 2003).

Sistema locomotor

En cada segmento se ubica un sistema hidráulico cerrado; el celoma que actúa como un esqueleto hidrostático, gracias al líquido celómico. En la parte ventral del celoma se localizan los músculos circulares y los longitudinales, la contracción del músculo circular alarga el cuerpo y la del músculo longitudinal, lo acorta. La lombriz se mueve hacia delante o hacia atrás sin dificultad alguna, las quetas le permite adherirse a la superficie sobre la que se desplaza (Martínez, 1999, citado por Alanís, 2003).

Anatomía

La lombriz de tierra es un gusano alargado y cilíndrico, en el cual la segmentación es visible externamente a manera de pliegues en la cutícula. La boca es una hendidura en el extremo anterior, debajo de una proyección dorsal llamada prostomio. El ano se encuentra en el extremo posterior. En los gusanos sexualmente maduros se observa una bolsita de consistencia suave, el clitelo (Gordon, 1986, citado por Alanís, 2003).

Se acostumbra numerar los segmentos empezando en el extremo anterior. En las lombrices maduras los segmentos 31 o 32 al 37 son más grandes, formando un agrandamiento en forma de banda llamado clitelo que usan durante la reproducción (Bolotian, 1999, citado por Alanís, 2003).

El clitelo es una zona glandular a manera de cinturón. Aparece sólo cuando el animal está apto para reproducirse. Interviene fundamentalmente en:

- Favorecer el acoplamiento de los animales durante la cópula
- Producir albúmina para la alimentación de los embriones

- Producir el capullo que contendrá a los embriones (Reines et al, 1998, citado por Alanís, 2003).

3.2.3. La lombriz Roja Californiana

Este animal tiene un cuerpo alargado cilíndrico, el cual se adelgaza en sus extremos (foto 2), formado por 94 a 96 anillos donde cada uno tiene una función específica. Son invertebrados que se mueven por contracción de sus anillos y músculos.

Las lombrices recién nacidas, cuyo número oscila entre 2 a 21 ejemplares, son de color blanco, se vuelven rosadas a los 5 o 6 días y se convierten definitivamente a rojo oscuro de los 15 a 20 días; al nacer miden 1 mm. y cuando es adulta 6 a 8 cm; su diámetro oscila entre 3 a 5 mm. y tiene un peso que oscila entre 0,4 y 0,6 gramos aunque en estado adulto pueden alcanzar 1 gramo (Salazar, 2005).

Lombriz roja californiana



Foto 02: Lombriz roja californiana (*E. Foetida*) empleada en el T2

La *E. Foetida*, tiene 182 aparatos excretores, 6 riñones y 5 corazones; respira a través de la piel (no tiene pulmones), y la cabeza carece de ojos o palpos pero son muy sensibles a la luz. Unas células especiales colocadas a lo largo de su

cuerpo le avisan de la presencia de la luz, que es su terrible enemiga. Los rayos ultravioletas le matan en pocos segundos, por esta razón expuesta a los rayos solares por unos minutos muere (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

No tiene dientes ni mandíbula por lo que no tiene capacidad de moler el alimento. Para comer, con un sistema bucal succiona su alimento por la boca, ubicada en el primer anillo o somito. Cuando ésta llega al estómago, unas glándulas especiales se encargan de segregar carbonato cálcico, cuya finalidad es neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida, la que después de atravesar todo el aparato digestivo es expulsado por el ano, que se encuentra en la parte terminal.

En cada metámero se ubica un corazón y un par de riñones, razón por la cual, si se parte una lombriz en dos, una de las dos partes sobrevive, precisamente la parte anterior, la que tiene boca (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

El clitelo se sitúa en la parte anterior del cuerpo, aproximadamente a la altura de su primer tercio, si se considera la longitud total de la lombriz. El clitelo está encargado de segregar un líquido especial a través de glándula, para proteger los huevos, por lo tanto es importantísimo en la etapa de reproducción (Salazar, 2005).

La lombriz es hermafrodita insuficiente, es decir tiene ambos sexos, pero necesita aparearse para reproducirse. Cada lombriz está dotada de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino. El aparato genital masculino está integrado por los testículos que son glándulas secretoras de esperma. El aparato genital femenino recibe el esperma y lo retiene hasta el momento de la fecundación.

Dos lombrices en fase de acoplamiento giran en sentido opuesto la una de la otra, de esta manera entra en contacto el aparato genital masculino de una con el aparato genital femenino de la otra (Salazar, 2005).

La fecundación se efectúa a través del Clitelo, cuyas glándulas producen el capullo o cápsula, desde donde emergen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación, en un número que va de 2 a 21 ejemplares 27. Si bien es cierto este tipo de lombriz se alimenta de desechos orgánicos, no es el único agente que tiene tal misión. Para el proceso biológico involucrado en la filtración de agua servida a través de un lecho con lombrices, los microorganismos presentes en el sustrato permiten, en más de un 50% la degradación de la materia orgánica, siendo la lombriz muy útil en la aireación, remoción y porosidad del medio, con su movimiento incansable. De esta forma se logra un sistema de degradación de materia orgánica y purificación de aguas servidas autosustentable, al no exigir la entrega de energía externa para su operación (Salazar, 2005).

3.2.3.1. Principales cualidades de la *E. Foetida*

No todas las especies de lombrices son aptas para la cría, la mayoría requiere condiciones muy precisas y difíciles de lograr. Sin embargo ésta especie no sólo es la que mejor se adapta al cautiverio, sino que posee características que la hacen muy útil. La longevidad de esta especie se estima en alrededor de 15 a 16 años y no contrae ni transmite enfermedades (Pastorelly, 2001, citado por Salazar, 2005).

La lombriz *E. Foetida* es una especie eurífoga, es decir, se alimenta con los más diversos desechos, especialmente, los de tipo orgánico, caracterizándose por su gran voracidad. En periodos cuando disminuye el aporte de nutrientes orgánicos, las lombrices pueden sobrevivir mejor en presencia de residuos carbónicos, independientemente de nutrientes orgánicos tales como nitrógeno, fósforo y potasio. Esto demuestra la importancia de la celulosa en la dieta de la *E. Foetida*. Esta lombriz ingiere una cantidad de comida equivalente a su propio peso y expelen el 60% transformándolo en humus, siendo el 40%

restante en síntesis celular, respiración y otros procesos vitales (Agroflor, 1993, citado por Salaz, 2005).

Es una especie que tiene gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4 000 a 50 000 individuos por metro cuadrado (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

Es una especie muy prolífica, tiene una tasa de reproducción anual de 1:16, significando que cada 3 meses duplica su población (Pastorelly, 1993, citado por Salazar, 2005).

Esta alta tasa de reproducción depende de un adecuado manejo, de una alta densidad poblacional en criadero que favorezca el factor encuentro entre animales y su copulación y de las condiciones ambientales que se les otorgue en sus lechos productivos (Salazar, 2005).

3.2.3.2. Condiciones ideales y desfavorables de su hábitad

Las condiciones ideales del hábitad de la lombriz corresponden a una temperatura que oscile entre los 15° y 24° C, siendo óptima aquella que se acerque lo más posible a la de su propio cuerpo (aproximadamente 20° C), un pH neutro entre 6.5 y 7.5, oxígeno libre, materia orgánica, baja luminosidad ya que teme a la luz (pues el rayo ultravioleta las mata) y humedad disponible entre el 70% - 80%. Esta última es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción, una humedad superior al 85% hace que las lombrices entren en un periodo de latencia, afectando en la producción de humus y en la reproducción de éstas (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

La prueba para medir el porcentaje de humedad en el sustrato se conoce como prueba de puño, la cual consiste en tomar una cantidad de sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplica una

fuerza, lo normal de un brazo, y si salen de 8 a 10 gotas es que la humedad está en un 80% aproximadamente. En cualquier caso es mejor utilizar un medidor de humedad (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

En este sentido debe indicarse que la *E. Foetida* teme tanto al frío excesivo (0°C) como al calor elevado (más de 42° C), ante los cuales disminuye su actividad sexual y producción de humus. De esta manera, la temperatura es otro de los factores que influyen en la reproducción, producción de humus o vermicompost y fecundidad de las cápsulas. Si la temperatura desciende por debajo de 15° C las lombrices entran en un periodo de latencia, disminuyendo su actividad. Dejan de reproducirse, crecer y producir humus; además que alarga el ciclo evolutivo, puesto que los cocones (huevos) no eclosionan y pasan más tiempo encerrados los embriones, hasta que se presentan las condiciones del medio favorables (Agroflor, 1993, citado por Salazar, 2005).

La lombriz acepta sustratos con pH de 4.5 a 8.5. Fuera de esta escala, la lombriz entra en una etapa de latencia. Con un pH ácido en el sustrato (< 7) se desarrolla una plaga llamada Planaria (Pastorelly, 2001, citado por Salazar, 2005).

Otro aspecto importante a la hora de proteger el buen funcionamiento de las lombrices, se refiere a que éstas no tienen ningún órgano de defensa, por lo que cualquier animal puede dañarla o matarla y no siempre involuntariamente (Pineda, 2006).

Hay una serie de seres que la buscan afanosamente, la cazan y se la comen. Entre estos destacan las ratas y los ratones, las serpientes, los sapos, los topes y los pájaros, siendo estos últimos los más peligrosos

debido a la facilidad con que pueden entrar en acción. Para evitar este problema sería aconsejable cubrir el lecho con sombrajos o redes antigranizo, protegiendo a las lombrices de los pájaros (Salazar, 2005).

3.2.4. El polvo de aserrín como sustrato para lombrices

El aserrín es un residuo de madera, posee muchas cualidades por lo que *E. Foetida* tiene preferencia, en todos los tamaños de partícula el aserrín tiene por característica que posee una fácil descomposición en relación con la viruta y cuando el aserrín es mezclado con otros residuos de origen orgánico posee ventajas en cuanto a densidad, porosidad y aireación. El polvo de aserrín es un subproducto que se obtiene de muchas industrias como del talado de árboles, de aserraderos, de la fabricación de muebles y de la industria del papel entre otras y suele ser utilizado en la cría de algunas especies, su bajo costo y la disponibilidad hacen un recurso beneficioso para la práctica de lombricultura con ciertas excepciones ya que el aserrín que posee una coloración rojiza no suele ser utilizado por la presencia de taninos que resultan tóxicos para las lombrices (Shuldt & de Beláustegui, 1995, citado por Coronel, 2015).

La utilización del aserrín en polvo para la producción de humus resulta eficiente cuando este se combina el 50 % de aserrín con el 50% de estiércol cuando es mayor la cantidad de aserrín existe una considerable disminución en el proceso reproductivo de *E. Foetida* y se obtiene una deficiencia para la obtención del humus incrementando el tiempo para transformar el aserrín en humus lo que económicamente no resulta viable para este proceso (Cajas, 2009, citado por Coronel, 2015).

3.3. El sistema Tohá

El origen de esta tecnología se fundamenta en la permanente necesidad de encontrar tecnologías de tratamiento no convencional, que cumplan con las normativas de

descarga con bajos costos de operación que hagan viable su implementación, razón por la cual muchos investigadores han dedicado gran esfuerzo y dedicación con este fin. Es así, que a partir de los trabajos realizados en EE.UU. a fines de la década de los 70, se manifestó la conveniencia de utilizar a las lombrices en el proceso de depuración y estabilización de las aguas residuales domésticas e industriales (Salazar, 2005).

Las primeras investigaciones se limitaron a usar las lombrices no en el tratamiento de aguas, sino que en el tratamiento de lodos que resultaban de la depuración de las aguas. Actualmente se postula que las lombrices deben estar en una función directa en el tratamiento de las aguas, especialmente en la etapa de oxidación biológica, incluidas en el biofiltro de una planta de tratamiento de aguas residuales (Salazar, 2005).

De esta manera, el investigador chileno, el Dr. José Tohá Castellá, recoge experiencias realizadas en la planta de Lufkin, Texas (1981) sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lombricultura y comienza a experimentar con este sistema a partir del año 1986, naciendo de esta manera el Sistema Tohá (A.V.F. Ingeniería ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

En 1994, gracias al apoyo de FONDEF se construyó una planta experimental de tratamiento de aguas residuales en CEXAS Melipilla (perteneciente a EMOS), utilizando este tipo de tecnología desarrollada en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, para una población de 1 000 personas (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

Hoy en día en Chile, ya están en funcionamiento plantas domiciliarias e industriales desde la Quinta hasta la Décima región, las que tratan aguas domésticas de residencias privadas, comunidades rurales, balnearios, condominios, campamentos, municipalidades, empresas agroindustriales en el sector lechero, mataderos e industrias de procesamiento de alimentos. Además el uso de éste sistema a nivel internacional avalan el éxito de esta tecnología, una planta purificadora situada en la región de Montpellier en Francia que utiliza éste sistema para purificar las aguas residuales de

2 000 personas, una planta piloto en Italia, una empresa que quiere la licencia de distribución para todo México y otra para Venezuela (Salazar, 2005).

De esta forma, el sistema de lombrifiltro, posee características que la hace especialmente atractiva para el tratamiento de las aguas servidas de pequeñas localidades rurales. Además, resulta ser una biotécnica de transformación que ofrece las mayores ventajas:

- ✓ Cumplen con las emisiones ambientales de descargas
- ✓ Es un proceso rápido, que elimina inconvenientes desagradables como el olor y las moscas
- ✓ Es extraordinariamente económica
- ✓ Es de fácil gestión
- ✓ Es hoy en día el único sistema de transformación que nos permite al final del ciclo obtener al mismo tiempo, por un lado humus de lombriz, que representa el máximo de calidad en términos de fertilización orgánica, y por otro lado, grandes cantidades de proteínas de excelente calidad (Salazar, 2005).

3.3.1. Características del sistema Tohá

Se puede decir que el lombrifiltro, corresponde a una adaptación del sistema tradicional de lombricultura, definido como el conjunto de operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y el tratamiento de residuos orgánicos por medio de éstas, para su reciclaje en forma de abonos y proteínas. La que encuentra su aplicación en generación de: humus de lombriz, alimentos para mascotas y/o animales, avicultura, piscicultura y carnada para peces.

A diferencia de los sistemas tradicionales de lombricultura, en el lombrifiltro, el sustrato es proporcionado a través de la presencia de éste en las aguas residuales domésticas que percolan a través de un medio filtrante, donde se encuentran las lombrices en gran cantidad.

El lombrifiltro está compuesto, fundamentalmente, por 3 capas y lombrices del tipo *E. Foetida*. Esto es, una base filtrante de bolones, sobre la cual se agrega una capa de ripio o grava. La parte superior se cubre con aserrín o viruta de madera de ulmo o tepa (principalmente) sobre el cual se mantiene un alto número de lombrices (Quezada, 2001, citado por Salazar, 2005).

La materia orgánica que queda retenida en el medio filtrante es removida por una población de microorganismos y las lombrices adheridas al medio, los que se encargan de degradar la materia orgánica que utilizan como fuente de alimento, energía para sus procesos metabólicos y una fracción que pasa a formar parte de su masa corporal. Las lombrices luego de digerir la materia orgánica producen a través de sus deyecciones el denominado humus de lombriz, que cada cierto tiempo puede extraerse y ser utilizado como abono orgánico para el suelo (Salazar, 2005).

No produce lodos inestables al degradarse la totalidad de sólidos orgánicos del agua residual, en su lugar se obtiene humus.

Al hacer circular este líquido contaminado a través de un lecho de arena enriquecido con celulosa, se logra filtrar dejando retenidas partículas contaminantes (Salazar, 2005).

Como resultado del proceso, se obtiene un fertilizante de suelos, formado principalmente por humus, el que es muy valorado por su alto contenido nutritivo, destacándose también la obtención de proteínas en el sistema.

El tratamiento biológico que se realiza en el lombrifiltro tiene el carácter de tratamiento de tipo aeróbico, dado que la acción de la *E. Foetida* ayuda a mantener la permeabilidad del lecho impidiendo la colmatación de éste, debido a que las lombrices consumen el material orgánico retenido en el filtro integrándolo al suelo en forma de humus, cuya estructura granular de éste (humus) al ir produciéndose aumenta en forma progresiva la porosidad del

medio filtrante y facilitando la oxigenación, producto de las constantes excavaciones que realiza en el terreno, en forma de túneles y canales, a través de los movimientos migratorios de ésta (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

Se caracteriza además por sus bajos costos operacionales, al tener bajos requerimientos energéticos, ya que básicamente requiere energía eléctrica para activar las bombas de la planta elevadora y los equipos de desinfección (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

Se necesita poco espacio, el agua residual de 5 personas requiere solo 1 m² de biofiltro para su tratamiento.

✓ **Parámetros de diseño**

El diseño del lombrifiltro se basa en la realización de un balance de masas que considera: el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a 1 m³/m²/día (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

De esta manera se considera para el diseño:

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

Conocido el caudal de diseño, y asumiendo una tasa de riego se puede determinar el área requerida para el tratamiento.

➤ **Eficiencia del tratamiento.**

Según información recopilada de sistemas del lombrifiltro o sistema Tohá, muestran los siguientes niveles de remoción de contaminantes:

- ✓ 95% de la DBO

- ✓ 95% de sólidos totales
- ✓ 93% de los sólidos suspendidos volátiles.
- ✓ 80% aceites y grasas.
- ✓ 60% a 80% de nitrógeno total.
- ✓ 60% a 70% del fósforo total.
- ✓ 99% coliformes fecales (Salazar, 2005).

3.3.2. Descripción de las capas del lombrifiltro

El lombrifiltro está compuesto de un medio filtrante y un soporte.



Fig. 1: Capas del Lombrifiltro

Fuente: A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005

El medio filtrante será una capa de humus de espesor teórico 2 cm. de profundidad, en el cual habitan en mancomunidad microorganismos y lombrices de las especies (*E. Foetida* y *L. Terrestris*). El soporte estará constituido por tres capas, la primera de ellas de aserrín o viruta (debajo del humus), la segunda, ripio o grava y la tercera de bolones (Salazar, 2005).

La primera capa de soporte y que también sirve de filtro, el aserrín o viruta, puede ser de ulmo o tepa (principalmente), cuyo espesor debe ser, por lo menos, de 25 cm. para lograr la franja operativa necesaria de la lombriz. Además, tiene

como finalidad principal servir de alimento a las lombrices en el eventual caso que la carga contaminante del afluente no sea suficiente (Comisión Regional del Medio Ambiente, 2002, citado por Salazar, 2005).

La segunda capa estará constituida por ripio o grava y la tercera capa será de bolones con un espesor aproximado de 25 cm., las piedras de mayor tamaño van en la parte inferior y las de menor en la parte superior, esta capa está destinada al drenaje y aireación del sistema. En las piedras también se forma flora bacteriana que digiere la materia orgánica del agua que pasa por ella y que no fue retenida en las capas superiores del lombrifiltro.

Entre los estratos de aserrín y arena se dispone una malla tipo Raschell, que sirve como elemento de separación y retención para el estrato de aserrín y las lombrices (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

El piso del filtro, también denominado falso fondo, consiste en un radier con cierta pendiente (aproximadamente de un 1%) para que fluya el agua hacia la canaleta de evacuación, la cual también posee cierta pendiente (0.50%).

Sobre el radier, existen pastelones de cemento vibrado, apoyados en soportes que pueden ser de cualquier material resistente e inerte. Estos pastelones pueden ser de distinto tamaño, separados aproximadamente 2 cm. entre sí. Sobre éstos se posan las piedras más grandes del soporte, principalmente las de diámetro mayor a 2 cm., para así no permitir que éstas pasen más abajo (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

Este piso falso sostiene las capas del soporte y el lecho de filtrado y además crea una sola guía de agua.

En el perímetro interno del lombrifiltro se instalan tubos de PVC de 110 mm. de diámetro, cada 2 metros aproximadamente, los cuales van en forma vertical,

apoyados en su parte inferior en el radier y su parte superior sobresale 20 cm. de lecho filtrante (humus). Estos tubos se perforan con orificios (10 mm. de diámetro) los 20 cm. de su parte inferior y 8 cm. de la superior. Los tubos perforados permitirán airear el sector del falso fondo y la capa inferior del soporte (Salazar, 2005).

3.3.3. Microbiología del biofiltro Tohá

Una de las capas filtrantes está constituida por aserrín donde encontramos bacterias filamentosas *Sphaerotilus Natans* y *Beggiatao* además de un consorcio bacteriano conformado por: *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes*, en los estratos inferiores las bacterias nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* pueden generar malos olores debido a un ineficiente sistemas de ventilación mientras que en todo el sistema de filtración encontramos protozoos del grupo ciliata incluyendo *Vorticella*, *Opercularia* y *Epistylis* estos microorganismos cumplen con la función principal de ejercer un control sobre las bacterias, también existe la presencia de bacterias las cuales estabilizan el agua residual siempre y cuando el pH sea bajo o con cierto tipo de aguas residuales (Coronel, 2015).

3.4. Aguas residuales

Son una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente (García, 2012).

Aguas residuales domésticas

Son las aguas de origen principalmente residencial y otros usos similares que en general son recolectados por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Contiene principalmente desechos humanos, animales y otros de tipo casero, además deben agregarse las aguas provenientes de infiltraciones subterráneas (Lacrampe, 1992, citada por Salazar, 2005).

3.5. Constituyentes del agua residual

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales (García, 2012).

- Compuestos orgánicos agregados en el agua residual

La materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40% al 60%), carbohidratos (25% al 50%), grasas y aceites (8% al 12%). La urea el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico que hace parte de las aguas residuales. Además de estos compuestos las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de un gran número de moléculas orgánicas sintéticas. Cuando se descarga directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y en sus usos posteriores que se le dé a futuro (León y Lucero, 2009).

3.6. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales

a) Parámetros físicos

Son aquellos parámetros que dan las características físicas de visibles en el agua, se pone en consideración a continuación su descripción y los problemas que causan en el agua (García, 2012).

- Temperatura

La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30°C. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango 25 a 35°C (García, 2012).

- **Turbiedad**

Este parámetro se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones (Standard Methods, 1995).

- **Conductividad eléctrica**

Esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través de agua residual. Puesto que el agua es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de y más concentraciones disueltas.

En la actualidad es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de aguas para riego y es expresada en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) en unidades del sistema inglés y como mili siemens por metro (mS/cm) en unidades del S.I (Crites y Tchobanoglous, 2001, citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

- **Color**

Generalmente, la coloración es indicadora de la composición y concentración de las aguas residuales, variando del gris al negro según la cantidad de materia orgánica que contenga. Las aguas residuales normales y muy frescas se caracterizan por su color gris. Ahora, si su color es negro o demasiado oscuro, podría indicar que están alteradas o son sépticas y con mayor razón si desprenden olores sépticos. Esto afecta a la difusión de la radiación en el medio (y por tanto a la fotosíntesis) a la vez que provoca una mayor absorción de energía solar, por lo que la temperatura puede aumentar ligeramente respecto a la esperable (Lacrampe, 1992).

- **Olor**

La evacuación de las aguas residuales frescas, son prácticamente inodoras. Los olores a podrido tales como: el ácido sulfúrico, mercaptanos (olor a coles podridas), amoníaco y aminas (olor a pescado), indol, escatol, u otros productos de descomposición, indican

claramente que las aguas están en estado de descomposición o aguas sépticas (Lacrampe, 1992, citado por Salazar, 2005).

b) Parámetros químicos

Son los que se determinan a través de análisis de laboratorio, su importancia radica en los efectos que producen todos estos sobre los organismos acuáticos ya sean estos, vegetales o animales. Además de las alteraciones que pueden causar en fuentes de agua natural si no se controlan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (García, 2012).

- Ph

Es usado universalmente para determinar si una solución es ácida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidrógeno en una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, esos valores miden el grado de acidez o basicidad de una solución. Los valores inferiores a 7 y próximos a cero indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indican neutralidad (García, 2012).

- Sólidos totales en suspensión

Se encuentran constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pase del filtro estándar de fibra de vidrio (1,5 μm).

La materia en suspensión está compuesta por partículas orgánicas e inorgánicas inmiscibles que se encuentran en el agua. Dentro de las partículas orgánicas tenemos; fibras de plantas, células de algas, bacterias, protozoarios y sólidos biológicos. Por otra parte, arcilla, arena y sales son elementos considerados como partículas inorgánicas (Toasa, 2012).

- **Sólidos disueltos totales**

Fracción del total de sólidos en el agua que incluyen la materia coloidal, los compuestos orgánicos solubles e inorgánicos (sales). Los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no deben pasar los 3 000 mg/l de sólidos disueltos totales, sin embargo la concentración estándar de sólidos disueltos totales en cuerpos de agua para la conservación del medio acuático debe ser de 500 mg/L (García, 2012).

- **Oxígeno disuelto**

La presencia oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua, además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. No existe concentración mínima de O₂ que cause efectos adversos a la salud humana, pero si existe un límite en cuanto a O₂ que se requiere para sostener la vida de la fauna acuática. Se acepta que concentraciones de 5 mg/l son adecuadas para su desarrollo, en tanto que concentraciones menores a 3 mg/l pueden ser letales (García, 2012).

- **Nitrógeno**

Es un nutriente esencial para el crecimiento de algas y plantas en el agua. El nitrógeno total está compuesto por nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico. El nitrito no debe exceder de 1 mg/l en las aguas residuales y 0,1 mg/l en las aguas superficiales y subterráneas. Los nitritos son muy importantes en el estudio de aguas residuales, dada su toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas (Rojas, 2004, citado por Londoño y Marín, 2009).

En tanto los nitratos no deben superar los 45 mg/l en el agua potable dada sus graves y fatales consecuencias sobre los niños. Las concentraciones de nitratos en efluentes de aguas residuales pueden variar entre 0 y 20 mg/l, con valores típicos entre 15 y 20 mg/l (Metcalf y Eddy, 1995, citado por Londoño y Marín, 2009).

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

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO₅ es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras; el tiempo de incubación de la DBO generalmente es de 5 días (Romero, 2002, citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

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

La DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. Mide el oxígeno equivalente químicamente mediante un agente químicamente fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales a la vida biológica. La concentración de DQO en los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no debe sobrepasar los 200 mg/l, aunque para la óptima conservación de los ambientes acuáticos debe estar por debajo de los 40 mg/l (Romero, 2002, citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

- **Cloruro**

Responsable por el sabor salobre en el agua; es un indicador de posible contaminación del agua residual debido al contenido de cloruro de la orina. El sabor se hace presente con 250 - 500 (mg/l), aunque una concentración de hasta 1 500 (mg/l) es poco probable que sea dañina para consumidores en buen estado de salud (Quezada, 2001, citado por Salazar, 2005).

- **Fósforo**

Es importante en el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes

de descargas de aguas residuales y de escorrentía natural. Las aguas residuales deben contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como compuestos fosfatados (García, 2012).

- **Sulfatos**

Se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrógeno (H_2S) al combinarse con el hidrógeno. Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos y pueden alterar el desarrollo normal de los procesos biológicos si la concentración excede los 200 mg/l, afortunadamente estas concentraciones no son comunes (García, 2012).

c) **Parámetros biológicos**

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el medio natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales (García, 2012).

- **Organismos Patógenos**

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación. Los grupos de coliformes más estudiados en las aguas residuales son los fecales y totales. Los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no deben exceder los 5 000 NMP/100 ml en coliformes totales, en tanto que coliformes fecales deben estar por debajo de los 1 000 NMP/100ml (Galvis y Rivera, 2013).

3.7. Normas Nacionales

Para evitar consecuencias del uso del agua contaminada se ha ido ideando mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina. Cada país debe tener una institución que se encargue de dicho control.

3.7.1. Normas para descargas de aguas residuales en Perú

Para el Perú existe el Decreto supremo N° 003-2010-MINAM, el cual fue aprobado el 17 de marzo del 2010. Esta es una Norma ambiental en la que establece los Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Tabla 01: Límites máximos permisibles para efluentes de PTAR/MINAM

PARÁMETROS	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
Ph	Unidad	6,5 - 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: D.S N° 003-2010-MINAM

3.8. Hipótesis

La Lombriz de Tierra (*L. Terrestris*) removerá un 85% y lombriz roja californiana (*E. Foetida*) un 90% de los contaminantes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Bagua.

3.9. Variables de Estudio

3.9.1. Variable Independiente

- Eficiencia depuradora de la Lombriz de Tierra (*L. Terrestris*) y lombriz roja californiana (*E. Foetida*).

3.9.2. Variables Dependiente

- Concentración de contaminantes fisicoquímicos (Temperatura, PH, Aceite y Grasas, DBO₅, DQO, Nitratos, Fosfatos, SST, SDT) y bacteriológicos (*Salmonella Typhosa*, *Salmonella Paratyphi* y Coliformes Fecales), de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Bagua.

3.9. Definición de Términos

- **Biodegradable:** producto o sustancia que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas, etc.
- **Condiciones anaerobias:** son aquellos organismos que sólo pueden desarrollarse en ausencia de cantidades significativas de oxígeno.
- **Temperatura:** la temperatura es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella.
- **Patógeno:** es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, un ser humano o un vegetal, cuyas condiciones estén predisuestas a las ocasiones mencionadas.
- **Efluente:** residuo líquido procedente de los diversos procesos de una planta productiva. Compuesto principalmente por agua y químicos.
- **Bacterias aeróbicas:** organismos unicelulares que necesitan la presencia del oxígeno para poder vivir o desarrollarse.

- **Luz UV:** es una radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 4×10^{-7} metros.
- **Lombrifiltro:** el lombrifiltro es un biofiltro que contiene lombrices, a través del cual se hace pasar el agua servida. Este biofiltro comprende cuatro capas de diversos materiales. La capa superior consiste en material orgánico con un gran número de micro-organismos y lombrices (*E. Foetida*) principalmente, las cuales absorben y digieren la materia orgánica dejando el agua sin su principal contaminante. A continuación, hay una capa de aserrín para una segunda filtración, luego, la tercera capa está formada por piedras de tamaño pequeño y la última por piedras de mayor tamaño. Estas dos últimas capas proveen soporte y aireación al sistema, asegurando su permeabilidad. El agua pasa a través del biofiltro sólo por gravedad y emerge clara y sin materia orgánica
- **Coliformes fecales:** bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos. Bacilos cortos Gram negativos no esporulados, también conocidos como coliformes termotolerantes. Pueden identificarse por su tolerancia a temperaturas de 44°C - 45°C . Tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperatura de 44.5°C . Incluyen al género *Escherichia* y algunas especies de *Klebsiella*.
- **Bacterias:** organismos unicelulares (que tienen una sola célula).
- **Fosfatos:** son sales compuestas por un átomo fósforo y 4 de oxígeno.
- **Nitritos:** es la oxidación biológica de amonio con oxígeno.
- **Nitratos:** son sales del ácido nítrico.
- **Biótico:** conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área dada.
- **Biofiltro:** también denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes de una corriente de fluido (aire o agua) mediante un proceso biológico.

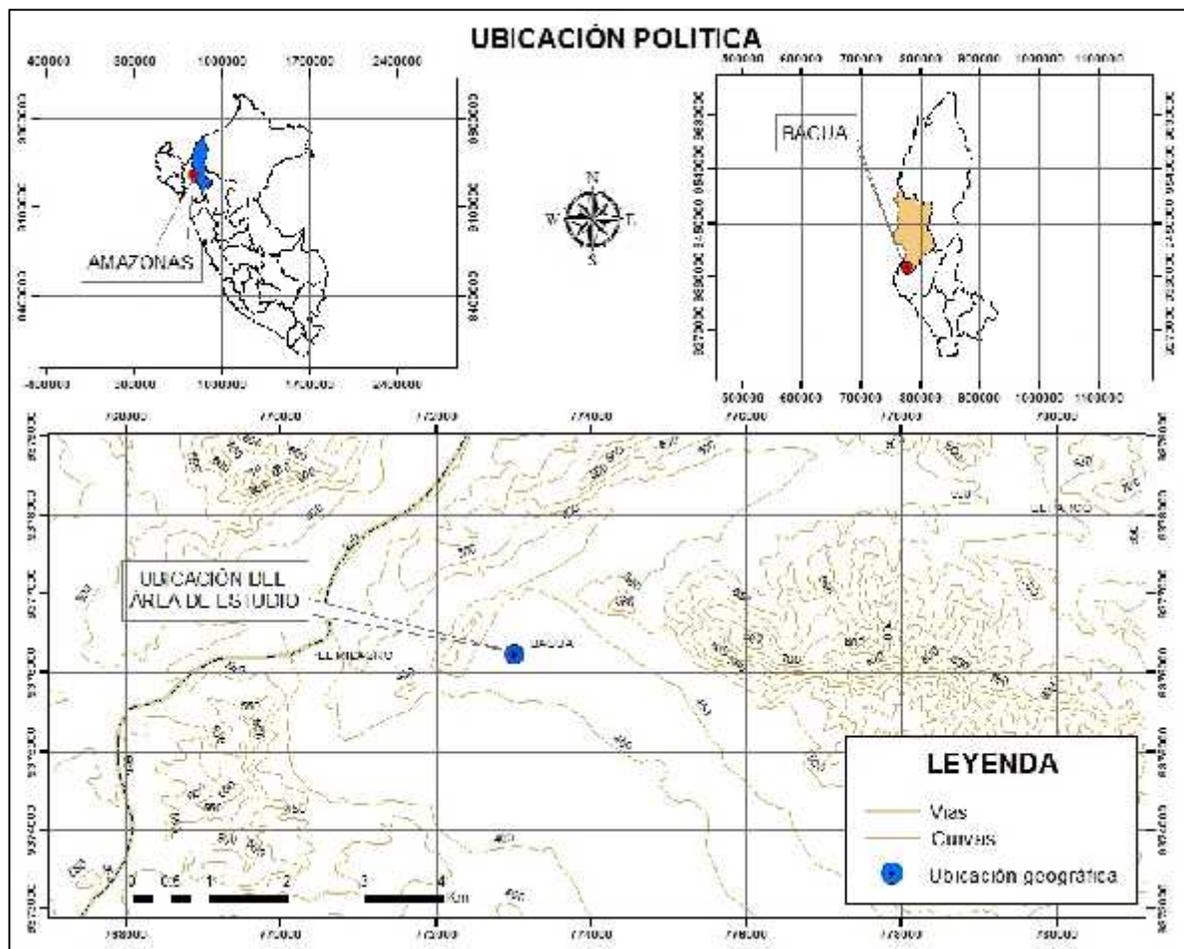
IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Objeto de estudio

Eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales con la *L. Terrestris* y *E. Foetida*.

4.2. Área de estudio

La presente investigación para la eficiencia de *L. Terrestris* y *E. Foetida* en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua, se desarrolló en el Jr. Arequipa N° 181 de la ciudad de Bagua, distrito de Bagua, provincia de Bagua, departamento Amazonas, en las coordenadas UTM 773218 Este y 9376587 Norte y a una altura de 428 msnm.

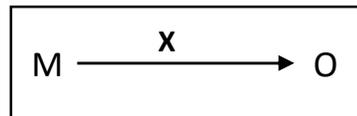


Fuente: Elaboración propia

4.3. Diseño de investigación

El proceso de investigación asume un diseño pre experimental: la muestra (agua residual) sometido a dos biofiltros independientemente con un mismo estímulo y dos mediciones diferentes.

Diseño:



Donde:

M = Muestra

X = Biofiltros

O = Observación o medición

4.4. Población

La población en esta investigación está representada por los 2 073.6 m³/día de las aguas residuales domésticas de toda la población de la ciudad de Bagua.

4.5. Muestreo

La toma de muestras de las aguas residuales se realizaron en dos puntos de muestreo: afluente y efluente, con la finalidad de determinar el grado de remoción de contaminantes de los biofiltros.

4.6. Muestra

La muestra está representada por 282.6 lt. de las aguas residuales domésticas de toda la población de la ciudad de Bagua.

4.7. Fuentes de información

Las fuentes de información fueron primarias y secundarias; entre las primarias tenemos los resultados obtenidos del laboratorio de Inversiones Ansa sac., Consultores &

Ejecutores Proveedores en General. Las pruebas secundarias se consideraron a los libros consultados, tesis de investigaciones anteriores relacionadas con el tema y páginas web consultadas.

4.8. Métodos

La Metodología de esta investigación constó de varias actividades que comprenden los siguientes aspectos.

4.8.1. Sistemas de Tratamiento

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó dos sistemas gemelos de tratamiento de flujo continuo; que constó de un estanque para cada sistema, el cual simula a una planta de tratamiento biológica pequeña con agua continúa. En estos sistemas se colocó las especies Lombriz de Tierra (*L. terrestris*) y Roja Californiana (*E. foetida*) de manera independiente como se muestra en la Tabla 02.

Tabla 02: Tratamientos aplicados en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas

N° DE TRATAMIENTOS	TRATAMIENTOS(Especies)
T1	<i>L. Terrestris</i>
T2	<i>E. foetida</i>

Fuente: Elaboración propia

4.8.2. Método de análisis de datos

El análisis de datos en esta investigación permitió estudiar el comportamiento de cada grupo experimental, así como definir los 16 parámetros y aspectos que ejerce influencia decisiva en las otras partes del objeto de investigación y determina su comportamiento.

Se empleó para procesar la información recolectada haciendo uso de la estadística descriptiva: promedio, máxima y mínima remoción de contaminantes, se utilizó el Microsoft Office: Excel 2013.

4.9. Técnicas

4.9.1. La observación

La observación se aplicó para evidenciar el comportamiento de la eficiencia de remoción de contaminantes, para monitorear y registrar información a través del cuaderno de campo, memorias de máquinas fotográficas y otros, así mismo se utilizó para realizar comparaciones entre la lombriz de tierra y roja californiana.

4.10. Instrumentos

4.10.1. Formato de registro para la adaptación de las lombrices

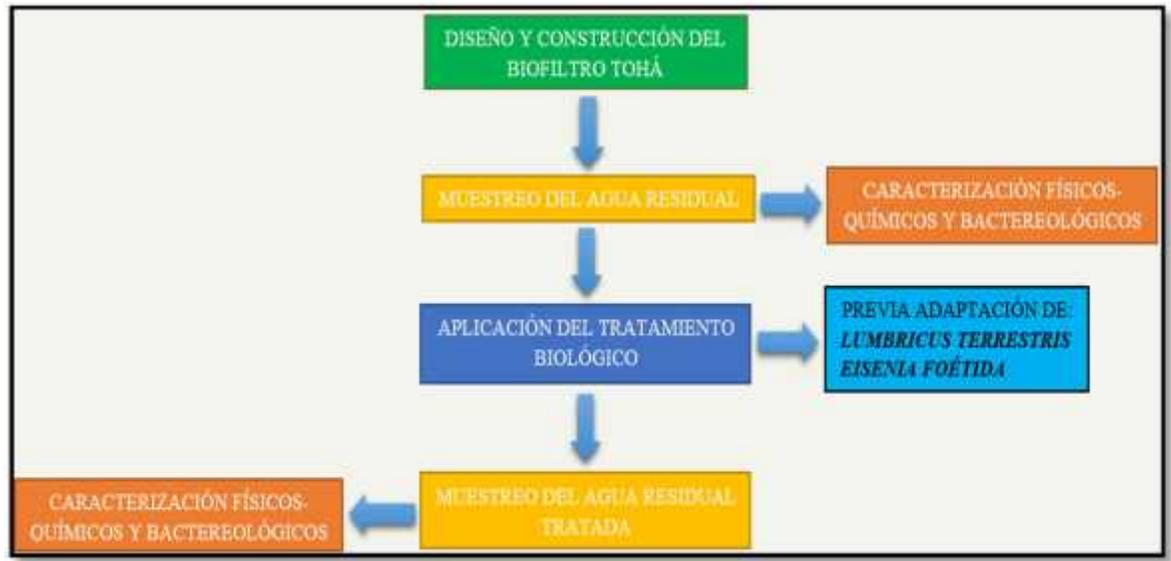
En este formato se registraron los parámetros tomados en campo para una adecuada adaptación de la lombriz de tierra y roja californiana, se registró el pH, humedad, temperatura del sustrato, para determinar una buena adaptación de los dos grupos experimentales.

4.10.2. Formato de registro para parámetros tomados en campo

En este formato se evaluó los parámetros tomados en campo como pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto con el instrumento Multiparámetro Handy Lab 680, en los sistemas de tratamiento T1, T2 y la Muestra sin tratamiento.

4.11. Procedimiento

Para una mejor comprensión del proceso se presenta en el esquema 01- diagrama general del proceso el cual inició con el diseño y construcción del biofiltro Tohá, posteriormente se realizó muestreo del agua residual y los análisis físicos químicos, la aplicación del tratamiento biológico, el muestreo y análisis físico químicos del agua tratada.



Esquema 03: Pasos seguidos con los Lombrifiltros

Fuente: Elaboración Propia

4.11.1. Diseño, dimensionamiento y construcción del lombrifiltro

El diseño del lombrifiltro se basó en la realización de un balance de masas que considera: el número de lombrices que puede cohabitar por unidad de área, cantidad de materia orgánica que éstas son capaces de digerir y la tasa máxima de riego que puede soportar el lecho para evitar la muerte de lombrices por falta de oxígeno, que corresponde a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ (A.V.F. Ingeniería Ambiental, 2003, citado por Salazar, 2005).

De esta manera se considera para el diseño:

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

Donde:

T_{Riego} = Tasa de riego

Q= Caudal

A= Área

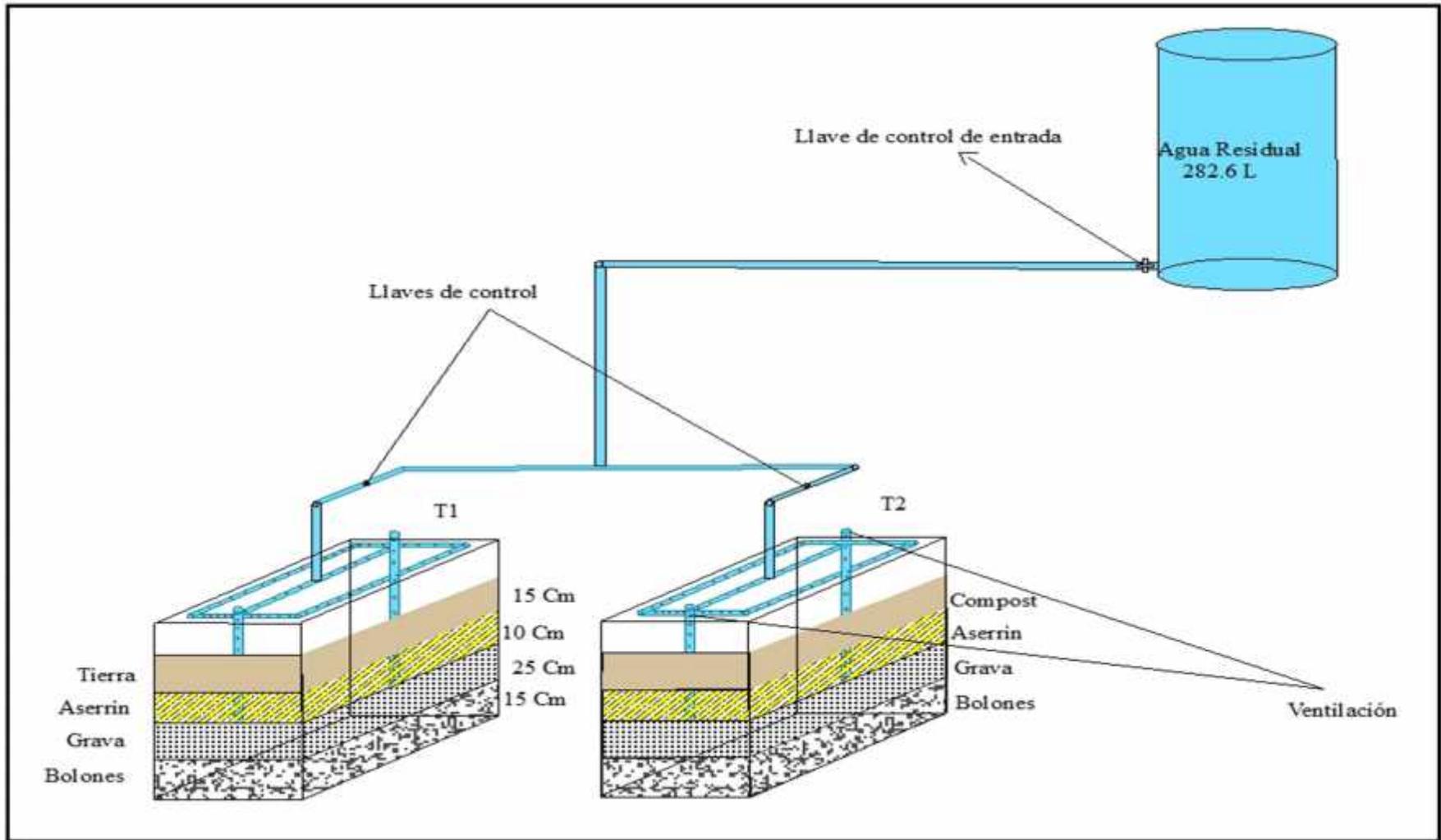


Fig. 3: Diseño del sistema de tratamiento

Fuente: Elaboración propia

Por la facilidad para su construcción, manipuleo y acceso a los materiales en nuestra zona se elaboró de la siguiente forma.

Consideramos las siguientes partes:

- Tanque de almacenamiento. Se compró y adapto un tanque de plástico de 282 lts., para almacenar y permitir el ingreso a los sistemas del agua residual de la ciudad de Bagua.
- Fuente de ingreso y salida. Se construyó con tubo PVC de ½”, llave de control de ingreso y 2 llave de salida de ½”.
- Construcción de los estanques. Se construyeron 2 estanques de material de vidrio con 6 mm de espesor, para el tratamiento de las aguas residuales, con dimensiones (75 cm de profundidad, 50 cm de ancho y 75 cm de largo) y con una capacidad de almacenamiento de 0.28125 m³c/u.



Foto 03: Ubicación del tanque de almacenamiento

4.11.2. Acondicionamiento del lugar

El espacio que se acondiciono para la instalación de los sistemas de tratamiento y el desarrollo de esta investigación, se ubicó en el Jr. Arequipa N°181 de la ciudad de Bagua, a 2 Km. de la descarga del efluente en investigación. Para

acondicionar el espacio se tuvo que limpiar, reubicar algunas herramientas de mecánica, dejar acondicionada el área bajo techo y circulada para impedir el ingreso de cualquier animal o ave en el área de estudio.



Foto 04: Acondicionamiento para los lombrifiltros

4.11.3. Instalación de los Sistemas

Se utilizaron dos (02) estanques de vidrio de las siguientes dimensiones: 75 cm de profundidad, 50 cm de ancho y 75 cm de largo. El volumen de los estanques fue de 281.25 litros (0.28125m³). Los estanques fueron alimentados del agua residual de la ciudad de Bagua, el cual fue alimentado por el tanque de almacenamiento, seguido de la tubería de conducción de manera individual a cada tratamiento donde se colocó las debidas llaves de control, previamente el diseño se compuso de 15 cm de bolones en la base, 10 cm de grava, 15 cm de grava más pequeña, los bolones y las gravas colocadas fueron bien lavadas con agua previamente, seguido se colocó 10 cm de aserrín y 15 cm de tierra en la *L. Terrestris* y 15 cm de compost en la lombriz roja californiana en la parte superior de cada lombrifiltro.

Para la selección de las lombrices, se separó las más grandes en un total de 300gr. Por cada tratamiento, lo cual se colocó en la parte superior de cada estanque y se inocularon en el sustrato respectivo de la parte superior de cada lombrifiltro.



Foto 05: Instalación de los sistemas de lombrifiltro

4.11.4. Recolección de las especies de lombrices

Los organismos de las especies *L. Terrestris* recolectados para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Bagua, provienen cerca de la orilla de un canal de regadío en el valle de Huarangopampa, ubicado en el C.P. de Huarangopampa a pocos metros de la ciudad de Bagua, a 410 msnm a temperatura promedio anual de 32°C.

Se realizó una excavación de aproximadamente 40 cm de profundidad, en una superficie de 1 m², donde se empieza a recolectar a los organismos mediante una lampa y luego a separarlas de la tierra que se encuentra impregnada en los organismos. Sucesivamente la excavación se efectúa en otra parte de la orilla del canal hasta conseguir el número de lombrices necesarias para el tratamiento.



Foto 06: Recolección de la *L. Terrestris*

Sin embargo las especies de *E. Foetida* fueron compradas del distrito de Picsi, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, de propiedad del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Lambayeque.



Foto 07: *E. Foetida*

4.11.4. Adaptación de la *E. Foetida* y *L. Terrestris* al agua residual doméstica

Para llevar a cabo la adaptación de los oligoquetos se tomó como referencia a (Mendieta, 2011) donde nos dice que la aclimatación adoptada para su investigación, fue de 10 días, pero observo que a los 7 días las lombrices estaban aclimatadas, listas para efectuar la descomposición de la materia orgánica, presentes en el agua residual.

4.11.5.1. Materiales

- ✓ Dos cajones de madera
- ✓ Un balde de 4 lts.
- ✓ Una lampa
- ✓ Un vaso de precipitación de 500 ml
- ✓ Mascarilla
- ✓ Malla plástica tipo Raschell
- ✓ Una balanza analógica
- ✓ Una balanza digital
- ✓ Guantes
- ✓ Aserrín
- ✓ Un multiparámetro Handy Lab 680
- ✓ Tierra de la orilla del canal propio donde habitan las lombrices, con el fin de preservar su estado de vida y facilitar la adaptación
- ✓ 2 Kg de *E. Foetida* y *L. Terrestris*

En la base de los recipientes para el proceso de climatización T₁: *L. Terrestris*, T₂: *E. Foetida* se hicieron perforaciones y se colocaron mallas plásticas tipo Raschell en el fondo de los recipientes; luego se preparó el sustrato dentro de cada recipiente, para ello se aspergeo 1500 ml de agua residual para la tierra y aserrín, se colocó una capa de sustrato preparado y, se realizó la prueba de puño para verificar el porcentaje de humedad y se registró el pH y temperatura; y se dio la inoculación de las lombrices en cada recipiente este proceso de

adaptación duró 7 días, los datos obtenidos se encuentran registrados en los anexos.



Foto 08: Adaptación de la *L. Terrestris* y *E. Foetida*

4.11.6. Relleno del estanque de biofiltro

MATERIALES

- ✓ Piedra bola # 3 (piedra bola de 3 cm de grosor aproximadamente)
- ✓ Piedra bola #2 (piedra bola de 2 cm de grosor aproximadamente)
- ✓ Grava #2 (piedra de 1.5 cm de grosor aproximadamente)
- ✓ Grava #1 (piedra de 1 cm de grosor aproximadamente)
- ✓ Aserrín
- ✓ Compost y *E. Foetida*
- ✓ Malla tipo Raschell
- ✓ Tierra y *L. Terrestris*

Sobre el fondo de cada estanque se colocaron de forma manual: una capa de piedra bola #3 y piedra bola #2 sobre este estrato se añadió grava #2 y - posteriormente se cubrió con la malla tipo raschell sobre la capa de piedras y

sobre está se colocó una capa de aserrín, y finalmente una capa de compost y tierra en cada estanque con lombrices previamente adaptadas al agua residual doméstica de procedencia de la ciudad de Bagua, y se dejó asperjar agua residual sobre el tanque de biofiltrado.



Foto 09: Lombrifiltros con las especies *L. Terrestris* y *E. Foetida*

4.11.7. Medición del caudal de entrada al estanque de biofiltración

4.11.7.1. Materiales

-) Un cronómetro
-) Un balde de 13 lts.

Para calcular la medición del caudal de entrada a los sistemas de tratamiento, se utilizó el método volumétrico:

$$Q = V/T = 13 \text{ Lts.}/61 \text{ S.}$$

$$Q = 0,021 \text{ m}^3/\text{s.}$$

4.11.8. Toma de muestra

Según García (2012), recomienda tomar las muestras en las horas donde hay cambio de radiación y por lo tanto variación de la actividad fotosintética en el agua a tratar, todo esto involucra el grado de tratamiento en horas críticas.

Para determinar el horario de muestreo se tomaron muestras y se realizó análisis de DQO en las siguientes horas: 9:00, 12:00 y 16:00 horas; ya que según Madueño y Sandoval (2009), se debe elegir la hora donde existe un mayor valor de DQO, y en este caso fue a las 9 de la mañana.

El efluente fue cambiado diariamente por 6 días según la metodología elegida para esta investigación; y el periodo de muestreo fue cada día que se alimentó con agua residual los estanques (una muestra del efluente), luego se tomaron muestras diferentes para cada tratamiento, empezando el día 26/01/2017 y terminando el 31/01/2017.

Las muestras que se tomaron fueron muestras simples y se recogieron en envases de vidrio color ámbar debidamente esterilizadas, para analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.



Foto 10: Toma de muestra sin tratamiento en campo

4.11.9. Análisis de las muestras

Los análisis para determinar la eficiencia y el comportamiento de los sistemas se realizaron tanto en campo como en laboratorio.

a) Mediciones en campo

Se utilizó un equipo multiparámetro Handy Lab 680 para medir los siguientes parámetros pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y Temperatura en la toma de muestras simples antes y después del tratamiento.



Foto 11: Medición en campo de muestra sin tratamiento



Foto 12: Medición de muestra con T1 y T2

b) Análisis en laboratorio

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos como: Sólidos suspendidos totales, cloruros, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), además de los parámetros microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Inversiones Ansa sac., Consultores & Ejecutores Proveedores en General.



Foto 13: Muestras enviadas al laboratorio para su respectivo análisis

V. RESULTADOS

5.1. Análisis de remoción de contaminantes

Tabla 03: Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetro	Unidad de medida	Tratamientos					
		Muestra Sin Tratamiento (M. S/T) o Control	Muestra con Lombriz de Tierra (T ₁)	Efecto (E)	M. S/T o Control	M. con Lombriz Roja Californiana (T ₂)	Efecto (E)
Temperatura	°C	27,08	25,43	26,26	27,08	26,03	25,06
Oxígeno disuelto	mg/l	4,36	3,88	0,48	4,36	4,64	0,28
Conductividad eléctrica	Us/cm	1375	875	500	1375	535	840
Ph	Unidad de Ph	7,15	6,83	0,32	7,15	7,13	0,02
Sulfatos	mg/l	141,11	35,23	105,88	141,11	25,92	115,19
Fosforo total	mg/l	7,76	3,98	3,78	7,76	3,48	4,28
Nitratos	mg/l	0,428	0,183	0,245	0,428	0,095	0,333
Nitrógeno total	mg/l	50,56	17,52	33,04	50,56	14,80	35,76
Aceites y grasas	mg/l	74,18	71,70	3,48	74,18	32,18	42,00
solidos suspendidos totales	mg/l	0,059	0,052	0,007	0,059	0,029	0,03
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	172,65	13,91	158,74	172,65	5,06	167,59
Demanda química de oxígeno	mg/l	160,39	11,78	148,61	160,39	4,37	156,02
solidos disueltos totales	mg/l	96,00	130,63	34,63	96,00	105,06	9,06
Coliformes totales	NMP/10 0ml	160.000.000	19.430.000	140.570.000	160.000.000	12.020.750	147.979.250
Coliformes fecales	NMP/10 0ml	160.000.000	18.273.749	141.726.251	160.000.000	9.371.400	150.628.600
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/10 0ml	70.660.000	3.847.000	66.813.000	70.660.000	18.946	70.641.054

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 muestra los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual al inicio y final de cada tratamiento, además de las remociones logradas por los tratamientos.

La temperatura inicial del agua residual sin tratamiento o control fue de 27,08°C mientras que con *L. Terrestris* y *E. Foetida* disminuyeron la temperatura a 26,26°C y 25,06°C respectivamente. Con respecto al oxígeno disuelto el agua residual o control ingresó al sistema Tohá con una concentración de 4,36 mg/l empero con *L. Terrestris* disminuyó la concentración de este parámetro a 3,88 mg/l, mientras que *E. Foetida* lo aumento a 4,64 mg/l. La concentración de conductividad eléctrica del efluente inicial o control fue 1375 uS/cm; el estanque con *L. Terrestris* eliminó 500 uS/cm y el estanque con *E. Foetida* redujo 535 uS/cm.

En la tabla 3 se observa que el pH del agua residual o control que ingresó al sistema Tohá fue un pH neutro de 7,15, sin embargo el estanque con *L. Terrestris* disminuyó el pH del agua a 6,83 acercándolo a la neutralidad, mientras que el *E. Foetida* lo bajó a 7,13. En lo que respecta a sulfatos, el efluente inicial o control que alimento al sistema tuvo una concentración de 141,11 mg/l; pero el *L. Terrestris* removió 105,88 mg/l, el estanque con *E. Foetida* redujo 115,19 mg/l. La concentración de fosforo total del control que ingreso al sistema fue de 7,76 mg/l, no obstante la *L. Terrestris* logró reducir 3,78 mg/l de la concentración inicial, el estanque con *E. Foetida* redujo 4,28 mg/l.

Los nitratos presentes en el agua residual o control que ingresó al sistema fue de 0,428 mg/l, sin embargo el estanque con *L. Terrestris* removió 0,245 mg/l y el estanque con *E. foetida* eliminó 0,333 mg/l. Con respecto al nitrógeno total la concentración promedio del efluente inicial o control fue 50,56 mg/l, el estanque con *L. Terrestris* elimino 33,04 mg/l y *E. Foetida* redujo 35,76 mg/l. La concentración de aceites y grasas del efluente inicial o control fue 74,18 mg/l, sin embargo, la *L. Terrestris* tuvo un efecto de remoción de 3,48 mg/l, el estanque con *E. Foetida* eliminó 42 mg/l.

En la tabla 3 se observa que la concentración de sólidos suspendidos totales presentes en el agua residual o control que ingresó al sistema fue 0,059 mg/l, sin embargo la remoción que mostró con *L. Terrestris* 0,052 mg/l y con *E. Foetida* con 0,029 mg/. La concentración de demanda bioquímica de oxígeno presente en el control fue 2,71 mg/l, del cual el estanque con *L. Terrestris* aumento 5,06 mg/l y *E. Foetida* lo hizo en 13,91 mg/l. En lo que respecta a la concentración de demanda química de oxígeno en el control fue 19,39mg/l, el estanque con *L. Terrestris* aumento en 39,87 mg/l y *E. Foetida* eliminó 15,78 mg/l.

La concentración de los Sólidos disueltos totales del efluente o control fue 96 mg/l, sin embargo, en el estanque con *L. Terrestris* aumento en 34,63 mg/l y el estanque con *E. Foetida* aumento un 9,06 mg/l.

Con respecto a los parámetros microbiológicos la tabla 3 muestra que la cantidad de coliformes totales y fecales del control fue 160.000.000 NMP/100ml, mientras que de *Escherichia Coli* fue 70.660.000; sin embargo los tratamientos lograron remociones de coliformes totales de 140.570.000 NPM/100ml en el estanque con *L. Terrestris*, el estanque con *E. Foetida* lo hizo en 147.979.250 NMP/100ml. En coliformes fecales el tratamiento con *L. Terrestris* logró remover 18.273.749 NMP/100ml y el estanque con *E. Foetida* redujo 150.628.600 NMP/100ml. Para el parámetro *E. Coli* el estanque con *L. Terrestris* removió en 66.813.000 NMP/100ml y *E. Foetida* redujo 70.641.054 NMP/100ml.

5.2. Comparación de los tratamientos en la remoción de los contaminantes

5.2.1. Conductividad eléctrica

El Gráfico 1 muestra que el estanque con *E. Foetida* es el más eficiente removedor de conductividad eléctrica con un 61,09%, seguido por el estanque con *L. Terrestris* con un 36,36% respecto al agua residual sin tratamiento o control.

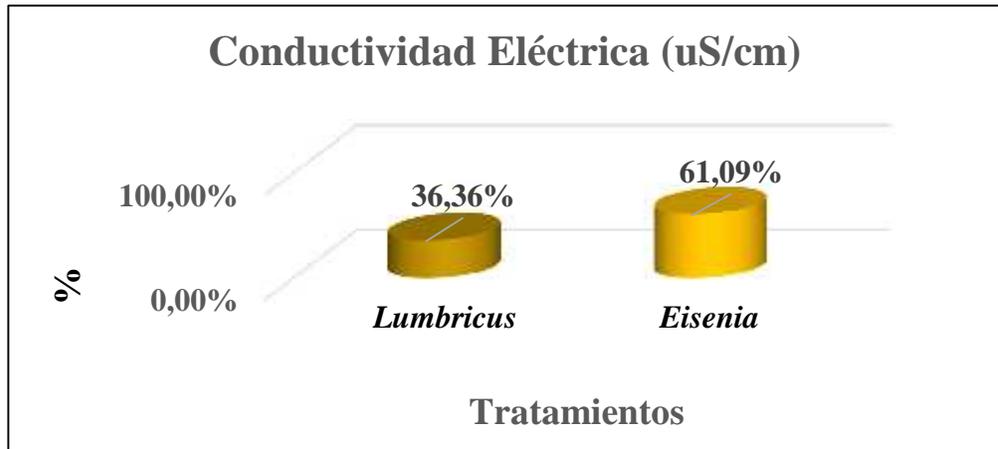


Gráfico 1. Porcentaje de variación de conductividad eléctrica

5.2.2. pH

El Gráfico 2 presenta los cambios de pH logrados por los tratamientos, donde el más eficiente fue *E. Foetida* con un 0,42%, mientras que *L. Terrestris* lo hizo en un 4,61% respecto al control.

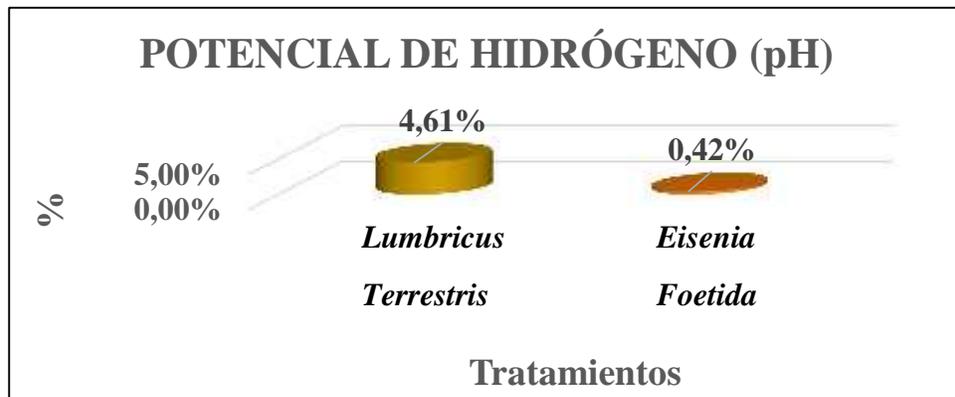


Gráfico 2. Porcentaje de variación del pH

5.2.3. Sulfatos

En el Gráfico 3 se observa los porcentajes de remoción de sulfatos, donde la *L. Terrestris* logró bajar el 75,03% de este parámetro, sin embargo el estanque con *E. Foetida* fue el mejor depurador con una eficiencia del 81,63% en comparación al control.

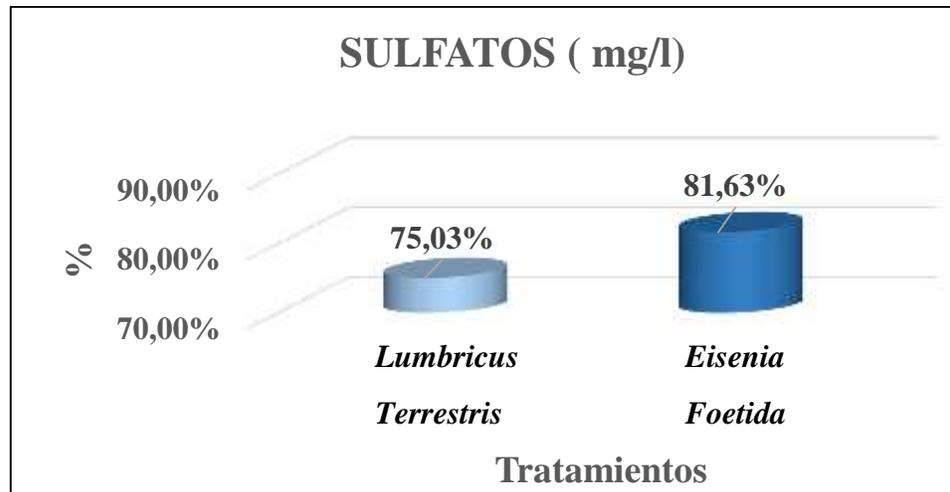


Gráfico 3. Porcentaje de remoción de sulfatos

5.2.4. Fósforo total

Según el Gráfico 4 el porcentaje de remoción de fosfatos es mayor en el estanque con *E. Foetida* con el 55,15%, seguido por el estanque *L. Terrestris* con un 48,71% respecto al control.

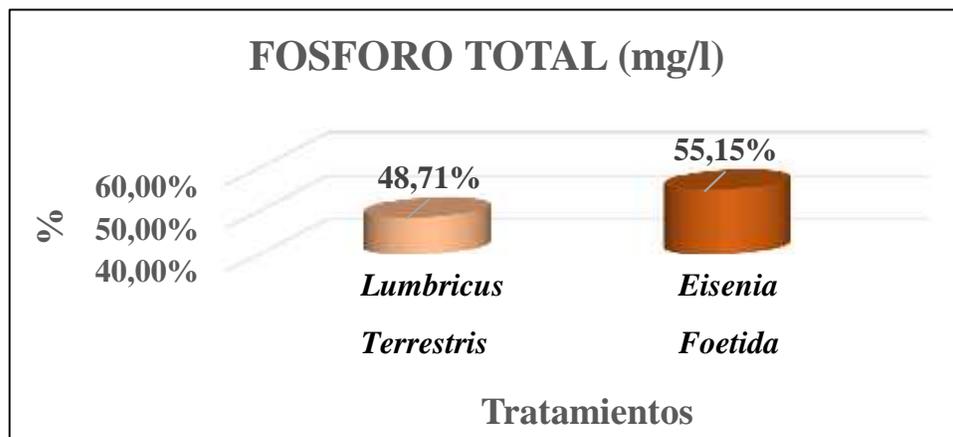


Gráfico 4. Porcentaje de remoción de fósforo total

5.2.5. Nitratos

El Gráfico 5 muestra que la *L. Terrestris* presentó un porcentaje de remoción de nitratos del 57,24%, sin embargo el estanque más eficiente en la depuración de este parámetro es el de *E. Foetida* con un 77,80% en comparación al control.

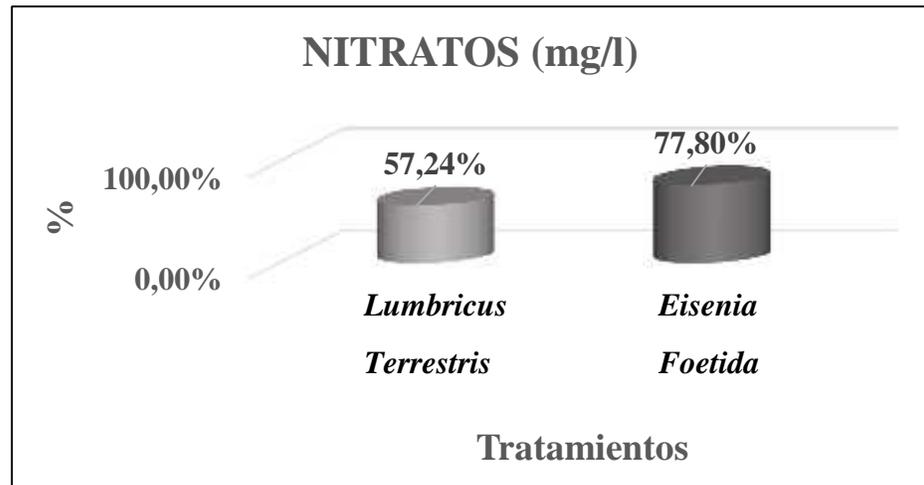


Gráfico 5. Porcentaje de remoción de nitratos

5.2.6. Nitrógeno total

De acuerdo al Gráfico 6 el tratamiento con *E. Foetida* logró mayor remoción de nitrógeno total con un porcentaje de 70,73%, seguido por *L. Terrestris* con un 65,35% respecto al control.

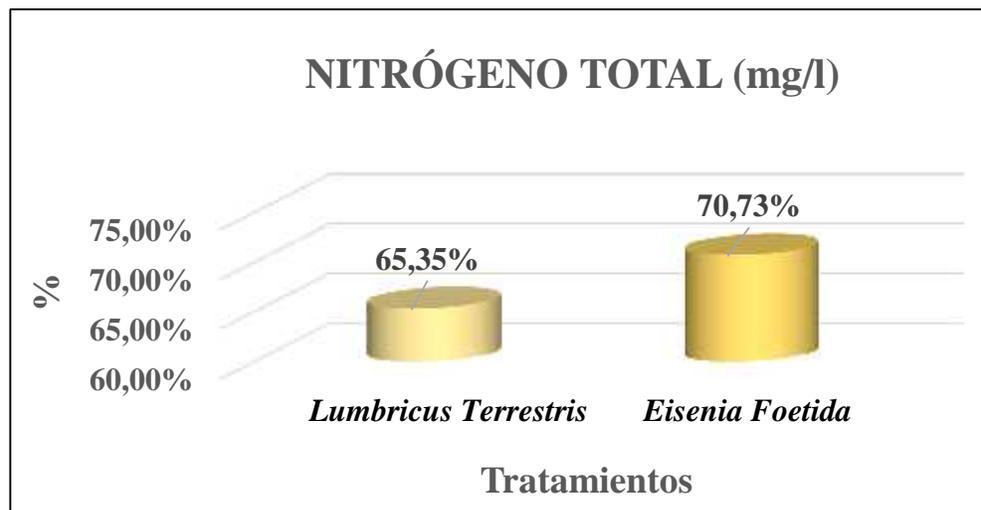


Gráfico 6. Porcentaje de remoción de nitrógeno total

5.2.7. Aceites y grasas

El Gráfico 7 muestra que la *L. Terrestris* presentó un porcentaje de remoción de 3,34%, sin embargo el estanque más eficiente en la depuración de este parámetro es el de *E. Foetida* con un 56,62% en comparación al control.

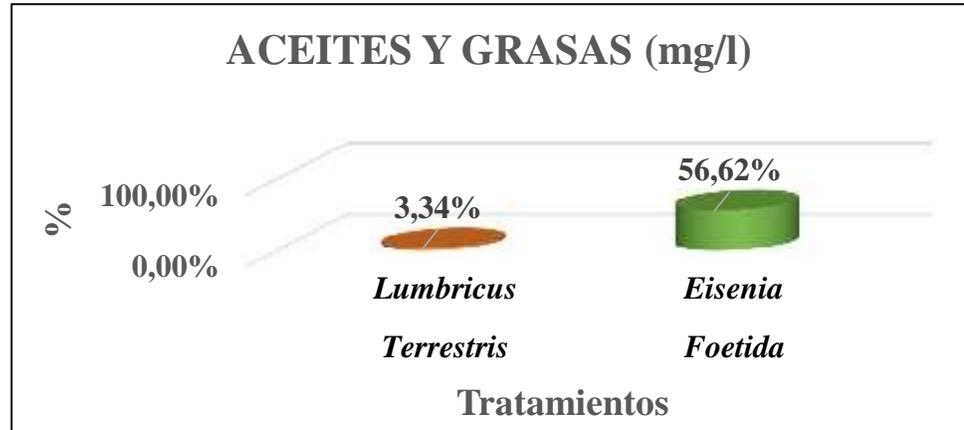


Gráfico 07. Porcentaje de remoción de aceites y grasas

5.2.8. Sólidos suspendidos totales

Según el Gráfico 8 el tratamiento con *E. Foetida* fue el que mejor removió sólidos suspendidos totales con un porcentaje de 50,85%, mientras que el *L. Terrestris* redujo en un 11,86% respecto al control.



Gráfico 8. Porcentaje de remoción SST

5.2.9. Demanda bioquímica de oxígeno

En el Gráfico 9 se observa los porcentajes de remoción de demanda bioquímica de oxígeno; donde estanque con *E. Foetida* logro remover en un 97,07% y fue el más eficiente removedor, mientras que *L. Terrestris* removi6 un 91,94% respecto al control.

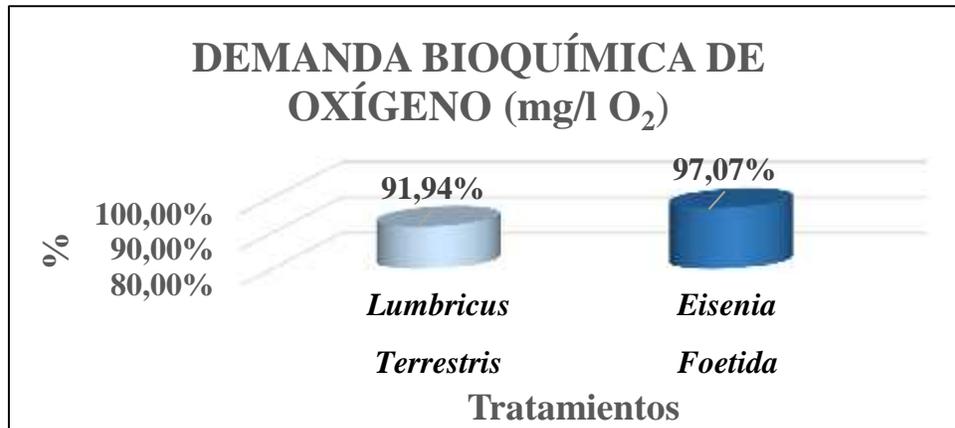


Gráfico 9. Porcentaje de remoci6n DBO₅

5.2.10. Demanda qu6mica de ox6geno

El Gráfico 10 presenta que la *L. Terrestris* removi6 el 92,66% de la concentraci6n de demanda qu6mica de ox6geno, no obstante el tratamiento que redujo mayor cantidad de este par6metro fue *E. Foetida* con el 97,28% en comparaci6n al control.

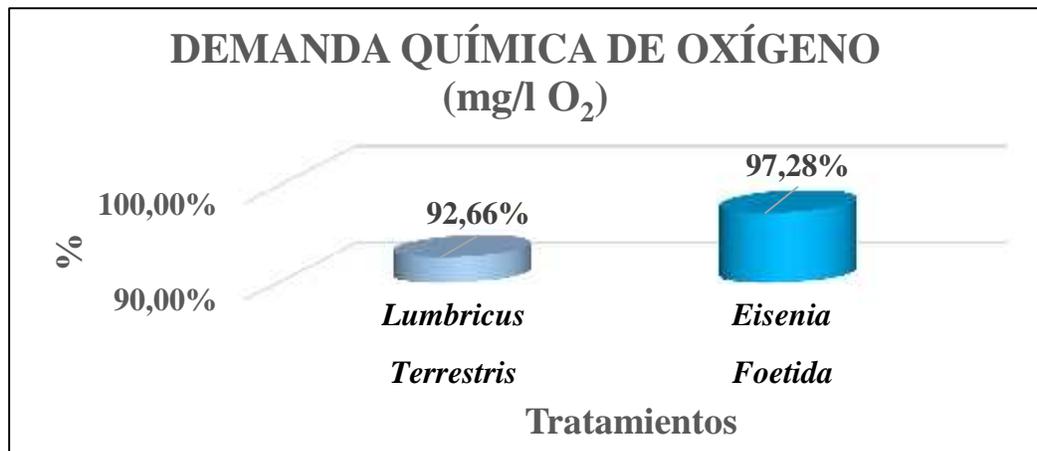


Gráfico 10. Porcentaje de remoci6n DQO

5.2.11. Coliformes totales

El Gráfico 11 muestra que la *L. Terrestris* logró una remoción significativa de coliformes totales del 87,86%, empero el tratamiento mejor removedor de este parámetro es el de *E. Foetida* con el 92,49% respecto al control.

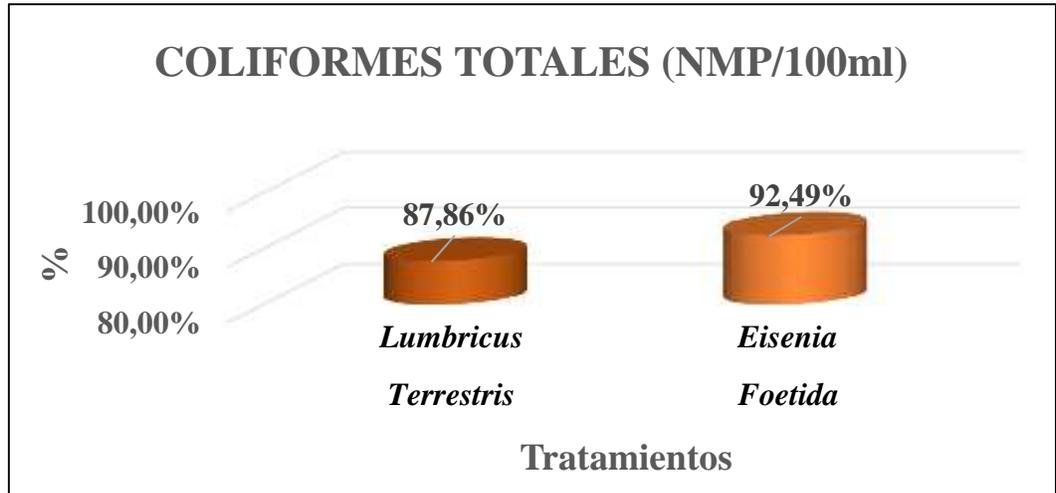


Gráfico 11. Porcentaje de remoción coliformes totales

5.2.12. Coliformes fecales

De acuerdo al Gráfico 12 el estanque que pudo eliminar mayor cantidad de coliformes fecales fue *E. Foetida* con el 94,14%, mientras que en el estanque con *L. Terrestris* la eficiencia depuradora fue 88,58% respecto al control.

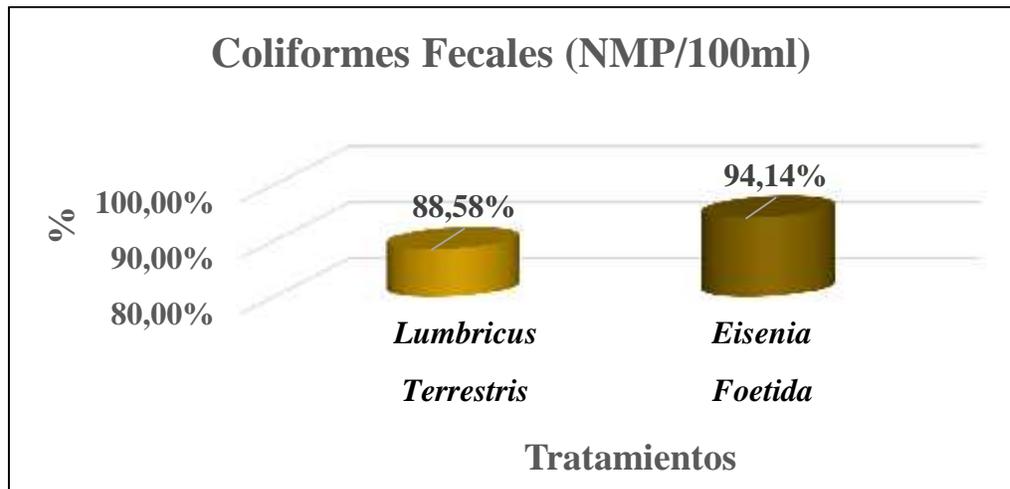


Gráfico 12. Porcentaje de remoción coliformes fecales

5.2.13. *Escherichia Coli*

El Gráfico 13 presenta los porcentajes de remoción de *Escherichia Coli*; donde la eficiencia de remoción de *L. Terrestris* fue 97,60%, sin embargo el estanque con *E. Foetida* fue en un 99,99% más eficiente respecto al control.

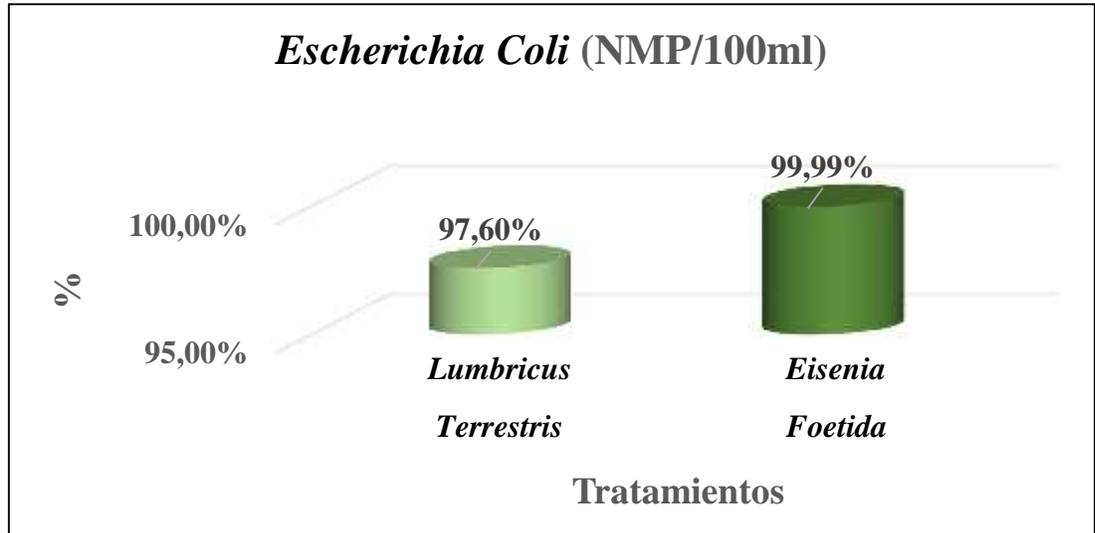


Gráfico 13. Porcentaje de remoción de *Escherichia Coli*

5.3. Comparación de los resultados con los límites máximos permisibles

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

Los resultados obtenidos se compararon con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales especificados en el D.S N° 003-2010-MINAM, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 04: Comparación de los resultados obtenidos por los tratamientos con los Límites Máximos Permisibles

Parámetro	Unidad de medida	<i>L. Terrestris</i>		<i>E. Foetida</i>		LMP
		Control	Final	Control	Final	Inicio
Temperatura	°C	27,08	25,43	27,08	26,03	>35
Oxígeno disuelto	mg/l	4,36	3,88	4,36	4,64	
CE	Us/cm	1375	875	1375	535	
Ph	Unidad de Ph	7,15	6,83	7,15	7,13	6,5 - 8,5
Sulfatos	mg/l	141,11	35,23	141,11	25,92	
Fosfatos	mg/l	7,76	3,98	7,76	3,48	
Nitratos	mg/l	0,428	0,183	0,428	0,095	
Nitrógeno	mg/l	50,56	17,52	50,56	14,8	
Aceites y grasas	mg/l	74,18	71,70	74,18	32,18	20
SST	mg/l	0,059	0,052	0,059	0,029	150
DBO5	mg/l	172,65	13,91	172,65	5,06	100
DQO	mg/l	160,39	11,78	160,39	4,37	200
SDT	mg/l	96	130,63	96	105,06	
Coliformes Totales	NMP/100ml	160.000.000	19.430.000	160.000.000	12.020.750	
Coliformes fecales	NMP/100ml	160.000.000	18.273.749	160.000.000	9.371.400	10 000
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100ml	70.660.000	3847000	70.660.000	18.946	

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros fisicoquímicos que se compararon con los límites máximos permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales especificados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM son temperatura, pH, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, los cuales presentaron valores muy por debajo de los límites de permisibilidad sin embargo, el único parámetro que no cumplió con esta norma es aceites y grasas. Los otros parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez y nutrientes (nitratos, nitrógeno, amonio, fosfatos,

sulfatos y cloruros) no se pudieron comparar debido a que no están especificados sus límites de permisibilidad, mientras que de los parámetros microbiológicos solamente se comparó con los límites máximos permisibles a los coliformes termotolerantes (fecales), del cual ningún tratamiento presentó concentraciones por debajo del límite de permisibilidad, aunque el tratamiento con *E. foetida* presentó una buena eficiencia de remoción.

VI. DISCUSIÓN

El sistema de biofiltro (Tohá), con el empleo de dos especies de lombrices de forma independiente en el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Bagua a una conductividad eléctrica de 535 uS/cm, es el más eficiente removedor de este parámetro con un 61,09% en *E. Foetida*; estos resultados coinciden con los hallazgos realizados por A.V.F. Ingeniería ambiental, de la Facultad de Física y Matemáticas de la Universidad de Chile, donde experimentaron un sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas con lombrices *E. Foetida*, con resultados exitosos quedando demostrado la efectividad de la remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos. Así mismo, Coronel, (2015), en su investigación, obtuvo remociones de conductividad eléctrica del 31,86% con la *E. Foetida*, habiendo también semejanzas con el presente estudio.

En cuanto a los demás parámetros, tales como el referido a la temperatura, del efluente inicial o control fue de 27,08°C mientras que con *L. Terrestris* y *E. Foetida* disminuyeron a 26,26°C y 25,06°C respectivamente. Con respecto al oxígeno disuelto el agua residual ingresó a los tratamientos con una concentración de 4,36 mg/l empero con *L. Terrestris* disminuyó la concentración de este parámetro a 3,88 mg/l, mientras que *E. Foetida* lo aumento a 4,64 mg/l. al respecto, Vizcaíno y Fuentes (2016) en su investigación Efectos de *E. Foetida* y *E. Crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos, con una concentración inicial en oxígeno disuelto de 0,98 mg O₂/l. y *E. Foetida* aumentó esta concentración a 3,17 mg O₂/l. quedando comprobado al igual que en esta investigación, que el oxígeno disuelto inicial aumentó con la *E. Foetida*.

En lo que respecta a Coliformes totales, Coliformes Fecales y *E. Coli*, los parámetros microbiológicos del agua residuales fue de: 160.000.000 NMP/100 ml en los dos primeros, y de 70.660.000 NMP/100 ml en el tercero; sin embargo los tratamientos removieron coliformes totales en un 90,18% en los estanques con *L. Terrestris*, y *E. Foetida*; mientras que en coliformes fecales se removió el 91,36% con ambos estanques; finalmente en el parámetro de *E. Coli*, se removió el 98,80% en ambos tratamientos. Estos

resultados son corroborados por Arango, (2003) en su estudio de investigación en la evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas, donde *E. Foetida* logro remover coliformes totales en un 80%.

En la presente investigación se confirma la eficiencia en remoción de contaminantes presentes en el agua residual, con el empleo de las especies de lombriz Roja Californiana y lombriz de Tierra, como se afirma en las investigaciones realizadas por Salazar, (2005) en la universidad Austral de Chile - Valdivia con el sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales, donde logró los siguientes niveles de remoción de contaminantes: 95% de la DBO, 95% de sólidos totales, 93% de los sólidos suspendidos volátiles, 80% aceites y grasas, 60% a 80% de nitrógeno total, 60% a 70% del fósforo total, 99% coliformes fecales, también Mendieta, (2011) en su investigación Tratabilidad de las aguas residuales industriales de una empacadora de camarón en la degradación de la materia orgánica mediante la aplicación y adaptación de lombrices acuáticas, donde logro una eficiencia en remoción de contaminantes en DBO 95%, sólidos totales 95%, Nitrógeno total 60% y Fósforo total 70%, así mismo Coronel, (2015) en su investigación 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 Ecuador: Riobamba, logró los siguientes porcentajes de remoción en contaminantes de turbiedad 77.69%, amonios 68.24%, DQO 51.69%, DBO5 84.38%, nitratos 80.00%, fosfatos 73.47% y TDS 22.96%, y también estos resultados se corroboraron por Arango, (2003) en su investigación evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas en la universidad de Chile - Santiago de Chile, sus resultados alcanzaron una eficiencia en remoción de contaminantes del 80% en Salmonella, coliformes totales y fecales fueron removidos en 6 escalas logarítmicas de (107 a 100), 95% en la remoción de DBO5, un 80% en sólidos suspendidos totales (SST), y un 70% en nitrógeno y fósforo, lo que cumplió con la Norma Chilena CHN 1.333, para el uso de aguas residuales tratadas.

VII. CONCLUSIONES

- Los lombrifiltros se diseñaron e implementaron para cada una de las especies en base al sistema Tohá, empleado por su facilidad de construcción, bajo costo y por su eficiencia para el tratamiento de agua residual.
- Los parámetros físicos-químicos y microbiológicos que removieron los 2 tratamientos son: CE 47,23%, temperatura 4,99%, sulfatos 78,33%, fosforo total 51,93%, nitratos 67,52%, nitrógeno total 68,04%, aceite y grasas 29,98%, solidos suspendidos totales 31,36%, DBO₅ 94,51%, DQO 94,96%, coliformes totales 90,18%, coliformes fecales 91,36%, *E. Coli* 98,80% y el pH 2,52%, sólidos disueltos totales 22,76% aumentaron.
- La eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales de la ciudad de Bagua, fue comparada entre especies teniendo que *E. Foetida* obtuvo una remoción promedio del 73%, mientras que la *L. Terrestris* lo hizo en un 63%, demostrándose en esta investigación que la especie *E. Foetida* es más eficiente para la remoción de contaminantes.

VIII. RECOMENDACIONES

- Mejorar el diseño del biofiltro para que se facilite el proceso de desinfección se sugiere hacer una cámara de desinfección con rayos UV para la reducción de microorganismos patógenos.
- Para poder obtener un óptimo color en el agua residual se recomienda el uso de lupula o aserrín de pino, también emplear una capa de arena para poder remover de forma adecuada los aceites y grasas presentes, asimismo al final del lombrifiltro colocar una capa o filtro de carbón activado para que exista mayor retención de sólidos disueltos totales.
- Tomar datos o medidas en campo evitando las condiciones meteorológicas adversas ya que ello podría alterar los resultados obtenidos.
- Utilizar el tiempo de retención hidráulico para determinar el valor adecuado en la eficiencia de remoción de contaminantes.
- La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Bagua (EMAPAB) conjuntamente con la Municipalidad de Provincial de Bagua, deben tratar las aguas residuales debido a que presentan altos porcentajes de contaminantes patógenos.
- Ampliar la presente investigación, para determinar la tasa de reproducción y mortalidad de los oligoquetos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROFLOR. “*Técnicas de Lombricultura. Manual Técnico*”.
- Alanís, C. (2003). *Introducción al Conocimiento de la Lombricultura*. (Monografía de Pregrado). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. México: Coahuila.
- Arango, J. E. (2003). *Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas*. (Tesis de Magister). Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- A.V.F. Ingeniería Ambiental (2003). *Programa de descontaminación de aguas, biofiltro*. Fundación para la Transferencia Tecnológica.
- Avilés, E. C. (2011). *Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca.
- Booolootian, R. A. (1999). *Fundamentos de Zoología*. Cuarta Reimpresión. Editorial Limusa. México, D. F.
- CAJAS, Sonia (2009). *Efecto de la Utilización de Aserrín en Combinación con Estiércol Bovino como Sustrato en la Producción de Humus de Lombriz *E. foetida* (Lombriz Roja Californiana)*. Tesis pregrado (Ingeniero Zootecnista) Riobamba - Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, 2009, pp. 22 - 66.
- Camacho, J. A. y Ordoñez, L. J. (2008). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia Crassipes* para el pos tratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga*. (Tesis de Pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bolivia.
- COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (COREMA, 2002). Resolución de Calificación Ambiental. “Estudio y Diseño de Servicio Público de Alcantarillado de

Planta de Tratamiento de Aguas servidas sin generación de Lodos para la localidad de Cancura”.

Coronel, N. P. (2015). “*Diseño e Implementación a Escala de un Biofiltro Tohá en la Epoch para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube*”. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador: Riobamba.

Crites, R. y Tchobanoglous G. (2001). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Santafé de Bogotá. Mc - Graw Hill Interamericana, S. A. Colombia.

Decreto Supremo N° 003 - 2010 - MINAM. (2010). Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales. El Peruano.

Fuentes, J. L. (2008). *Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Dirección general de investigación y capacitación agrarias. Servicio de Extensión Agraria Corazón de María, Madrid.

Galvis, J. y Rivera, X. (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la Empresa Jugos Hit de la Ciudad de Pereira*. (Tesis de Grado Profesional). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Pereira.

García, Z. M. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. Lima.

Gordon A. (1986). *Zoología General*. México, D. F.: Editorial Continental. Décimo Segunda impresión.

Lacrampe G. (1992). *Aguas Servidas*. Apuntes.

León, M. y Lucero, A. M. (2009). *Estudio de **Eichhornia crassipes**, **Lemna gibba** y **Azolla filiculoides** en el tratamiento biológico de aguas residuales domesticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi*. (Tesis de Grado Profesional). Universidad Técnica del Norte. Ecuador. Ibarra.

- Londoño, L. A. y Marín, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Pereira.
- Madueño, R. y Sandoval, J. (2009). *Evaluación del uso de la planta acuática Lemna Minor para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la Planta CITRAR*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Perú. Lima.
- Martínez, C. C. (1999). *Potencial de la lombricultura*. Técnica mexicana. Texcoco, estado de México, México.
- Mejía, F. P. y Pérez, K. L. (2016). *Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- Mendieta, C. (2011). *Tratabilidad de las aguas residuales industriales de una empacadora de camarón en la degradación de la materia orgánica mediante la aplicación y adaptación de lombrices acuáticas*. Tesis posgrado (Magister en Ingeniería Ambiental), Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Ecuador. Guayaquil.
- METCALF y EDDY. (1995). *Ingeniería de Aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Editorial: McGraw - Hill. Madrid.
- PASTORELLY, D. *Lombricultura*.
- Pineda, J. A. (2006). *Lombricultura*. UAP-PASOLAC – Honduras. Feliciano paz. Tegucigalpa, Honduras, / UAP – PASOLAC - Honduras Feliciano paz / 01. Enero 2010, Instituto Hondureño del café, Gerencia Técnica, Dirección de Generación de Tecnología.
- Primavesi, A. (1984). *Manejo Ecológico del Suelo*. Quinta Edición. Editorial: El ateneo. Argentina.

- QUEZADA, P. (2001). *Planta de Tratamiento de Residuos Industriales Lácteos*. Universidad de la Frontera. Temuco.
- Reines, A. M., Rodríguez, C. Sierra, A y Vázquez, M. M. (1998). *Lombrices de Tierra con Valor Comercial*. Universidad de La Habana, Depto. de Biología Animal y Humana; Universidad de Quintana Roo, Depto. de Recursos Naturales. México.
- Rojas, E. (2004). *Métodos de análisis para aguas residuales industriales*. Sección saneamiento ambiental. Universidad del valle. Colombia: Cali.
- Romero, J. (2002). Tratamiento de aguas residuales: *Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de ingeniería. Segunda Edición. Colombia: Bogotá.
- Salazar, P. I. (2005). *Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- SHULD, M. y BELASTEGUI, H. (1995). Consideraciones acerca del origen de los materiales destinados al vermicompostaje y su destino como abono. Argentina: Buenos Aires. Ediciones: Sur.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1995) *19th. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Federation*, Washington, DC, USA.
- Toasa, F. A. (2012). *Validación de los Métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, solidos suspendidos y total de solidos disueltos (TDS)*. (Tesis de Pre Grado). Universidad Central del Ecuador. Ecuador. Quito.
- Vizcaíno Mendoza, L.; Fuentes Molina, N. (2016). Efectos de *E. foetida* y *E. crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 19(1): p. 192.

ANEXOS

ANEXO 01: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos



**INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES PROVEEDORES EN GENERAL**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA EMPRESA ANSA SAC

CERTIFICA:

Que de los análisis físicos – químico practicado a las muestras de las aguas residuales de la ciudad de BAGUA, se obtuvo los siguientes resultados:

código de muestra	punto de muestreo	fecha de toma de muestra	SDT(ppm)	DQO(ppm O ₂)	DBO(ppm O ₂)	SST(ppm)	Aceites y grasas	Nitrógeno total(ppm)	Nitratos (ppm)	Fosforo total (ppm)	Sulfatos (ppm)	Oxígeno disuelto (ppm)	Conductividad eléctrica (uS/cm)	pH	Temperatura °C
FQ-1-17	ST	26/01/2017	97.38	159.02	141.01	0.067	77.00	52.00	0.45	8.20	145.00	5.53	1340.00	7.60	28.00
FQ-2-17	ST	27/01/2017	95.20	178.11	185.24	0.045	73.12	50.12	0.37	7.30	140.00	4.32	1250.00	6.50	26.02
FQ-3-17	ST	28/01/2017	98.12	171.12	162.05	0.055	75.06	48.16	0.40	7.15	137.12	4.24	1650.00	7.80	27.21
FQ-4-17	ST	29/01/2017	96.17	150.20	175.33	0.060	70.65	53.00	0.38	8.00	142.00	5.33	1560.00	6.90	28.10
FQ-5-17	ST	30/01/2017	94.14	161.14	181.04	0.058	77.14	49.13	0.44	7.86	136.54	3.41	1430.00	7.40	27.13
FQ-6-17	ST	31/01/2017	95.00	142.75	191.23	0.074	72.13	51.00	0.53	8.10	146.00	3.33	1020.00	6.70	26.02

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311
Email: jeffersonrefa@hotmail.com





INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES PROVEEDORES EN GENERAL

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA EMPRESA ANSA SAC

CERTIFICA:

Que de los análisis microbiológicos practicados a las muestras de las aguas residuales de la ciudad de BAGUA, se obtuvo los siguientes resultados:

N° PUNTO	CODIGO DE MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES TOTALES (NPM/100 ml)	COLIFORMES TERMOTOLERANTES O FECALES (NPM/100 ml)	ESCHERICHIA COLI (NPM/100 ml)
ST	MB-01-2017	26/01/2017	1,60E+08	1,60E+08	72
ST	MB-02-2017	27/01/2017	1,60E+08	1,60E+08	70
ST	MB-03-2017	28/01/2017	1,60E+08	1,60E+08	68
ST	MB-04-2017	29/01/2017	1,60E+08	1,60E+08	75
ST	MB-05-2017	30/01/2017	1,60E+08	1,60E+08	68
ST	MB-06-2017	31/01/2017	1,60E+08	1,60E+08	71

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311
Email: jeffersonrefas@hotmail.com





INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES PROVEEDORES EN GENERAL

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA EMPRESA ANSA SAC

CERTIFICA:

Que de los análisis físicos – químico practicado a las muestras de las aguas residuales de la ciudad de BAGUA después de haber sido tratada con lombriz de tierra (*LUMBRICUS TERRESTRIS*), se obtuvo los siguientes resultados:

código de muestra	punto de muestreo	fecha de toma de muestra	SDT(ppm)	DQO(ppm O ₂)	DBO(ppm O ₂)	SST(ppm)	aceites y grasas	nitrógeno total(ppm)	nitratos (ppm)	fosforo total (ppm)	sulfatos (ppm)	oxigeno disuelto (ppm)	conductividad eléctrica (uS/cm)	pH	Temperatura °C
FQ-1-17	T1	26/01/2017	131.10	10.22	16.03	0.061	68.23	18.00	0.20	4.20	36.00	4.51	820.00	7.23	25.00
FQ-2-17	T1	27/01/2017	122.10	12.10	15.01	0.050	71.35	17.32	0.17	4.00	34.15	4.45	920.00	6.23	26.02
FQ-3-17	T1	28/01/2017	132.13	13.30	14.05	0.060	73.75	16.88	0.15	3.77	33.35	3.43	840.00	7.34	25.21
FQ-4-17	T1	29/01/2017	151.12	10.34	14.13	0.054	70.11	18.11	0.19	4.10	37.50	3.44	890.00	6.32	25.10
FQ-5-17	T1	30/01/2017	143.13	13.21	13.22	0.047	74.76	17.86	0.21	3.96	38.22	4.32	930.00	7.44	25.23
FQ-6-17	T1	31/01/2017	104.20	11.51	11.02	0.039	72.00	17.00	0.18	3.88	32.16	3.13	850.00	6.42	26.02

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 478358 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311
Email: jeffersonrefa@hotmail.com





INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES PROVEEDORES EN GENERAL

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA EMPRESA ANSA SAC

CERTIFICA:

Que de los análisis microbiológicos practicados a las muestras de las aguas residuales de la ciudad de BAGUA después de haber sido tratada con lombriz de tierra (*LUMBRICUS TERRESTRIS*), se obtuvo los siguientes resultados:

N° PUNTO	CODIGO DE MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES TOTALES (NPM/100 ml)	COLIFORMES TERMOTOLERANTES O FECALES (NPM/100 ml)	ESCHERICHIA COLI (NPM/100 ml)
T1	MB-01-2017	28/01/2017	1,523X10 ⁷	> 1600	<1.8
T1	MB-02-2017	27/01/2017	1,842X10 ⁷	> 1600	<1.8
T1	MB-03-2017	28/01/2017	1,645 X10 ⁷	> 1600	<1.8
T1	MB-04-2017	29/01/2017	2,451 X10 ⁷	> 1600	<1.8
T1	MB-05-2017	30/01/2017	1,534 X10 ⁷	> 1600	<1.8
T1	MB-06-2017	31/01/2017	2,663 X10 ⁷	> 1600	<1.8

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 476358 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311
Email: jeffersonmfa@bto@mail.com





INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES PROVEEDORES EN GENERAL

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA EMPRESA ANSA SAC

CERTIFICA:

Que de los análisis físicos – químico practicado a las muestras de las aguas residuales de la ciudad de BAGUA después de haber sido tratada con lombriz roja californiana (EISENIA FOETIDA), se obtuvo los siguientes resultados:

código de muestra	punto de muestreo	fecha de toma de muestra	SDT(ppm)	DQO(ppm O ₂)	DBO(ppm O ₂)	SST(ppm)	aceites y grasas	nitrógeno total(ppm)	nitratos (ppm)	fosforo total (ppm)	sulfatos (ppm)	oxígeno disuelto (ppm)	conductividad eléctrica (uS/cm)	pH	Temperatura °C
FQ-1-17	T2	26/01/2017	110.11	4.30	5.65	0.032	30.00	14.12	0.11	3.14	25.12	6.30	630.00	7.62	26.50
FQ-2-17	T2	27/01/2017	100.01	3.41	6.34	0.030	22.23	13.77	0.10	3.84	27.43	5.42	520.00	6.51	25.32
FQ-3-17	T2	28/01/2017	110.01	5.25	5.00	0.020	34.10	13.89	0.12	3.79	23.66	3.20	610.00	7.73	26.13
FQ-4-17	T2	29/01/2017	110.21	4.55	4.66	0.033	40.32	14.54	0.07	3.55	26.88	4.51	510.00	6.80	26.30
FQ-5-17	T2	30/01/2017	100.01	5.31	5.71	0.024	35.12	13.42	0.04	3.19	24.45	5.11	440.00	7.62	26.42
FQ-6-17	T2	31/01/2017	100.01	3.40	3.00	0.035	31.31	14.74	0.13	3.37	28.00	3.30	500.00	6.50	25.51

Jr. Sachapuyos N° 411 Telf. (041) 476356 – Chachapoyas – Amazonas / Calle San José N° 322 oficina 311
Email: jeffersonrfa@hot.mali.com





INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES PROVEEDORES EN GENERAL

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL AREA DE LABORATORIO Y ANALISIS DE LA EMPRESA ANSA SAC

CERTIFICA:

Que de los análisis microbiológicos practicados a las muestras de las aguas residuales de la ciudad de BAGUA después de haber sido tratada con lombriz roja californiana (EISENIA FOETIDA), se obtuvo los siguientes resultados:

N° PUNTO	CODIGO DE MUESTRA	FECHA DE TOMA DE MUESTRA	COLIFORMES TOTALES (NPM/100 ml)	COLIFORMES TERMOTOLERANTES O FECALES (NPM/100 ml)	ESCHERICHIA COLI (NPM/100 ml)
T2	MB-01-2017	26/01/2017	> 1600	> 1600	<1.8
T2	MB-02-2017	27/01/2017	> 1600	> 1600	<1.8
T2	MB-03-2017	28/01/2017	> 1600	> 1600	<1.8
T2	MB-04-2017	29/01/2017	> 1600	> 1600	<1.8
T2	MB-05-2017	30/01/2017	> 1600	> 1600	<1.8
T2	MB-06-2017	31/01/2017	> 1600	> 1600	<1.8

ANEXO 02: Constancia de veracidad de datos obtenidos en laboratorio



INVERSIONES ANSA SAC
CONSULTORES & EJECUTORES



"AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO"

CONSTANCIA DE VERACIDAD

La que al final suscribe, gerente general de la empresa consultora y ejecutora Inversiones Ansa Ingeniería y Construcción S.A.C., con RUC N° 20480762976, área de laboratorio y análisis hace constar:

Que los análisis físicos – químicos y microbiológicos que se practicaron a las 18 muestras de aguas residuales, provenientes de la ciudad de BAGUA, fueron realizados por nuestra empresa, los días 26, 27, 28, 29, 30 y 31 de enero del 2017, en nuestras instalaciones ubicadas en el Jr. Sachapuyos N°411 de la ciudad de Chachapoyas – Amazonas, dichos resultados fueron verificados y certificados por el ingeniero químico Jefferson Reyes Farje y se ajustan a la verdad en su totalidad.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines pertinentes.

Chachapoyas, 17 de agosto del 2017

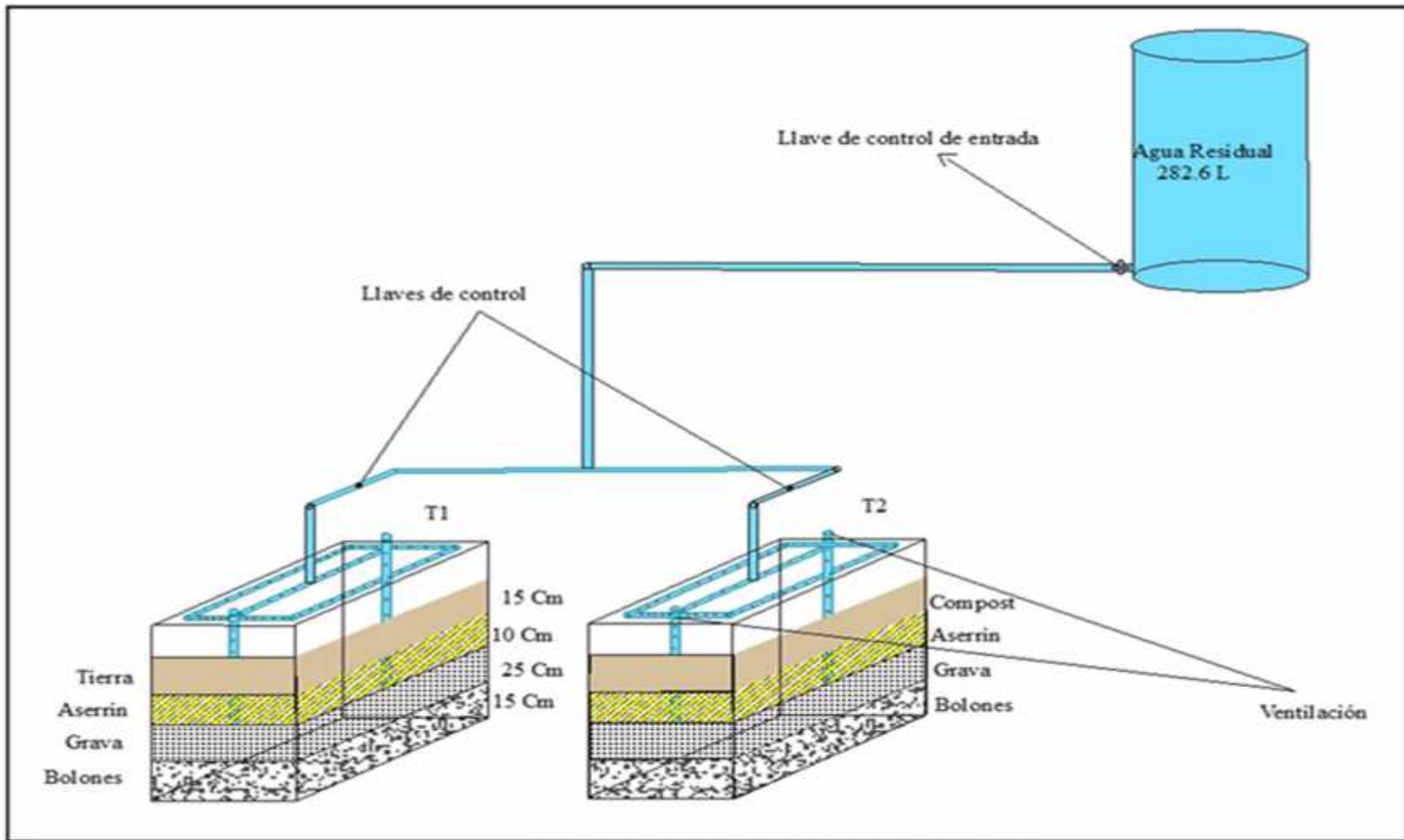
INVERSIONES ANSA SAC.

ING. ROSA ANZACO CHAVEZ
GERENTE GENERAL



JEFFERSON REYES FARJE
INGENIERO QUIMICO
CIP. 69100

ANEXO 03: Plano de diseño de los tratamientos



ANEXO 04: Galería fotográfica del trabajo de investigación



Fotografía 1. Perforación de cajas para adaptación de las lombrices



Fotografía 2. Cortado de Malla Rachel para cubrir las cajas de adaptación



Fotografía 3. Mesclado de aserrín, tierra y agua residual para la adaptación



Fotografía 4. Mescla del sustrato con agua residual de Bagua



Fotografía 5. Recolección de *L. terrestres*



Fotografía 6. *E. Foetida* comprada de la ciudad de Chiclayo



Fotografía 7. Pesado del sustrato para adaptación de la *E. Foetida*



Fotografía 8. Pesado de *L. Terrestris*



Fotografía 9. Adaptación de *L. Terrestris* y *E. Foetida*



Fotografía 10. Acondicionamiento para los sistemas de tratamiento



Fotografía 11. Instalación de los sistemas



Fotografía 12. Llenado de las capas del lombrifiltro



Fotografía 13. Pesado del sustrato para la última capa del lombrifiltro



Fotografía 14. Pesado de la *E. Foetida* para la inoculación en el sistema



Fotografía 15. Recolección de agua residual para el S. de tratamiento



Fotografía 16. Medición de parámetros en campo



Fotografía 17. Recolección de muestra en campo



Fotografía 18. Medición de parámetros con T1 y T2

ANEXO 05: Resultados de la adaptación de las lombrices

Adaptación de la *Lumbricus Terrestris*

# DE DÍAS	FECHA	HORA	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	PH	PROCESO
1	17/01/2017	9:00	33,50	80	6,75	
1	17/01/2017	14:00	36,30	70	6,90	
1	17/01/2017	18:00	29,00	70	7,40	
2	18/01/2017	9:00	35,00	80	7,70	Aspergeo de A.R.D
2	18/01/2017	14:00	31,36	80	7,40	
2	18/01/2017	18:00	28,25	80	7,90	
3	19/01/2017	9:00	30,00	80	7,78	Aspergeo de A.R.D
3	19/01/2017	14:00	33,00	75	7,77	
3	19/01/2017	18:00	29,08	75	8,60	
4	20/01/2017	9:00	28,02	80	8,40	Aspergeo de A.R.D
4	20/01/2017	14:00	27,70	80	8,60	
4	20/01/2017	18:00	28,20	80	8,30	
5	21/01/2017	9:00	26,10	80	8,60	Aspergeo de A.R.D
5	21/01/2017	14:00	29,20	80	8,50	
5	21/01/2017	18:00	27,00	80	8,00	
6	22/01/2017	9:00	30,00	80	8,40	Aspergeo de A.R.D
6	22/01/2017	14:00	31,05	80	7,79	
6	22/01/2017	18:00	29,30	80	7,64	
7	23/01/2017	9:00	28,00	80	7,00	Aspergeo de A.R.D
7	23/01/2017	14:00	30,80	80	7,45	
7	23/01/2017	18:00	27,35	80	6,69	
	TOTAL		29,70	78,43	7,74	

Adaptación de la *Eisenia Foetida*

# DE DÍAS	FECHA	HORA	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	PH	PROCESO
1	17/01/2017	9:00	32,50	80	6,00	
1	17/01/2017	14:00	37,30	70	6,80	
1	17/01/2017	18:00	29,39	70	7,10	
2	18/01/2017	9:00	37,20	80	7,40	Aspergeo de A.R.D
2	18/01/2017	14:00	30,36	80	7,10	
2	18/01/2017	18:00	29,25	80	6,80	
3	19/01/2017	9:00	30,49	80	7,38	Aspergeo de A.R.D
3	19/01/2017	14:00	35,00	75	7,00	
3	19/01/2017	18:00	29,72	70	7,55	
4	20/01/2017	9:00	28,00	80	7,75	Aspergeo de A.R.D
4	20/01/2017	14:00	29,10	80	8,10	
4	20/01/2017	18:00	26,70	80	7,60	
5	21/01/2017	9:00	25,72	80	8,03	Aspergeo de A.R.D
5	21/01/2017	14:00	27,85	80	8,11	
5	21/01/2017	18:00	27,00	80	7,82	
6	22/01/2017	9:00	30,10	80	7,60	Aspergeo de A.R.D
6	22/01/2017	14:00	31,47	80	7,00	
6	22/01/2017	18:00	29,67	80	7,00	
7	23/01/2017	9:00	28,00	80	7,00	Aspergeo de A.R.D
7	23/01/2017	14:00	35,68	75	7,68	
7	23/01/2017	18:00	27,35	75	7,00	
	TOTAL		30,04	77,68	7,29	

ANEXO 06: Certificado de verificación de la lombriz Roja Californiana



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



INSTITUTO NACIONAL DE
INNOVACIÓN AGRARIA

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

Quien suscribe, **JOSÉ ARÍSTIDES PAREDES ZAVALETA, TÉCNICO EN LOMBRICULTURA**, trabajador de la ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA VISTA FLORIDA ubicada en el departamento de Lambayeque, provincia Chiclayo y distrito Pícsi, perteneciente al INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA (INIA), certificó que:

La lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) empleada en la investigación titulada: Eficiencia de lumbricus terrestres y eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua – Amazonas, 2015, ha sido seleccionada y verificada rigurosamente por mi persona en un total de 1 Kg. y acondicionada junto con 25 Kg. de compost, lo cual envié a los jóvenes José Edgardo Acuña Marrufo y Jean Jhonatan Reyes Sánchez de la ciudad de BAGUA, el día 15 de enero del 2017 para que pudieran llevar a cabo la ejecución de dicha investigación.

Se expide la presente a solicitud de la parte interesada para los fines que estimen convenientes.

Chiclayo, 06 de febrero del 2017

JOSÉ ARÍSTIDES PAREDES ZAVALETA

TECNICO EN LOMBRICULTURA

DNI N° 17906451

Carretera Chiclayo – Ferreñafe Km. 06 – Pícsi – Chiclayo – Lambayeque