



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“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”**

**Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

AUTOR: NANCY PATRICIA CORONEL PAZMIÑO
TUTOR: Dr. FAUSTO YAULEMA GARCÉS

Riobamba – Ecuador
2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de 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”**, de responsabilidad de la señorita egresada Nancy Patricia Coronel Pazmiño, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Fausto Yaulema
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Gerardo León
MIEMBRO DE TRIBUNAL

Yo, Nancy Patricia Coronel Pazmiño, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en la tesis **“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”** y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

NANCY PATRICIA CORONEL PAZMIÑO

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su haberme formado académicamente, especialmente al Dr. Fausto Yaulema, y al Dr. Gerardo León, por su valiosa contribución para desarrollar esta investigación.

A mis amigos: Lupe Aguirre, María Fernanda Pasmíño, Germán Villacrés, Jairo Viteri, por su incondicional apoyo y amistad durante los años de estudio de nuestra carrera.

DEDICATORIA

A mi madre Nancy Amazonia que desde el cielo siempre supo guiarme para culminar mis metas.

A mi hermano Ricardo David por haberme brindado su apoyo incondicional y haber confiado en mí, a mis abuelos María Salomé y Simón Bolívar por todas sus enseñanzas, por su paciencia, por todo el cariño y apoyo que me han dado.

A mis tíos y tías por su aprecio y sabios consejos .A todos ustedes les voy a estar agradecida infinitamente

Nancy

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Cl	Cloro.
KMnO₄	Permanganato de Potasio
CO₂	Dióxido de Carbono
CH₄	Metano
N	Nitrógeno
H₂O	Agua
H₂O₂	Peróxido de Hidrógeno
C	Carbono
H	Hidrógeno
O	Oxígeno
S	Azufre
P	Fósforo
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
CaCO₃	Carbonato de Calcio
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno Disuelto
°C	Grados Centígrados
UV	Radiación Ultravioleta
pH	Potencial de Hidrógeno
Co	Compostera con capacidad de 4 litros
C1	Compostera con capacidad de 10 litros
h	Horas
min	Minutos
g	Gramos
kg	Kilogramos
m	Metro
cm	Centímetro
cm²	Centímetro Cuadrado
m²	Metro cuadrado
m³	Metro Cúbico
%	Porcentaje

mL	Militros
L	Litro
TRH	Tiempo de Retención Hidráulico
PVC	Policloruro de Vinilo
COT	Carga Orgánica Total
CO	Dióxido de Carbono
CH	Carga Hidráulica
μSiems/cm	Microsiems por centímetro

TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	Páginas
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Aguas Residuales.....	5
<i>1.1.1 Características de las aguas residuales.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.1 Características físicas.....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.1.2 Características químicas.....</i>	<i>9</i>
<i>1.1.1.3 Características biológicas.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.2 Tratamientos de las aguas residuales.....</i>	<i>14</i>
1.2 Biofiltración.....	15
<i>1.2.1 Tiempo de retención hidráulico.....</i>	<i>16</i>
1.3 Biofiltro Tohá.....	17
<i>1.3.1 Descripción del Biofiltro Tohá.....</i>	<i>17</i>
<i>1.3.2 Microbiología del biofiltro Tohá.....</i>	<i>19</i>
1.4 Eisenia foétida o lombriz roja californiana.....	20
<i>1.4.1 Características de Eisenia foétida.....</i>	<i>21</i>
<i>1.4.2 Alimentación.....</i>	<i>22</i>
<i>1.4.2.1 El polvo de aserrín como sustrato para lombrices.....</i>	<i>23</i>
<i>1.4.3 Reproducción.....</i>	<i>24</i>
<i>1.4.4 Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz.....</i>	<i>25</i>
<i>1.4.5 Humus.....</i>	<i>26</i>
CAPÍTULO II.....	27
2. MARCO METODOLÓGICO.....	27
2.1 Lugar de estudio.....	27
2.2 Tipo de investigación.....	27
2.3 Métodos y técnicas.....	27
<i>2.3.1 Fase de diseño y construcción del biofiltro Tohá.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.1.1 Materiales.....</i>	<i>28</i>
<i>2.3.1.2 Métodos.....</i>	<i>29</i>
<i>2.3.2 Muestreo del agua residual doméstica.....</i>	<i>30</i>

2.3.2.1	<i>Materiales</i>	30
2.3.2.2	<i>Métodos</i>	30
2.3.3	<i>Adaptación de Eisenia foétida al agua residual doméstica</i>	31
2.3.3.1	<i>Materiales</i>	31
2.3.3.2	<i>Métodos</i>	31
2.3.4	<i>Relleno del tanque de biofiltrado</i>	32
2.3.4.1	<i>Materiales</i>	32
2.3.4.2	<i>Métodos</i>	32
2.3.5	<i>Medición del caudal de entrada al tanque de biofiltración y medición del caudal de salida del agua biofiltrada</i>	33
2.3.5.1	<i>Materiales</i>	33
2.3.5.2	<i>Métodos</i>	33
2.3.6	<i>Determinación del crecimiento de la biopelícula</i>	34
2.3.6.1	<i>Materiales</i>	34
2.3.6.2	<i>Métodos</i>	34
2.3.7	<i>Análisis físico-químicos del agua residual doméstica cruda y tratada</i>	35
2.3.7.1	<i>Materiales</i>	35
2.3.7.2	<i>Métodos</i>	35
2.3.8	<i>Mantenimiento del biofiltro Tohá</i>	35
2.3.8.1	<i>Materiales</i>	35
2.3.8.2	<i>Métodos</i>	36
CAPÍTULO III		37
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1	Diseño y construcción del biofiltro	37
3.2	Muestreo del agua residual doméstica	40
3.3	<i>Adaptación de Eisenia foétida</i>	41
3.4	<i>Relleno del tanque de biofiltrado</i>	45
3.5	<i>Medición del caudal de entrada al tanque de biofiltración y medición del caudal de salida del agua biofiltrada</i>	48
3.6	<i>Determinación del crecimiento de la biopelícula</i>	49
3.7	<i>Análisis físico-químicos del agua residual doméstica cruda y tratada</i>	58
CONCLUSIONES		59
RECOMENDACIONES		61
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Compuestos olorosos asociados con aguas residuales.....	8
Tabla 1-2:	Características de aguas residuales con relación al color.....	8
Tabla 1-3:	Relación de DBO ₅ /DQO y DBO ₅ /COT.....	11
Tabla 1-4:	Principales bacterias patógenas en aguas residuales.....	12
Tabla 1-5:	Principales protozoarios patógenos en aguas residuales.....	14
Tabla 1-6:	Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana.....	21
Tabla 1-7:	Residuos transformados por la lombriz roja californiana.....	23
Tabla 1-8:	Sustratos utilizados en la alimentación de la lombriz.....	23
Tabla 2-1:	Métodos de análisis parámetros físico-químicos.....	35
Tabla 3-1:	Dimensiones del tambor homogenizador.....	38
Tabla 3-2:	Dimensiones del tanque de biofiltración y gradillas.....	39
Tabla 3-3:	Dimensiones del tanque de almacenamiento y desinfección.....	40
Tabla 3-4:	Dimensiones del soporte de la estructura.....	40
Tabla 3-5:	Resultados de los muestreos del agua residual doméstica.....	41
Tabla 3-6:	Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en Co.....	42
Tabla 3-7:	Resultados de la fase de adaptación de la lombriz en C1.....	44
Tabla 3-8:	Resultados de los cálculos de los estratos que constituyen el biofiltro...	46
Tabla 3-9:	Resultados de los cálculos de los estratos aserrín-viruta-humus.....	47
Tabla 3-10:	Mediciones de caudal de entrada.....	48
Tabla 3-11:	Medición del caudal de salida del agua biofiltrada.....	48
Tabla 3-12:	Mediciones de turbidez para determinar el crecimiento de la biopelícula.....	50
Tabla 3-13:	Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 1.....	52
Tabla 3-14:	Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 2.....	54
Tabla 3-15:	Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 3.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Biofilm en microscopía confocal.....	16
Figura 1-2:	Corte esquemático del biofiltro Tohá.....	18
Figura 1-3:	Modelo para superficie lombrisan.....	20
Figura 1-4:	<i>Eisenia foétida</i>	21
Figura 1-5:	Lombrices en fase de acoplamiento.....	25
Figura 2-1:	Diagrama general del proceso.....	28
Figura 3-1:	Dimensiones del tambor homogenizador.....	37
Figura 3-2:	Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en Co.....	43
Figura 3-3:	Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en C1.....	44
Figura 3-4:	Variación de la turbidez.....	50
Figura 3-5:	Comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento semana 1.....	53
Figura 3-6:	Comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento semana 2.....	55
Figura 3-7:	Comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento semana 3.....	57

RESUMEN

Se implementó en la Escuela Superior Politécnica Chimborazo un biofiltro Tohá a escala piloto (biofiltro aeróbico dinámico) para el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube. El biofiltro estuvo conformado por un tambor homogenizador, un sistema de impulsión, un sistema de aspersión, un tanque de biofiltración, una trampa de lombrices y un tanque de almacenamiento y desinfección del agua tratada. El tanque de biofiltración se relleno por capas de piedra bola y grava en un 30%, aserrín viruta y humus en un 70% para la introducción del estrato humus se realizó la adaptación de *Eisenia foétida* (lombriz roja californiana) al agua residual doméstica en el período de siete días y la capacidad de filtración es de 12 litros por día, se realizaron tres tratamientos en el período de tres semanas obteniéndose una mayor eficiencia en la remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en el tratamiento de la semana 1 sin embargo el tratamiento 3 es el que mayor estabilidad presentó, aplicó un tiempo de retención hidráulico de 12 horas y los parámetros de control utilizados mediante análisis antes y después del tratamiento fueron pH, conductividad, turbiedad, amonios, DBO_5 , Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitratos, fosfatos y Sólidos Disueltos Totales (TDS) en la biorremediación del agua residual se consiguió porcentajes de remoción en los parámetros de turbiedad 77.69%, amonios 68.24%, DQO 51.69%, DBO_5 84.38%, nitratos 80.00%, fosfatos 73.47% y TDS 22.96%, se obtuvo un incremento de pH de 0.06 Und. y una reducción en la conductividad de 480 μ Siems/cm, el sistema de biofiltración no produce lodos inestables, es de fácil manejo pero se recomienda implementar una capa con carbón activado para reducir TDS, mejorar el parámetro color utilizando aserrín de pino o álamo.

Palabras Claves: <BIOFILTRO TOHÁ> <CARACTERIZACIÓN DEL AGUA> <CARGA HIDRAÚLICA> <CAUDAL DE ENTRADA> <BIOFILTRACIÓN> < [lombriz roja californiana] EISENIA FOÉTIDA> <PORCENTAJE DE REMOCIÓN> <TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICO>

ABSTRACT

It was implemented in the Superior Polytechnic School of Chimborazo one pilot-scale Tohá biofilter (dynamic aerobic biofilter) for the treatment of domestic waste water from the Community of Langos La Nube. The biofilter consisted of a homogenizing drum, a propulsion system, a sprinkler system, a biofiltration tank, worms trap and storage tank and disinfection of treated water. Tank biofiltration was filled with layers of stone ball and taxed at 30%, sawdust shavings and humus 70% for the introduction of humus stratum was made the adaptation of *Eisenia foetida* (Californian red worm) water domestic wastewater in the period of seven days and the filtering capacity is 12 liters per day, three treatments were performed in the period of three week obtaining greater efficiency in the removal of Biochemical Oxygen Demand (BOD 5) in the treatment of week 1 however treatment 3 is the one that presented greater stability, applied a hydraulic retention time of 12 hours the control parameters used by analysis before and after treatment were pH, conductivity, turbidity, ammonia, BDO5, Chemical Oxygen Demand (COD), nitrates, phosphates and Total Dissolved Solids (TDS) in the bioremediation of wastewater, removal percentages was obtained in 77.69% turbidity parameters, ammonium 68.24%, 51.69% COD, BOD 5 84.38% 80.00 % nitrates, phosphates TDS 73.47% and 22.96%, was obtained, an increase pH 0.06 Und. and reduction in conductivity of 480 μ Siems/cm, biofiltration system does not cause unstable sludge is easy to use but it is recommended implementing a layer with activated charcoal to reduce TDS, improve the color parameter using pine or poplar sawdust.

Keywords: < TOHÁ BIOFILTER > < CHARACTERIZATION OF WATER > < LOAD > < INLET FLOW > < BIOFILTRATION > < [Californian red worm] EISENIA FOÉTIDA > < PERCENTAGE OF REMOVAL > < HIDRAULIC RETENTION TIME >

INTRODUCCIÓN

El no tratar aguas residuales domésticas y arrojarlas directamente a los ríos constituye una de las principales causas de la contaminación del medio ambiente y del patrimonio acuífero provocando la pérdida de ecosistemas y alterando la salud y bienestar del hombre. El mal hábito de desechar aguas residuales en los cuerpos de aguas dulces y las malas condiciones sanitarias son las causas de propagación de enfermedades a través del agua (Sans & De Pablo, 1999, p. 11) .

La protección del medio ambiente hace referencia a la conservación de los recursos hídricos que aseguran la supervivencia de la población y con este fin ha surgido la depuración de aguas residuales cuyo objetivo es la reducción de contaminantes hacia los cuerpos de aguas dulces causados por las actividades antropogénicas, actualmente existen sistemas de tratamiento convencionales que resultan de alto costo en construcción, mantenimiento, además de requerir personal calificado, obteniéndose también lodos generados como subproductos.

En las zonas rurales de nuestro país se evidencia la falta de tratamiento de aguas residuales siendo las fosas sépticas un medio de disposición temporal de aguas residuales y donde se generan una serie de inconvenientes: deficiencia en remoción de los contaminantes, la remoción de DBO_5 es de 30 y 40 % así como 40 y 50% en sólidos suspendidos, se obtienen lodos contaminantes por lo requiere de un sistema de vaciado periódico ya que ocasionan la presencia de olores indeseables provocados por la escaso rendimiento biológico, se debe tener presente las características del suelo como la permeabilidad natural así como la presencia de agua subterránea.

Por ello el Dr. José Tohá en la década de los 90 en la Universidad de Chile en el Laboratorio de Biofísica realizó esta investigación con la finalidad de implementar un innovador y económico sistema de tratamiento de aguas residuales mediante biofiltración utilizando lombrices, como resultado se logró de una manera exitosa la eliminación de materia orgánica y de microorganismos perjudiciales para una población de 1000 personas en Melipilla – Chile, gracias al Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONFEF) fue posible la creación de una planta piloto que laboró por dos años. (Fajardo , 2013, p. 1).

En la investigación titulada aplicación de un sistema denominado Tohá como alternativa ecológica al uso de fosas sépticas en zonas rurales de Chile (Salazar, 2005, pp. 70-74) hace referencia a la implantación sistema Tohá mediante esta tecnología que resulta ser de alto rendimiento pues como conclusión indica que al manejar el sistema, se obtienen impactos positivos en la calidad de las aguas que han sido tratadas para posteriormente ser vertidas en los cuerpos de agua dulce

o en los suelos, pues el sistema Tohá resulta ser un sistema excelente para remover contaminantes y microorganismos patógenos en un 90% .

La evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de salmonella en aguas servidas domésticas (Arango, 2003, p. 66) donde se realizó la toma de 10 muestras del agua residual del Zanjón de la Aguada durante julio - octubre y se practicaron una serie de ensayos microbiológicos de enriquecimiento, aislamientos, bioquímicas y serológicas, las mismas que están dentro de los estándares para el análisis de agua y aguas residuales.

Los resultados de la investigación indicaron es eficaz en un 80% para la remoción de Salmonella, coliformes totales y fecales de 6 escalas logarítmicas de (10⁷ a 10¹⁰). En las pruebas de calidad de agua, el Sistema reflejó la remoción de un 95% de DBO₅ y sólidos suspendidos un 80%, la remoción de nitrógeno y fosforo se dio en un 70% logrando así mantener los parámetros para aguas de riego según la norma chilena.

El estudio de factibilidad de la aplicación del sistema Tohá en la planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia indica la aplicación del Sistema Tohá en la E.D.A.S. (Guzmán, 2004, p. 36) es verdaderamente un cambio beneficioso con respecto a los tratamientos convencionales ya que favorece a una disminución total del lodo séptico a evacuar, eliminado de una manera práctica e impidiendo la contaminación de terrenos destinados a vertederos y aguas tanto subterráneas como superficiales aguas residuales.

El Anteproyecto de construcción para aplicación de Lombricultura al tratamiento de planta Llau-Llao de Salmonera Invertec S.A. (Hernández , 2005, p. 112) afirma que en el tiempo que se llevó a cabo su trabajo se demostró la eficiencia y el bajo coste económico en la inversión comparado con otros sistemas, además de que no son generados malos olores debido al tratamiento aeróbico dinámico del agua sin la acopios por períodos largos de tiempo en estanques.

La propuesta de diseño para un sistema de biofiltro para tratamiento de aguas residuales producidas en la central termoeléctrica Sacha de la unidad de negocio termo Pichincha- CELEC (Vicente , 2014, pp. 96-99) EP en la parte experimental al utilizar aserrín y viruta de madera en el biofiltro obtuvo como resultados que la eficiencia del biofiltro de un 53.53 % en cuanto a la remoción de los contaminantes por lo que se encuentra fuera de norma aplicable al sector termoeléctrico.

El investigativo de tratabilidad de las aguas residuales industriales de una empacadora de camarón en la degradación de la materia orgánica mediante la adaptación y aplicación de lombrices

acuáticas (Mendieta, 2012, pp. 112-114) concluye que la aplicación de los oligoquetos para el proceso resulta eficiente según los resultados de los análisis de los obtenidos por un laboratorio acreditado siendo este proceso eficiente en la remoción de DQO, DBO₅, SST y fósforo.

JUSTIFICACIÓN

La falta de aplicación de tratamientos para la depuración de aguas residuales ha constituido un mayor control en cuanto a su disposición final hacia el ambiente. Para ello es importante la implementación de tecnologías que posean un coste económicamente bajo y que no requieran mayor complejidad en cuanto a su operacionalidad y mantenimiento con el fin de mejorar la calidad del agua sin que se generen perjuicios ecológicos.

Mediante tratamientos físicos tales como: la precipitación, adsorción o arrastre por corriente de gas, los contaminantes son trasladados a otra fase sin embargo no se produce la eliminación. En los tratamientos químicos como oxidación húmeda, ozonización, radiación UV o la utilización de agentes químicos oxidantes (Cl, KMnO₄, H₂O₂, etc.), actúan sobre aquellas moléculas susceptibles de oxidación, siendo este tipo de tratamiento costoso además de requerir personal calificado. (Arnaíz, et al., 2000, pp. 1-4).

En la actualidad los tratamientos biológicos son los que se están aplicando principalmente, ya que se han obtenido altos rendimientos con costos bajos en cuanto a implementación, operación y mantenimiento, estos tratamientos se caracterizan por la destrucción de los contaminantes transformándolos en sustancias inofensivas como los son: CO₂, CH₄, N, y H₂O. En cuanto a costos de inversión los tratamientos biológicos disminuyen de los tratamientos convencionales de 5 a 20 veces. (Arnaíz, et al., 2000, pp. 5-7).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e Implementar a escala de laboratorio de un Biofiltro Tohá para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar mediante análisis físico-químicos las aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube, antes y después del tratamiento biológico empleado.
- Determinar las condiciones óptimas del funcionamiento del biofiltro a escala para eficiente degradación biológica de contaminantes orgánicos en el agua residual doméstica
- Determinar las ventajas - desventajas de aplicabilidad del biofiltro Tohá.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son las aguas que resultan de la utilización de un agua natural o potable después de haber sufrido alteraciones a causa de las distintas actividades que se realizan en el área doméstica, industrial y comunitaria (Mara, 1993, p. 7) las aguas residuales están compuestas tanto por sustancias orgánicas e inorgánicas, los degradadores de materia orgánica presente en el agua residual son los microorganismos y según los orígenes las aguas residuales pueden ser clasificadas en:

Domésticas: las aguas domésticas son las aguas provenientes de actividades higiénicas (baños, cocinas, lavanderías, etc.), estas aguas son descargadas en las redes de alcantarillado, las aguas residuales domésticas también incorporan residuos producidos en locales comerciales, establecimientos públicos y similares. (Merli & Ricciuti, 2009, p. 1).

En las zonas rurales donde no existen sistemas de alcantarillado las aguas residuales domésticas son vertidas en los cuerpos de aguas dulces, sobre el suelo, o son almacenadas en fosas sépticas.

Industriales: las aguas residuales industriales son los líquidos producidos en las diferentes actividades y procesos industriales, su composición va a depender del tipo de actividad industrial y de los procesos involucrados en cada industria. (Merli & Ricciuti, 2009, p. 1)

Infiltración y caudal adicionales: las aguas de infiltración se introducen en la red de alcantarillado de forma directa o indirecta a la red de alcantarillado mediante las uniones en mal estado de las tuberías, tapas de revisión, alcantarillado pluvial, tuberías de limpieza entre otros. (Merli & Ricciuti, 2009, p. 1)

Pluviales: resultan del agua de lluvia una fracción de esta agua se drena y también se produce escorrentía en la superficie con esta acción es arrastrada: arena, tierra, hojas basura que pueda encontrarse sobre el suelo. (Merli & Ricciuti, 2009, p. 1)

1.1.1 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales presentan varias características dependiendo de su procedencia y el caudal sin embargo en términos generales se puede definir ciertas características como físicos, químicos y biológicos. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 508)

1.1.1.1 Características físicas

Partículas Sólidas: es la materia que se encuentra como residuo después de que una muestra de agua ha sido evaporada con temperaturas de 103 a 105°C. Dependiendo del contenido total de sólidos existe una variación de las características físicas (Metcalf & Eddy, 1995, p. 509)

Sólidos Totales (ST): por su condición física están clasificados en: sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y por su condición química en sólidos fijos (inorgánicos) y sólidos volátiles (orgánicos) (Metcalf & Eddy, 1995, p. 510)

Sólidos Sedimentables (Ss): son los sólidos que se sedimentan en el Cono Imhoff el procedimiento consiste en colocar un litro de muestra en el cono Imhoff y dejar reposar en el lapso de una hora, posteriormente se lee la lectura en el cono graduado (mililitros). El tamaño de los sólidos sedimentables es mayor a 10^{-2} mm. Los sólidos sedimentables establecen una aproximación del lodo que se generará en el proceso de decantación primaria. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 512)

Sólidos Suspendidos (SS): constituyen los sólidos que son retenidos por acción del filtro, para que después sea llevado a temperaturas de 103-105 °C y finalmente nos dé un residuo, el tamaño es mayor de 10^{-3} mm suelen ser retenidos por procesos de filtración. Se encuentran compuestos por 70% de sólidos orgánicos y el 30% de sólidos inorgánicos. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 513)

Sólidos Disueltos (SD): es la cantidad de sólidos que han sido retenidos mediante filtración quedando como residuo después de que se han sometido a la evaporación a una temperatura de 103 a 105°C. Al realizar la determinación de sólidos disueltos nos da un aproximado de las sales disueltas presentes en la muestra. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 515). Los sólidos disueltos están compuestos de sólidos en estado coloidal y estado disuelto la fracción coloidal constituida de partículas de materia cuyo tamaño varía de 10^{-3} y 10^{-6} mm. Para eliminar la fracción coloidal es necesaria una coagulación o un proceso de oxidación biológica a la que se debe finalmente

sedimentar. Los sólidos disueltos están constituidos por un 40% de materia orgánica y un 60 % de materia inorgánica. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 538)

Sólidos Fijos y Volátiles: con esta categorización se pretende establecer el contenido orgánico e inorgánico presente en una muestra. El proceso consiste al someter la muestra a 550 °C las cenizas que se obtienen son los sólidos inorgánicos (Fijos) y la fracción orgánica se oxidará y evaporará (gas) estos son los sólidos orgánicos (Volátiles). Los sólidos orgánicos constituyen los desechos orgánicos procedentes de la vida animal y vegetal, también se encuentran presentes compuestos orgánicos sintéticos. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 539)

Los sólidos orgánicos contienen C, H y O pueden estar combinadas con N, S o P normalmente se descomponen por acción de las bacterias y algunos otros microorganismos, también son combustibles. Los sólidos inorgánicos, son inertes no se pueden degradar a exceptuando los sulfatos que se transforman en sulfuros con algunas condiciones, a los sólidos inorgánicos se les denomina sustancias minerales entre ellos encontramos arena, grava y sales minerales, los sólidos inorgánicos no son combustibles. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 540)

Conductividad: es un parámetro que determina la concentración de sustancias disueltas en el agua cargadas iónicamente que pueden trasladar una corriente eléctrica. (Romero, 2002, p. 34)

Temperatura: es un parámetro que es muy útil en el desarrollo de distintos fenómenos un ejemplo es la solubilidad de los gases, viscosidad en la sedimentación y es importante para el control de actividades biológicas ya que la actividad biológica es mayor cuando la temperatura es alta hasta los 30°C, cuando la temperatura sube se produce una baja en la viscosidad dando una mayor sedimentación. En el caso de las aguas residuales cuando la temperatura sube se produce una disminución en la solubilidad de oxígeno ocasionando un mayor desgaste del oxígeno disuelto (Metcalf & Eddy, 1995, p. 545)

Olor: La característica principal al evacuar las aguas residuales frescas es que son casi inodoras, los olores desagradables ocurren cuando las aguas residuales se encuentran en estado descomposición así tenemos que: el ácido sulfúrico, mercaptanos presentan un olor característico a coles podridas, el amoníaco y aminas presentan un olor a pescado, etc. (Andrade , et al., 2010, pp. 53-54)

Tabla 1-1: Compuestos olorosos asociados con aguas residuales

Compuestos olorosos	Fórmula química	Olor característico
Amoniaco	NH ₃	Amoniacaal
Crotrilmercaptano	CH ₃ -S-CH ₃	Zorrillo
Dimetilsulfuro	CH ₃ -CH ₂ -SH	Vegetales descompuestos
Etilmercaptano	CH ₃ -CH ₂ -SH	Repollos descompuestos
Metilmercaptano	CH ₃ -SH	Repollos descompuestos
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	Huevos podridos
Eskatol	C ₉ H ₉ NH	Material fecal
Tiocresol	CH ₃ -C ₆ H ₄ -SH	Zorrillo, rancio

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 54)

Color: en el indicador de la concentración y la composición, teniendo una variación del gris al negro según la cantidad de materia orgánica presente. Las aguas residuales comunes y frescas poseen una coloración grisácea si la coloración es muy obscura es un indicador de que las aguas son de origen séptico o han sufrido alguna alteración esto afecta al paso de la luz solar y por lo tanto a la fotosíntesis. (Andrade , et al., 2010, pp. 55-56).

Tabla 1-2: Características de aguas residuales con relación al color

Color	Características del agua
Café claro	Agua residual que lleva aproximadamente 6 horas de descarga
Gris claro	Es Agua que tiene poca descomposición y que ha pasado un tiempo breve en los sistemas de recolección
Gris oscuro o gris negro	Aguas sépticas que poseen gran descomposición bacteriana en ausencia de oxígeno

Fuente: (Andrade , et al., 2010, p. 55)

Turbidez: La turbidez es la medida de la pérdida de la transparencia y se debe a materia en suspensión y puede ser pequeño tamaño como: limos, arcillas, etc., cuanto mayor es la turbidez mayor es la contaminación del agua, un nivel alto de turbidez afecta en la depuración de aguas ya que un alto nivel de turbidez protege a los microorganismos patógenos de un sistema de desinfección solar, además produce la proliferación de bacterias y reduce la capacidad de fotosíntesis de las plantas acuáticas y zooplancton (Andrade , et al., 2010, p. 58).

1.1.1.2 Características químicas

Materia Orgánica: Es el principal constituyente de las aguas residuales de origen doméstico por la presencia de proteínas, carbohidratos, aceites y grasas que provienen de las heces fecales y de los residuos líquidos generados en las viviendas. La materia orgánica es el factor característico de las aguas residuales y ocasiona la considerable disminución de especies que requieren oxígeno disuelto, interfiere en el desarrollo de las condiciones aeróbicas y anaeróbicas, también causa afectación a la composición química y biológica del agua así como la transparencia del color del agua. (Cerro Carpio, s.f., p. 2).

Para realizar una evaluación del grado de contaminación por la presencia de materia orgánica es mediante mediciones del oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica. La forma habitual de evaluar el grado de contaminación por materia orgánica es a través de la medición del oxígeno necesario para conseguir la oxidación de la materia orgánica, a través de la DBO₅ o la DQO o por la medición del CO que es producido en la incineración y pirolisis de la materia orgánica. (Cerro Carpio, s.f., p. 2).

pH: este parámetro determina la cantidad de iones hidrogeno que se encuentran presentes en el agua en un rango comprendido de 0 cuando es muy ácido a 14 cuando es muy básico siendo el 7 un pH neutro. El pH es importante para la proliferación de microorganismos. (Cerro Carpio, s.f., p. 2).

Alcalinidad: La alcalinidad de un agua residual es ocasionada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. Siendo los más usuales el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad produce un amortiguamiento para resistir las variaciones en el pH, el agua residual es muy alcalina y esto se debe a las aguas que son de abastecimiento, aguas subterráneas y por las sustancias que se utilizan en los domicilios para limpieza, aseo etc. La expresión de alcalinidad se la realiza en terminología de carbonato de calcio, CaCO₃. (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 52).

Cloruros: los cloruros son indicadores en aguas residuales por la presencia de cloruro de la orina y las heces humanas proporcionan 6 g de cloruro por persona al día (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 53).

Compuestos Tóxicos: en aguas residuales existen en pequeñas proporciones compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos provenientes de actividades de limpieza generalmente como lo son desinfectantes, etc.

Nitrógeno Total: El nitrógeno es uno de los principales elementos para que se produzcan las reacciones biológicas. El contenido total en nitrógeno está conformado por: Nitrógeno Orgánico que encuentra en forma de proteínas, aminoácidos y urea, Nitrógeno Amoniacal que está presente en sales de amoniaco o como amoniaco libre, Nitrógeno en forma de Nitritos que se encuentra presente en un periodo medio de oxidación que se presenta en grandes cantidades y el Nitrógeno de forma de nitratos: producto final de la oxidación de nitrógeno. (Crites & Tchobanoglous, 2000, pp. 51-52).

En el agua residual reciente, el nitrógeno se encuentra mezclado en forma de materia proteínica y úrea, su transformación a la forma amoniacal es casi inmediata, el tiempo del agua residual se mide por la cantidad de amoniaco existente. Por la acción del oxígeno las bacterias aerobias oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos. (Crites & Tchobanoglous, 2000, pp. 51-52).

Las aguas inseguras son las que presentan una alta concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal con poco nivel de nitrógeno en forma de nitritos y nitratos por estas condiciones se entiende que existe una reciente contaminación cuando en el agua residual no se encuentra presente y una pequeña concentración de nitrógeno en forma de nitrato también es considerada insegura ya que esto nos indica que el proceso de nitrificación ya se ha producido y puede existir una contaminación no reciente. (Crites & Tchobanoglous, 2000, pp. 51-52).

Fósforo Total: es un elemento fundamental para la propagación de algunos organismos biológicos, las aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas que tienen abundante fósforo estimulan el crecimiento de organismos fotosintéticos en forma desmedida este proceso se denomina eutrofización (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 52).

Oxígeno Disuelto (OD): es un parámetro importante para controlar la calidad del agua, este elemento es muy poco soluble en agua, Gran parte del oxígeno disuelto resulta del proceso de fotosíntesis y de la aireación natural la concentración y solubilidad son dependientes de la temperatura, los movimientos del agua, la salinidad, etc. El OD es un indicador, un alto nivel significa que el agua es de buena calidad mientras que un nivel bajo produce la muerte de especies acuáticas. (Jiménez, 2001, p. 133).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno que se requiere para la descomposición de la materia orgánica siendo la DBO₅ la que permite establecer la fracción que se biodegrada en la materia orgánica de una muestra, también permite determinar la cantidad de alimento que se encuentra a disposición para un sistema biológico (Ramalho R.S, 1993, pp. 29-35).

El proceso de oxidación biológica completa es en aproximadamente 20 días pero en la práctica se ha demostrado que el análisis que se realiza por 5 días de incubación (DBO₅) es adecuado manteniendo una temperatura a 20°C. Existen 2 fases para que se produzca la oxidación la primera consiste en oxidar los compuestos carbonáceos para en la segunda fase en oxidar los compuestos nitrogenados. En los análisis de DBO₅ de la primera etapa es la que de manera experimental se aplica puesto que en 5 días la DBO₅ es ejercida de un 70% a 80% de la demanda. (Metcalf & Eddy, 1995, p. 508).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica mediante K₂Cr₂O₇ en una solución de H₂SO₄ para que sea transformada en CO₂ y H₂O. La DQO representa la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar una muestra, los análisis de DBO duran 3 horas y facilitan la identificación de sustancias tóxicas y materia no biodegradable. (Ramalho R.S, 1993, p. 31).

Los valores de DQO son más elevados que los de la DBO₅ debido a que existe oxidación química de sustancias orgánicas, pero no siempre existe una oxidación biológica. La relación DQO/DBO₅ sirve como indicador así para las aguas residuales de origen doméstico la relación es de 1,8 – 2,2 y en otros efluentes dicha relación puede llegar hasta 10. (Ramalho R.S, 1993, p. 32).

Tabla 1-3: Relación de DBO₅/DQO y DBO₅/COT

Tipo de Agua Residual	DBO ₅ /DQO	DBO ₅ /COT
No tratada	0.3-0.8	1.2-2.0
Después de sedimentación primaria	0.4-0.6	0.8-1.2
Efluente final	0.1-0.3	0.2-0.5

Fuente: (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 50)

1.1.1.3 Características Biológicas

Las aguas residuales poseen un sin número de organismos vivos y son considerados como fundamentales para controlar enfermedades producidas por microorganismos perjudiciales, la actividad microbiológica se caracteriza por descomponer y estabilizar la materia orgánica (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 52) los microorganismos presentes en el agua residual son:

Bacterias: constituyen mayoritariamente los microorganismos que se encuentran en aguas residuales, estas se alimentan de distintos componentes y dan origen a compuestos un poco más estables, se encuentran diferentes tipos de bacterias las que pueden ser patógenas causantes de algunas enfermedades como cólera, tifoidea, disentería, e infecciones de carácter intestinal, otro

tipo de bacterias son las saprófitas estas se nutren gracias a la materia orgánica muerta, no son consideradas como patógenas son fundamentales para los procesos de depuración de aguas residuales.

Además de la alimentación es necesaria la presencia de oxígeno para la respiración de bacterias patógenas y de bacterias saprófitas, siendo las bacterias aerobias las que captan el oxígeno presente en el agua residual, conjuntamente con la degradación que producen de los sólidos orgánicos se da el proceso conocido como descomposición aerobia y no produce malos olores; en cambio las bacterias anaerobias obtienen el oxígeno que se encuentra en los sólidos orgánicos e inorgánicos ocasionando también la degradación de sólidos orgánicos e inorgánicos este proceso es conocido como descomposición anaeróbica y produce malos olores y malas condiciones. Finalmente un grupo pertenece a las bacterias facultativas tiene la capacidad de adaptarse a condiciones tanto aerobias como anaerobias.

Tabla 1-4: Principales bacterias patógenas en aguas residuales

Bacteria	Fuente	Período de Incubación	Enfermedad
<i>E. coli</i>	Hombre	1 a 6 días	Diarreas, vómitos
<i>Salmonella</i>	Hombre y animales	8-48 horas	Diarreas acuosas
<i>Salmonella Typhi</i>	Heces humanas y animales	7-28 horas	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella Paratyphi</i>	Hombre	7-28 horas	Fiebre paratifoidea
Otras <i>Salmonellas</i>	Hombre	1 a 7 días	Intoxicación
<i>Shigella spp</i>	Hombre	9 horas a 7 días	Disentería bacilar
<i>Vibrio Cholerae</i>	Hombre		Cólera
Otros <i>Vibrios</i>	Hombre		Diarreas
<i>Campylobacter spp</i>	Hombre y animales		Diarreas y septicemias
<i>Yersinia enterocolítica</i>	Hombre y animales	1 a 5 días	
<i>Leptospira icterohamorhagiae</i>	Ratas		Leptopirosis

Fuente: (Mendonça, 2000, p. 26)

De las bacterias citadas en la tabla 1-4 *E. coli* es considerada en la actualidad como un indicador puntual de contaminación por fecas, otra bacteria estreptococos (*Streptococcus*) es muy común en aguas residuales, las bacterias coliformes están presentes en el suelo, plantas, animales e incluso en la especie humana cada persona evacua de entre 100000 a 400000 millones de coliformes por gramo de heces (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 54)

Los coliformes fecales son indicadores de patogenicidad pero existen otros organismos microscópicos como los estreptococos fecales, enterococos, colifagos y hongos que también cumplen con esta función y los clasifica en dos grupos:

- **Coliformes totales:** que son bacterias aerobias y anaerobias facultativas cuya reproducción en el exterior del intestino animal La capacidad de reproducción de estos bacilos, fuera de los intestinos de los animales esta beneficiada por las condiciones de humedad, pH, temperatura, materia orgánica y se han logrado reproducir en las biopelículas de las tuberías de agua.
- **Coliformes fecales:** son un subgrupo de los coliformes totales tienen forma de bastón miden de 0.0002-0.0003 mm por 0.002 a 0.003 mm y son bacterias aerobias, anaerobias facultativas. La diferencia de coliformes fecales y totales radica en la tolerancia ya que coliformes totales pueden resistir altas temperaturas, estos crecen a 44,5 °C, por lo que se desarrollan y adaptan más al interior de animales.

Entre un 90% y el 100% del total de coliformes fecales de heces humanas son pertenecientes a *Escherichia coli*, en un gramo de heces humana se pueden encontrar de entre cinco millones y cincuenta mil millones de coliformes fecales conformando un 40% del peso húmedo de los excrementos humanos son células bacterianas (Andrade , et al., 2010, p. 76)

Virus: se localizan en el tracto gastrointestinal de individuos infectados estos son expulsados a través de las heces fecales. Hasta la actualidad son conocidos más de 1000 tipos de virus y están clasificados en tres grupos: enterovirus, virus de gastroenteritis y virus de hepatitis. Una característica de los virus es que a muy bajas concentraciones son causantes de infecciones o enfermedades. La cantidad de virus que se encuentran presentes en el agua varían por ello no se los considera como indicadores en ambientes acuáticos. (Andrade , et al., 2010, p. 77)

Protozoos: son organismos unicelulares que cuando se encuentran en estado de quiste se vuelven resistentes a tratamientos convencionales, los protozoarios organismos microscópicos que se encuentran comúnmente en lodos o fangos de las plantas de tratamiento, es de vital importancia determinar e identificar los protozoarios debido al impacto que causan en personas que tienen su

nivel inmunológico bajo o deficiente así como en infantes y personas de la tercera edad (Crites & Tchobanoglous, 2000, p. 84)

Tabla 1-5: Principales protozoarios patógenos en aguas residuales

Protozooario	Fuente	Período de Incubación	Enfermedad	Forma de Transmisión
<i>Giardia lamblia</i>	Humanos, animales	5-25 días	Giardiasis	
<i>Entamoeba histolítica</i>	Animales	2-4 semanas	Amebiasis	Vía digestiva
<i>Balantidium coli</i>	Humanos, animales	Desconocido	Balantidiasis	Vía digestiva
<i>Cryptosporidium spp</i>	Humanos, animales	1-2 semanas	Criptosporidiasis	Vía digestiva
<i>Naegleria fowleri</i>		3-7 días	Meningoencefalitis, dolor de cabeza, fiebre, anorexia, vómitos	
<i>Acanthamoeba</i>	Agua		Abscesos subcutáneos y conjuntivitis	

Fuente: (Mendonça, 2000, p. 28)

Helmintos: constituyen un grupo de organismos entre los que se encuentran los nemátodos, los tremátodos y cestodos. Se caracterizan por su elevada capacidad de persistencia a lo largo del tiempo, los helmintos están clasificados como patógenos entéricos, potenciales causantes de infección por contacto con agua contaminada (Andrade , et al., 2010, p. 79).

1.1.2 Tratamientos de Aguas Residuales

Con el transcurso del tiempo el hombre ha implementado diversas tecnologías y métodos para la depuración de las aguas residuales las mismas que dependen de características, calidad del agua, cantidad de efluente estos métodos mayoritariamente son combinados teniendo como finalidad que el efluente sea amigable con los ecosistemas, eliminando los contaminantes por métodos físicos, químicos o biológicos (Muñoz, 2009, p. 6).

Las operaciones físicas utilizadas durante el tratamiento primario son la sedimentación, el desbaste las mismas que eliminan sólidos sedimentables y sólidos que están a flote en aguas residuales, en el tratamiento secundario se aplican procesos tanto químicos como biológicos los

que son empleados para la remoción de la materia orgánica y finalmente en el tratamiento terciario se hace uso de la combinación de procesos aplicados en tratamientos primarios y secundarios para remover sustancias que con tratamiento secundario no se ha logrado satisfactoriamente su remoción. (Muñoz, 2009, p. 7).

En los procesos de tratamiento para aguas residuales se realiza la remoción de contaminantes mas no la desaparición o eliminación de las sustancias no deseadas siendo la remoción la transformación de un contaminante a una sustancia inocua o menos peligrosa. La materia orgánica presente en aguas residuales es abundante, y se presentan en forma de sólidos que pueden ser sólidos disueltos, partículas coloidales y sólidos sedimentables (Muñoz, 2009, p. 8).

Los procesos empleados en una planta de tratamientos de aguas residuales descritos de una forma muy sencilla son: el tratamiento preliminar que consiste en la separación de residuos y en ciertos casos en algunos casos se requiere un proceso de pre-aireación, el tratamiento primario en el que se dan los procesos de sedimentación y tamizado, el tratamiento secundario en el que se dan procesos biológicos aerobios-anaerobios así como procesos físico-químicos para disminuir una gran cantidad de la DBO₅ y el tratamiento terciario cuya finalidad es minimizar en una etapa final la DBO₅, disminuir la cantidad de contaminantes tóxicos, la eliminación de microorganismos patógenos y de parásitos. (Marsilli, 2005, p. 1)

La clasificación de los procesos biológicos está dada en 4 grupos:

- Procesos aerobios.
- Procesos anóxicos.
- Procesos anaerobios.
- Procesos combinados (aerobios/anaerobios/anóxicos).

Una rama de la biotecnología es la biorremediación la cual se encarga de solucionar los problemas de contaminación través de microorganismos que tienen la capacidad de degradar compuestos contaminantes que producen alteración en el medio ambiente, los tratamientos biológicos son considerados como los más importantes para una efectiva remoción de contaminantes. (Ramos & Uribe, 2009, p. 1).

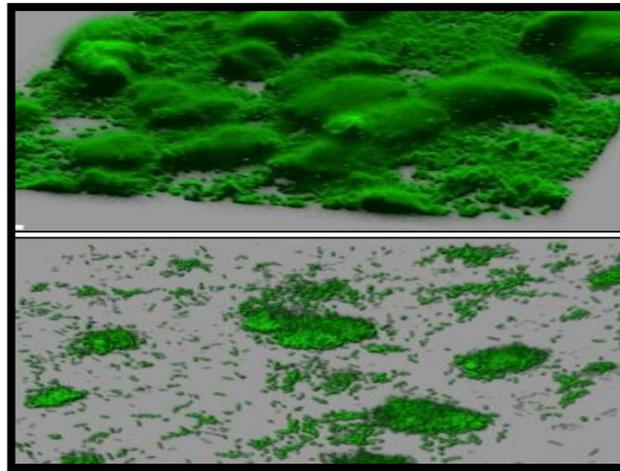
1.2 Biofiltración

Los biofiltros son también denominados filtros biológicos y son reactores que están constituidos por diferentes estratos tanto de material orgánico e inorgánico su función empieza cuando el

líquido contaminado es distribuido en la superficie del biofiltro y posteriormente por acción de la gravedad desciende y el material orgánico queda atrapado en el medio filtrante y es en este medio donde la acción microbiológica la degrada y consume (CONAMA, 2013, p. 1)

En el estrato de soporte existen diferentes comunidades microbiológicas (biopelículas) que reciben todos los nutrientes que provienen de los residuos líquidos (Eweis, et al., 1999, p. 50) las biopelículas son comunidades microbianas que están constituidas por una diversidad de bacterias y hongos, estos microorganismos son los encargados de sintetizar y secretar la matriz de protección que es donde se adjunta la biopelículas a las superficies vivas e inertes (Philips, et al., 2010, p. 1)

Figura 1-1: Biofilm en microscopía confocal.



Fuente: (Ga, 2014, p. 1)

Es importante que exista un control de ciertos parámetros para que los microorganismos sobrevivan en el biofiltro este sistema de biofiltración es de fácil manejo y es de bajo costo económico. La materia orgánica que es retenida en el biofiltro a través del medio filtrante mediante los mecanismos de filtración pasiva, absorción y adsorción e intercambio iónico (CONAMA, 2013, p. 1)

1.2.1 Tiempo de Retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico es el tiempo de permanencia del agua residual en el filtro la duración de la fase de reacción afecta al rendimiento del proceso puesto que se ha comprobado que a mayor tiempo de reacción mayor es la reducción de materia orgánica razón por la cual se suelen emplear tiempos de reacción largos. Esto se puede relacionar en que se pueden obtener mejores rendimientos de eliminación operando con elevados TRH (Kayranli & Ugurlu, 2011, pp. 1-7). Sin embargo según (Scheumann & Kraume, 2009, pp. 246,444-451) una continua reducción del TRH

permite una mejora de la calidad de la biomasa puesto que hace que haya una mayor fracción orgánica evitándose la acumulación de sustancias inorgánicas debido al aumento de la frecuencia de extracción de efluente.

Al igual que ocurre en la eliminación de materia orgánica, según los estudios de (Lamine , et al., 2007, pp. 127-132) se consigue una mayor reducción de la concentración de NH_4 y de Fósforo cuanto mayor sea el TRH. (Kapdan & Oztekin , 2006, pp. B136,896-901) realizaron un estudio en el que se disponía de un reactor biológico secuencial anaerobio-aerobio que operaba a distintos tiempos de retención iniciales, cada vez mayores siendo el TRH de 23 horas el propósito es aumentar el crecimiento de los microorganismos aerobios proporcionándoles mayor concentración de materia orgánica.

La carga hidráulica representa la cantidad (volumen) de aguas residuales aplicados diariamente al biofiltro y la carga orgánica representa la carga del contaminante del efluente por el tiempo de retención hidráulica.

1.3 Biofiltro Tohá

1.3.1 Descripción del Biofiltro Tohá

El biofiltro Tohá o lombrifiltro pertenece a la familia de los filtros percoladores está conformado por diversos estratos los que van en orden descendente de la siguiente manera: por un estrato de humus y lombrices, un estrato de aserrín y viruta, un estrato de gravilla y finalmente un estrato de bolones además posee un doble fondo, ductos de ventilación y un sistema de aspersión para la distribución del agua. (InduAmbiente, 2013, pp. 106-108).

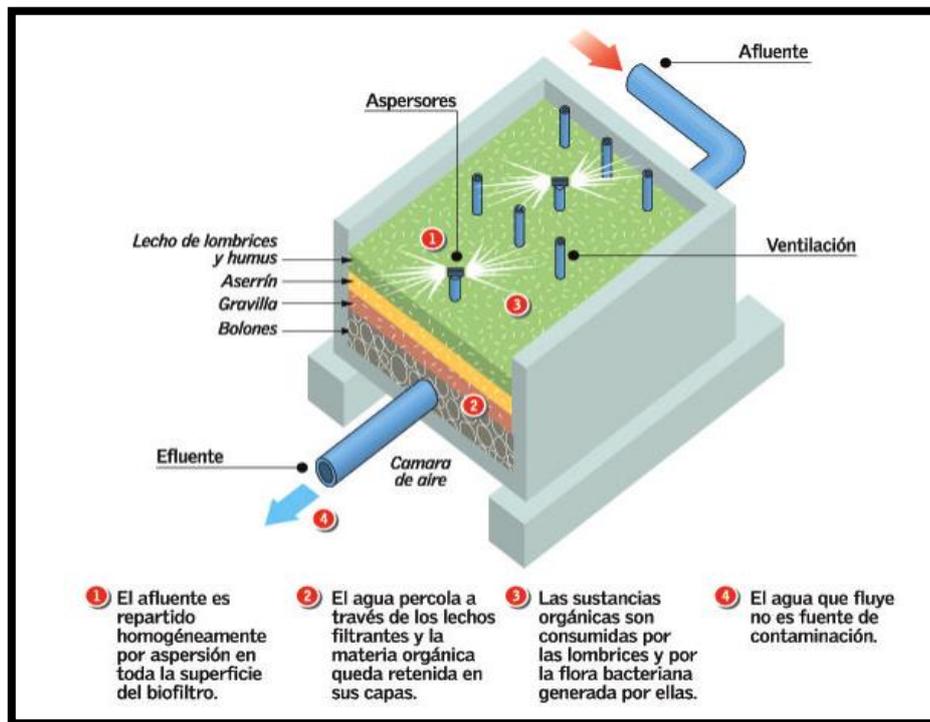
En la capa de humus se encuentran están presentes microorganismos y lombrices debajo de están ubicadas una capa de aserrín y una capa de viruta de maderas blancas que no han recibido ningún tipo de tratamiento químico esta capa es indispensable en el proceso de biofiltración pues en caso de que la carga contaminante del agua residual sea baja esta capa servirá de alimento para la lombriz debe tener una franja operativa amplia para la lombriz, la tercera capa está constituida por ripio o grava y finalmente se encuentra una capa de piedra bola siendo esta capa indispensable para el drenaje y ventilación del filtro, en las piedras también se produce flora bacteriana que se encarga de digerir la materia orgánica que no se ha retenido en las capas superiores esta fracción del biofiltro. Se dispone una malla raschell que separa las capas aserrín piedra (Salazar, 2005, pp. 70-74)

Según el estudio realizado por (Vicente , 2014, pp. 98-99) indica que los estratos del módulo de Biofiltro utilizados en su trabajo investigativo son: 0.03 m de humus con lombrices, 0.7 m de sustrato filtrante y 0.3 m de piedra y señala que si requiere un incremento en cuanto a la tasa de tratamiento se debe considerar un rediseño para incorporar nuevos módulos.

El falso fondo posee una pendiente del 1% para que el agua siga una misma dirección, sobre el falso fondo se van a colocar las piedras bolonas más grandes por lo que va a servir de sostén de las capas de soporte y lecho filtrado. Para el sistema de ventilación se encuentran instalados tubos de PVC en el perímetro interno del biofiltro los que son colocados de forma vertical y que se apoyan en la parte inferior del falso fondo la parte superior de los tubos de ventilación sobresalen la capa de humus y estas tuberías son perforadas tanto en su parte superior como en la parte inferior para permitir la oxigenación del falso fondo y la capa inferior del soporte. (Salazar, 2005, pp. 70-74)

El proceso de biofiltración se inicia cuando el agua residual es rociada de manera homogénea sobre la superficie y por acción de la gravedad el agua residual percola siendo retenida la materia orgánica en un 95% en el estrato de aserrín y viruta del filtro donde las lombrices de la especie *Eisenia foétida* la transforman y convierten en humus. Existe actividad microbiológica entre las capas del filtro cuya función es la transformación de la materia orgánica en CO₂ y H₂O, dentro de los microorganismos presentes en el biofiltro están: protistas, bacterias facultativas, bacterias aerobias, bacterias anaerobias, hongos y protozoos (InduAmbiente, 2013, pp. 106-108)

Figura 1-2: Corte esquemático del biofiltro Tohá.



Fuente: (Guzmán, 2004, p. 34)

1.3.2 Microbiología del biofiltro Tohá

Una de las capas filtrantes está constituida por aserrín donde encontramos bacterias filamentosas *Sphaerotilus natans* y *Beggiatoa* 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.

En la capa de humus se aloja la Lombriz Roja Californiana que se desarrolla en sitios húmedos, se caracteriza por ser intolerante a la luz (fotofóbica) su alimentación consiste de residuos orgánicos de origen animal y vegetal en estado de descomposición constituyéndose en un excelente recuperador adecuado para el proceso de recuperación de aguas residuales. (InduAmbiente, 2013, pp. 106-108).

Lombrisan fue uno de los primeros modelos prefabricados para aguas servidas domiciliarias y existen dos modelos un modelo para superficie y un modelo para enterrar.

Figura 1-3: Modelo para superficie lombrisan



Fuente: (infraplast, 2015, p. 1)

La eficiencia del biofiltro ha sido determinada en base a estudios de las experiencias de su aplicabilidad señalando que es necesario 1 m² efectivo de biofiltro para tratar 1 m³ de aguas servidas (1.000 litros /m² por día) (Guzmán, 2004, p. 36) también se indica que la altura del biofiltro puede tener una variabilidad de 1.2 a 1.5 m y la geometría puede variar según la disposición del terreno donde se va a implantar el sistema.

1.4 *Eisenia foétida* o lombriz roja californiana

En la década de los 50 fueron descubiertas las propiedades de esta lombriz en el estado de California de los Estados Unidos de Norteamérica dando origen a la instalación de los primeros criaderos. La lombriz roja californiana es considerado un animal ecológico su función es transformar los residuos orgánicos en humus. (Rodríguez, 2005, pp. 2-6).

La lombriz roja californiana es de origen Euroasiático, forma parte del grupo de los anélidos hasta la actualidad se han identificado 8000 especies de lombrices de las cuales 3 especies son domesticables y entre ellas esta *Eisenia foétida* siendo esta de mayor adaptabilidad a diversos sustratos, variaciones de temperatura, variabilidad de pH, humedad. (Compagnoni & Ptzolu, 1998, p. 35).

Tabla 1-6: Clasificación taxonómica de la lombriz roja californiana

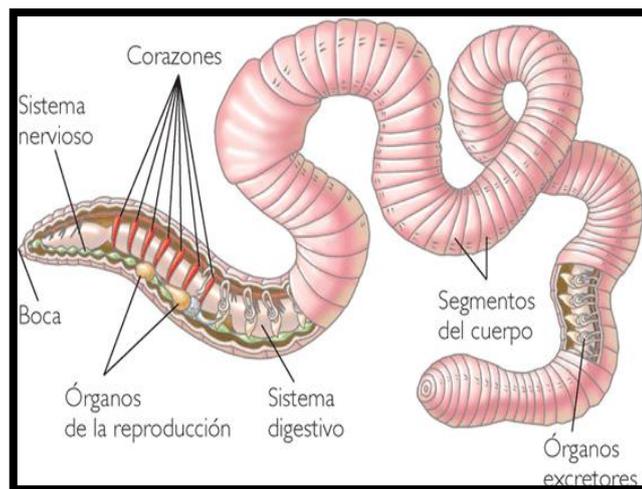
Reino	<i>Animal</i>
División	<i>Anélidos</i>
Clase	<i>Oligoqueto</i>
Orden	<i>Opisthoro</i>
Familia	<i>Lombrícidos</i>
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>E. foétida</i>

Fuente: (Compagnoni & Ptzolu, 1998, p. 35)

1.4.1 Características de *Eisenia foétida*

Para la alimentación succiona el alimento por la boca ya que no dispone de dientes ni mandíbula, la boca se encuentra ubicada en el primer anillo y cuando el alimento llega hasta el estómago son las glándulas especiales las encargadas de segregar carbonato cálcico para poder neutralizar los ácidos que provienen de la comida y cuando atraviesan todo el aparato digestivo son eliminadas por el ano que está situado en la parte terminal, cuando una lombriz se fragmenta en dos partes una de las dos partes subsiste (la parte donde se encuentra la boca) debido a que en cada metámero están ubicados: 1 corazón, 2 riñones. *Eisenia foétida* posee un sistema circulatorio, nervioso y muscular (Mejía, 2006, pp. 6,13-14).

Figura 1-4: *Eisenia foétida*



Fuente: (Colombriz, 2013, p. 1)

Eisenia foétida, posee 182 aparatos excretores, 3 pares de riñones y 5 corazones, la piel es el medio por donde realizan la respiración, no posee pulmones tampoco posee ojos, una de las

características principales de esta lombriz es que es fotofóbica el contacto con los rayos ultravioletas la matan son muy sensibles a la luz, la domesticación de esta lombriz se logra gracias que tiene una franja operativa de 50 cm en la que trabaja 24 horas y a diferencia de la lombriz común que su trabajo se extiende de 2 a 6 metros, la temperatura adecuada para la crianza de esta lombriz es de 16 a 20°C temperaturas mayores o menores afectan el metabolismo de las mismas (Mejía, 2006, p. 22).

1.4.2 Alimentación

Para la alimentación succiona el alimento por la boca ya que no dispone de dientes ni mandíbula, la boca se encuentra ubicada en el primer anillo y cuando el alimento llega hasta el estómago son las glándulas calcíferas o glándulas de Morren las encargadas de segregar carbonato cálcico para poder neutralizar los ácidos que provienen de la comida y cuando atraviesan todo el aparato digestivo son eliminadas por el ano que está situado en la parte terminal y son capaces de ingerir sustratos que posean un pH de 6 a 8.5 y cuando una lombriz se fragmenta en dos partes una de las dos partes subsiste (la parte donde se encuentra la boca) debido a que en cada metámero están ubicados: 1 corazón, 2 riñones. *Eisenia foétida* posee un sistema circulatorio, nervioso y muscular. Se debe añadir una capa de 5 a 10 cm de alimento cada 10 a 15 días y la lombriz ingiere aproximadamente 1 gr de comida por día (Mejía, 2006, pp. 33-34).

El medio en el que se cultivan las lombrices es denominado sustrato y es del cual se alimentan el sustrato puede estar constituido por una amplia variedad de materia orgánica, la dieta alimenticia que se les proporciona a las lombrices es uno de los principales factores que determinan el incremento de la talla, peso, el aumento de la población, la madurez sexual, y la reproducción (Crespo , et al., 2012, p. 1).

Para una favorable adaptación de las lombrices de poseer las siguientes características: deben tener la capacidad para retener la humedad y facilitar la movilidad de la lombriz, debe favorecer a la circulación del aire y debe drenar los excedentes de agua, el tamaño debe ser de 2 cm o menos, deben tener una relación C-N de 20 a 30, además poseer bajas cantidades de metales pesados, sales y contaminantes orgánicos. (Crespo , et al., 2012, p. 1).

Tabla 1-7: Residuos transformados por la lombriz roja californiana

Tipos de Residuos	Descripción
Agrícolas y ganaderos	Residuos agrícolas y estiércoles de vaca, caballo, bovinos, cabras, conejos, cuyes, avícolas, cerdos.
Urbanos	Residuos orgánicos urbanos, lodos de plantas de depuradoras, aguas residuales urbanas, desechos orgánicos procedentes de jardines y parques
Industrias agroalimenticias	Azucarera, cafetalera, citrícola y oleícola, desechos de frutas

Fuente: (Crespo , et al., 2012, p. 1)

E. foétida puede alimentarse de otros residuos entre ellos están el papel sin tinta, las lombrices no ingieren cierto tipo de sustancias como plásticos, vidrios, metales, gomas ni restos de carnes ni pescados debido a su alto contenido proteico lo que da origen a un proceso de intoxicación proteica en la lombriz cambiando su coloración a blanca. De manera general los sustratos que son utilizados en la alimentación adecuada de la lombriz roja son están en la tabla 1-8.

Tabla 1-8: Sustratos utilizados en la alimentación de la lombriz

Tipo de sustrato	Descripción
Convencional	Estiércoles de ganado vacuno, ovino, equino, cunícula, porcino, pulpa de café y cachaza.
No Convencional	Desechos agrícolas, residuos de cítricos, polvo de coco, restos de madera, gallinaza, residuos sólidos urbanos y otros residuos orgánicos

Fuente: (Crespo , et al., 2012, p. 1)

1.4.2.1 El polvo de aserrín como sustrato para lombrices

El aserrín es un residuo de madera, posee muchas cualidades por lo que *Eisenia foétida* 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 Belaustegui, 1995, pp. 105-107)

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 *Eisenia foétida* 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, p. 67)

Cuando se utiliza aserrín pulverizado en un 50% y es mezclado con estiércol constituye una fuente muy asimilable para las lombrices con esto consigue una mayor facilidad para el manejo y disminuyen la aparición de algunos vectores como moscas además conseguir una buena relación de C/N, así como el apareamiento microbiano lo que favorece en la degradación del aserrín y de manera general la lombriz se adapta rápidamente.

La relación C/N se refiere a las partes de carbono existentes por una parte de nitrógeno de modo que si existe una relación de C/N mayor a 30 es un indicador de que posee una baja disponibilidad de nitrógeno, una relación de C/N entre 20 y 30 indica que habrá una disponibilidad moderada de nitrógeno y si la relación de C/N es menor a 20 es un indicador de que tiene una alta disponibilidad de nitrógeno media y cuando la relación de C/N es demasiado alta se producen problemas de disponibilidad de nitrógeno en el suelo ocasionando hambre de nitrógeno es decir que los microorganismos van a tener mucho alimento energético (CARBONO) incrementan el consumo de nitrógeno del suelo para su propio desarrollo provocando deficiencias a las plantas. (Rojas, 2004, p. 1).

1.4.3 Reproducción

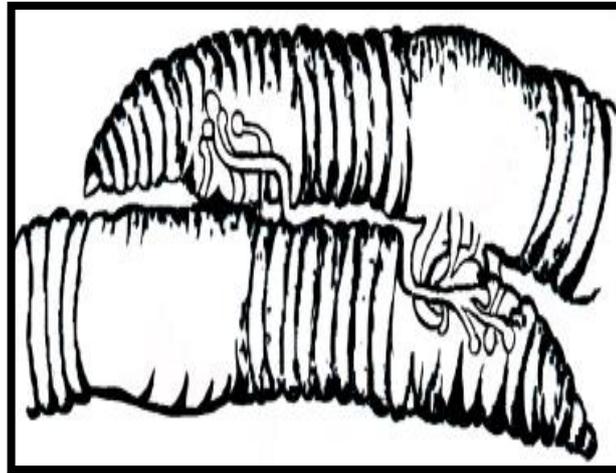
En un período de tres meses la lombriz llega a la etapa de la adultez estando apta para la reproducción aquí se logra observar un anillo de mayor diámetro que el resto de su cuerpo denominado clitelio que se encuentra ubicado en el primer tercio anterior, el clitelio segrega un líquido encargado de la protección de los huevos, el clitelio es también una estructura que sirve para el proceso de autorregulación de la lombriz. (Mejía, 2006, p. 40).

La lombriz es hermafrodita sin embargo requiere aparearse para lograr su reproducción cada lombriz dispone de un aparato genital masculino y un femenino, la fecundación se lleva a cabo cuando las glándulas secretoras de esperma depositan la esperma en el aparato genital femenino y lo retienen. (Mejía, 2006, p. 40).

En la fase de acoplamiento las lombrices realizan un giro en sentido diferente la una de la otra uniéndose el aparato genital masculino de una con el aparato genital femenino de otra y es en el

clitelio donde se realiza la fecundación donde sus glándulas originan el capullo o cocones de donde nacen las lombrices en un período de 14 a 21 días de incubación dando lugar desde 2 a 21 nuevas lombrices. (Rodríguez, 2005, pp. 2-6).

Figura 1-5: Lombrices en fase de acoplamiento.



Fuente: (Mejía, 2006, p. 14)

Las lombrices recién nacidas son blancas al pasar 5 o 6 días de nacidas cambian a un color rosado y se vuelven de color rojo oscuro cuando han pasado 15 o 20 días, esta especie posee gran tolerancia a coexistir en aglomeración así en 1 m² pueden encontrarse de 4.000 a 50.000 ejemplares. (Mejía, 2006, pp. 2-6).

1.4.4 Condiciones ambientales para el desarrollo de la lombriz

La humedad debe ser de un 70% para que se facilite la alimentación pues las lombrices chupan el alimento y para facilitar el movimiento a la lombriz, cuando la humedad es menor a 70% se produce la muerte de la lombriz ya que su alimentación se vuelve imposible mientras que un exceso de humedad causa una deficiente oxigenación y también la muerte. El riego se lo puede realizar de forma manual o por aspersion evitando los encharcamientos para evitar una fermentación anaeróbica. (Rodríguez, 2005, pp. 2-6).

Una de las pruebas para la medición del porcentaje de humedad es la prueba de puño que consiste en tomar un la materia que alcanza en el puño de la mano y aplicar un poco de fuerza si salen entre 7 - 8 gotas y toma la forma de puño es que la humedad está en un 80% aproximadamente y es la adecuada caso contrario si al hacer puño la muestra no tomo la forma de puño es un indicador que la muestra está demasiado seca y si al hacer puño salen demasiadas gotas de agua es un indicador de que la muestra contiene demasiada humedad (Shuldt & de Belaustegui, 1995, pp. 102-104).

La temperatura óptima para el desarrollo de *Eisenia foétida* es de 12 a 25° C, para la formación de huevos o cocones es de 12 a 15° C, en el verano cuando la temperatura es muy elevada se debe procurar mantener a las lombrices en un ambiente fresco protegiéndolas del calor y de los rayos UV, también se debe mantener un pH de 7 ya que este es el óptimo para las lombrices y la aireación es indispensable para la respiración cuando la aireación es escasa las lombrices reducen su alimentación y no se produce la fecundación ya que el suelo tiende a compactarse. (Mejía, 2006, p. 40).

1.4.5 Humus

El humus es la sustancia que resulta de la excreción de las lombrices, el 60% del alimento ingerido por la lombriz es transformado en humus y este es un abono orgánico que tiene abundante flora bacteriana posee un aspecto parecido a la tierra, es suave granulado y no posee olor y es rico en, N, P, K, Ca, Mg y microelementos posee un pH neutro gracias a las glándulas calcíferas de esta lombriz. (Mejía, 2006, p. 43).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Lugar de estudio

El lugar de estudio fue la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo la investigación se realizó en la Facultad de Ciencias en el Laboratorio de Química Analítica instalando el Biofiltro Tohá a escala para la depuración de las aguas residuales que procedentes de la Comunidad Langos La Nube y la caracterización de los análisis de las aguas residuales domésticas y de los tratamientos se las determinó en el laboratorio SAQMIC.

2.2 Tipo de investigación

Por el tipo de investigación: Aplicada, porque tiene un fin directo el cual plantea depurar las aguas residuales con la utilización del biofiltro Tohá para reutilizar el agua en actividades de agricultura o con fines estéticos.

Por la temporalidad: Longitudinal, porque se recolectan datos a lo largo de la investigación en períodos de tiempo establecidos los mismos que facilitan una evaluación con respecto a las variaciones del agua antes y después del tratamiento, así como del período de adaptación de *Eisenia foétida*

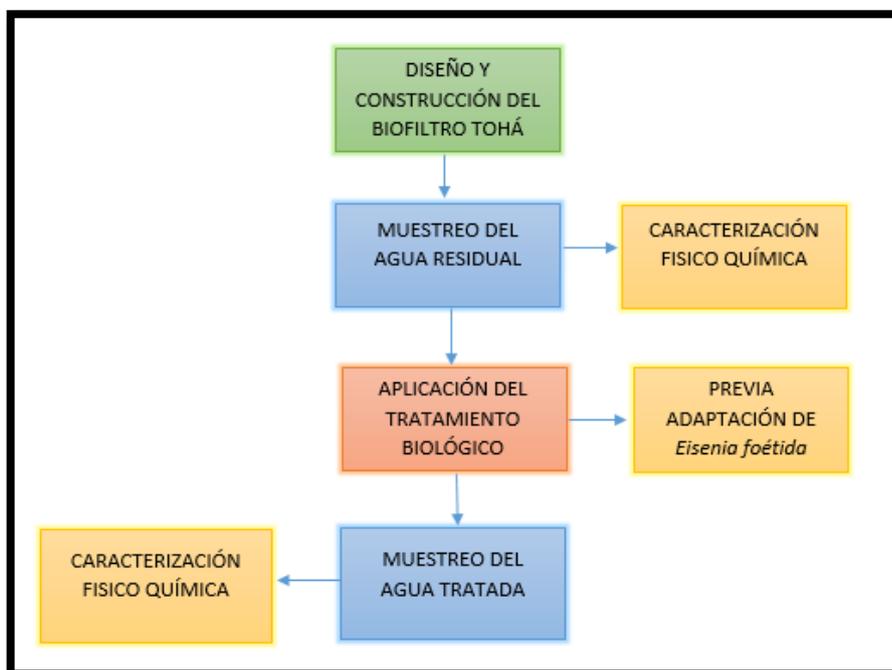
Por el tipo de enfoque: Cualitativo y Cuantitativo. Cualitativo porque se recolectó datos sin medición numérica que demuestras las características de adaptabilidad de *Eisenia foétida* y es cuantitativo porque se va a recolectar datos físicos, químicos antes y después de la biofiltración, datos recolectados durante el período febrero-julio de 2015

Por el diseño de investigación: Experimental.

2.3 Métodos y Técnicas

Para una mejor comprensión del proceso se presenta en la figura 2-1 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 físico químicos, la aplicación del tratamiento biológico y el muestreo y análisis físico químicos del agua tratada.

Figura 2-1: Diagrama general del proceso.



Realizado por: Nancy Coronel

2.3.1 Fase de diseño y construcción del biofiltro Tohá

2.3.1.1 Materiales

- Un tanque de 60 litros de capacidad
- 2 tubos cuadrados de 1x1,5"
- 1 plancha de acero inoxidable de 1,5"
- 3 ruedas locas y 2 ruedas locas con freno
- 2 neplo de acero inoxidable
- 2 vidrios de 4 líneas transparente
- 2 discos de corte
- Electrodos 60/11
- 1 broca
- 1 litro de pintura anticorrosiva
- 1 litro de thinner
- Platina de media 1m
- Varilla cuadrada de 1 m
- Varilla redonda de 1,5 m con 5/8
- 3 pernos
- 1 bomba sumergible

- 2m de cable gemelo #14
- 1 enchufe
- 1 interruptor
- 2 válvulas para riego
- 1,5 m de manguera flex de riego
- Una ducha de jardín

2.3.1.2 Método

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

- Un tambor de homogenización
- Un sistema de impulsión
- Un sistema de distribución de agua residual (aspersión)
- Un tanque de biofiltrado
- Una trampa de lombrices
- Un tanque de almacenamiento y desinfección

El tambor homogenizador de PVC tiene una capacidad de 60 litros dentro del cual se colocó una bomba sumergible sp 2500 unida a una manguera flex de riego.

Para la construcción de del tanque de biofiltración a nivel se dimensionó reduciendo la escala real a una escala de 1:4 del modelo presentado por (Jordán, 2005, pp. 86-90) las dimensiones son: altura 1.2 m, largo 2.00 m y ancho 1.2 m. El tanque de biofiltración se construyó con una lámina de acero inoxidable y en su parte frontal se colocó un vidrio transparente esta estructura tiene una pendiente y en su interior está ubicada una gradilla, se instaló también un sistema de ventilación constituido por tubería de pvc de ½ pulgada debajo del doble fondo se encuentra una tubería en forma horizontal y está unida a tuberías en forma vertical a través de codos de ½ una vez que las tuberías verticales están sobre el tanque de biofiltración se colocaron codos con dirección hacia afuera del tanque del biofiltrado además los tubos verticales poseen perforaciones y en la base del tanque se instaló una válvula bola.

Debajo del tanque de biofiltrado se encuentra una trampa de lombriz elaborada con una caja plástica y en su parte superior posee una perforación en su parte inferior se colocó una malla de acero inoxidable y finalmente se encuentra el tanque destinado para desinfección y almacenamiento cuyo dimensionamiento se lo realizó tomando como referencia el volumen del

tambor homogenizador para poder realizar la cloración semanal, la construcción se llevó a cabo con acero inoxidable y en su parte frontal se encuentra un vidrio transparente se colocó en su parte inferior una está conectado a una tubería que se dirige a la parte frontal del filtro donde se instaló una válvula para la salida del líquido tratado.

En la parte inferior de los soportes del filtro se colocaron 5 ruedas locas, en la parte posterior se encuentran 2 ruedas locas con freno y en la parte anterior 3 ruedas la estructura de soporte fue pintada con pintura anticorrosiva

2.3.2 Muestreo del agua residual doméstica

2.3.2.1 Materiales

- Botellas de 3 litros
- Guantes
- Mascarilla
- Un cooler

2.3.2.2 Método

Una vez colocado el material de protección se tomó la muestra en una caja de revisión de un domicilio de la Comunidad Langos La Nube perteneciente al Cantón Guano este proceso se lo realizó en 3 fases.

Primera fase el muestreo se lo realizó de forma manual por el período de 30 días la muestra tomada de fue 3L/día a las 6:00am hora en la que existe mayor actividad en la comunidad. Para la segunda fase se recolectaron 10 litros/día de agua residual doméstica 5 litros a las 6:00 am y 5 litros de agua residual doméstica a las 14:00 durante 6 días y para la tercera fase del muestreo tomaron 10 litros/día de agua residual doméstica a las 6:00 am y 5 litros de agua residual doméstica a las 14:00 pm en el período de 6 días.

Para el muestreo fue necesario la purga de los envases plásticos tres veces antes de realizar la recolección de la muestra, el transporte de las muestras se lo realizó en un cooler y fueron almacenadas en refrigeración a 4° C de las cuales las primeras 5 muestras de agua residual (15 litros) fueron utilizados para la adaptación de las lombrices y 15 litros fueron utilizados para el crecimiento de la biopelícula los restantes 60 litros fueron utilizados para el proceso de análisis físico químicos antes y después del tratamiento.

La segunda fase del muestreo se lo realizó del 20 al 26 de mayo del 2015 tomando 5 litros de agua residual doméstica a las 6:00 am y 5 litros de agua residual doméstica a las 14:00 pm hora tomando un total de 60 litros de agua residual durante los 6 días de muestreo, de igual manera se realizó la purga de los envases para el muestreo y las muestras fueron transportadas en un cooler hasta ser almacenadas en refrigeración a 4 ° C.

La tercera fase del muestreo se lo realizó del 28 de mayo al 2 de junio del 2015 tomando 5 litros de agua residual doméstica obteniéndose un total de 60 litros de agua en 6 días, de igual manera se realizó la purga de los envases para el muestreo y las muestras fueron transportadas en un cooler hasta ser almacenadas en refrigeración a 4 ° C.

2.3.3 Adaptación de Eisenia foétida al agua residual doméstica

2.3.3.1 Materiales

- Dos baldes de 10 litros
- Un balde de 4 litros
- Una tarrina de 1 litro
- Un vaso de precipitación de 1000 mL
- Una probeta de 50 mL
- Mascarilla
- Malla plástica
- Termómetro analógico
- Una balanza analógica
- Una balanza digital
- Guantes
- 2 Kg de *Eisenia foétida* o lombriz californiana
- Aspersor
- Aserrín
- Viruta

2.3.3.2 Método

Se identificó los recipientes que fueron utilizados para el proceso **C0:** Una tarrina de 1 litro para microestudio de *Eisenia foétida* y **C1:** Un balde de 10 litros.

En las bases de Co y C1 se hicieron perforaciones y se colocaron mallas plásticas en el fondo de cada recipiente luego se preparó el sustrato para ello se aspergeo el agua residual sobre el aserrín, se realizó la prueba de puño para verificar el porcentaje de humedad y se registró el pH y temperatura.

Para Co y C1 se colocó una capa de sustrato preparado, una capa de humus, y se realizó la separación de lombrices de lombrices para inocular en Co y C1, una vez colocado el sustrato preparado sobre Co y C1 se realizó la prueba de inoculación de las lombrices en Co, y en C1 se inocularon lombrices en todos los estados (cocones, juveniles y adultas) este proceso de adaptación duró 7 días y finalmente se realizó un conteo y pesaje de las lombrices de Co, los datos obtenidos se encuentran registrados en los anexos 1 y 2 respectivamente.

2.3.4 Relleno del tanque de biofiltrado

2.3.4.1 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
- Viruta
- Humus y *Eisenia foétida*
- Malla tipo raschell

2.3.4.2 Método

Sobre el doble fondo se colocaron de forma manual: una capa de piedra bola #3 y piedra bola #2 sobre este estrato se añadió grava #2 y #1 posteriormente se cubrió con la malla tipo raschell sobre la capa de piedras y sobre esta se colocó una capa de aserrín, una capa de viruta y finalmente una capa de humus con lombrices previamente adaptadas al agua residual doméstica de procedencia de la comunidad Langos la Nube, y se dejó aspergear agua residual sobre el tanque de biofiltrado.

2.3.5 Medición del caudal de entrada al tanque de biofiltración y medición del caudal de salida del agua biofiltrada.

2.3.5.1 Materiales

- sistema de biofiltrado
- cronómetro
- un vaso de precipitación de 500 mL
- una probeta de 10 mL

2.3.5.2 Método

Para la medición del caudal de entrada al tanque de biofiltración fue necesaria la identificación de las válvulas que se encuentran en la red de distribución del agua residual Válvula 1: la válvula que está situada en la manguera entre la bomba sumergible y Válvula 2: la válvula que se encuentra ubicada entre la válvula 1 y el sistema de aspersión.

Se realizó la medición del caudal máximo se abrió la válvula 2 a 90°, se encendió la bomba y se abrió la Válvula 1 a 90° y se colocó un vaso de precipitación debajo del aspersor, se recolectó el agua residual doméstica durante un minuto y se retiró el vaso de precipitación con el agua recolectada posteriormente se midió la cantidad de agua residual recolectada, este proceso se repitió tres veces, se cerró la válvula 1 y se apagó la bomba.

Para la medición del caudal mínimo se abrió la válvula 2 a 30°, se encendió la bomba y se abrió la válvula 1 a 90° y se colocó un vaso de precipitación debajo del aspersor, se recolectó el agua residual doméstica durante un minuto y se retiró el vaso de precipitación con el agua recolectada posteriormente se midió la cantidad de agua residual recolectada, este proceso se repitió tres veces, se cerró la válvula 1 y se pagó la bomba.

Para medir el caudal del agua biofiltrada se mantuvo abierta a 90° la válvula bola situada entre el tanque de biofiltrado y la trampa de lombrices, se encendió el sistema de biofiltración se esperó hasta que el flujo de salida sea estabilizado y se procedió a recolectar el agua filtrada en un minuto de tiempo para finalmente ser medida la cantidad de agua recolectada, este procedimiento se repitió 3 veces, luego se cerró la válvula 1 y se apagó la bomba.

2.3.6 *Determinación del crecimiento de la biopelícula*

2.3.6.1 *Materiales*

- sistema de biofiltración
- agua residual doméstica
- frascos plásticos

2.3.6.2 *Método*

Se determinó el crecimiento de la biopelícula mediante mediciones de turbidez dos veces al día la primera medición se la realizó a las 10:00 am y la segunda medición a las 16:00 pm el proceso se inició al encender el sistema de biofiltración y se dejó aspergear el agua residual doméstica sobre el tanque de biofiltración siendo el agua residual recirculada los datos de este proceso fueron tomados durante 15 días laborables.

2.3.7 *Análisis físico-químicos del agua residual doméstica cruda y tratada*

2.3.7.1 *Materiales*

- sistema de biofiltración
- agua residual doméstica
- tiras medidoras de pH
- termómetro
- botellas plásticas
- cooler transportador
- gel hielo

2.3.7.2 *Método*

Se colocaron las muestras simples de agua residual obtenidas en un mes que fueron almacenadas en refrigeración a 4°C en el tanque homogenizador se dejó que el agua residual llegue a temperatura ambiente las muestras y se realizó el primer muestreo de agua residual doméstica cruda realizando primero la purga del envase plástico se tomaron 3 litros además se registraron datos de pH y temperatura la muestra fue rotulada y colocada en el cooler con el gel hielo posteriormente se encendió el sistema de biofiltración. Para del agua biofiltrada se purgó el envase

plástico y se tomaron 3 litros del agua filtrada también se registraron pH y temperatura la muestra fue rotulada y también colocada en el cooler con el gel hielo y finalmente las dos muestras fueron transportadas al laboratorio SAQMIC donde se realizaron los análisis físico químicos con los procedimientos que se indican en la tabla 2-1.

Se realizaron dos replicas la una después de 7 días y la segunda después de 7 días de la primera réplica, se volvieron a repetir los muestreos de agua residual doméstica cruda y de agua tratada de la misma manera se registraron datos de pH y temperatura, las muestras fueron preservadas y trasladadas al laboratorio SAQMIC donde se realizaron los análisis físico químicos correspondientes.

Tabla 2-1: Métodos de análisis parámetros físico-químicos

Determinaciones	Unidades	*Método
pH	Und.	4500-HB
Conductividad	μSiems/cm	2510-B
Turbiedad	UNT	2130-B
Amonios	mg/L	4500-NH4-C
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B
Nitratos	mg/L	4500-NO3-C
Fosfatos	mg/L	4500-P-D
Sólidos disueltos totales	mg/L	2540-B

Fuente: laboratorio SAQMIC

2.3.8 *Mantenimiento del biofiltro Tohá*

2.3.8.1 *Materiales*

- horqueta
- un recipiente plástico
- una malla de lombriz

2.3.8.2 *Método*

Se realizó el horqueto de la viruta superficial del biofiltro se desmalezó la vegetación que creció en el tanque de biofiltración se realizó la limpieza de la bomba sumergible así como de la válvula 1 y válvula 2, se realizó la limpieza del aspersor, se cosechó el humus.

CAPÍTULO III

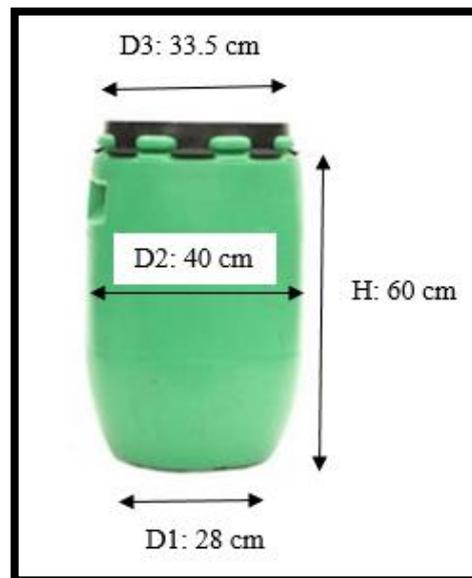
3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diseño y construcción del biofiltro

El sistema fue diseñado con:

Un **tambor de homogenización** es un tambor con capacidad de 60 litros para el almacenamiento de muestras simples obtenidas en un mes debieron ser colocadas, homogenizadas y utilizadas en el período de tres semanas de ensayos

Figura 3-1: Dimensiones del tambor homogenizador



Realizado por: Nancy Coronel

Dentro del tanque homogenizador se encuentra ubicada la bomba sumergible que dirige el agua residual doméstica homogenizada desde el tanque homogenizador por la red de distribución del agua residual (aspersión) hacia el tanque de biofiltración la red de distribución móvil para dar mayor facilidad al proceso y facilitar la cosecha de humus. Para el cálculo dividimos el tanque homogenizador horizontalmente en dos partes iguales y luego se hallan los volúmenes aplicando la fórmula del cono truncado para sumar los volúmenes de las dos secciones y obtener el volumen total.

Tabla 3-1: Dimensiones del tambor homogenizador

DENOMINACIÓN	SIMBOLOGÍA	VALOR (m)
Diámetro menor	D1	28
Diámetro del cuerpo	D2	40
Diámetro mayor	D3	35
Radio menor	R1	14
Radio del cuerpo	R2	20
Radio mayor	R3	17.25
Altura del tambor	H	60
Mitad de la altura	H	30

Realizado por: Nancy Coronel

Volumen sección 1

$$V = \frac{1}{3} * \pi * h * (R1^2 + R2^2 + R1 * R2)$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 30 * (14^2 + 20^2 + 14 * 20)$$

$$V = 27520.35 \text{ cm}^3$$

$$V = 27.52 \text{ l}$$

Volumen sección 2

$$V = \frac{1}{3} * \pi * h * (R2^2 + R3^2 + R2 * R3)$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 30 * (20^2 + 17.25^2 + 20 * 17.25)$$

$$V = 32753.06 \text{ cm}^3$$

$$V = 32.25 \text{ litros}$$

Cálculo del volumen total del tambor homogenizador

$$V_{total} = (\text{volumen sección 1} + \text{volumen sección 2})$$

$$V_{total} = (27.52^2 + 32.75^2)$$

$$V_{total} = 60,27 \text{ litros}$$

El tanque de biofiltración el sistema a nivel escala se dimensionó reduciendo la escala real a una escala de 1:4 del modelo presentado por (Jordán, 2005, pp. 86-90) cuyos cálculos obtenidos se encuentran en la tabla 1-6, el material utilizado para la construcción fue de acero inoxidable y en su parte frontal se colocó un vidrio para facilitar la comprensión del proceso la parte inferior del

tanque tiene una pendiente del 1% esta sirve para crear una sola guía de agua en el interior del tanque de biofiltrado se encuentra una gradilla que es el doble fondo, se encuentra también un sistema de ventilación que está constituido por tubería de pvc de ½ pulgada debajo del doble fondo se encuentra una tubería en forma horizontal y está unida a tuberías en forma vertical a través de codos de ½ una vez que las tuberías verticales están sobre el tanque de biofiltración se colocaron codos con dirección hacia afuera del tanque del biofiltrado además los tubos verticales poseen perforaciones (tipo flauta) cada 2 cm para facilitar la aireación en los estratos del biofiltro, en la parte inferior del tanque se encuentra una válvula para control de caudal de salida del agua filtrada.

Tabla 3-2: Dimensiones del tanque de biofiltración y gradillas

TANQUE DE BIOFILTRACION				
DESCRIPCION	SIMBOLO	MEDIDA REAL (m)	MEDIDA ESCALAR (m)	MEDIDA INTERNA (m)
Ancho	A	1.20	0.30	0.29
Largo	L	2.00	0.50	0.50
Alto	H	1.50	0.375	0.39
GRADILLA (DOBLE FONDO)				
AGUJEROS		-	0.01	
Ancho (24 agujeros distribuidos)	A	1.20	0.30	0.29
Largo (14 agujeros distribuidos)	L	2.00	0.49	0.49

Realizado por: Nancy Coronel

Cálculo de volumen total del tanque de biofiltrado

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

$$V_{total} = 0.50 \text{ m} * 0.29\text{m} * 0.39\text{m}$$

$$V_{total} = 0.05655 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = 56.55 \text{ litros}$$

Una trampa de lombriz que fue ubicada en la parte inferior del tanque de biofiltración la cual recoge lombrices y partículas de aserrín que son arrastradas posiblemente por el agua que atraviesa el tanque de biofiltrado y por el movimiento de las lombrices en el tanque.

El tanque de almacenamiento y desinfección: A partir de la capacidad del tanque de homogenización (60 litros) y del espacio destinado para la implementación se realizó el dimensionamiento obteniéndose los valores presentados en la tabla 3-3.

Tabla 3-3: Dimensiones del tanque de almacenamiento y desinfección

TANQUE DE DESINFECCIÓN		
DESCRIPCION	SIMBOLO	VALOR (m)
Largo	L	0.52
Ancho	A	0.29
Alto	H	0.39

Realizado por: Nancy Coronel

Cálculo del volumen del tanque y almacenamiento y desinfección

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

$$V_{total} = 0.52 \text{ m} * 0.29 \text{ m} * 0.39 \text{ m}$$

$$V_{total} = 0.058812 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = 58.81 \text{ litros}$$

Los soportes que sujetan los tanques del filtro fueron realizados con 2 tubos cuadrados de 1x1,5", en la parte inferior de los soportes del filtro se colocaron 5 ruedas locas con 7 cm de diámetro cada una, en la parte posterior se encuentran 2 ruedas locas con freno y en la parte anterior 3 ruedas locas simples para proporcionar mayor facilidad al traslado del equipo, el soporte fue pintado con pintura anticorrosiva para evitar que la estructura sufra daños al tener contacto con el agua.

Tabla 3-4: Dimensiones del soporte de la estructura

SOPORTE DE LA ESTRUCTURA		
DESCRIPCION	SIMBOLO	VALOR (m)
Largo	L	0.56
Ancho	A	0.36
Alto	H	0.72

Realizado por: Nancy Coronel

3.2 Muestreo del agua residual doméstica

El proceso de muestreo se realizó en 3 fases, para la fase 1 se recolectaron de 30 muestras cada muestra de 3 litros donde se logró obtener un total de 90 litros, para la fase 2 se obtuvieron 60

litros que fueron recogidos durante 6 días, para la tercera fase al igual que en la segunda se recogieron 60 litros en 10 días de muestreo.

Tabla 3-5: Resultados de los muestreos del Agua residual doméstica

FASES	PERÍODOS	# DE MUESTRAS DIARIAS	VOLUMEN RECOLECTADO EN CADA MUESTREO	# DE DÍAS DEL MUESTREO	VOLUMEN TOTAL RECOLECTADO
Fase 1	19 de abril al 19 de mayo del 2015	1	3 litros	30	90
Fase 2	20 al 26 de mayo del 2015	2	5 litros	6	60
Fase 3	28 de mayo al 2 de junio del 2015	2	5 litros	6	60
Total					210 litros

Realizado por: Nancy Coronel

En la tabla 3-5 Resultados de los muestreos del A.R.D. se puede observar que para el estudio se utilizaron un total de 210 litros de agua residual doméstica procedente de la comunidad de Langos La Nube

3.3 Adaptación de *Eisenia foétida*

Para este proceso se pesaron 600 g de aserrín y se aspergearon 1200 ml de agua residual sobre él, mantuvo una humedad del 80%, se registró un pH de 6.5 y una temperatura de 20°C en el proceso de adaptación de lombrices duró 7 días.

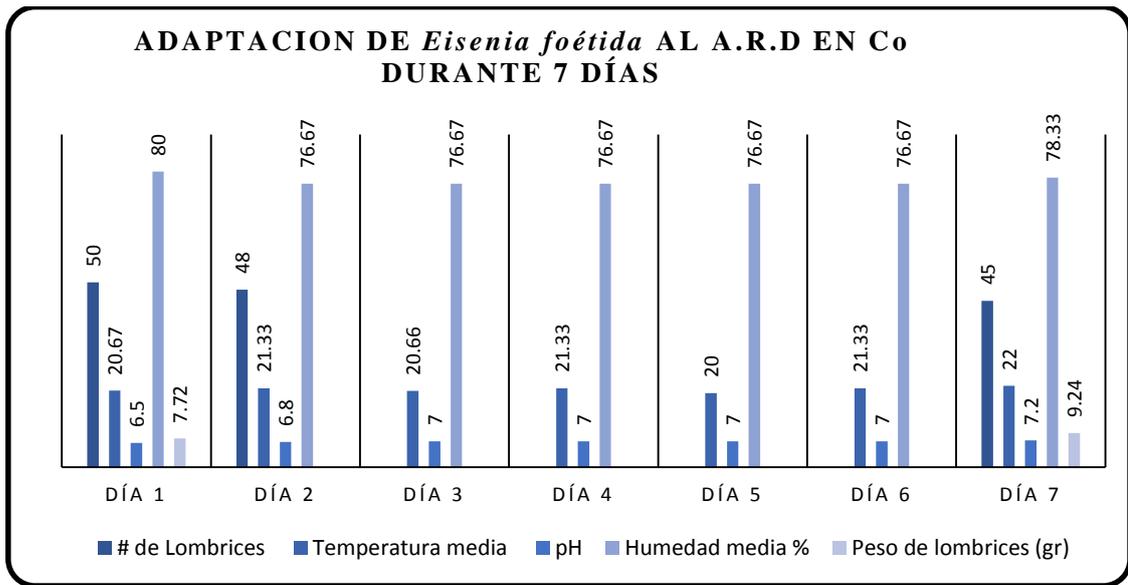
Tabla 3-6: Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en Co

# de días	Cantidad de sustrato preparado	# de Lombrices	Temperatura media °C	pH	Humedad media %	Peso de lombrices (g)
1	70 g	50	20.67	6.5	80	7.72
2		48	21.33	6.8	76.67	
3			20.66	7.0	76.67	
4			21.33	7.0	76.67	
5			20	7.0	76.67	
6			21.33	7.0	76.67	
7		45	22	7.2	78,33	9.24

Realizado por: Nancy Coronel

En la tabla 3-5 Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en Co. Se observa que para la adaptación en Co se pesaron 70 gramos de sustrato previamente preparado se pesaron 50 lombrices (20 lombrices adultas y 30 juveniles) obteniéndose 7.73 g estas lombrices fueron inoculadas y a las 48 horas se realizó el conteo encontrándose 48 lombrices vivas (18 lombrices adultas y 30 lombrices juveniles) que pesaron 7.25 g y al séptimo día se encontraron 45 lombrices vivas registrando un peso de 9.76 g, se observa que pese a los decesos de las lombrices en Co se observó un incremento de biomasa siendo congruente este estudio puesto que en el análisis de (Cajas , 2009, p. 67) indica que en uno de los sustratos utilizados fue aserrín al 100% y que el resultado de la utilización del aserrín pulverizado resultó muy efectivo al utilizarse como sustrato en la alimentación de lombrices, pero únicamente hasta una combinación correspondiente al tratamiento tres (50 % Aserrín + 50 % Estiércol); niveles más altos de aserrín causan un menor rendimiento en la reproducción, calidad del humus y aumentan el tiempo de conversión sustrato fertilizante; lo cual no es conveniente para la producción de humus, sin embargo para nuestro fin resulta de gran utilidad puesto que tarda en descomponerse el material aserrín viruta y este material retiene la materia orgánica siendo esta consumida por las lombrices.

Figura 3-2: Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en Co



Realizado por: Nancy Coronel

En la figura 3-2 Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en Co se puede observar que la humedad media fue controlada de manera adecuada durante los 7 días del proceso, el pH sufrió un ligero incremento posiblemente a causa de la actividad microbiana presente en la biopelícula entre las capas de aserrín viruta humus y piedra y a la acción de las glándulas calcíferas de la lombriz roja californiana, la temperatura media sufrió un poco de variación debido al temporal, se produjeron 2 decesos de lombriz adulta su muerte posiblemente se deba a que no resistieron el cambio de alimentación al que fueron sometidas.

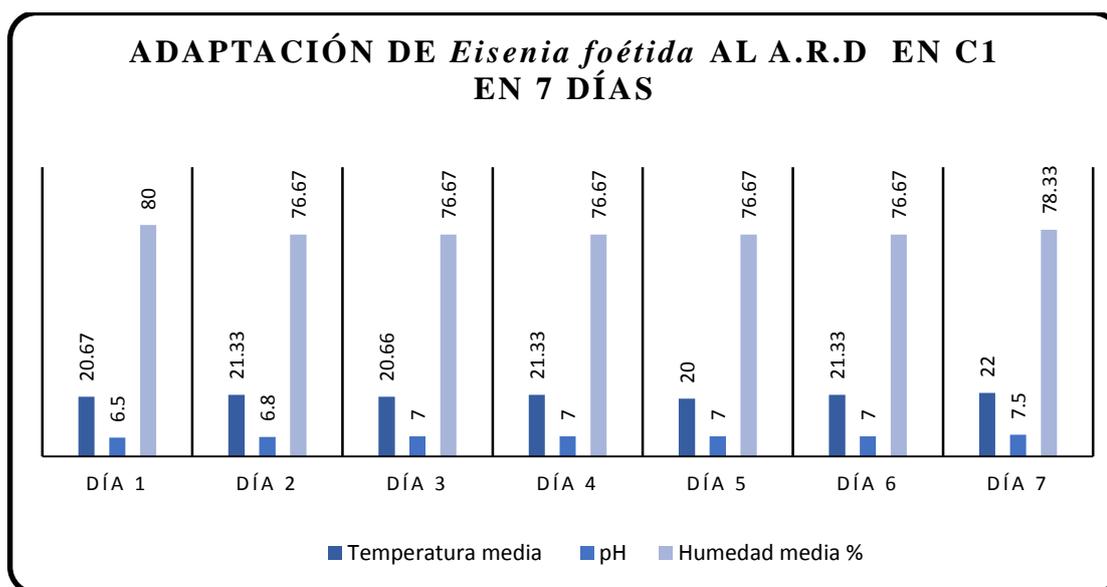
Para el caso de adaptación en C1 se utilizaron 1000 g de sustrato preparado se realizó la inoculación de 400 g de lombrices esta actividad se la realizo en el día a las 8:00 am.

Tabla 3-7: Resultados de la fase de adaptación de la lombriz en C1

# de días	Cantidad de sustrato preparado	Temperatura media	pH	Humedad media %
1	1000 g	20.67	6.5	80
2		21.33	6.8	76.67
3		20.66	7.0	76.67
4		21.33	7.0	76.67
5		20	7.0	76.67
6		21.33	7.0	76.67
7		22	7.5	78.33

Realizado por: Nancy Coronel

Figura 3-3: Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en C1.



Realizado por: Nancy Coronel

En la figura 3-3: Resultados del proceso de adaptación de la lombriz en C1 durante siete días se puede observar que la humedad fue controlada dentro los límites 75-80% en los que se observa que existe un aumento en los valores de pH posiblemente por la actividad microbiana y por el trabajo de la lombriz roja con sus glándulas calcíferas, la temperatura del sustrato presentó variación debido al temporal pero a la vez la variación no fue tan brusca debido a que las lombrices estuvieron adaptadas en un espacio cerrado.

Los decesos de la lombriz en C1 fueron mayoritariamente lombrices adultas esto se debe a que las lombrices adultas posiblemente no resistieron el cambio de alimentación a diferencia de los decesos de las lombrices juveniles que se observaron pocas probablemente por su mayor adaptabilidad a un nuevo sustrato.

3.4 Relleno del tanque de biofiltrado

Sobre el doble fondo se colocó de forma manual: una capa de piedra bola #3 y piedra bola #2 sobre este estrato se añadió grava #2 y #1 este estrato de piedras constituye el 30% del biofiltro cm de altura posteriormente se cubrió con la malla tipo raschell y sobre la malla se colocó una capa constituida por aserrín, viruta y 2 cm de humus esta capa constituye un 70% de la altura del biofiltro según el estudio realizado por (Salazar, 2005, pp. 76,77) y corroborado por (Vicente , 2014, pp. 98,99)

Se dejó un margen de seguridad de 3 cm por lo que los estratos que componen el filtro ocupan una altura de 26 cm, con dichos datos también se calculó el área del tanque de biofiltrado

Cálculo de Capa de piedra.

$$X = \frac{\% \text{ total del estrato piedra} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$X = \frac{30 * 26}{100}$$

$$X = 7.8 \text{ cm}$$

Cálculo de Capa de aserrín-viruta-humus.

$$X = \frac{\% \text{ total del estrato aserrín - viruta - hunus} * \text{altitud util del biofiltro}}{100}$$

$$X = \frac{70 * 26}{100}$$

$$X = 18.2 \text{ cm}$$

Cálculo del % de la capa de humus

$$X = \frac{\text{estrato humus en cm} * 100}{\text{altitud de la capa aserrín viruta humus}}$$

$$X = \frac{2 * 100}{18.2}$$

$$X = 10.98 \%$$

Cálculo de Capa de aserrín

$$X = \frac{\% \text{ estrato humus en cm} * \text{altitud de la capa aserrín viruta humus}}{100}$$

$$X = \frac{55 * 18.2}{100}$$

$$X = 10.01 \text{ cm}$$

Cálculo de Capa de viruta

$$X = \frac{\% \text{ estrato aserrín} * \text{altitud de la capa aserrín viruta humus}}{100}$$

$$X = \frac{34 * 18}{100}$$

$$X = 6.12 \text{ cm}$$

Tabla 3-8: Resultados de los cálculos de los estratos que constituyen el biofiltro

ESTRATOS	%	Altura en cm
pedra	30	8
Aserrín viruta humus	70	18.2
total	100	26.2

Realizado por: Nancy Coronel

En la tabla 3-8: Resultados de los cálculos de los estratos del biofiltro encontramos una altura de 8cm que corresponde al 30% de la capa de piedra, la capa de aserrín, viruta y humus está conformado por una altura de 18.2 cm estos valores fueron calculados a partir de los estudios realizados por (Vicente , 2014, pp. 98-99) en su propuesta de diseño de un sistema de Biofiltro para el tratamiento de aguas residuales producidas en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termopichincha – CELEC EP”

Tabla 3-9: Resultados de los cálculos de los estratos aserrín-viruta-humus.

ESTRATOS	%	Altura en cm
Aserrín	55	10
viruta	34	6
humus	11	2
total	100	18

Realizado por: Nancy Coronel

En la tabla 3-8: Resultados de los cálculos del estrato aserrín-viruta-humus a partir de los cálculos se determinó que el 55 % constituye el estrato aserrín al que le corresponde una altura de 10 cm es el 34% está conformado por viruta al que le corresponde una altura de 6 cm mientras la capa de humus está conformada por un 11% al que conforma una altura de 2 cm

Cálculo del área efectiva del tanque de biofiltrado

$$\text{Área} = L * A$$

Donde:

L= largo del tanque

A= ancho del tanque

$$\text{Área} = (0.50 \text{ m} * 0.29 \text{ m})$$

$$\text{Área} = 0.145 \text{ m}^2$$

$$\text{Área} = 1450 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen útil del tanque de biofiltrado

Donde:

L= largo del tanque

A= ancho del tanque

AE= altura de los estratos

$$V \text{ útil} = L * A * AE$$

$$V \text{ útil} = 0.50 \text{ m} * 0.29 \text{ m} * 0.26 \text{ m}$$

$$V \text{ útil} = 0.0377 \text{ m}^3$$

$$V \text{ útil} = 37.7 \text{ L}$$

$$V \text{ útil} = 37700 \text{ mL}$$

3.5 Medición del caudal de entrada al tanque de biofiltración y medición del caudal de salida del agua biofiltrada

Tabla 3-10: Mediciones de caudal de entrada

Mediciones con la válvula 2 abierta a 90°	Caudal	Media
Medición 1	155 ml/min	152.66 mL/min
Medición 2	151 ml/min	
Medición 3	152 ml/min	
Mediciones con la válvula 2 abierta a 30°	Caudal	Media
Medición 1	105 ml/min	102 mL/min
Medición 2	102 ml/min	
Medición 3	99 ml/min	

Realizado por: Nancy Coronel

Tabla 3-11: Medición del caudal de salida del agua biofiltrada

Mediciones con val 2 abierta a 90°	Caudal	Media
Medición 1	96 ml/min	93.66 mL/min
Medición 2	91 ml/min	
Medición 3	94 ml/min	
Mediciones con val 2 abierta a 30°	Caudal	Media
Medición 1	65 ml/min	63.33 mL/min
Medición 2	62 ml/min	
Medición 3	63 ml/min	

Realizado por: Nancy Coronel

En la tabla 3-10 Mediciones del caudal de entrada se registraron las medidas de caudal siendo el más adecuado el de 102 mL/min y en la tabla 3-11 Medición del caudal de salida del agua biofiltrada. De acuerdo al caudal de entrada se determinó que el caudal de salida es de salida 63.33 mL/min.

3.6 Determinación del crecimiento de la biopelícula

Determinado el caudal de entrada (102 mL/min) se realizaron los cálculos respectivos para el tiempo de retención hidráulica, la carga hidráulica y se determinó el crecimiento de la biopelícula para este proceso se realizaron mediciones de turbidez dos veces al día en el período de 15 días laborables siendo 20 litros de agua residual recirculada.

Cálculo de la carga hidráulica

$$CH = \frac{\text{caudal de entrada}}{\text{area util}}$$
$$CH = \frac{102 \text{ mL/min}}{1450 \text{ cm}^2}$$
$$CH = \frac{102 \text{ cm}^3/\text{min}}{1450 \text{ cm}^2}$$
$$CH = \frac{0.070 \text{ cm}^3}{\text{cm}^2 \text{ min}}$$

Cálculo del tiempo de retención hidráulico.

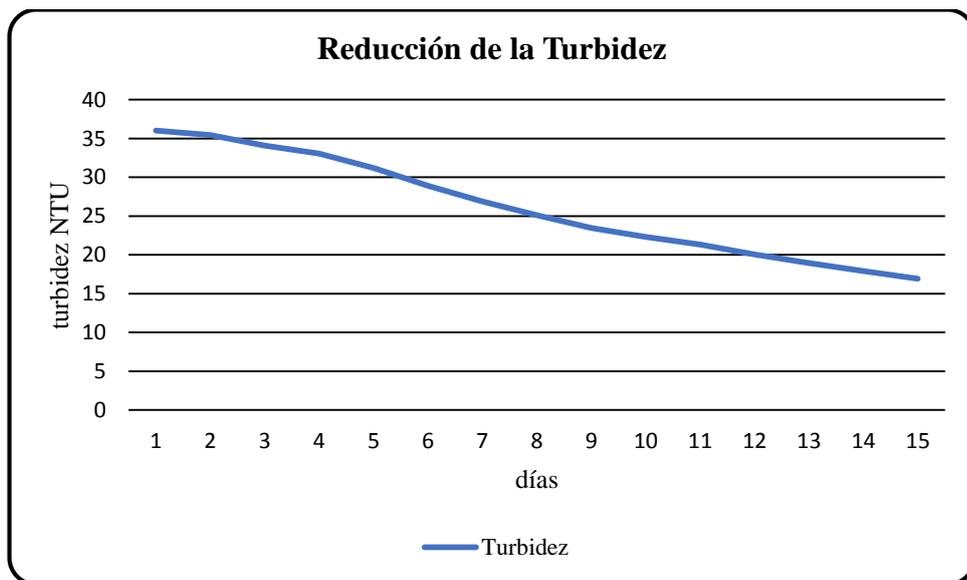
$$TRH = \frac{\text{Volumen util}}{\text{caudal de entrada}}$$
$$TRH = \frac{37700 \text{ mL}}{102 \text{ mL/min}}$$
$$TRH = 369.60 \text{ min} = 6.16 \text{ horas}$$

Tabla 3-12: Mediciones de turbidez para determinar el crecimiento de la biopelícula

Día	Fecha	Medición A.R.D sin filtrar (UNT)	Medición 1 (UNT) 10:00 am	Medición 2 (UNT) 16:00 pm	Media
1	28/04/15	40.5	36.93	35.11	36.02
2	29/04/15		35.91	34.98	35.45
3	30/04/15		34.26	33.91	34.09
4	01/05/15		33.15	32.90	33.03
5	04/05/15		31.49	30.89	31.19
6	05/05/15		29.76	28.02	28.89
7	06/05/15		27.62	26.15	26.89
8	07/05/15		25.77	24.41	25.09
9	08/05/15		23.87	23.06	23.47
10	11/05/15		22.64	22.00	22.32
11	12/05/15		21.67	20.99	21.33
12	13/05/15		20.21	19.89	20.05
13	14/05/15		19.11	18.73	18.92
14	15/05/15		18.02	17.77	17.9
15	18/05/15		17.21	16.58	16.9

Realizado por: Nancy Coronel

Figura 3-4: Variación de la Turbidez



Realizado por: Nancy Coronel

En la figura 3-4 Variación de la turbidez muestra una reducción de la turbidez en el período de 15 días laborables. Cuando la remoción de turbidez fue superior al 50% se determinó que el desarrollo de la biopelícula era el adecuado para el tratamiento posiblemente porque la adhesión de microorganismos estaba bien desarrollada.

3.7 Análisis físico-químicos del agua residual doméstica cruda y tratada

Los análisis de entrada y salida del tanque de biofiltrado se realizaron durante 3 semanas para la primera semana de análisis se homogenizaron las muestras recolectadas en la primera fase, para la segunda semana de análisis se homogenizaron las muestras recolectadas en la fase 2 y para la tercera semana de análisis se homogenizaron las muestras recolectadas en la fase 3, se esperó que las muestras homogenizadas adquieran temperatura ambiente 18° C y se realizó el muestreo del agua cruda y del agua tratada, se rotularon las muestras y fueron transportadas en un cooler al el laboratorio de Análisis Técnicos SAQMIC.

Los datos fueron registrados (ver anexos C-H) para calcular el % de remoción y determinar la eficiencia del tratamiento los cálculos se realizaron según el STANDARMETHOD (American Society Foresting and Materials, 1994) y se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ de remoción} = (\text{afluente} - \text{efluente} / \text{afluente}) * 100$$

Semana 1: 26 de mayo del 2015

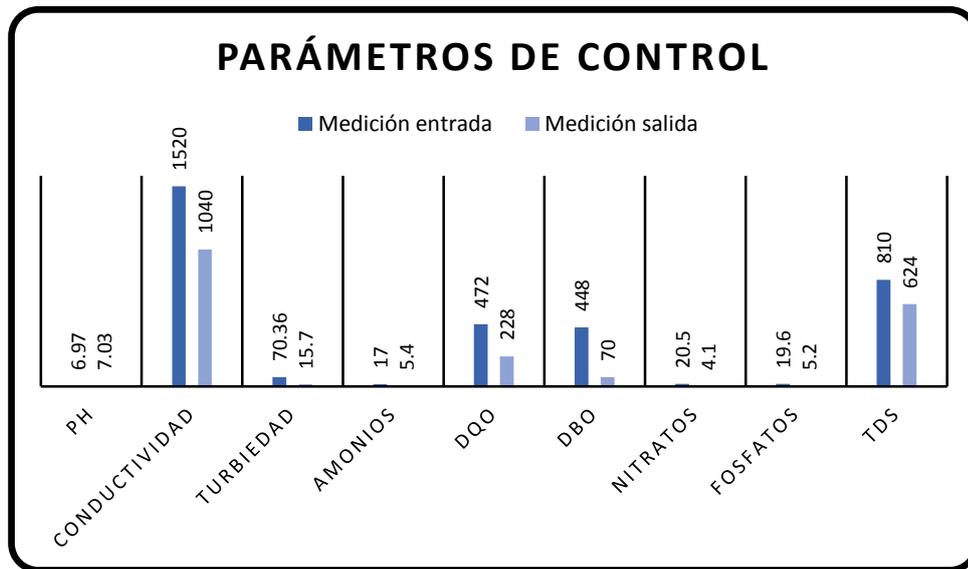
Tabla 3-13: Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 1

Determinaciones	Unidades	Límites	Medición entrada	Medición salida	variación	% de Remoción
pH	Und.	5-9	6.97	7.03	0.06 incremento	
Conductividad	μSiems/cm		1520	1040	480 reducción	
Turbiedad	UNT		70.36	15.7		77.69
Amonios	mg/L		17.0	5.4		68.24
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250	472	228		51.69
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	500	448	70		84.38
Nitratos	mg/L	10	20.5	4.1		80.00
Fosfatos	mg/L	10	19.6	5.2		73.47
Sólidos disueltos totales	mg/L		810	624		22.96
Promedio de las eficiencias						65.49

Realizado por: Nancy Coronel

En la Tabla 3-12 Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 1 se determinaron las características físico-químicas del agua residual procedente de la Comunidad Langos La Nube, para muestra sin tratamiento obtuvimos un pH de 6.97, conductividad de 1520 μSiems/cm, turbiedad 70.36 UNT, amonios 17.0 mg/L, DQO 472 mg/L, DBO₅ 448 mg/L, nitratos 20.5 mg/L, fosfatos 19.6 mg/L y sólidos disueltos totales 810 mg/L. Se realizó una caracterización físico química de los mismos parámetros después del tratamiento a escala piloto en el que se obtuvo un pH de 7.03, conductividad de 1040 μSiems/cm, turbiedad 15. UNT, amonios 5.4 mg/L, DQO 228 mg/L, DBO₅ 70 mg/L, nitratos 4.1 mg/L, fosfatos 5.2 mg/L y sólidos disueltos totales 624 mg/L y obteniéndose un incremento de pH de 0.06 Und., una reducción en la conductividad de 480 μSiems/cm, un porcentaje de remoción de turbiedad 77.69%, un porcentaje de remoción de amonios del 68.24%, un porcentaje de remoción de DQO del 51.69%, un porcentaje de remoción de DBO₅ del 84.38%, un porcentaje de remoción de nitratos del 80.00%, un porcentaje de remoción de fosfatos del 73.47% y un porcentaje de remoción de sólidos disueltos totales del 22.96%, obteniéndose un promedio de eficiencia en este tratamiento de 65.49%. Para esta primera semana de análisis se utilizó un TRH de 6 horas.

Figura 3-5: Comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento semana 1



Realizado por: Nancy Coronel

En la figura 3-5 comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento - semana 1 se puede observar que existe un incremento de pH posiblemente debido a la actividad microbológica a la función de las glándulas calcíferas de las lombrices y en cuanto a parámetros de TDS, turbiedad, DQO, DBO₅, amonios nitratos y fosfatos existe un reducción porque se queda retenida la materia orgánica en los estratos del filtro siendo transformada por la acción de las lombrices.

Semana 2: 03 de junio del 2015

Tabla 3-14: Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 2

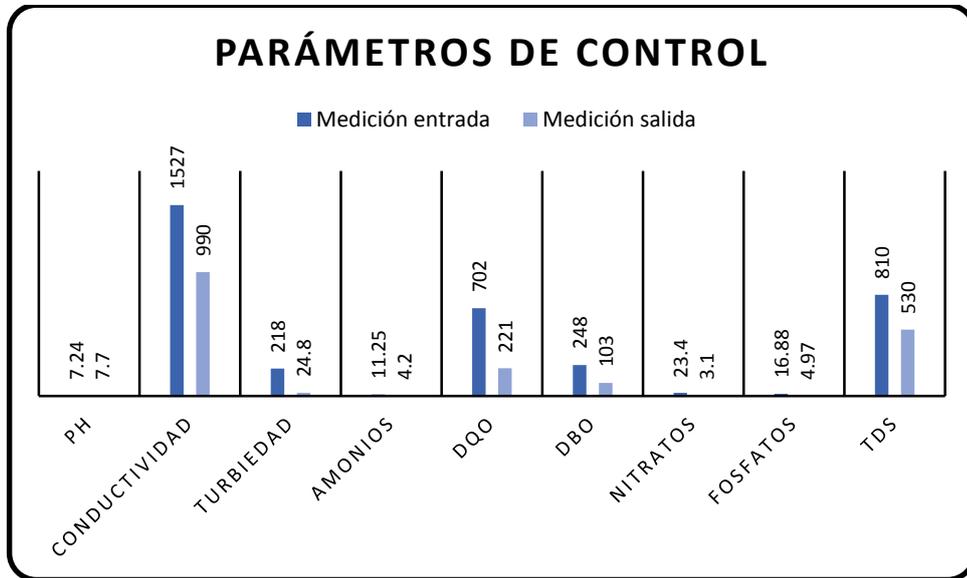
Determinaciones	Unidades	Límites	Medición entrada	Medición salida	Variación	% de Remoción
pH	Und.	5-9	7.24	7.7	0.06 incremento	
Conductividad	μSiems/cm		1527	990	600 reducción	
Turbiedad	UNT		218	24.8		88.62
Amonios	mg/L		11.25	4.2		62.67
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250	702	221		68.52
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	500	248	103		58.47
Nitratos	mg/L	10	23.4	3.1		86.75
Fosfatos	mg/L	10	16.88	4.97		70.56
Sólidos disueltos totales	mg/L		810	530		34.57
Promedio de las eficiencias						68.00

Realizado por: Nancy Coronel

En la Tabla 3-13 Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 2. Se realizó la caracterización físico-químicas del agua residual procedente de la Comunidad Langos La Nube, para muestra sin cruda se obtuvo pH de 7.24 Und, conductividad de 1527 μSiems/cm, turbiedad 218 UNT, amonios 11.25 mg/L, DQO 702 mg/L, DBO₅ 248 mg/L, nitratos 23.4 mg/L, fosfatos 16.88 mg/L y sólidos disueltos totales 810 mg/L. Se realizó una caracterización físico química de los mismos parámetros después del tratamiento de biofiltración a escala piloto en el que se obtuvo un pH de 7.7, conductividad de 990 μSiems/cm, turbiedad 24.8 UNT, amonios 4.2 mg/L, DQO 221 mg/L, DBO₅ 103 mg/L, nitratos 3.1 mg/L, fosfatos 4.97 mg/L y sólidos disueltos totales 624 mg/L y obteniéndose un incremento de pH de 0.06 Und., una reducción en la conductividad de 530 μSiems/cm, teniendo un porcentaje de los parámetros turbiedad 88.62 %, amonios 62.67%, DQO 68.52%, DBO₅ 58.47%, nitratos 86.75%, fosfatos 70.56% y sólidos disueltos totales 34.57%, obteniéndose un promedio de eficiencia en este tratamiento de 68.00%. Para esta segunda semana de análisis de utilizó un TRH de 6 horas. Pese a que los valores de DBO₅ son menores a

la norma se puede observar que el sistema es eficiente en una reducción de DBO₅ y de los otros parámetros analizados.

Figura 3-6: Comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento semana 2



Realizado por: Nancy Coronel

En la figura 3-6 comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento - semana 2, al igual que en la semana 1 de análisis se puede observar un ligero incremento de pH posiblemente debido a la actividad microbiológica y a la función de las glándulas calcíferas de las lombrices, en cuanto a parámetros de TDS, turbiedad, DQO, DBO, amonios nitratos y fosfatos existe un reducción porque se queda retenida la materia orgánica en los estratos del filtro siendo transformada por la acción de las lombrices.

Semana 3: 10 de junio del 2015

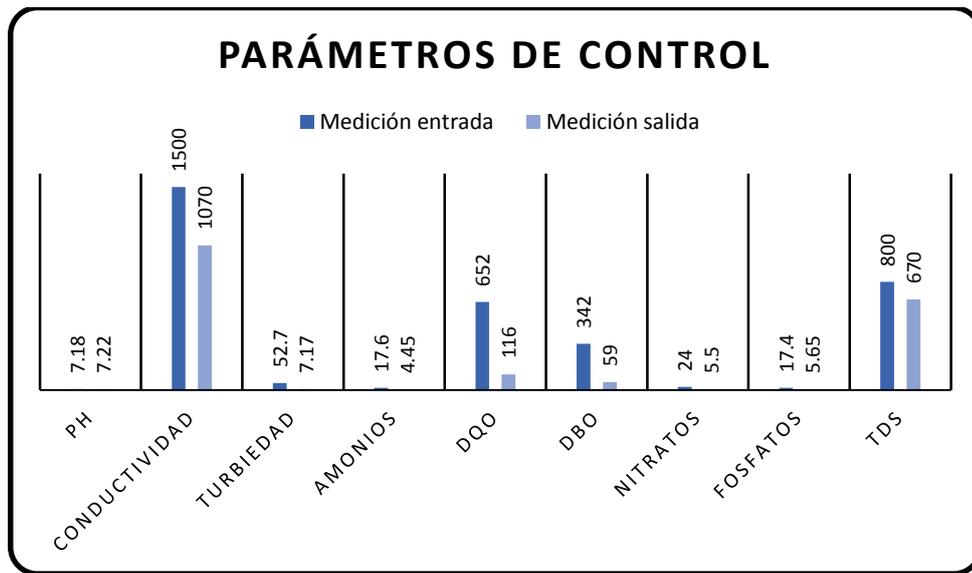
Tabla 3-15: Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 3

Determinaciones	Unidades	Límites	Medición entrada	Medición salida	Variación	% de Remoción
pH	Und.	5-9	7.18	7.22	0.04 incremento	
Conductividad	μSiems/cm		1500	1070	430 reducción	
Turbiedad	UNT		52.7	7.17		86.39
Amonios	mg/L		17.6	4.45		74.72
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	250	652	116		82.21
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	500	342	59		82.75
Nitratos	mg/L	10	24.0	5.5		77.08
Fosfatos	mg/L	10	17.4	5.65		67.53
Sólidos disueltos totales	mg/L		800	670		16.25
Promedio de las eficiencias						69.48

Realizado por: Nancy Coronel

En la Tabla 3-14 Resultados de los análisis antes y después de la filtración semana 3. Mediante la caracterización físico-químicas del agua residual procedente de la Comunidad Langos La Nube, para muestra sin tratamiento se obtuvo pH de 7.18 Und, conductividad de 1500 μSiems/cm, turbiedad 52.7 UNT, amonios 17.6 mg/L, DQO 652 mg/L, DBO₅ 342 mg/L, nitratos 24.0 mg/L, fosfatos 17.4 mg/L y sólidos disueltos totales 800 mg/L. Se realizó una caracterización físico química de los mismos parámetros después del tratamiento de biofiltración a escala piloto en el que se obtuvo un pH de 7.22, conductividad de 1070 μSiems/cm, turbiedad 7.17 UNT, amonios 4.45 mg/L, DQO 116 mg/L, DBO₅ 59 mg/L, nitratos 5.5 mg/L, fosfatos 5.65 mg/L y sólidos disueltos totales 670 mg/L y obteniéndose un incremento de pH de 0.04 Und., una reducción en la conductividad de 430 μSiems/cm, y se obtuvieron porcentajes de remoción de turbiedad 86.39 %, amonios 74.72%, DQO 82.21%, DBO₅ 82.75%, nitratos 77.08%, fosfatos 67.53% y sólidos disueltos totales 16.25%, obteniéndose un promedio de eficiencia en este tratamiento de 69.48%. Para esta tercera semana de análisis se utilizó un TRH de 12 horas.

Figura 3-7: Comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento semana 3



Realizado por: Nancy Coronel

En la figura 3-6 comparación de la caracterización del agua antes y después del tratamiento - semana 3. Se puede observar que existe un incremento de pH posiblemente debido a la actividad microbológica y a la función de las glándulas calcíferas de las lombrices, en cuanto a parámetros de TDS, turbiedad, DQO, DBO₅, amonios nitratos y fosfatos existe un reducción porque se queda retenida la materia orgánica en los estratos del filtro siendo transformada por la acción de las lombrices.

En su propuesta de diseño de un sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales producidas en la central termoeléctrica sachá de la unidad de negocio Termopichincha – CELEC EP (Vicente , 2014, p. 97) indica que las características físicas, químicas y biológicas del agua residual tratada en la Central Sachá en el Biofiltro experimental 1 (empaque de aserrín y viruta), de acuerdo a los informes de laboratorio, la mayoría de parámetros medidos alcanzaron valores fuera de la norma ambiental vigente y aplicable al sector termoeléctrico por lo que se demostró poca eficiencia en la aplicabilidad para este tratamiento.

Sin embargo en los análisis de caracterización de las aguas residuales domésticas antes y después del tratamiento aplicado con el biofiltro Tohá se obtuvieron eficiencias en la semana 1 de 65.49% utilizando TRH de 6 horas , en la semana 2 un a eficiencia de un 68.00% utilizando un TRH de 6, y en la semana 3 una eficiencia de 69.48% con un TRH de 12 horas, lo que nos indica que probablemente el biofiltro en el transcurso del tiempo alcanza una mayor estabilidad y un mayor crecimiento microbial en la biopelícula y posiblemente la actividad de las lombrices se

incrementa, y es posible que pueda aumentar más la eficiencia al colocar mayor número de lombrices en el lecho con esto puede ser viable para que la materia orgánica que fuese retenida en las capas del biofiltro no sean arrastradas al aspergear una nueva carga de agua residual, además de manejar mayores tiempos de retención hidráulica como lo dice (Mendieta, 2012, p. 115) en su estudio de tratabilidad de las aguas residuales de una empacadora de camarón en la degradación de materia orgánica mediante la aplicación y adaptación de lombrices acuáticas en el que alcanza niveles de remoción de hasta un 93%

3.8 Mantenimiento del biofiltro Tohá

Se realizó la desmalezación cada 15 días, el horqueteo se hizo diariamente una vez al día, la cosecha de humus incompleto se realizó en dos meses.

CONCLUSIONES

Se construyó una planta de tratamiento biológico a escala de laboratorio, conformada por un tanque de homogenización, un tanque de biofiltración, un sistema de impulsión, una red de distribución (aspersión), un tanque de almacenamiento y desinfección, para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la Comunidad Langos La Nube.

Las muestras fueron homogenizadas en el tanque homogenizador, luego pasó al biofiltro, a través de un sistema de aspersión con la utilización de una bomba sumergible que fue conectada al aspersor mediante una manguera flex de riego de ½", el biofiltro constó con un sistema de ventilación ubicado en las partes laterales del tanque de biofiltración, además de constar de una gradilla que actúa como un falso fondo. Se utilizó piedra bola y grava como medio de soporte y como medio filtrante se utilizaron viruta, aserrín, humus. El agua tratada por gravedad se dirigió al tanque de almacenamiento y desinfección, previamente atravesando la trampa de lombrices.

Para el óptimo funcionamiento del biofiltro se utilizó un caudal de entrada al tanque de biofiltración de 102 mL/min un área superficial de 0.145 m², un volumen útil del tanque de biofiltración de 37.7 Litros, un volumen del tanque de almacenamiento y desinfección de 58.812 litros una carga hidráulica de 0.07 cm³/cm²min, un tiempo de retención hidráulica de 6 horas y un tambor homogenizador con capacidad de 60 litros. El filtro tiene capacidad de filtrar hasta 12 litros por día y los estratos del filtro fueron constituidos por un 30% de piedra bola y grava, un 70% de aserrín – viruta y humus.

Se caracterizó mediante un análisis físico-químico las aguas residuales antes y después del tratamiento biológico, se obtuvo un mayor porcentaje de remoción de DBO₅ en el primer tratamiento dando como resultado el análisis de cruda un pH de 6.97, conductividad de 1520 μSiems/cm, turbiedad 70.36 UNT, amonios 17.0 mg/L, DQO 472 mg/L, DBO₅ 448 mg/L, nitratos 20.5 mg/L, fosfatos 19.6 mg/L y sólidos disueltos totales 810 mg/L mientras que la caracterización del agua tratada dio como resultado un pH de 7.03, conductividad de 1040 μSiems/cm, turbiedad 15. UNT, amonios 5.4 mg/L, DQO 228 mg/L, DBO₅ 70 mg/L, nitratos 4.1 mg/L, fosfatos 5.2 mg/L y sólidos disueltos totales 624 mg/L por lo que se lograron porcentajes de remoción en los parámetros de turbiedad 77.69%, amonios del 68.24%, DQO del 51.69%, DBO₅ del 84.38%, nitratos del 80.00%, fosfatos del 73.47% y sólidos disueltos totales del 22.96%, obteniéndose un promedio de eficiencia en este tratamiento de 65.49% y se obtuvo un incremento de pH de 0.06 Und., una reducción en la conductividad de 480 μSiems/cm, para este tratamiento se utilizó un TRH de 6 horas

La biofiltración es un tratamiento biológico eficiente y factible para la depuración de aguas residuales domésticas dentro de este sistema encontramos ventajas como: no produce lodos inestables porque se degradan todos los sólidos orgánicos presentes en el agua residual doméstica, los costos en cuanto a operacionalización son bajos pues no requieren de personal calificado, no requiere de impermeabilización puesto que la actividad dinámica de las lombrices favorecen la creación de canales en todo el sistema por lo que permiten que exista una mayor porosidad y permeabilidad en los estratos que componen el biofiltro además como subproducto se obtuvo humus y como desventajas tenemos que el sistema este sistema no es eficiente a cuanto a color del agua tratada, se debe colocar nuevamente aserrín y viruta cuando se realice la extracción del humus se requiere de energía eléctrica para su funcionamiento pese a que el consumo energético es bajo el inconveniente se da cuanto no se cuenta con energía eléctrica porque este sistema necesita de bombeo, el biofiltro Tohá debe ser irrigado por el agua residual doméstica de una manera constante, este sistema atrae vectores como ratas y moscas.

RECOMENDACIONES

Sustituir el aspersor fijo por un aspersor giratorio automático para favorecer a la distribución homogénea del agua residual doméstica y evitar que esta salga del tanque de biofiltrado y colocar un filtro de carbono para exista mayor retención de TDS

Mejorar el diseño del biofiltro para que se facilite el proceso de desinfección se sugiere hacer una cámara de desinfección con rayos UV

Realizar un estudio con pruebas moleculares para determinar la composición y la estructura del consorcio microbiano que constituye el biofilm en los estratos del tanque de biofiltración.

Utilizar diferentes TRH para determinar cuál es el valor adecuado para su un mayor eficiencia e implementar un sistema recirculación para favorecer la reducción de algunos parámetros (D.B.O₅, D.Q.O y fósforo) en caso de ser necesario.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE , Mauricio., et al: *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales*. Cochabamba-Bolivia: Antequera Durán, 2010, pp. 53-83.

ARANGO, Jessica. *Evaluación Ambiental del Sistema Tohá en la Remoción de Salmonella en Aguas Servidas Domésticas*, Tesis posgrado (Magister en gestión y planificación ambiental) Santiago-Chile: Universidad de Chile, Departamento de postgrado y título, 2003, pp. 22-29,32-37,43,66.

ARNAIZ, Carmen; et al: "Tratamiento Biológico de Aguas Residuales". *Revista Tecnología del Agua*, 2000, pp.1-7.

CAJAS , Sonia. *Efecto de la Utilizacion de Aserrin en Combinacion con Estiercol Bovino como Sustrato en la Produccion de Humus de Lombriz Eisenia foétida (Lombriz Roja Californiana)*. Tesis pregrado (Ingeniero Zootecnista) Riobamba-Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, 2009, pp. 22-66.

CERRO CARPIO, Migueli. *Composición Cualitativa de las Aguas Residuales*. [En línea]. España: olivacordovesa, 2009. [Consulta:13 de febrero 2015]. Disponible en:
<http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>

COLOMBRIZ. *Proyecto Colombriz* [En línea]. Colombia: Lombriz Roja Californiana, 2013. [Consulta:13 de enero 2015]. Disponible en:
<https://www.xing.com/communities/posts/proyecto-colombriz-1001284661>

COMPAGNONI, Luigui. & PTZOLU, Giovanni. *Cria Moderna de Lombrices y Utilización Rentable de Humus*. Barcelona-España: Vecchi S.A., 1998, p. 35.

CONAMA. *Tecnología de lombrifiltros*. [En línea]. Chile: Tecnología no convencional de filtro Biológico, 2013. [Consulta: 13 de enero 2015] Disponible en: [_www.sinia.cl/1292/articles-49990_09.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_09.pdf)

CRESPO , Raúl., et al.: "Producción de Humus de lombriz en Cuba. Aplicaciones y Resultados" *Observatorio de la Economía Latinoamericana.* n° 169 (2012), (Cuba) pp. 112-114

CRITES, Ron. & TCHOBANOGLIOUS, George, *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.* 2ª ed, Bogotá-Colombia: Mc Graw-Hill, 2000, pp. 23-54.

EWEIS, Juana., et al.: *Principios de biorrecuperación.* Madrid-España: McGraw-Hill, 1999 p. 50.

FAJARDO , Daniel. *La revolución de las lombrices sustentables* [blog]. Chile: 2013
Disponibile en: <http://www.hubsustentabilidad.com/la-revolucion-de-las-lombrices-sustentables/>

GA, Gabriel. *Escritorio Biológico. B.R.CH* [blog]. 2014. Disponible en:
<http://gabrielescritoriobiologico.blogspot.com/2014/05/los-biofilms-microbianosenperspectiva.html>

GUZMAN, Marcelo. *Estudio de Factibilidad de la Aplicación del Sistema Tohá en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valdivia,* Tesis pregrado (Ingeniero civil en obras civiles) Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, Escuela de ingeniería civil en obras civiles, 2004. pp. 32-43

HERNÁNDEZ , Yessica. *Anteproyecto de Construcción para la Aplicación de Lombricultura al Tratamiento de la Planta Llau-Llao de Salmoera Invertec S.A,* Tesis pregrado (Ingeniero en construcción civil) Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, Escuela de construcción civil, 2005. pp.23-24,51-52,112,122.

INDUAMBIENTE. "El Poder Biológico". *Revista de Descontaminación Industrial Recursos Energéticos y Ecología,* n° 125 (2013), (Chile) pp. 106-108.

INFRAPLAST. *Modelo lombrisan para superficie y modelo lombrisan modelo para enterrar* [blog]. 2015. Disponible en: http://infraplast.estudiosuma.cl/?page_id=94

JIMENEZ, Blanca. *Contaminación Ambiental en México. Causas, Efectos y Tecnología Apropiaada.* México DF: Limusa, 2001, p. 133.

JORDÁN, Xavier. *Biofiltro la Nueva Tecnología.* Medellín-Colombia: Gitana, 2005, pp.86-90.

KAPDAN, Ilgi. & OZTEKIN, Rukiye. "Journal of Hazardous Materials" *The effect of hydraulic residence time and time and initial COD concentration on color and COD removal performance of the anaerobic- SBR system*, Vol. 136, Issue 3 (2006), (United State of America) pp. B 136,896-901.

KAYRANLI, Birul. & UGURLU, Aysenur. "Desalination". *Effects and temperature and biomass concentration on the performance of anaerobic sequencing batch reactor treating low strength wastewater*, Vol. 278, Issue 1-3 (2011), (United State of America) pp. 1-7.

LAMINE, Mona, et al.: "Desalination". *Biological treatment of grey water using batch reactor*, Vol. 215, Issue 1-3 (2007), (United State of America) pp. 127-132.

MARA, Duncan. *Sewage Treatment in Hot Climates*. London-Inglaterra., John Wiley and sons, 1993 p. 7.

MARSILLI, Alejandro. *Aguas Residuales*. [En línea]. Colombia: Tratamiento de Aguas Residuales. [Consulta:10 de febrero 2015]. 2005. Disponible en:
<http://www.tierramor.org/Articulos/tratagua.htm>

MEJÍA, Pedro. *Manual Lombricultura*. Santiago-Chile: Universitaria, 2006. pp.6,13-14,22,33-34,40,43

MENDIETA, Jairo. *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), Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, , 2012, pp. 112-114,115.

MENDONÇA, Sergio. *Sistemas de Lagunas de Estabilización como Utilizar Aguas Residuales Tratadas en Sistemas*. Santa fé(Bogotá): Mc. Graw Hill, 2000, p. 26.

MERLI , Gustavo. & Ricciouti, Néstor. *Microbiología de Aguas Residuales*. [En línea] *Aplicacion de Biosólidos en Suelo*. [Consulta:05 de febrero 2015]. 2009. Disponible en:
http://www.edutecne.utn.edu.ar/sem_fi_qui_micrb_09/biosolidos_en_suelo.pdf

METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*: Madrid-España: McGraw-Hill Interamericana:1995, pp. 508-515;538-551;555-557;605-682.

MUÑOZ José. *Uso de Humedales para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua*, Veracruz. Puebla: 2009, pp. 6-9.

PANT, Deepack et al.: "Bioresource technology" *A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production*. Vol. 26 (2010), (United State of America) pp. 1-7.

PHILIPS, P. et al.: *Wounds International*. [En línea] Biopelícula: [Consulta: 10 febrero 2015]: 2010. Disponible en: www.woundsinternational.com/pdf/content_10739

RAMALHO Rubens. *Tratamiento de Aguas Residuales*: Barcelona-España: Reverté, S.A, 1993, pp. 29-35.

RAMOS , Y. & URIBE, I. *redisa.uji.es*. [En línea] *Planta Piloto para Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de Acesco por Medio de Humedales Construidos – Láminas Filtrante*. [Consulta: 11 febrero 2015]: 2009. Disponible en:
<http://www.redisa.uji.es/artSim2009/Tecnologia/Planta%20piloto%20para%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales%20de%20acesco%20por%20medio%20de%20humedales%20construidos.pdf>

RODRÍGUEZ, Fabian. *Lombricultura para Pequeños Emprendedores*. Argentina. :La Quimera. 2005. pp. 1,2,6.

ROJAS, Leonardo. "Preparacion y Utilizacion de Compost en Hortalizas". *Inia Huasi*, Vol. 19. n°3. (2004), (United State of America) p. 19.

ROMERO, Jairo. *Calidad del Agua*. Bogotá: Nomos S.A. 2002. p. 34.

SALAZAR, Patricia. *Sistema Tohá: Una Alternativa Ecológica para Tratamiento de Aguas Residuales en Sectores Rurales*, Tesis (Constructor Civil), Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil, Chile, 2005, pp. 4,39,70-77.

SANS, Ramón. & DE PABLO, Joan. *Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos*. Barcelona-España: MARCOMBO S.A. 1999, p. 11.

SCHEUMANN , R. & KRAUME, M. "Desalination". *Influence of hydraulic retention time on the operation of a submerged membrane sequencing batch reactor (SM-SBR) for the treatment of greywater*, Vol. 28, Issue (2009), (United State of America) pp. 246,444-451.

SHULD, Miguel. & de BELASTEGUI, H. *Consideraciones acerca del origen de los materiales destinados al vermicompostaje y su destino como abono*. Buenos Aires-Argentina: Ediciones Sur, 1995, pp. 102-107.

TORTORA Gerard , et al.: *Introducción a la microbiología*. 9^a ed. Buenos Aires-Argentina: Panamericana, 2007, pp. 178, 988.

VICENTE , Jimmy. *Propuesta de Diseño de un Sistema de Biofiltro para el Tratamiento de Aguas Residuales Producidas en la Central Termoeléctrica Sacha de la Unidad de Negocio Termo Pichincha CELEC EP*. Tesis pregrado (Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales), Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quito - Ecuador. 2014, pp. 97-99.

ANEXOS A: ADAPTACIÓN DE *Eisenia foétida* AL A.R.D EN Co

# de días	Fecha	# de lombrices inoculadas	Hora	Temperatura °C	Humedad %	pH	Proceso
1	10/02/2015	50	8:00	20	80	6.5	
1			13:00	22	80		
1			18:00	20	80		
2	11/02/2015		8:00	20	70	6.8	Aspergeo de A.RD
2			13:00	22	80		
2			18:00	22	80		
3	12/02/2015	48 vivas (7.25 gr)	8:00	22	70	7	Aspergeo de A.RD Conteo, pesaje de lombrices y aspergeo A.R.D
3			13:00	20	80		
3			18:00	20	80		
4	13/02/2015		8:00	22	70	7	Aspergeo A.R.D
4			13:00	22	80		Aireación
4			18:00	20	80		
5	14/02/2015		8:00	20	70	7	Aspergeo A.R.D
5			13:00	20	80		
5			18:00	20	80		
6	15/02/2015		8:00	20	70	7	Aspergeo A.R.D
6			13:00	22	80		
6			18:00	22	80		
7	16/02/2015		8:00	22	75	7.2	Aspergeo A.R.D
7			13:00	22	80		
7			18:00	22	80		Conteo 45 lombrices vivas
		Peso inicial 7.73 g		Media 21.05 °C	Media 77.38%	Media 6.93	Peso Final 9.76 g

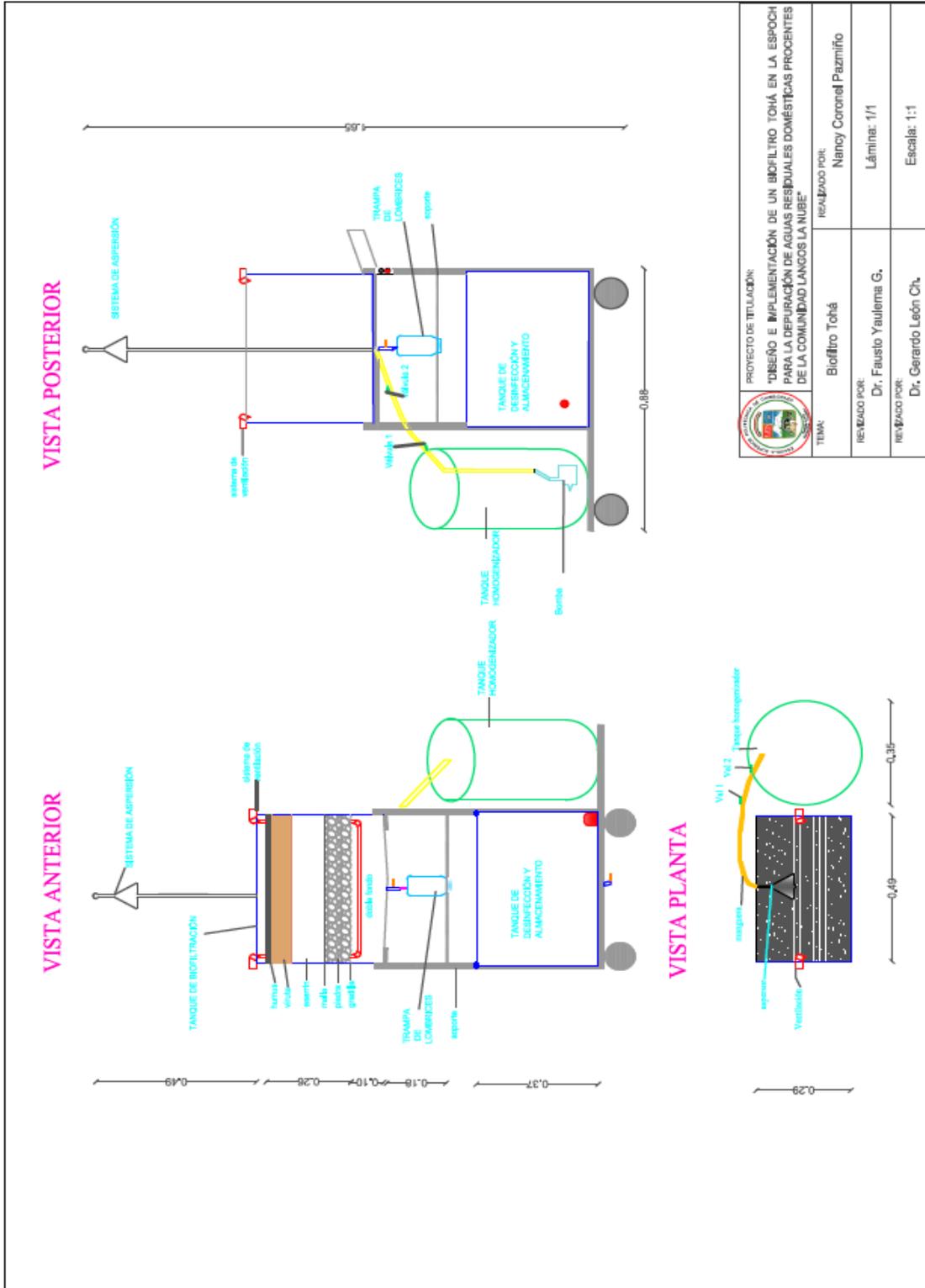
Realizado por: Nancy Coronel

ANEXOS B: ADAPTACIÓN DE *Eisenia foétida* AL ARD EN C1

# de días	Fecha	Hora	Temperatura °C	Humedad %	pH	Proceso
1	10/02/2015	8:00	20	80%	6.5	
1		13:00	22	80%		
1		18:00	20	80%		
2	11/02/2015	8:00	20	70%	6.8	Aspergeo de A.R.D
2		13:00	22	80%		
2		18:00	22	80%		
3	12/02/2015	8:00	22	70%	7	Aspergeo de A.R.D
3		13:00	20	80%		
3		18:00	20	80%		
4	13/02/2015	8:00	22	75%	7	Aspergeo de A.R.D
4		13:00	22	80%		Aireación
4		18:00	20	80%		
5	14/02/2015	8:00	20	70%	7	Aspergeo de A.R.D
5		13:00	20	80%		
5		18:00	20	80%		
6	15/02/2015	8:00	20	75%	7	Aspergeo de A.R.D
6		13:00	22	80%		
6		18:00	22	80%		
7	16/02/2015	8:00	22	75%	7.5	Aspergeo de A.R.D
7		13:00	22	80%		
7		18:00	22	80%		
			Media 21.05 °C	Media 78%	Media 6.97	

Realizado por: Nancy Coronel

ANEXOS C: ESQUEMA DEL BIOFILTRO TOHÁ



ANEXOS D: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
DOMÉSTICA – SEMANA 1



Contactanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Nancy Coronel
Fecha de Análisis: 19 de mayo del 2015
Fecha de Entrega de Resultados: 26 de mayo del 2015
Tipo de muestras: Agua residual doméstica cruda
Localidad: Comunidad Langos La Nube Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/065-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	6.97
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1520
Turbiedad	UNT	2130-B		70.36
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		17.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	472
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	448
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		20.5
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		19.6
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-B		810

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXOS E: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA TRATADA
SEMANA 1



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Nancy Coronel
Fecha de Análisis: 19 de mayo del 2015
Fecha de Entrega de Resultados: 26 de mayo del 2015
Tipo de muestras: Agua residual domestica tratada
Localidad: Comunidad Langos La Nube Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/066-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7.03
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1040
Turbiedad	UNT	2130-B		15.7
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		5.4
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	228
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	70
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		4.1
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		5.2
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-B		624

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXOS F: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
DOMÉSTICA - SEMANA 2



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Nancy Coronel

Fecha de Análisis: 27 de mayo del 2015

Fecha de Entrega de Resultados: 3 de junio del 2015

Tipo de muestras: Agua residual domestica cruda

Localidad: Comunidad Langos La Nube Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/070-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7.24
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1527
Turbiedad	UNT	2130-B		218
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		11.25
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	702
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	248
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		23.4
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		16.88
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-B		810

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXOS G: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
TRATADA - SEMANA 2



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Nancy Coronel
Fecha de Análisis: 27 de mayo del 2015
Fecha de Entrega de Resultados: 3 de junio del 2015
Tipo de muestras: Agua residual domestica tratada
Localidad: Comunidad Langos La Nube Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/071-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7.7
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		990
Turbiedad	UNT	2130-B		24.8
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		4.2
Demanda Quimica de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	221
Demanda Bioquimica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	103
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		3.1
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		4.97
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-B		530

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

**ANEXOS H: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
DOMÉSTICA SEMANA 3**



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Nancy Coronel
Fecha de Análisis: 3 de junio del 2015
Fecha de Entrega de Resultados: 10 de junio del 2015
Tipo de muestras: Agua residual cruda
Localidad: Comunidad Langos La Nube Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/081-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7.18
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1500
Turbiedad	UNT	2130-B		52.7
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		17.6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	652
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	342
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		24.0
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		17.4
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-B		800

*Métodos Normalizados: APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXOS I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL AGUA TRATADA -
SEMANA 3



Contáctanos: 0993387300 - 032924322 ó 0993806600 – 032360260
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Srta. Nancy Coronel
Fecha de Análisis: 3 de junio del 2015
Fecha de Entrega de Resultados: 10 de junio del 2015
Tipo de muestras: Agua residual tratada
Localidad: Comunidad Langos La Nube Cantón Guano

TRABAJO DE TESIS DE GRADO

Código LAT/082-15

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	7.22
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		1070
Turbiedad	UNT	2130-B		7.17
Amonios	mg/L	4500-NH4-C		4.45
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	116
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	59
Nitratos	mg/L	4500-NO3 C		5.5
Fosfatos	mg/L	4500- P-D		5.65
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	2540-B		670

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

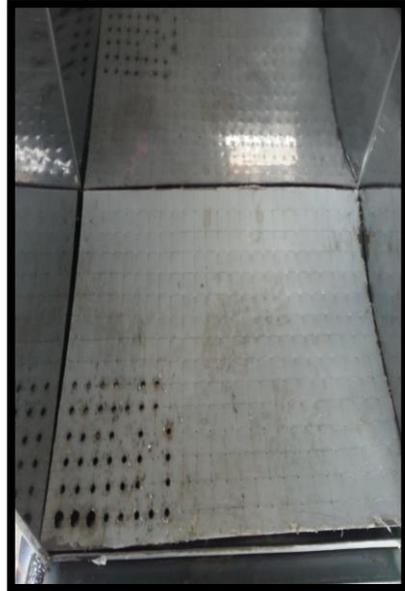
ANEXOS J: FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍAS 1. CONSTRUCCIÓN DEL BIOFILTRO

Tanques de biofiltración , desinfección y tambor homegenizador.



Perforación de la lámina de acero para el doble fondo



Doble fondo del tanque homogenizador sistema de ventilación



Soporte de metal para el sistema de biofiltración



Sistema de aspersión y ventilación del tanque de biofiltración.



Perforación de la lámina de acero para el doble fondo



FOTOGRAFÍAS 2. MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA COMUNIDAD LANGOS LA NUBE

Caja de revisión



Muestra de agua residual doméstica.



FOTOGRAFÍAS 3. ADAPTACIÓN DE LAS LOMBRICES AL A.R.D.

Pesando aserrín.



Preparación del sustrato



Inoculación de lombrices en Co



Inoculación de lombrices en C1



Lombrices adaptadas en Co



Lombrices adaptadas en C1



FOTOGRAFÍAS 4. RELLENO DEL TANQUE DE BIOFILTRACIÓN

Estrato de piedras



Capas de aserrin y viruta



Colocación de la capa de humus sobre los estratos aserrín y viruta



Presencia de lombrices entre los estratos del biofiltro



FOTOGRAFÍAS 5. FUNCIONAMIENTO DEL BIOFILTRO TOHÁ

Colocar el A.R.D en el tambor homogenizador



Aspergeo del A.R.D en el tanque de biofiltración



Agua Residual Tratada (salida del tanque de almacenamiento)



Muestras antes de la aplicación del sistema de biofiltración Tohá



Muestras antes y después del tratamiento



**FOTOGRAFÍAS 5. ANÁLISIS DE TURBIDEZ PARA DETERMINACIÓN DEL
CRECIMIENTO DE LA BIOPELÍCULA**

Análisis de turbidez

