



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

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO BIOLÓGICO
COMPUESTO DE *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES EN LA GRANJA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA,
GANADERIA, ACUACULTURA Y PESCA, RIOBAMBA 2015“.

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

AUTOR: JENNIFFER ALEXANDRA CAICEDO CAMPOVERDE

TUTORA Dra. SUSANA ABDO

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: El trabajo experimental: **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO BIOLÓGICO COMPUESTO DE *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA GRANJA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, ACUACULTURA, GANADERIA Y PESCA, RIOBAMBA 2015.”**, de responsabilidad de la Egresada Srta. Jenniffer Alexandra Caicedo Campoverde ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dra. Susana Abdo

**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Dra. Yolanda Díaz

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Yo, Jenniffer Alexandra Caicedo Campoverde, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el trabajo de titulación **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO BIOLÓGICO COMPUESTO DE *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA GRANJA DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, ACUACULTURA, GANADERIA Y PESCA, RIOBAMBA 2015.**” y el patrimonio intelectual de la Trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

JENNIFFER ALEXANDRA CAICEDO CAMPOVERDE

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme y formarme académicamente, especialmente a la Dra. Susana Abdo y Dra. Yolanda Díaz, por su valiosa ayuda guía para desarrollar esta investigación.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme en este camino por darme la fortaleza para seguir adelante

A mis padres Maritza y Cesar por su apoyo incondicional. A mi hermano por sus palabras de ánimo y aliento y sobre todo su apoyo. A mi hija por ser parte de mi vida por darme una razón más para seguir adelante.

Jennifer

INDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Celsius
MAGAP	Ministerio de Agricultura Ganaderia Acuicultura y Pesca
CO₂	Dióxido de Carbono
CH₄	Metano
N	Nitrógeno
H₂O	Agua
C	Carbono
H	Hidrógeno
O	Oxígeno
μS/cm	Micro Siemens por centímetro
P	Fósforo
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
PH	Potencial de Hidrógeno
h	Horas
min	Minutos
g	Gramos
kg	Kilogramos
m	Metro
cm	Centímetro
cm²	Centímetro Cuadrado
m²	Metro cuadrado
m³	Metro Cúbico
%	Porcentaje
TRH	Tiempo de Retención Hidráulico
PVC	Policloruro de Vinilo

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	XII
ABSTRAC	XIII
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	3
ANTECEDENTES.....	4
CAPITULO I	7
1 MARCO TEORICO	7
1.1 El agua residual	7
1.1.1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	7
1.1.2 Tratamientos del agua residual.....	12
1.2 Marco legal aplicable	23
CAPÍTULO II	23
2 PARTE EXPERIMENTAL.....	23
2.1 Lugar de investigación	23
2.2 Tipo de investigación	24
2.3 Metodología	25
2.3.1 Etapa 1 Recolección de los componentes del biofiltro.....	25
2.3.2 Etapa 2 Muestreo del agua residual a tratar	27
2.3.3 Etapa 3 Diseño y Construcción del prototipo de filtro biológico.	28
2.3.4 Etapa 4 Adaptación del material biológico	29
2.3.5 Etapa 5. Acoplamiento de las capas filtrantes y sistemas del biofiltro.....	30
2.3.6 Etapa 6 Experimentación, filtración del agua	30
CAPITULO III	33
3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
3.1 Componentes del biofiltro	33
3.2 Muestreo del agua residual a tratar.....	33
3.3 Diseño y construcción del prototipo filtro biológico.....	34
3.4 Adaptación del material biológico	39
3.5 Acoplamiento de las capas filtrantes del filtro biológico	42
3.6 Experimentación, filtración, análisis final, del agua.	42
3.6.1 Medición del caudal de entrada y salida	42
3.6.2 Análisis de agua antes y después de su tratamiento	45
3.6.3 Determinación de la eficiencia (porcentaje de degradación)	47
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	
ANEXOS.....	

INDICE DE TABLAS

1-1Tabla: Bacterias presentes en las aguas residuales.....	10
1-2Tabla: Taxonomía de la Agave filifera.....	17
1-3Tabla: Composición Agave <i>filifera</i>	18
2-1Tabla: Datos geográficos de Guaslan.....	22
2-2Tabla: Material biológico.....	24
2-3Tabla: Capas del prototipo biológico.....	28
3-1Tabla: Cantidad de material utilizado en cada capa.....	30
3-2Tabla: Recolección de muestras de agua residual.....	30
3-3Tabla: Dimensión del tanque de almacenamiento.....	31
3-4Tabla: Dimensiones contenedor de las capas filtrantes.....	34
3-5Tabla: Dimensiones de las capas del prototipo del filtro biológico.....	36
3-6Tabla: Registro de control de ensayo E1.....	37
3-7Tabla: Registro de control del ensayo E2.....	38
3-8Tabla: Dimensiones de las capas del prototipo biológico.....	39
3-9Tabla: Medición del caudal de entrada.....	39
3-10Tabla: Medición del caudal de salida.....	40
3-11Tabla: Tiempo de retención hidráulica de acuerdo a los caudales.....	40
3-12Tabla: Resultados de análisis de coliformes fecales.....	41
3-13Tabla: Resultados de análisis de DQO.....	42
3-14Tabla: Resultados de análisis de DBO.....	43

INDICE DE FIGURAS

1-1 Ilustración: Composición del agua residual domestica	7
1-2 Ilustración: Clasificación de solidos totales.....	8
1-3 Ilustración: Tamiz para tratamiento de agua.....	12
1-4 Ilustración: <i>Agave filifera</i>	17
1-5 Ilustración: <i>Eisenia fetida</i>	18
2-1 Ilustración: Ubicación de Guaslan.....	22
2-2 Ilustración: Proceso de tratamiento de agua residual.....	23
3-1 Ilustración: Dimensiones del tanque de homogenización.....	32

INDICE DE GRÁFICOS

3-1 Gráfico: Proceso de tratamiento de coliformes fecales.....	42
3-2 Gráfico: Proceso de tratamiento de DQO.....	42
3-3 Gráfico: Proceso de tratamiento de DBO.....	43

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Recolección de material filtrante.....	
ANEXO B: Sitio de muestreo.....	
ANEXO C: Muestreo.....	
ANEXO D: Adaptación de especies	
ANEXO E: Prototipo de filtro biológico	
ANEXO F: Filtración de agua residual.....	
ANEXO G: Agua tratada.....	
ANEXO H: Análisis del Agua residual.....	
ANEXO I: Sembríos de la Granja del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca.....	
ANEXO J: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	
ANEXO K: Criterios de Calidad admisibles para aguas de uso agrícola.....	
ANEXO L: Plano del prototipo biológico.....	

RESUMEN

El objetivo del proyecto fue Diseñar, Construir y Evaluar un prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida*, *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales

Se realizó la caracterización inicial del agua a tratar, se hicieron análisis semanales para determinar las concentraciones y porcentajes de eficiencia en cuanto a la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda química de Oxígeno (DQO), *Coliformes fecales* y parámetros de control como pH, temperatura. El filtro contó con un sistema de almacenamiento donde se homogenizaron 60L de agua a tratar, las muestras tomadas fueron representativas ; el prototipo constó de un sistema de impulsión comprendido de una manguera corrugada y una bomba sumergible, el mismo que impulsa el agua hacia el filtro, un sistema de aspersión formado por una ducha de jardín la misma que se encarga de distribuir al agua homogéneamente en el filtro, un sistema de filtración que tiene cuatro capas , en la primera se encuentra *Eisenia fetida* y aserrín, en la segunda *Agave filifera*, en la tercera grava y en la cuarta piedras de diferentes diámetros. Se realizaron varias experimentaciones con el caudal, siendo el más apropiado 148 mL/min, ya que no se produce inundaciones y el tiempo de filtración normal, con un tiempo de retención hidráulica para la primera capa de 4.02h, para la segunda capa de 1.5h, para la tercera capa de 0.90h y para la cuarta capa de 0.86h.

Los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia en la disminución de *Coliformes fecales* 94,4%, Demanda Bioquímica de Oxígeno se ha determinado una eficiencia del 87.7% conociendo que el DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas, por tanto es un parámetro que nos indica la calidad de agua y Demanda Química de Oxígeno 92.2% .

Se concluye que el filtro biológico tiene una eficiencia alta en el tratamiento de aguas residuales, en cuanto a remoción de contaminantes biológicos, se recomienda la utilización de otras especies para determinar su eficiencia en la remoción de contaminantes.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERIA>, <BIOTECNOLOGÍA>, <LOMBRIZ CALIFORNIANA (*Eisenia fetida*)>, <CABUYA (*Agave filifera*)>, <AGUA RESIDUAL>, <ASERRÍN>, <TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAULICA>, <PORCENTAJE DE DEGRADACIÓN>.

ABSTRAC

The purpose of the graduation work was to design, build and evaluate a biological prototype composed by *Eisenia fetida* and *Agave filifera* for the treatment of sewage.

The initial characterization of the water to be treated was carried out as well as weekly analysis in order to determine the concentrations and percentages of efficiency regarding to Oxygen Biochemical Demand Removal, Oxygen Chemical Demand, *Fecal Coliforms* and control parameters such as Ph and temperature. The filter had a storage where representative and the prototype had an impulsion system consisting of a corrugated hose and a submergible pump which impulses the water homogeneously into the filter, a filtration system containing four layers, the first contains *Eisenia fetida* and sawdust, the second has *Agave filifera*, the third has gravel and the fourth has stones of different diameter. Several experiments on the flow were also carried out being 148ml/min the most appropriate since it does not produce floods and the normal filtering time which a hydraulic retention time of 4.02h for the first layer, 1.5h for the second one, 0.90 for the third one and 0.86h for the fourth one.

The results obtained regarding to the efficiency of Fecal coliforms were 94.4% the Oxygen Biochemical Demand has an efficiency of 87.7% since the Oxygen Biochemical Demand is the amount of oxygen microorganism especially the bacteria (aerobic and the amount facultative: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter* *Bacillus*) fungus and plankton consume during the degradation of the organic substances, so that this is a parameter that shows the water quality and the Oxygen Biochemical Demand is 92.2%

It is concluded that the biological filter has a high efficiency in the sewage treatment, regarding to the biological pollutants removal, it is recommended to use another species to determine its efficiency to remove pollutants.

KEY WORDSS: <TECHNOLOGY AND ENGEIERING>, <BIOTECHNOLOGY>, <biological filter (*Eisenia fetida*)>, <*Agave filifera*>, <AGUA RESIDUAL>, <SEWAGE>, <SAWDUST><HIDRAULIC RETENTION TIME>, <DEGRADATION PERCENTAGE>.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural importante, constituye el fundamento de toda forma de vida; pero por su gran demanda en satisfacer las necesidades de los seres humanos, ya sea en sus actividades diarias e industriales; la contaminación de este recurso es un problema que se incrementa, debido a que no existe un correcto tratamiento de este recurso, posterior a su uso.

El prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera* es un sistema que tiene como objetivo el tratar biológicamente el agua residual proveniente de la granja del Ministerio de Agricultura Acuicultura y Pesca ubicado en la comunidad Guaslan.

El tratamiento consiste en filtrar el agua a través de un filtro biológico, donde queda retenida la materia orgánica, que es degradada por los organismos vivos que se encuentran en las capas filtrantes como son *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, con el fin de depurarla; por ende mejorar su calidad.

Eisenia fetida o también llamada lombriz californiana es un recurso biotecnológico que tiene la capacidad de degradar materia orgánica, que en este caso se encuentra suspendida en el agua residual. Esta especie se le puede encontrar con facilidad en la tierra o en lugares dispuestos para su crianza (Salazar, 2005, pp. 60) y *Agave filifera* es una fibra natural la misma que sirve como un tamiz natural, ayuda en la retención de partículas contaminantes, es de bajo coste de adquisición. (Macía, 2006.).

El filtro biológico es aeróbico y dinámico, ya que el proceso es continuo y necesita oxígeno para realizar los procesos de degradación.

Existen investigaciones en las que se ha utilizado *Eisenia fetida* para el tratamiento de aguas residuales, como es el caso Dr. José Tohá de la Universidad de Chile; el tratamiento utilizado fue, con la ayuda de filtros compuestos de lombrices (*Eisenia fetida*) y aserrín, el agua residual circulo, luego paso por una cama de carbón activado y por ultimo una capa de grava de piedra. Obteniendo agua libre de contaminantes orgánicos.

Artículos científicos de investigaciones realizadas, como es el caso de *Effects of Eisenia fetida and Eichhornia crassipes in the removal of organic matter, nutrients and coliforms in domestic wastewater*; realizado por Vizcaíno Lissette y Fuentes Natalia, dieron buenos resultados; quienes construyeron un filtro biologico con placas de vidrio y una capa de soporte, cada capa compuesta por grava gruesa, grava fina; aserrín y *Eisenia. Fetida*, también se utilizó

un sistema de aspersión y una tubería de PVC. Para los ensayos se utilizaron diferentes tiempos de retención hidráulica y un caudal de 0,125L/min. Obtenido como resultado DQO 69,2%, 100% de SST correspondiente a la eficiencia en la remoción de cada parámetro. (Vizcaíno, et al., 2016: pp.-189). La implementación de este sistema de tratamiento ayuda en el mejoramiento de la calidad de agua de riego, que se usa en la granja del Ministerio de Agricultura Acuicultura y Pesca; por medio de la filtración y la depuración de contaminantes orgánicos con la ayuda de *Eisenia fetida* y *Agave filifera*.

La presente investigación consta de

CAPITULO I Marco Teórico en este capítulo se encuentra el sustento teórico, de los tratamientos que se realizan habitualmente para aguas residuales; también los métodos que se han aplicado en otros países y en el Ecuador y los resultados que estas investigaciones han tenido; las características que tienen las especies utilizadas en la presente investigación.

CAPITULO II Parte Experimental en este capítulo se encuentra la metodología utilizada en la investigación, la parte preliminar al tratamiento y el tratamiento.

CAPITULO III Marco de Resultados y Discusión en este capítulo están los resultados determinados luego de los análisis y experimentaciones.

JUSTIFICACIÓN

En la Granja del Ministerio de Agricultura Acuicultura Ganadería y Pesca cuya longitud es de 13 hectáreas, distribuidas 3 hectáreas en infraestructura y 10 hectáreas para producción agrícola, se siembran lechuga, brócoli, acelga, papas, choclos, nabo, cebolla, limón, moras, frutillas, plantas medicinales, a cargo de la asociación 4 de Diciembre la misma que tiene 21 miembros con sus respectivas familias. El agua que se utiliza para el riego de estos cultivos no tiene ningún tratamiento previo, se encuentra contaminada con agentes patógenos según caracterización inicial realizada.

La importancia del presente trabajo radica en el mejoramiento de calidad de agua utilizada para el riego con la ayuda de un filtro biológico, en la granja del Ministerio de Agricultura Acuicultura Ganadería y Pesca, este tratamiento se lo hizo utilizando *Eisenia fetida* por su capacidad degradadora y *Agave filifera* que nos ayuda como tamiz, debido a su estructura de fibras vegetales; grava, piedras para aireación.

El tratamiento utilizado, es amigable con el medio y sobre todo tomamos recursos que la propia naturaleza nos proporciona, se debe tomar en cuenta que los materiales y especies empleados para el tratamiento no presentan riesgo para las personas que los van a manipular.

El tratamiento se enfoca en la disminución de DBO Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO Demanda Química de Oxígeno, Coliformes fecales, siendo estos parámetros biológicos, los mismos que nos ayudan a conocer la eficiencia que tiene el tratamiento en este ámbito, beneficiando a los agricultores ya que podrán regar sus cultivos con agua de calidad libre de patógenos y por ende ofrecerán un producto de calidad.

También se cria a las lombrices californianas las mismas que se pueden usar en la generación de humus en la misma granja, o pueden ser comercializadas para obtener recursos económicos

OBJETIVOS

General

- Diseñar, Construir y Evaluar un prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida*, *Agave filifera*, para el tratamiento de aguas residuales.

Específicos

- Realizar la caracterización inicial de los principales parámetros del agua a tratar.
- Diseñar el prototipo biológico compuesto por *Eisenia fetida* y *Agave filifera* con medidas estándar.
- Determinar la eficiencia del prototipo biológico en función a la reducción de la carga contaminante.

ANTECEDENTES

Para el presente estudio se ha tomado en cuenta investigaciones similares realizadas en el Ecuador y a nivel internacional.

Uno de estos se da en la década de los 50 y 60 en Alemania por el investigador Seidel el mismo que utiliza un tratamiento biológico, utiliza arcilla y carrizo, junco y totora como especies vegetales tomando como principio fundamental la utilización de especies vivas en el tratamiento de aguas. También podemos enunciar que en el año 1972 se utilizaron materiales biológicos, para el tratamiento de aguas que venían de la industria cervecera, lechera, así como también la industria textil, este se realizó en los países de Alemania y Estados Unidos. (Garzón-Zúñiga, M. A, 2012)

En el año 1974 se utilizaron plantas de totora e iris, en 1985 se utilizó material granular y en 1998 grava para tratamiento de aguas residuales dando resultados positivos para este tratamiento. (Garzón-Zúñiga, M. A, 2012)

En nuestro país también hay estudios de tratamiento de aguas por medios biológicos, los mismos que se han realizado en Imbabura, específicamente se implementó en la Hostería Cuicocha con el propósito de tratar aguas residuales para posteriormente su destino la Laguna, evitando contaminación a la misma. El Ing. Rodrigo Sánchez de la Escuela Politécnica Nacional es el que

implementó este proyecto con resultados positivos. (Sánchez, Rodrigo, 2011)

También en el año 2016 la Ing. Andrea Jiménez de la Escuela Politécnica Nacional trató aguas residuales provenientes de una industria de cárnicos utilizando *Eisenia Fetida* y Aserrín, obteniendo resultados positivos en la remoción de DBO, DQO y Solidos totales (Jiménez, Andrea, 2010)

Para la Universidad de Cuenca Diana García tesista de la Institución también realizó un estudio que consistió en la utilización de plantas en el tratamiento de agua residuales, quien logró el objetivo que fue reducir el grado de contaminación en estas aguas (García, Diana, 2010.)

Otras investigaciones como es el Aplicación de la Lombricultura en la planta de tratamiento de LlauLlao de Salmonera Invertec S.A. (Hernández, 2005, p. 110) mostró la eficiencia que tiene el tratamiento y la baja inversión económica a comparación con otros sistemas de tratamiento, además tiene ventajas como son que no se genera olores indeseables ya que el proceso es dinámico y aerobio, y además el agua no permanece estancada por que se filtra continuamente.

Existen otras propuestas que se han implementado como es el caso del diseño de un 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 donde este proceso ha utilizado como sustrato aserrín y viruta y la eficiencia obtenida por el proceso es de 53.3% en el tratamiento de agua y los contaminantes que genera el sector termoeléctrico.

Así también se realizó un estudio en una fábrica de embutidos, donde el agua residual generada por la misma se trató mediante la implementación de biofiltro o filtro biológico con la lombriz roja, los resultados obtenidos fueron positivos, concluyendo que el tratamiento propuesto tiene un porcentaje de eficiencia alto.

Se han publicado artículos científicos como EFFECTS OF *Eisenia foetida* AND *Eichhornia crassipes* IN THE REMOVAL OF ORGANIC MATTER, NUTRIENTS AND COLIFORMS IN DOMESTIC WASTEWATER realizado por Vizcaíno Lissette y Fuentes Natalia quienes construyeron el filtro biológico con placas de vidrio con una capa de soporte, constituido cada capa por grava gruesa, grava fina; se dispuso una capa de aserrín y *Eisenia. foetida*. También utilizó un sistema de aspersión y una tubería de PVC.

Para los ensayos se utilizaron diferentes tiempos de retención hidráulica y un caudal de 0,125L/min, obteniendo como resultado DQO 69,2%, y se eliminó 100% de SST correspondiente

a la eficiencia. . (Vizcaíno, et al., 2016: pp.-189).

Otros artículos científicos como, la aplicación de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia fetida*, donde se consiguieron resultados en cuanto a disminución de contaminantes y microorganismos patógenos, se ha obtenido una eficiencia del 90% e inclusive superior a este porcentaje, por ende se puede decir, los análisis de resultados obtenidos en los parámetros fisicoquímicos del laboratorio como son pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV), se determinó el buen funcionamiento del lombrifiltro. (Ramón, et al., 2015: pp.47-48).

La investigación que se realizó en una planta de empacamiento de camarón utilizando un filtro biológico en el tratamiento de aguas residuales, se concluye que la eficiencia en la disminución de DQO, DBO5, SST y fósforo es de 80 a 90%. (Mendieta, 2012, pp. 112-114)

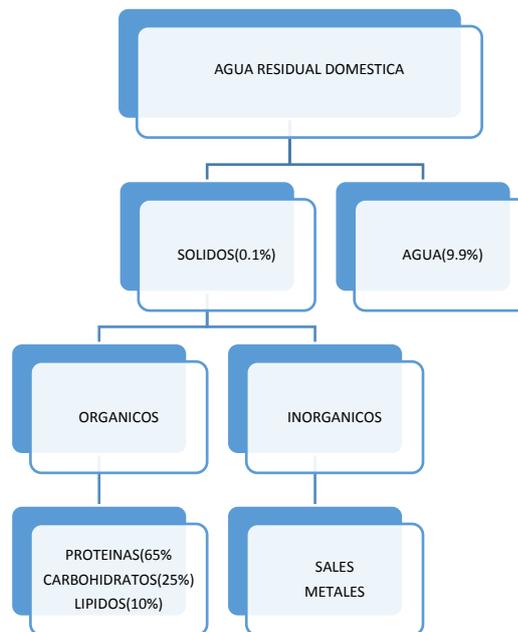
La aplicación de filtros biológicos es sustentable ya que las investigaciones realizadas dan a conocer un porcentaje alto de eficiencia, en cuanto al tratamiento y sobre todo notándose que en el Ecuador actualmente, este tratamiento se está utilizando debido a su accesibilidad y su fácil manejo.

CAPITULO I

1 MARCO TEORICO

1.1 El agua residual

Son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.(Norma de Calidad Ambiental)



1-1 Ilustración: Composición del agua residual domestica

Fuente: (METCALF Y EDDY, 1995)

1.1.1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

1.1.1.1 Características físicas

El agua residual presenta generalmente las siguientes características físicas:

Fracción Sólida

Entendemos por fracción solida al remanente que queda después de exponer a evaporación una muestra de agua a temperatura que va de 103 a 105 °C (Metcalf & Eddy, 1995.)

Sólidos Totales (ST).

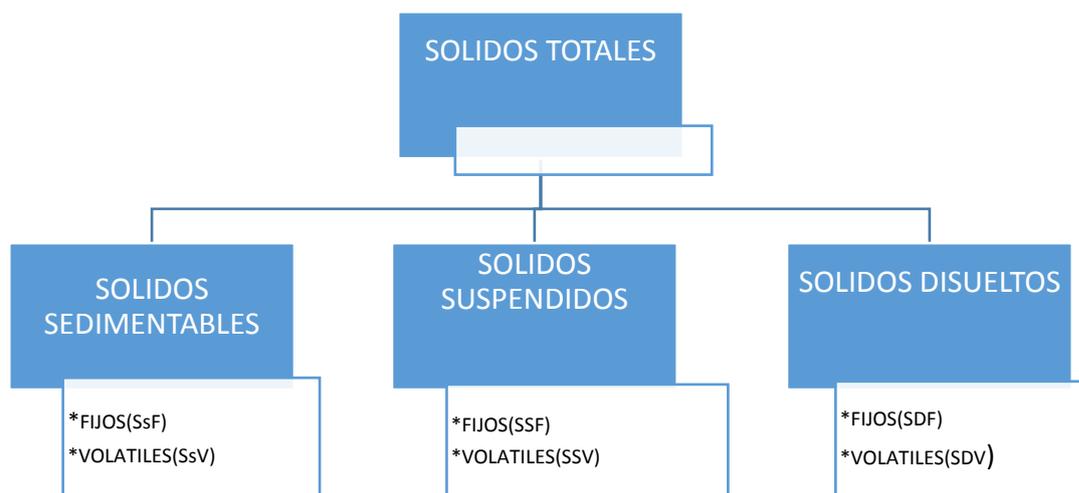
Es el remanente que queda después de exponer a evaporación una muestra de agua a temperatura que va de 103 a 105 °C. (Metcalf & Eddy, 1995.) Algo muy importante es que la fracción sólida no es la materia que se desvanece durante el proceso de evaporación por la acción de la alta presión (Borja, Mario, 2011.pp:21)

De acuerdo a sus características físicas estos se clasifican en:

- Sedimentables
- Suspendidos
- Disueltos

De acuerdo a características químicas

- Fijos (inorgánicos)
- Volátiles (orgánicos).



1-2 Ilustración: Clasificación de sólidos totales

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Temperatura.

Conociendo los usos del agua residual sabemos que la temperatura de esta va a ser siempre más elevada que el agua potable ya que hay incorporación de agua caliente procedente de los hogares o de otros procesos en la que esta es utilizada, ya sea procesos industriales u otros, para este factor también influye los meses de mayor calor en los que el agua tendrá, mayor temperatura es decir en verano será mayor que en invierno. (FAJARDO, Daniel, 2013.)

Este parámetro es muy importante ya que llega a influenciar en el desarrollo acuático, sobre reacciones químicas, como es el caso del oxígeno que es menos soluble en agua caliente que en aguas frías.

También es notable que la temperatura elevada cabida al crecimiento de plantas acuáticas y hongos conociendo que la temperatura optima de reproducción de bacterias oscila entre 5 y 35 °C. La temperatura no solo influye en el metabolismo de las células sino también en la velocidad de transferencia de gases y características de sedimentación. (MENDIETA, Jairo, 2012.)

Color.

El agua residual tiene un color característico que va de gris a negro de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que contenga. (RAMALHO Rubens, 1993)

Generalmente cuando el agua es más negra el olor será más fuerte ya que nos muestra mayor concentración de materia orgánica

Olor.

El olor de aguas residuales es casi inodoro, solo cuando existe la presencia de ácidos como el sulfúrico, mercaptanos, aminas, amoniaco u otros productos en descomposición tendremos olores desagradables

1.1.1.2 Características químicas

El agua residual tiene características químicas como las siguientes:

Material orgánico. Conocidos como solidos provenientes de actividades animales y vegetales, humanos, en relación a la producción de sustancias orgánicas

La composición de la materia orgánica es de Carbono, Nitrógeno y Oxígeno, también en algunos casos podemos encontrar Nitrógeno, Azufre, Fosforo, Hierro.

Proteínas.

Estos compuestos son generalmente de origen animal ya que en plantas podemos encontrar como en el frejol, tomate siempre y cuando no se encuentren cocinados.

Una de las proteínas que se encuentran con más frecuencia en las aguas residuales es la urea ya que esta también es usada en cultivos.

La composición es de Oxígeno, Nitrógeno, Carbono.

Carbohidratos.

Estos compuestos se pueden encontrar con facilidad en la naturaleza como es el caso de almidón, celulosa etc.

Están compuestos de Carbono, Hidrogeno, Oxigeno, algunos son solubles en agua como es el caso de los azucares y otros son insolubles en agua como es el caso de los almidones. (Arroyave, P; 2001; p:5)

PH .Este parámetro nos sirve para determinar la concentración de iones hidrogeno presentes en el agua, que oscilan en el rango de 0 que consideramos muy ácido y 14 muy alcalino o básico y 7 valor neutro.

DBO.

La demanda bioquímica de oxigeno se refiere a la cantidad de oxígeno disuelto que se ha consumido para la descomposición de la materia orgánica

Con este parámetro podemos conocer la fracción biodegradable de la materia orgánica (Cano, A. L, 2003.)

DQO.

La demanda química de oxigeno es la cantidad de oxigeno necesaria para estabilizar químicamente una muestra de agua (Cano, A. L, 2003.p:40)

Una de las desventajas de la DQO es que no nos da a conocer si la materia orgánica es o no es biodegradable.

Una de las ventajas de la DQO es que el tiempo de análisis de este parámetro es muy corto 3 días y con este podemos conocer la toxicidad.

La DQO siempre es mayor a la DBO ya que hay compuestos que se pueden oxidar químicamente y no biológicamente (Cano, A. L, 2003.p:41)

1.1.1.3 Características bilógicas

En el agua residual existe la presencia de microorganismos que pueden causar daños a las plantas y a los seres humanos, uno de ellos son las Coliformes, son bacterias las mismas que se encuentran en el tracto digestivo de los seres humanos , podemos decir que cada persona evacua 105millones de estas bacterias por día (Silva, J,2014.) Estos organismos absorben oxígeno para realizar sus reacciones químicas necesarias para sobrevivir, esta cantidad de oxigeno utilizada se puede medir mediante el análisis de DBO y DQO.

1-1 Tabla: Bacterias presentes en las 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 enterocolitica</i>	Hombre y animales	1 a 5 días	
<i>Leptospira icterohamorrhagiae</i>	Ratas		Leptopirosis

Fuente: (Mendoza, 2000, p. 26)

Virus.

Estos se encuentran 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.

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.

Coliformes totales.

Son bacterias de tipo bacilo, son Gram negativas, son capaces de proliferar en concentraciones altas de sales biliares, estas fermentan la lactosa produciendo ácido o aldehído

Por ende, se debe tratar las aguas para eliminar estas bacterias, para poder reutilizar esta agua en el uso agrícola (Campos-Pinilla, C, 2008; pp: 105)

Coliformes fecales

El análisis de este parámetro se puede utilizar como un indicador muy fehaciente para determinar que hay presencia de agentes bacterianos que son patógenos

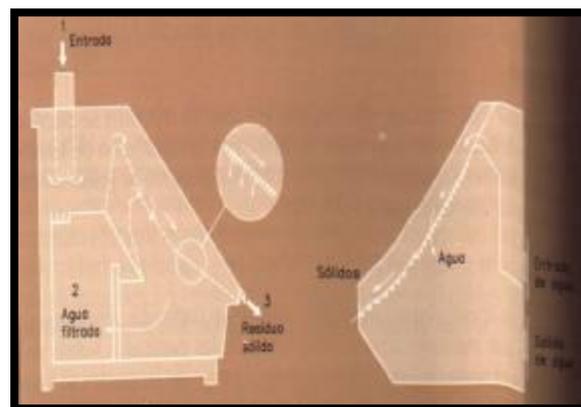
1.1.2 Tratamientos del agua residual

1.1.2.1 Tratamientos preliminares

Esta fase consiste en retirar cualquier objeto pequeño o grande que trae el agua consigo, que pueda causar dificultades en las siguientes etapas del tratamiento, para esto se utilizan rejillas, tamices etc., para que puedan cumplir con esta función

Tamizado

Son instrumentos fabricados con mallas, inclinadas por donde pasa el agua y retiene los elementos indeseables, por su inclinación los elementos retenidos caen por si solos evitando saturación, es decir son auto limpiables. Este equipo es económico y su mantenimiento es mínimo. (Metcalf & Eddy, 1995.)



1-3 Ilustración: Tamiz para tratamiento de agua

FUENTE: Metcalf & Eddy, 1995

Rejas

Son instrumentos utilizados para detener elementos grandes que son arrastrados por la corriente de agua y evitar el daño de los equipos mecánicos posteriores. Se los fabrica con barras metálicas de 6mm de espesor, colocados paralelamente con una separación de 10 a 100mm. Para su limpieza se utiliza rastrillos manuales o automáticos (Metcalf & Eddy, 1995.)

1.1.2.2 Tratamientos primarios

Coagulación

El tratamiento primario tiene como objetivo el eliminar sólidos sedimentables o también coagulantes, para lograr esto se puede hacer ya sea por medios físicos, químicos o biológicos. Esto puede ser mediante una coagulación utilizando agentes químicos o una sedimentación usando agentes físicos.

La coagulación. Consiste en una precipitación química en la cual se agregan sustancias químicas para remover sólidos presentes en el agua a tratar con este método podemos eliminar cloro, turbiedad, agentes orgánicos. (Metcalf & Eddy, 1995.)

Sedimentación

Este proceso se realiza en tanques cilíndricos o rectangulares sometiendo al agua a tratar a condiciones de reposo para lograr se sedimenten sólidos sedimentables, donde remueve en un 65% de sólidos sedimentables y 35% sólidos suspendidos.

1.1.2.3 Tratamientos secundarios

Este tratamiento posterior al primario se lo realiza para estabilizar la porción orgánica del agua a tratar.

Este tipo de procesos se utilizan reacciones asociadas al organismo vivos. Los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos (Ferrer y Seco, 2008, PP., 52)

Este tratamiento tiene una eficiencia del 85% en la remoción del Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos y bacterias.

Para este tratamiento se utilizan técnicas como biodiscos, filtro biológico, lagunage. (Domínguez, J, 2011, PP.: 50)

Biodiscos.

Esta técnica de tipo biológica, es fácil de operar, requiere espacios reducidos y su consumo energético no es alto. Su estructura es de diseño horizontal donde se encuentra una película de microorganismos. Esta capa está en contacto con el agua. El espesor de la capa se regula con el rozamiento del agua. (Madera, C, 2011, pp, 5)

Fangos activados.

En este tratamiento se usa lodos biológicos para tratar el agua residual, donde estos se mezclan y se airean. La sistemática de este tratamiento es, las bacterias usan el oxígeno suministrado para descomponer la materia orgánica del agua tratar, así como también para su crecimiento y reproducción. (Madera, C, 2011, p: 14)

La naturaleza de las aguas residuales tratadas determinan los tipos de microorganismos que se desarrollan.

Los fangos activados se consideran como un complejo sistema ecológico, en el que existe la presencia de organismos los mismos que cumplen funciones importantes cada uno, los mismos que se encuentran en una constante competición por alimento.

Hay relaciones dependientes y de predador-presa.

Siendo las bacterias los organismos principales responsables de la depuración de aguas. (Ferrer y Seco, 2008, PP., 55)

Lagunage.

Es un proceso por el cual las aguas son vertidas en estanques de tierra impermeabilizados

En este tratamiento son de largos tiempos de retención en lagunas grandes, y las variaciones de carga contaminante no afectan al tratamiento, se requiere áreas extensas, se debe agitar siempre para oxigenar la zona. (Metcalf & Eddy, 1995.)

Son lagunas de entre 1 y 4 metros de profundidad que el agua a tratar atraviesa en forma continua El oxígeno es suministrado por agitadores (Ferrer y Seco, 2008, PP., 53)

Biorreactor de Membrana

Conocido como (BRM) en este tratamiento se combinan dos procesos la degradación biológica y la separación, los sólidos suspendidos y los microorganismos se filtran por medio de una membrana. Este proceso se realiza controlando el tiempo en el que permanecen los microorganismos en el reactor. (Ferrer y Seco, 2008, PP., 54)

Filtro biológico.

Este tratamiento consiste en material biológico dispuesto para hacer pasar agua donde quedan retenida la materia orgánica que es degradada por los organismos vivos que se encuentran en las capas filtrantes.

Puede alcanzar una altura de aproximadamente 12m.

La técnica consiste en que el agua a tratar desciende a través de cada capa del relleno. A medida que el agua baja va filtrándose y los organismos vivos van degradando la materia orgánica. (Metcalf & Eddy, 1995, pp. 85).

Los filtros tienen la capacidad de adaptarse a variaciones de caudal o carga orgánica mediante la recirculación, de esta forma un filtro puede funcionar como filtro de baja carga o de carga alta, con rendimientos de depuración no muy diferentes.

Filtro con lombrices

También llamado lombrifiltro pertenece es un filtro percolador está dispuesto por diferentes capas que van en forma de gradillas donde se encuentra material biológico y material filtrante como complemento para la filtración del agua a tratar (InduAmbiente, 2013, pp. 107).

Contiene una capa de humus donde se desarrollan las lombrices

En la capa de humus se encuentran están presentes microorganismos y lombrices juntamente con otro sustrato pueden ser residuos de maderas blancas o fibras vegetales que estén en forma natural sin presencia de algún químico ya que el agua puede tener una contaminación cruzada por esta causa y la biofiltración no sea eficiente, las lombrices se encargan de alimentarse de la materia orgánica presente en el agua tratada retenido en las capas superiores esta fracción del biofiltro. También el material auxiliar ya sea piedras, grava, ripio etc., ayuda en la ventilación del agua (Salazar, 2005, pp. 707,709)

El proceso de filtración de agua mediante organismos vivos da inicio cuando se distribuye el agua mediante rociado de manera homogénea en la superficie de la primera capa y por acción de la gravedad se filtra donde hacia las capas inferiores donde se van reteniendo las partículas

orgánicas ya que las lombrices la usan como su alimento y la convierten en humus. También se pueden encontrar en el filtro biológico protistas, bacterias facultativas, bacterias aerobias, bacterias anaerobias, hongos y protozoos (InduAmbiente, 2013, pp. 106-108)

Tiempo de Retención hidráulico

Se conoce como tiempo de retención hidráulico al tiempo el cual permanece el agua residual en el filtro, es la fase de reacción esta puede ser modificada y diferir el rendimiento del tratamiento ya que estudios que se han realizado enuncian que a mayor tiempo de retención mayor eficiencia en la remoción de materia (Kayranli & Ugurlu, 2011, pp. 1-7).

En cambio según (Scheumann & Kraume, 2009, pp. 245,442-450) una prolongación de tiempo de retención hidráulico ayuda que la calidad de biomasa ya que no hay aglomeración de materia la misma que disminuya la eficiencia del tratamiento.

Así mismo la eliminación de la materia orgánica se reduce la concentración de NH_4 y de Fósforo cuanto mayor sea el TRH.

En cuanto a la carga hidráulica constituye la cantidad de aguas residuales aplicadas diariamente al biofiltro y la carga orgánica representa la carga del contaminante del efluente por el tiempo de retención hidráulica.

1.1.2.4 Tratamientos terciarios.

Este tratamiento complementario ya la remoción de componentes contaminantes específicos que generalmente no son biodegradables o son tóxicos, los mismos que no son removidos en el tratamiento secundario.

Se utiliza grava, arena, antracita, carbón activado, esponja o sus combinaciones como material filtrante complementario, estas se disponen en capas por donde pase el agua a tratar

Entre los tratamientos que se utilizan podemos encontrar:

Intercambio Iónico

Es un tratamiento en el que se utilizan resinas de intercambio iónico, el proceso consiste en sustituir un ion por otro de la misma carga generalmente se utiliza para extraer disolventes sólidos en el agua. La capacidad de los elementos utilizados va en un rango de 2 a 10 mequiv/gr o cerca de 15 a 1000 kg /m³. (Crespo, R, 1999, pp.150)

El agua debe estar libre de turbidez para realizar este tratamiento o el tratamiento no podría funcionar con eficacia. (Domínguez, 2010, pp, 30)

Adsorción

Es un proceso en el cual se usa un sólido para eliminar una sustancia soluble en el agua a tratar, generalmente se usa carbón activado ya que tiene una superficie interna de entre 500 - 1500 m² /g, lo que permite que se dé una adsorción ideal.

Se utiliza para eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitratos, derivados clorados. (Domínguez, 2010, pp, 52)

Extracción por solvente

Es un proceso de separación, la misma que transfiere la masa de entre dos fases inmiscibles el metal es transferido de una fase orgánica a una acuosa o visivversa, generalmente se utiliza en procesos metalúrgicos ya que su coste es bajo y el impacto ambiental también lo es.

Osmosis inversa

Este tratamiento consiste en transferir a través de una membrana compacta por la cual pasa el solvente puede ser agua donde se retienen la sales y solutos de bajo peso molecular.

Es una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión. Los costes para su aplicación son altos.

Nitrificación – Des nitrificación

Son procesos llevados a cabo por determinados grupos de microorganismos bacterianos que se utilizan en aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales, donde aparte de la eliminación de la materia orgánica se persigue la eliminación de nitrógeno.

La eliminación de la materia nitrogenada es necesaria cuando el efluente de la E.D.A.R. va a ir bien a embalses o masas de agua utilizadas para captación de aguas potables, bien a las denominadas por ley como zonas sensibles.

Electrodiálisis

La electrodiálisis separa las moléculas o iones en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga y de velocidad de transporte a través de la membrana.

Las membranas tienen lugares cargados y poros bastante estrechos (1-2 nm).

En la célula de electrodiálisis se sitúa un cierto número de membranas de intercambio catiónico y aniónico entre un ánodo y un cátodo de forma que cuando se aplica la corriente eléctrica los iones con carga positiva migran a través de la membrana de intercambio catiónico y viceversa.

Destilación

La destilación es la colección de vapor de agua, después de hervir las aguas residuales.

Con un retiro correctamente diseñado del sistema de contaminantes orgánicos e inorgánicos y de impurezas biológicas puede ser obtenido, porque la mayoría de los contaminantes no se vaporizan.

El agua pasará al condensador y los contaminantes permanecerán en la unidad de evaporación.

1.1.2.5 Especies utilizadas en tratamientos biológicos de agua

Material filtrante

Agave filifera



1-4 Ilustración: *Agave filifera*

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Son plantas perennes con hojas en espiral y arregladas en rosetas en el apéndice de un tallo, en el cual puede ser corto y apenas sobrepasar unos centímetros del suelo o bien ser largo y recto, en este caso puede llegar a medir hasta tres metros de altura

El tallo también puede moverse sobre las rocas, sus hojas son carnosas y dilatadas, pueden llegar a pesar hasta treinta kilos cada una. (García, D. 2007: pp.22) Su altura puede variar de dos a siete metros

Para la germinación de la planta se da por propagulos, que caen ya formados al suelo
Es una planta silvestre que se la puede encontrar en valles de Perú o Ecuador.

1-2 Tabla: Taxonomía de la *Agave filifera*

Fuente: (Ministerio de ambiente, 2005)

La hoja de la cabuya (*Agave filifera*) presenta la siguiente composición

REINO	Vegetal
CLASE	Anglopermae
SUBCLASE	Monocotiledóneas
ORDEN	Liliflorae
FAMILIA	Agavaceae
GENERO	Furcraea
NOMBRE COMÚN	Fique Cabuya, Penca, Fique Perulero, Maguey, Cabul, Cabuya Blanca, Chuchao, Cocuiza.

Tabla 1-3: Composición *Agave filifera*

Fuente: (Ministerio de ambiente, 2005)

FIBRA		JUGO	BAGAZO	
CENIZAS	0.07%	CLOROFILA	CENIZAS	0.122
RESINA CERA GRASA	1.90	SAPONINA AZUCARES	PROTEINAS COMPUESTOS NITROGENADOS	9.84% 71.9
LIGNINA	11.30	RESINAS	CALCIO	0.215
PENTOSAS	10.50	FLAVONOIDES ACIDOS ORGANICOS	FOSFORO MAGNESIO	0.09% 0.2%
TOTAL	98.20	ALQUITRANES AGUA LIGNINA CALCIO LINOIDES	FOSFORO SODIO COBRE HIERRO MAGNESIO	1.81% 0.04% 14% 64% 33% 17%

Eisenia fetida



1-5 Ilustración: *Eisenia fetida*

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Es un invertebrado cuyo cuerpo es cilíndrico alargado el mismo que se estrecha en los extremos, está formado de noventa y cuatro a noventa y seis anillos los mimos que cumplen una función cada uno.

En estado adulto su diámetro puede llegar a 5 a 6mm y de seis a ocho cm de longitud, cuando son recién nacidos son de color blanco y su diámetro puede ser de 1mm.

Su respiración es a través es cutánea. (CRESPO, R, 1999: pp., 150)

Son sensibles a la luz. Los rayos ultravioletas le matan en pocos segundos, por esta razón expuesta a los rayos solares por unos minutos muere

No posee dientes ni mandíbula por lo que no tiene capacidad de moler el alimento, succiona el alimento por la boca, cuando llega al estómago glándulas especiales segregan carbonato de calcio cuyo fin es neutralizar los ácidos de la comida para luego salir por el ano ubicado en la parte terminal

Posee un sistema muscular muy desarrollado, permitiéndole hacer cualquier tipo de movimiento Esta lombriz llega a su estado de madures a los tres meses, tiempo en el cual llega al estado de reproducción La lombriz es hermafrodita es decir tiene los dos sexos en sí misma, pero necesita aparearse ya que es incompleta. (PACO, Gabriel, 2011: pp., 25)

Para aparearse las dos giran en sentido contrario para poner en contacto sus aparatos de reproducción

La fecundación se efectúa a través del Clitelo, cuyas glándulas producen el Capullo o cápsula, desde donde emergen las lombrices después de 14 a 21 días de incubación, en un número que va de 2 a 21 ejemplares

La lombriz se alimenta de desechos orgánicos, pero también ayuda en la aireación, porosidad y movimiento del medio en un 50% (Lombricultura, A, 2004.)

Ventajas del uso de *Eisenia fetida*.

Esta especie es apta para estar en cautiverio. Pueden llegar a vivir hasta 16 años sin contraer o transmitir enfermedades Se puede alimentar de desechos diversos, ya sean orgánicos o nutrientes como carbono, potasio, fosforo, ingiere una cantidad de comida equivalente a su propio peso y expelen el 60% transformándolo en humus, siendo el 40% restante en síntesis celular, respiración y otros procesos vitales (Lombricultura, A, 2004.)

Es una especie que tiene gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4.000 a 50.000 individuos por metro cuadrado

Es una especie muy prolífica, tiene una tasa de reproducción anual de 1:16, significando que cada 3 meses duplica su población

La actuación de la *Eisenia Foetida*, durante 24 horas tiene una zona o franja operativa de 25 cm

Condiciones de habitad de la *Eisenia fétida*

Las condiciones ideales del hábitat de la lombriz corresponden a una temperatura que oscile entre los 14° y 24° C, siendo óptima aquella que se acerque lo más posible a la de su propio cuerpo (aproximadamente 20° C); un pH neutro entre 6.5 y 7.5; oxígeno libre; materia orgánica; baja luminosidad ya que teme a la luz (pues los rayos ultravioleta las matan) y humedad disponible.

Para la reproducción se necesita una humedad del 70% al 80%. El exceso de humedad puede ser otro problema para la lombriz. Si el lecho se encuentra demasiado mojado, fallará la oxigenación indispensable para poder garantizar la supervivencia de las lombrices. (Lombricultura, A, 2004.)

Aserrín

Es un conjunto de partículas que se desprenden de la madera al serrarla. Su composición son la celulosa siendo el polisacárido conforma alrededor de la mitad del material total, la lignina polímero que constituye un el mismo que resulta de la unión de ácidos y alcoholes fenilpropílicos y que proporciona dureza y protección, y hemicelulosa también alrededor de 25% cuya función es actuar como unión de las fibras. Existen otros componentes presentes en menor proporción como es el caso de resinas, ceras, grasas. (López, J, 2009: pp, 98)

Grava

Se conoce como grava al conjunto de rocas de tamaño comprendido entre 2 y 64 mm.

La grava puede producirse ya sea por el ser humano esta piedra se llama piedra partida, y obteniéndose de manera natural se produce por desgaste natural o movimiento de los lechos en los ríos estas se conocen como canto rodado también hay gravas naturales que no son cantos rodados.

Estos áridos son partículas granulares de material pétreo (es decir, piedras) de tamaño variable. Este material se origina por fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre, ya sea en forma natural o artificial.

Piedras

Es un material de origen natural caracterizado por una elevada consistencia, se usa en filtros para tratamiento de aguas, para airearla

1.2 Marco legal aplicable

El presente Proyecto está sustentado a la siguiente norma legal:

- Según la Constitución de la República del Ecuador en el título número II reza que todos tenemos derecho a un ambiente sano, así como también nos garantiza la protección y regulación de toda actividad que pueda ser de riesgo para el ambiente, por tanto, con el presente proyecto logramos en parte garantizar la calidad de un recurso fundamental y por ende proveer de un ambiente libre de contaminación.
- Según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua específicamente en el libro IV anexo 1 Capítulo 4, constan los límites permisibles de los parámetros que en el presente proyecto se pretenden remover. Por ende, conocer si el tratamiento cumple que los objetivos propuestos.

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Lugar de Investigación

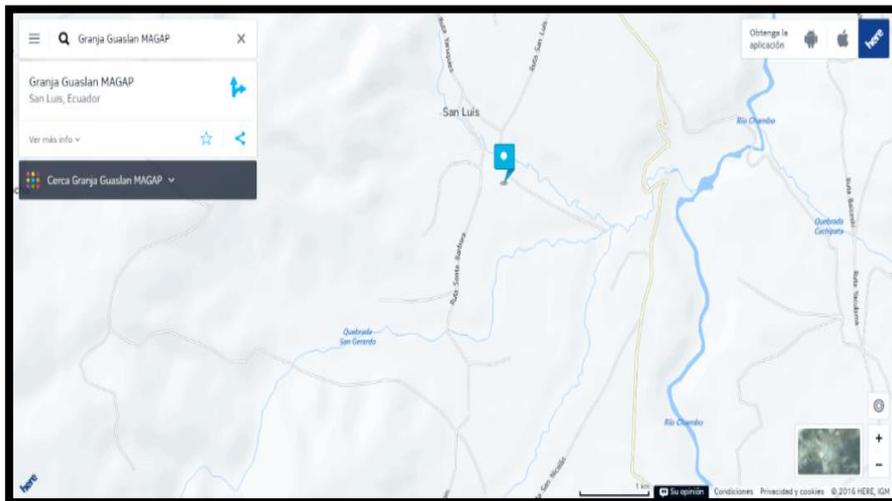
El presente trabajo de investigación tiene lugar en la Granja del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia San Luis cuyas coordenadas geográficas y condiciones ambientales del punto de ubicación se

presentan en la tabla:

Tabla 2-1: Datos geográficos de Guaslan

Latitud	1G 43' 15" S
Longitud	78G 39' 40" W
Temperatura ambiente	16.5°C

Fuente: (Estación meteorológica Guaslan (INAMI),2014)



2-1 Ilustración: Ubicación de Guaslan

FUENTE: Google map

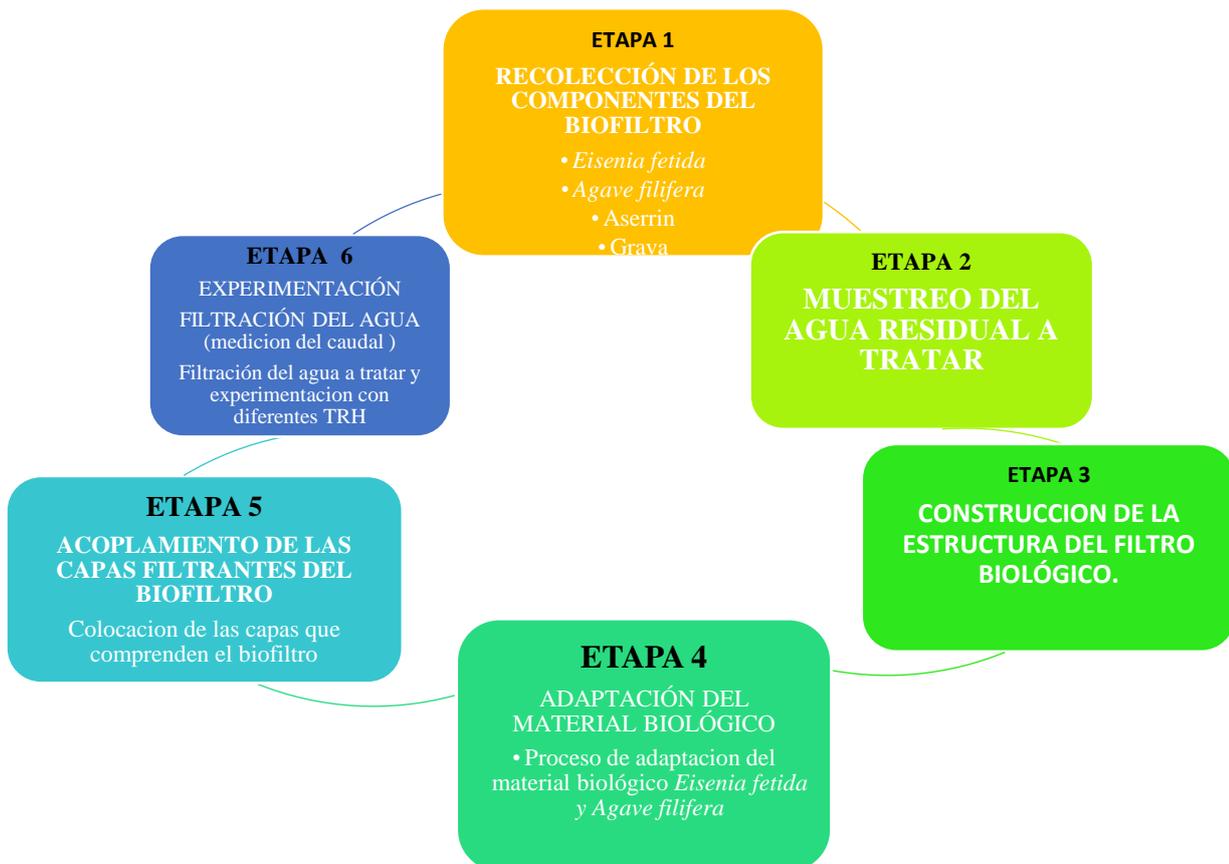
2.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo Aplicada, ya que su fin es específico, el mismo que es tratar las aguas residuales por medio de una biofiltración, con el fin de reutilizar el agua en actividades agrícolas o afines. En este estudio se recolectaron datos en diferentes periodos de tiempo, con el fin de evaluar las variaciones en el tratamiento. También se dio un tiempo de adaptación a la lombriz para obtener mejores resultados.

El enfoque es de tipo Cualitativo ya que la recolección de datos se dio sin medición estandarizada, para conocer la capacidad de adaptación de la *Eisenia fetida*, Así como también es cuantitativo ya que se recolectaron datos antes y después de realizar el tratamiento que se dio al agua residual. El diseño de investigación es de tipo Experimental.

2.3 Metodología

Se realizó un diagrama que se presenta a continuación correspondiente al proceso de tratamiento de agua y las actividades previas.



2-2 Ilustración: Proceso de tratamiento de agua residual

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

2.3.1 Etapa 1 Recolección de los componentes del filtro biológico

2.3.1.1 Materiales

- Pala
- Balde
- Guantes
- Balanza

- Mandil
- Lima con dientes de hierro

Tabla 2-2: Material biológico recolectado

ESPECIE	CANTIDAD
<i>Eisenia fetida</i>	2.5 kg
<i>Agave filifera</i>	1.5 kg
Grava	2.5 Kg
Piedras	4 Kg

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

2.3.1.2 Método

Los componentes que se utilizaron, en el filtro biológico se tomaron de la granja del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca ubicada en Guaslan.

Se tomó 2.5 Kg de *Eisenia fetida* para el proceso de biofiltración, esto se lo hizo de las camas de compost que se produce en la granja.

Agave filifera se tomó 1.5 kg de fibras, 2.5kg de grava y 4 Kg de piedras para el proceso de filtración.

Se ha tomado en cuenta que *Eisenia fetida* es una especie que tiene gran tolerancia a la aglomeración, pudiendo cohabitar entre 4.000 a 50.000 individuos por metro cuadrado (Lombricultura, A, 2004.) y sobre todo que es una especie que se adapta al cautiverio

Así también *Agave filifera* es una fibra natural, especie de fácil acceso, que nos sirve como un material filtrante en el tratamiento de agua. Para la extracción de las fibras se realizó el siguiente procedimiento (Macía, M, 2006, p: 25)

- Se cortó una hoja de *Agave filifera*
- Con un la ayuda de un madero se golpeó la hoja de cabuya para ablandar la corteza.

- Posteriormente con una lima con dientes de fierro se procedió a quitar la corteza hasta que solo quede la fibra.
- En un recipiente se colocó las fibras y se sometieron a calor durante 3 horas para que las fibras queden libres de los restos de corteza.
- Por último se dejó secar las fibras por dos días.

2.3.2 *Etapa 2 Muestreo del agua residual a tratar*

2.3.2.1 Materiales

- Botella
- Guantes
- Mascarilla
- Cooler
- Alcohol
- Cinta hacking
- Rotulador o marcador

2.3.2.2 Método

La toma de muestras se realizó en el punto de descarga del Ministerio de Agricultura Ganaderia Acultura y Pesca, este se realizó durante un período de 25 días, se tomaron muestras de 3L diarios a las 7 AM hora en la que existe mayor actividad en la granja.

Para la recolección de muestras se realizó la respectiva desinfección de los recipientes y su correspondiente homogenización y preservación.

De los 75L que se recolectaron 60L fueron utilizados para el tratamiento, 5L para los análisis respectivos y 10L para el proceso de adaptación del material biológico (*Eisenia fetida* y *Agave filifera*).

En cuanto a la recolección de muestras para análisis de laboratorio, con la indumentaria correspondiente, guantes, mandil, cofia, botella plásticas previamente homogenizada, frascos estériles, se tomaron estas muestras y se procedió a llevar al laboratorio que tiene el Ministerio de Agricultura Ganaderia Acuicultura y Pesca ubicado en Guaslan y se realizaron los análisis

de pH, temperatura, coliformes fecales, DBO y DQO, para su luego determinar la eficiencia del proceso.

2.3.3 Etapa 3. Diseño y Construcción del prototipo de filtro biológico.

2.3.3.1 Materiales

- Tanque de 60 litros de capacidad
- Estructura metálica de cinco compartimentos
- Ducha de jardín
- Cinco recipientes plásticos
- Bomba sumergible

2.3.3.2 Método

El prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera* consta de los siguientes sistemas:

- Sistema de homogenización
- Sistema de impulsión
- Sistema de distribución del agua residual
- Sistema de biofiltración
- Almacenamiento

El tanque en el que se encuentra el agua residual de la granja del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura, y Pesca a tratar tiene la capacidad de 60 litros, los mismos que fueron tomados en diferentes tiempos y fueron homogenizados, luego de esto para trasportar al agua hacia el filtro se utilizó una bomba la misma que impulso al agua, mediante una conexión de manguera corrugada para después con medio de la ducha de jardín, el agua es dispersada de manera homogénea hacia el filtro biológico, llegando primero a la capa biológica, para después atravesar por las demás capas del filtro.

Las dimensiones que tiene la estructura metálica del filtro son de 1.6m de alto, 0.45m de ancho y 0.25m de profundidad

Se realizaron 5 compartimentos en estructura metálica de dimensiones 0.30mlargo*0.45m ancho*0.25m profundidad , donde cada uno tiene un recipiente plástico de dimensiones

0.25m*largo 0.45m ancho *0.20m profundidad donde se encuentra en la primera capa el materiales biológicos *Eisenia fetida* con aserrín , en la segunda capa se encuentra *Agave filifera*, en la tercera capa grava, en la cuarta capa piedra y en la última capa se encuentra el recipiente de almacenamiento donde se recoge el agua ya tratada para su posterior control final.

Cada compartimento tiene 5cm de separación para que exista ventilación entre ellos.

2.3.4 Etapa 4 Adaptación del material biológico

Antes del tratamiento de filtracion, se realizó un proceso de adaptación, especialmente de la lombriz, para poder tener un correcto tratamiento del agua residual. Ya que es un ser vivo y necesita la adecuación al proceso que se va a llevar a cabo, y sobre todo porque el agua tiene contaminantes y las lombrices van estar expuestas a estos

2.3.4.1 Materiales

- Guantes
- Mascarilla
- Malla
- Regadera
- Balanza
- Recipiente de 1L
- Recipiente de 6L

2.3.4.2 Método

El procedimiento que se realizó para la adaptación de *la Eisenia fetida* y *Agave filifera* se lo realizo en dos ensayos etiquetados cada uno respectivamente como E1 Y E2.

En cada recipiente respectivamente se realizaron agujeros y se colocó una malla. En E1 y E2 se colocó una capa de aserrín juntamente con una capa de *Agave filifera*, donde se inculó *Eisenia fetida* en estado cocote, juvenil y adulto. Este proceso tuvo una duración de 8 días, se llevó un registro de E1, en cuanto al número y peso de las lombrices, así como también de la humedad, temperatura, pH.E1 se realizó en un recipiente de 1L donde se pudo contabilizar las lombrices y conocer la capacidad de adaptación de las mismas.

E2 se realizó en un recipiente de 6L donde se hizo el proceso de adaptación de las lombrices en masa para luego ser utilizadas en el proceso de biofiltración del agua residual a tratar, para que

no exista ningún problema.

2.3.5 *Etapa 5. Acoplamiento de las capas filtrantes y sistemas del biofiltro*

2.3.5.1 Materiales

- *Eisenia fetida*
- *Agave filifera*
- Aserrín
- Piedras
- Grava

2.3.5.2 Método

La instalación de las capas filtrantes se realizó de forma manual. Primero se realizaron 36 agujeros en cada uno de los recipientes plantillas y se colocó una malla plástica. Luego de esto se colocaron en cada recipiente diferentes capas como se presenta en el siguiente cuadro.

2-3 Tabla: Capas del prototipo biológico

Filtro biológico	
CAPA 1	<i>Eisenia fetida</i> + Aserrín
CAPA 2	<i>Agave filifera</i>
CAPA 3	Grava
CAPA 4	Piedra

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

2.3.6 *Etapa 6 Experimentación, filtración del agua*

2.3.6.1 Medición del caudal de entrada y de salida

Materiales

- Sistema de biofiltrado

- Cronómetro
- Vaso de precipitación de 500 mL

Método

Para la medición del caudal se encendió la bomba 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.

2.3.6.2 Análisis de agua antes y después de su tratamiento

Materiales

- Prototipo de filtro biológico
- Termómetro
- Cooler
- Agua residual
- Medidor de pH
- Botellas de plástico
- Hielo gel
- Guantes
- Mascarilla
- Mandil

Método

Luego de tomar las muestras simples y almacenarlas en el tanque, se realizó la homogenización de los envases a utilizar y se tomó la muestra para el análisis preliminar, para esto se recolectaron tres litros del agua residual, se realizaron análisis de DBO, DQO, Coliformes fecales, y parámetros de control como pH, Temperatura, y se registraron los resultados obtenidos

De igual manera se recolectaron las siguientes muestras del agua tratada para conocer el funcionamiento del filtro biológico, se realizaron los análisis y se registraron los datos correspondientes.

2.3.6.3 Mantenimiento del filtro biológico

Materiales

- Rastrillo de jardín
- Recipiente plástico
- Funda

Método

Se realizó la aireación mediante movimiento del aserrín y la *Agave filifera* con la ayuda del rastrillo de jardín, se desmalezó.

Luego se procedió a limpiar la bomba sumergible y por último la limpieza del aspersor.

CAPITULO III

3 MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Componentes del filtro biológico.

El biofiltro se encuentra compuesto de cuatro capas las mismas que se encuentran dispuestas de la siguiente manera, con sus respectivos pesos.

3-1 Tabla: Cantidad de material utilizado en cada capa

CANTIDAD	
<i>Eisenia fetida</i> + Aserrín	1.5 kg
<i>Agave filifera</i>	1.00 kg
Grava	2.5 Kg
Piedras	3 .00 Kg

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

Estos pesos corresponden a cada capa.

3.2 Muestreo del agua residual a tratar

Este proceso se llevó a cabo en un tiempo de 25 días, tomando 3L cada día, recolectando una muestra de 75L en total como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Recolección de muestras de agua residual

N° MUESTRAS DIARIAS	VOLUMEN RECOLECTADO (LITROS)	N° DÍAS DE MUESTREO	VOLUMEN TOTAL RECOLECTADO (LITROS)
1	3	25	75

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

3.3 Diseño y Construcción del prototipo filtro biológico.

El prototipo biológico se diseñó en tres etapas

ETAPA 1:

En esta etapa se almaceno las muestras recolectadas en un recipiente, en la ilustración 3-1, se muestra el tanque de almacenamiento, su altura es de 60 centímetros, su diámetro interno es de 40 centímetros, su diámetro externo uno es de 34 centímetros y su diámetro externo dos es de 29 centímetros.

Tabla 3-3: Dimensión del tanque de almacenamiento

DESCRIPCIÓN	SIMBOLOGÍA	DIAMETRO VALOR (cm)	DESCRIPCION	SIMBOLOGÍA	RADIO VALOR (cm)
Diámetro externo 2	DE2	29	Radio externo 2	RE2	14.5
Diámetro interno	DI	40	Radio interno	RI	20
Diámetro externo 1	DE1	34	Radio externo 1	RE1	17

Altura	H	60		60	60
Media de la altura	H	30		30	30

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)



3-1 Ilustración: Dimensiones del tanque de homogenización

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

Calculo del volumen del tanque de homogenización

PARTE 1

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

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 30 * (14.5^2 + 20^2 + 14.5 * 20)$$

$$V = 28282.18 \text{ cm}^3$$

$$V = 28.28L$$

PARTE 2

$$V = \frac{1}{3} * \pi * h * (R1^2 + R3^2 + R2 + R3)$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 30 * (20^2 + 17^2 + 20 * 17)$$

$$V = 32326.98$$

$$V = 32.32L$$

$$V.Total = PARTE 1 + PARTE 2$$

$$V = 32.32L + 28.28L$$

$$V = 60.6L$$

El tanque de homogenización tiene la capacidad de 60 Litros

ETAPA 2

Esta etapa corresponde al sistema de impulsión, que está compuesto por una bomba sumergible la misma que impulsa el agua del tanque de almacenamiento para la posterior aspersion al sistema de filtrado

ETAPA 3

Esta etapa corresponde a la distribución de agua al filtro biológico, mediante una manguera corrugada, va desde el tanque de almacenamiento donde se encuentra la bomba sumergible y se dirige hacia una ducha de jardín, la misma que rocía el agua por la superficie del filtro y la distribuye uniformemente para que esta se filtre a las capas inferiores.

ETAPA 4

Corresponde a la última etapa, siendo la de almacenamiento, en esta capa se recoge el agua que ya ha sido tratada, al pasar por el filtro y sus diferentes capas las mismas que a lo largo del recorrido van reteniendo los contaminantes que están suspendidos en el agua residual.

Dejándola libre de agentes patógenos.

Dimensión del contenedor

El filtro consta de cuatro capas de filtrado cada una compuesta por un recipiente plástico de las siguientes dimensiones.

3-4 Tabla: Dimensiones contenedor de las capas filtrantes

DESCRIPCION	SIMBOLO	VALOR(m)
ALTURA	H	0.35
ANCHO	A	0.45
LARGO	L	0.25

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Dimensión de cada capa del filtro biológico

Cada estrato o capa filtrante tiene diferentes dimensiones, las mismas que se propusieron tomando como referencia el estudio de Salazar Patricia “Sistema Tohá; una alternativa ecológica para el tratamiento de aguas residuales en sectores rurales”, donde sugiere que la parte biológica debe contener entre un 60 a 70%, por lo tanto se dispuso en la primera y segunda capa que constituyen el material biológico un 60% *Eisenia fetida* y *Agave filifera* respectivamente, en la tercera capa un 20% de grava y en la cuarta capa un 20% de piedra.

Calculo de la capa 1 (*Eisenia fetida* + Aserrín)

$$Capa 1 = \frac{\% \text{ total del estrato } Eisenia \text{ fetida} + \text{Aserrin} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$Capa 1 = \frac{40 * 65}{100}$$

$$Capa 1 = 26cm$$

$$Capa 1 = 0.26m$$

Calculo de la capa 2 (*Agave filifera*)

$$Capa 1 = \frac{\% \text{ total del estrato } Agave \text{ filifera} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$Capa 1 = \frac{20 * 50}{100}$$

$$Capa 1 = 13cm$$

$$Capa 1 = 0.13m$$

Calculo de la capa 3 (Grava)

$$Capa 1 = \frac{\% \text{ total del estrato Grava} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$Capa 1 = \frac{20 * 50}{100}$$

$$Capa 1 = 13cm$$

$$Capa 1 = 0.13m$$

Calculo de la capa 4 (Piedra)

$$Capa 1 = \frac{\% \text{ total del estrato Piedra} * \text{altitud útil del biofiltro}}{100}$$

$$Capa 1 = \frac{20 * 65}{100}$$

$$Capa 1 = 13cm$$

$$Capa 1 = 0.13m$$

3-5 Tabla: Dimensiones de las capas del prototipo del filtro biológico

	ALTURA(cm)	ALTURA (m)
DESCRIPCIÓN		
<i>Eisenia fetida</i> + Aserrín	26	0.26
Agave filifera	13	0.13
Grava	13	0.13
Piedra de diferentes dimensiones	15	0.15

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Calculo de la altura de las capas filtrantes

$$HT = hc1 + hc2 + hc3 + hc4$$

$$HT = 0.26 + 0.13 + 0.13 + 0.13$$

$$HT = 0.65 m$$

La suma total de la altura de cada capa es 65cm

3.4 Adaptación del material biológico

Para el proceso de adaptación de *Eisenia fetida* se realizaron dos ensayos E1 y E2.

En cuanto al ensayo E1 se colocó en un recipiente de 1L, en el cual se realizó perforaciones en su fondo y se colocó una malla.

Se colocó 80g de sustrato (Aserrín) al 80% de humedad la misma que se midió con la prueba del puño a 16°C y pH 6.6.

Se inocularon 65 lombrices (40 adultas, 20 juveniles y 5cocotes) con un peso de 8.2g de las lombrices, al día 2 se contaron y pesaron las lombrices dando como resultado 63 lombrices (39 adultas, 20 juveniles y 4cocotes) y un peso de 7.8 g a una temperatura de 16.5°C y pH 6.7. Al octavo día se contaron 59 lombrices y 10.2g su peso.

3-6 Tabla: Registro de control de ensayo E1

DIA 1					
SUSTRATO (g)	LOMBRICES (N°)	HUMEDAD (%)	PH	TEMPERATURA (°C)	PESO (g)
80	65	80	6.6	16	8.2
DIA 2					
80	63	78.7	6.7	16.5	7.80
SUSTRATO (g)	LOMBRICES (N°)	HUMEDAD (%)	PH	TEMPERATURA (°C)	
DIA 3					
80	-	77.8	7	16	
DIA 4					
80	-	77.8	7	15.5	
DIA 5					
80	-	77.8	7	15	
DIA 6					
80	-	77.8	7	15.5	
DIA 7					
80	-	77.8	7.2	15.5	
DIA 8					
SUSTRATO (g)	LOMBRICES (N°)	HUMEDAD (%)	PH	TEMPERATURA (°C)	PESO (g)
80	59	77.8	7.2	15.8	10.2

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

En cuanto al ensayo E2 se colocó en un recipiente de 6L, en el cual se realizó perforaciones en su fondo y se colocó una malla.

Se colocó 1000g de sustrato (aserrín + Agave filifera) al 80% de humedad la misma que se midió con la prueba del puño. A 16°C y PH 6.6. Este proceso se realizó a las 9 AM

Se inocularon 450g de lombrices entre adultas, juveniles y cocotes.

3-7 Tabla: Registro de control del ensayo E2

DIA	SUSTRATO	TEMPERATURA	PH	HUMEDAD
1	1000 g	16	6.5	80
2		16.5	6.8	75.6
3		15	7.0	75.6
4		15.5	7.0	76.5
5		15	7.0	76.5
6		15.5	7.0	76.5
7		15.5	7.2	78
8		15.8	7.2	78

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

En este ensayo pudimos observar que el PH va en aumento ya que la lombriz tiene la capacidad de estabilizar la acidez de la tierra gracias a sus glándulas calcíferas que se encuentran en el esófago de esta.

En cuanto a la humedad se ha controlado, por lo que se llevó en un rango que oscila de 75 a 80%,

3.5 Acoplamiento de las capas filtrantes del filtro biológico

En cada compartimento del filtro se colocó manualmente el material filtrante, en la primera capa se colocó el material biológico *Eisenia fetida* y aserrín, adaptados previamente, en esta capa queda retenida la materia orgánica la misma que es consumida por las lombrices y de esta manera el agua queda libre de agentes biológicos dañinos, en la segunda capa *Agave filifera* esta fibra nos ayuda a retener los componentes más pequeños que han atravesado por la primera capa.

En la capa tres se colocaron grava la misma que se utiliza como soporte de medios filtrantes, siendo un material económico no influencia negativamente en el tratamiento de agua.

La cuarta capa se colocó piedras de diferentes diámetros las mismas que nos ayudan en oxigenaciones del agua.

Cada capa tiene una separación de 5cm para su correcta aireación y mantenimiento para cambiar o lavar cuando se sature una capa.

3-8 Tabla: Dimensiones de las capas del prototipo biológico

ESTRATO	CONTENIDO	ALTURA(cm)
CAPA 1	<i>Eisenia fetida</i> + Aserrín	26
CAPA 2	<i>Agave filifera</i>	13
CAPA 3	Grava	13
CAPA 4	Piedras	13

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

3.6 Experimentación, filtración, análisis final, del agua.

3.6.1 Medición del caudal de entrada y salida

3-9 Tabla: Medición del caudal de entrada

CAUDAL NOMENCLATURA (Q)	MEDICIONES(ml/min) REPETICIONES	X (ml/min)
Medición 1(Q1)	63	62
	61	
	62	
Medición 2 (Q2)	150	148
	146	
	147	
Medición 3(Q3)	370	373
	377	
	372	

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Para cada caudal se lo tomó tres veces, después se sacó la media, obteniendo un valor promedio.

3-10 Tabla: Medición del caudal de salida

Mediciones	Caudal	Media
Medición 1	34 ml/min	95 mL/min
Medición 2	72 ml/min	
Medición 3	178 ml/min	

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

Tiempo de retención hidráulica

3-11 Tabla: Tiempo de retención hidráulica de acuerdo a los caudales

CAPAS	TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (h)		
	TRH ₁	TRH ₂	TRH ₃
CAPA1 (<i>Eisenia fetida</i> + Aserrín)	9.5	4.02	2.10
CAPA2 (<i>Agave filifera</i>)	3.5	1.5	0.48
CAPA3 (Grava)	3.2	0.90	0.41
CAPA4 (Piedra)	2.8	0.86	0.35

Fuente Realizado por (Caicedo..J)

Cada tiempo de retención hidráulica (TRH), se midió según el tiempo que tarda en pasar el agua por cada estrato, e inicia su aparición en la base de la capa, según cada caudal aplicado.

En la experimentación que se realizó aplicando tres diferentes caudales obtenemos que para el caudal de 62ml/min tenemos un tiempo de retención hidráulico para la primera capa compuesta por *Eisenia fetida* y Aserrín de 9.5h, para la segunda capa compuesta de *Agave filifera* de 3.5h, para la tercera capa de Grava 3.2h y para la cuarta capa de piedras 2.8h, tomando en cuenta lo anteriormente considerado.

En cuanto al caudal de 148ml/min el tiempo de retención hidráulico para la primera capa se determinó que es de 4.02h, para la segunda capa de 1.5h, para la tercera capa de 0.90h y para la cuarta capa de 0.86h.

Aplicando el caudal de 373ml/min se obtuvo el tiempo de retención hidráulico para la primera capa de 2.10h, para la segunda capa de 0.48, para la tercera capa de 0.41, y para la cuarta capa de 0.35h.

Según los caudales aplicados y realizando las observaciones respectivas nos pudimos dar cuenta que el primer caudal aplicado de 60ml/min tardó mucho en filtrarse y en cambio el tercer caudal de 373 ml/min en momentos provocó acumulación de agua en la primera capa, lo que no es favorable para el tratamiento ya que las lombrices necesitan un 70 a 80% de humedad.

Por tanto el caudal ideal es de 148ml/min ya que el agua se distribuyó homogéneamente por el filtro sin producir inundaciones y en un tiempo prudente.

3.6.2 *Análisis de agua antes y después de su tratamiento*

Los análisis de entrada y salida del tanque de biofiltrado se realizaron en el laboratorio de Guaslan, durante 4 semanas, los resultados se presentan a continuación

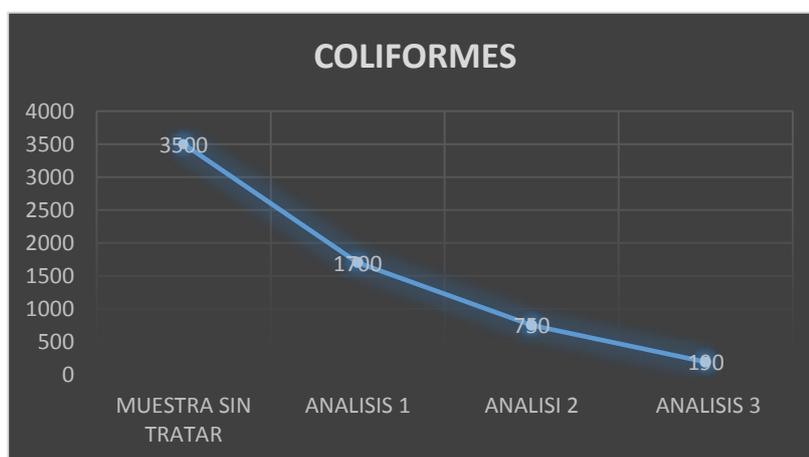
3.6.2.1 Análisis de coliformes fecales

3-12 Tabla: Resultados de análisis de coliformes fecales

COLIFORMES FECALES (NMP/100ml)	
ANALISIS 1 (Previo al tratamiento)	3500
ANALISIS 2	1700
ANALISIS 3	750
ANALISIS 4	190

Realizado por: (Caicedo, J, 2016)

3-1 Gráfico: Proceso de tratamiento de coliformes fecales



Fuente Realizado por (Caicedo.J)

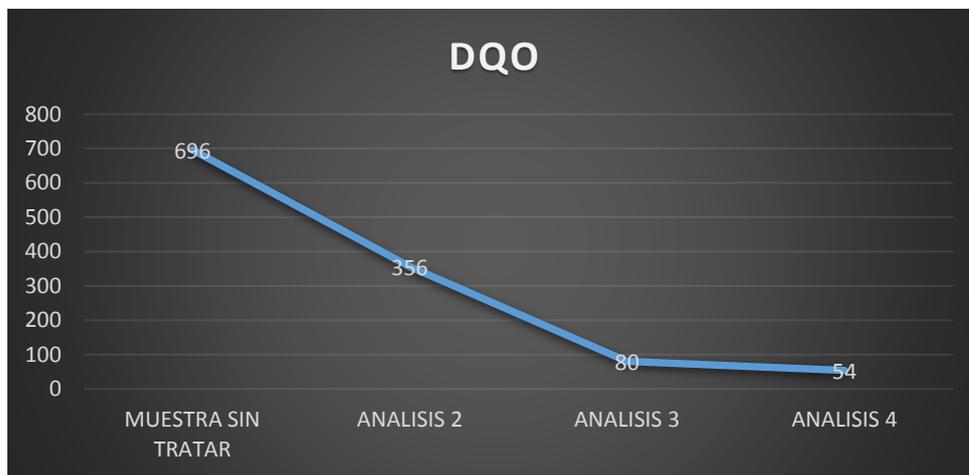
3.6.2.2 Análisis de DQO

3-13 Tabla: Resultados de análisis de DQO

DQO(mg/L)	
Fechas	Resultados
ANALISIS 1 (Previo al tratamiento)	696
ANALISIS 2	356
ANALISIS 3	80
ANALISIS 4	54

Fuente Realizado por (Caicedo.J)

3-2 Gráfico: Proceso de tratamiento de DQO



Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

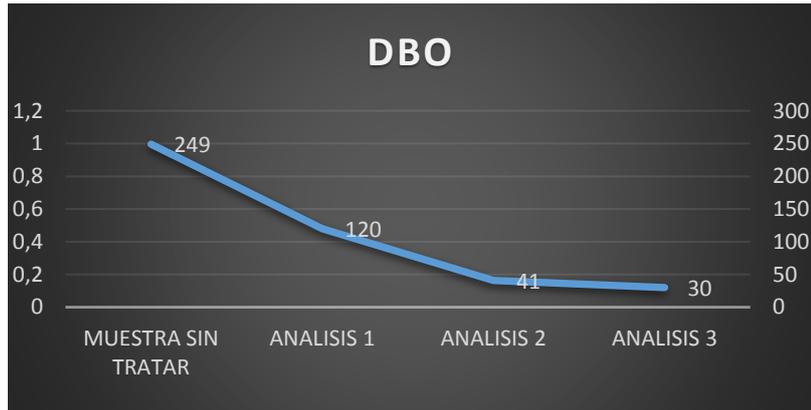
3.6.2.3 Análisis de DBO

3-14 Tabla: Resultados de análisis de DBO

DBO(mg/L)	
ANALISIS 1(Previo al tratamiento)	249
ANALISIS 2	120
ANALISIS 3	41
ANALISIS 4	30

Realizado por: (Caicedo. J, 2016)

3-3 Gráfico: Proceso de tratamiento de DBO



Fuente Realizado por (Caicedo.J)

3.6.3 Determinación de la eficiencia (porcentaje de degradación)

3.6.3.1 Determinación del porcentaje de degradación.

Para evaluar el funcionamiento del prototipo biológico compuesto de *Eisenia fetida* y *Agave filifera* se determinó el porcentaje de eficiencia de los parámetros analizados.

Cálculo del porcentaje de eficiencia en remoción de Coliformes fecales

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

$$\%Eficiencia = \frac{(3500 - 190)}{(3500)} * 100$$

$$\%Eficiencia = 94.4\%$$

Los resultados obtenidos en el tratamiento de aguas residuales del de Ministerio de Agricultura Acuicultura y Pesca en la remoción de Coliformes fecales nos da una eficiencia del 94,4%, porcentaje que nos indica que el tratamiento utilizado en este estudio, en este caso filtración biológica utilizando *Eisenia fetida* y *Agave filifera* es un proceso muy eficiente y por ende satisface las necesidades en el tratamiento del agua.

Estos datos o resultados se corroboran con otros estudios como es el realizado por Mendieta en el tratamiento de aguas de una empacadora de camarón en Guayaquil obteniendo resultados

favorables y con eficiencias altas en el tratamiento de aguas; así como también se contrasta con el estudio de Salazar Patricia (Salazar, 2005, pp. 60) quien obtuvo una eficacia de 96% en el tratamiento.

Calculo del porcentaje de eficiencia de DBO

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

$$\%Eficiencia = \frac{(249 - 30)}{(249)} * 100$$

$$\%Eficiencia = 87.7\%$$

En cuanto al DBO se ha determinado una eficiencia del 87.7% conociendo que el DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas, por tanto es un parámetro que nos indica la calidad de agua.

Este parámetro ha sido disminuido en un porcentaje alto, esto nos dice que el presente tratamiento utilizado es eficiente y se lo recomienda. Los resultados obtenidos en este estudio se corroboran con el estudio realizado por Salazar Patricia (Salazar, 2005, pp. 60) obtuvo un 95 % de eficiencia en disminución de DBO y el estudio de Jacipt Ramón (Ramón, J, 2015: pp, 50) quien obtuvo una eficiencia del 90%.

Calculo del porcentaje de eficiencia de DQO

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

$$\%Eficiencia = \frac{(696 - 54)}{(696)} * 100$$

$$\%Eficiencia = 92.2\%$$

La eficiencia obtenida en de la remoción de DQO que es la cantidad de sustancias susceptibles

de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en el agua residual, es muy alta específicamente el 92.2%, por ende el tratamiento utilizado en la presente trabajo de investigación es muy eficiente en la remoción de DQO. Lo que corrobora con otras investigaciones realizadas como por ejemplo en el tratamiento de aguas en una productora de cárnicos, don se obtuvo una eficiencia muy alta de 95% en la remoción de DQO. (Jiménez, A.20, 21,22); así como también con la investigación realizada en Chile por el doctor José Tohá precursor de la utilización de lombriz californiana para el tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo biológico compuesto por *Eisenia fetida* y *Agave filifera*, formado de un sistema de almacenamiento que consta de un tanque con capacidad de 60L, sistema de filtrado compuesto por estructura de metálica de con cinco compartimentos de las siguientes dimensiones, 0.30m largo, 0.45m de ancho, 0.25m de profundidad, en cada compartimento se colocó, una bandeja plástica cuyas dimensiones son 0.25m largo, 0.45ancho, 0.20m de profundidad; cada compartimento tiene una separación de 5cm para aireación, se tomó como referencia el filtro TOHA del Doctor José Toha de la Universidad de Chile.
- Se realizó la caracterización inicial del agua a tratar, obteniendo los siguientes resultados; Demanda bioquímica de Oxígeno 249 mg/L, Demanda química de Oxígeno 696 mg/L, Coliformes fecales 3500 NMP/10ml.
- Se determinó las eficiencias en la disminución los parámetros analizados, obteniendo como resultados Demanda bioquímica de Oxígeno 87.8%, Demanda química de Oxígeno 92.2 %, Coliformes fecales 94.4%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar diferentes fibras vegetales como las fibras de caña, fibras de coco.

Experimentar con diferentes tiempos de retención hidráulica para ver si hay mayor eficiencia en el tratamiento o el tratamiento puede ser con mayor rapidez

Experimentar utilizando esta técnica, la remoción de metales pesados u otros contaminantes presentes en el agua.

Es recomendable que se cubra el filtro con techo para evitar la presencia de depredadores de lombrices tales como aves.

BIBLIOGRAFÍA

ARROYAVE, Paola C. et al. “Aprovechamiento integral de *Furcraea macrophylla* Backer”. Universidad EAFIT. Departamento de Ingeniería de Procesos [en línea] [Consulta: 30 Julio 2016], 2001, (Medellín).pp.5-8. Disponible en:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-9965200600200002

BORJA, Mario. Diseño de una Planta de Tratamiento para aguas Residuales de la ciudad de Guaranda, Tesis (Ingeniero Biotecnólogo Ambiental), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2011,pp 20,30,31

CAMPOS-Pinilla. et al. “Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá” *Universitas Scientiarum* [en línea] [Consulta: 27 Julio 2016]. 2008 (Colombia), pp 103-108. Disponible en:
<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1414>

CRESPO, Raúl, et al.: "Producción de Humus de lombriz en Cuba. Aplicaciones y crites, ron. & Tchobanoglous, George, tratamiento de aguas residuales en EWEIS, JUANA., et al.: Principios de biorrecuperación. Madrid-España: McGraw-Hill, 1999, pp 149-153

DOMÍNGUEZ, José María Soria. La innovación tecnológica. Tecnologías y desarrollo sostenible en el olivar, Universidad del Bío-Bío, Concepción - Chile, 2010 pp. 30,56. [en línea]. [Consulta: 25 Julio de 2016], Disponible en:
https://issuu.com/olivaetradepoint/.../tecnologias_y_desarrollo_sostenible_en_el_oliva.

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

FERRER POLO, José; Y SECO TORRECILLAS Aurora. Tratamientos biológicos de aguas residuales, Primera edición. México: Editorial ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A, DE CV, 2008, pp.50-53.

GARCÍA, Diana. Fito depuración Sostenible de aguas residuales mediante la utilización de humedales artificiales, [en línea], [Consulta: 16 Mayo 2016] (Tesis) (Ingeniero Químico), Universidad de Cuenca, Cuenca 2010, pp. 20,34. Disponible en:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2399>

DOMÍNGUEZ, José M. A., Buelna, G., & Moeller-Chávez, G. E. La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnología y ciencias del agua*. 2012, pp, 153-161.

LOZANO, William.” Uso del extracto de fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales”. Memoria para la obtención de la Suficiencia Investigadora–DEA. Programa Interuniversitario de Doctorado en Biotecnología, Univ. Int. de Andalucía, Univ. de Málaga y Univ. de Córdoba. Huelva, España, 2010. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n3/v28n3a4.pdf>

LÓPEZ, Javier, et al. Optimización del proceso de obtención enzimática de azúcares

fermentables a partir de aserrín de pino. Revista internacional de contaminación ambiental, 2009, vol. 25, no 2, pp. 95-102.

JIMÉNEZ, Andrea. Estudio de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales provenientes de una fábrica de embutidos, [en línea], [Consulta: 11 Abril 2016] (Tesis) (Ingeniero Químico), Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Quito, 2010, pp. 20, 30, 50,70. Disponible en:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/14587/1/CD-6787.pdf>

LOMBRICULTURA, Agroflor. Manual de Lombricultura. Ediciones Agroflor, Camino Villarica-Loncoche, Km, 2004, vol. 8.

MADERA, Carlos, et al. (2011). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico-filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. Revista Ingeniería y Competitividad, pp, 5-10.

MACÍA, Manuel J Las plantas de fibra. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz [en línea]. [Consulta: 25 Julio de 2016], Disponible en:
<http://beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2023.pdf> Links], 2006.

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. [en línea]. [Consulta: 28 Julio de 2016] (Tesis posgrado) (Magister en Ingeniería Ambiental), Guayaquil - Ecuador: Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, 2012, pp. 112-14,115 Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/1630>

METCALF & EDDY, “Ingeniería de Aguas residuales. Redes de Alcantarillado y Bombeo”. Editorial McGraw-Hill. Madrid. 199 “Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización”. Editorial McGraw-Hill. Madrid. 1995).pp. 308, 407,506.

METCALF & EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización: Madrid-España: McGraw-Hill Interamericana: 1995, pp. 508-515; 538-551; 555-557; 605-681.

Ministerio del Ambiente: Decreto Legislativo 3 Abril 2006, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes recurso agua libro X anexo I p. 50.

PHILIPS, P. et al. Wounds International. [En línea] [Consulta: 10 mayo 2016] Biopelícula: 2010. Disponible en:
www.woundsinternational.com/pdf/content_10739

PACO, Gabriel, et al. Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. Journal of the Selva Andina Research Society, 2011, vol. 2, no 2, .pp24-39. Disponible en:
<http://www.EfectoDeLaLombrizRojaCalifornianaEiseniaFoetidaDur-3879875.pdf>

RAMÓN, Jacipt, et al. Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. Mutis, 2015, vol. 5, no 1, pp. 46-54.

SALAZAR, Patricia. Sistema Tohá: Una Alternativa Ecológica para Tratamiento de Aguas Residuales en Sectores Rurales, [en línea]. [Consulta: 1 Julio de 2016] (Tesis) (Constructor Civil), Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil, Chile, 2005, pp. 4, 39,70-77. Disponible en:

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>

SÁNCHEZ, Rodrigo. Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas, [en línea]. [Consulta: 1 Agosto de 2016] (Tesis), (Ingeniero Civil), Escuela Politécnica Nacional, Facultad de ingeniería civil y Ambiental, Quito, 2011, pp. 21,50. Disponible en:

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcis161s/doc/bmfcis161s.pdf>

SILVA, Javier, et al. Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria: coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego estado Carabobo Venezuela. Rev. Soc. Venez. Microbiología, 2004, 24(1/2), pp 46-49.

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. [en línea]. [Consulta: 8 Julio de 2016] (Tesis) pregrado (Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales), Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quito - Ecuador. 2014, pp. 97-99. Disponible en:

www.sinia.cl/1292/articles49990_09.pdf

VIZCAÍNO MENDOZA, Lissette Y FUENTES MOLINA, Natalia. Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 2016, vol. 19, no 1, pp. 189-198.

ANEXOS

ANEXO A: Recolección de material filtrante





ANEXO B: Sitio de muestreo



ANEXO C: Muestreo



ANEXO D: Adaptación de especies



ANEXO E: Prototipo de filtro biológico



ANEXO F: Filtración de agua residual



ANEXO G: Agua tratada



ANEXO H: Análisis del Agua residual





ANEXO I: Sembríos de la Granja del Ministerio de Agricultura Ganaderia Acuacultura y Pesca



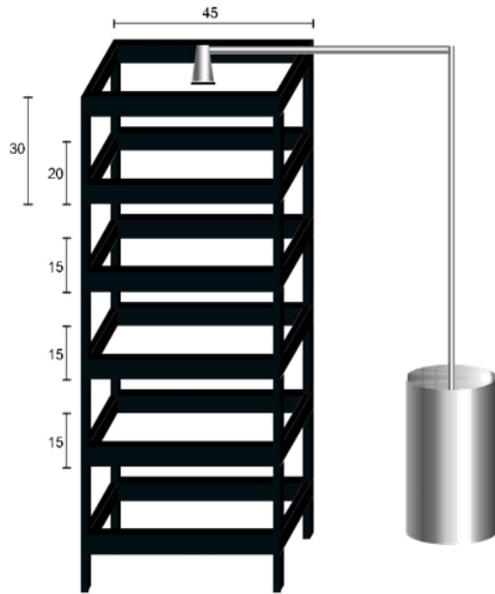
ANEXO J: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	3.6.3.1.1.1.1.1 0,3
Alkil mercurio		mg/l	3.6.3.1.1.1.1.2 No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible

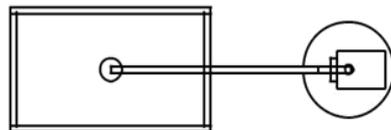
ANEXO K: Criterios de Calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		3.6.3.1.1.1.1.3 1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	Cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

ANEXO L: Plano del prototipo biológico



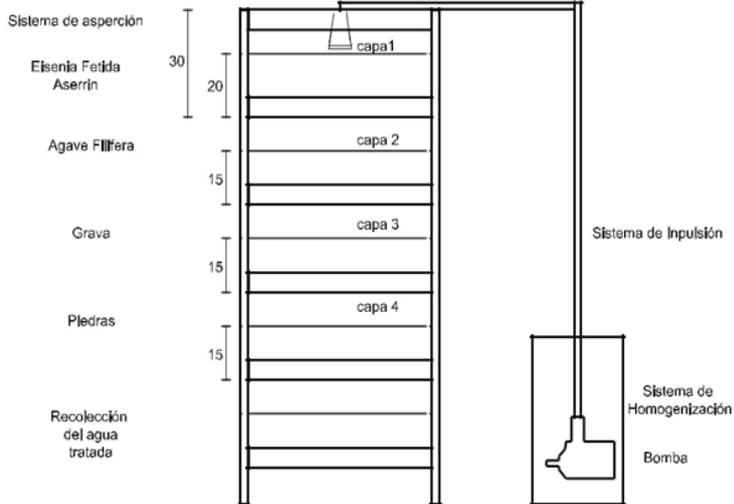
Vista superior



Vista frontal



Vista lateral



Trabajo de Titulación:

Tema
Biofiltros:

Realizado por:
Jenniffer Caicedo

Revisado por:
Dra Susana Abdo

Lamina 1/1

Revisado por:
Dra Yolanda Diaz

Escala 1:2