



INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA Y LENTEJA DE AGUA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

FRANCISCO JAVIER LIBERIO ACOSTA
GREGORIO VÁSCONEZ MONTÚFAR

**INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA
CALIFORNIANA Y LENTEJA DE
AGUA EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES
URBANAS**

INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA Y LENTEJA DE AGUA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

**FRANCISCO JAVIER LIBERIO ACOSTA
GREGORIO VÁSCONEZ MONTÚFAR**

Título original: INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA
CALIFORNIANA Y LENTEJA DE
AGUA EN EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES
URBANAS

© FRANCISCO JAVIER LIBERIO ACOSTA
GREGORIO VÁSCONEZ MONTÚFAR

2020,

Publicado por acuerdo con los autores.

© 2020, Editorial Grupo Compás
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Guayaquil-Ecuador

Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Editado en Guayaquil - Ecuador

ISBN: 978-9942-33-306-3

Cita.

Liberio, F. Vásconez. G. (2020) INCIDENCIA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA Y LENTEJA DE AGUA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS, Editorial Compás, Guayaquil Ecuador, 49 pag

Contenido

TABLA DE ILUSTRACIONES.....	4
PRÓLOGO.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO I: UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.	9
Situación actual.....	11
CAPÍTULO II: CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	13
El agua residual.....	13
Tipos de aguas residuales.....	13
Aguas blancas.....	13
Aguas residuales industriales.....	14
Aguas residuales agrícolas.....	14
Aguas residuales domésticas o aguas negra.....	14
Aguas grises.....	14
Aguas residuales frescas.....	15
Aguas residuales sépticas.....	15
Composición de las aguas residuales.....	15
Características químicas.....	19
Características biológicas.....	20
Especies utilizadas en tratamientos biológicos de agua.....	21
Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	21
Lenteja de agua (<i>Lemna minor</i>).....	22
Estudios en <i>Eisenia foetida</i> y <i>Eichhornia</i>	22
Tratamientos del agua residual.....	23
Tiempo de Retención hidráulico.....	24
CAPÍTULO III: INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	25

Investigación de campo	25
Diseño de biofiltros.....	26
Diseño de la investigación	26
Instrumento de investigación	28
Caracterización de aguas residuales urbanas que se descargan en el río Quevedo mediante un muestreo y análisis de laboratorio.	28
Evaluación del uso de un biofiltro compuesto de lombriz roja californiana (eisenia foetida) y lenteja de agua (lemna minor), sobre las características físicas, químicas y microbiológica de las aguas residuales urbanas que se descargan en el río Quevedo	29
Demanda química de oxígeno	30
Demanda bioquímica de oxígeno	31
Sólidos disueltos totales.....	32
Sólidos suspendidos totales	33
Sólidos sedimentables.....	34
Sólidos totales.....	35
Conductividad eléctrica	36
Potencial de hidrogeno (pH)	37
Oxígeno disuelto	38
Coliformes fecales	39
Determinación de la eficiencia del biofiltro compuesto de lombriz californiana (eisenia foetida) y la lenteja de agua (lemna minor) en función a la reducción de la carga contaminante.	40
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	46

Tabla de Ilustraciones

Tabla 1: Esquema del experimento.....	27
Tabla 2: Esquema de Varianza (ANOVA)	27
Tabla 3: Resultados de la caracterización inicial del agua del río Quevedo.	29
Tabla 4: Análisis de varianza de la demanda química de oxígeno (DQO) 30	
Tabla 5: Prueba de Tukey de la demanda química de oxígeno (DQO).....	30
Tabla 6: Análisis de varianza de la demanda bioquímica de oxígeno.....	31
Tabla 7: Prueba de Tukey de la demanda bioquímica de oxígeno.....	31
Tabla 8: Análisis de varianza de los sólidos disueltos totales	32
Tabla 9: Prueba de Tukey de los sólidos disueltos totales.....	32
Tabla 10: Análisis de varianza sólidos suspendidos totales	33
Tabla 11: Prueba de Tukey sólidos suspendidos totales.....	33
Tabla 12: Resultado comparativo de los sólidos sedimentables	34
Tabla 13: Análisis de varianza de los sólidos totales	35
Tabla 14: Prueba de Tukey de los sólidos totales.....	35
Tabla 15: Análisis de varianza conductividad eléctrica	36
Tabla 16: Test de Tukey conductividad eléctrica	36
Tabla 17: Análisis de varianza potencial de hidrogeno (pH)	37
Tabla 18: Prueba de Tukey del potencial de hidrogeno (pH)	37
Tabla 19: Análisis de varianza del oxígeno disuelto	38
Tabla 20: Prueba de Tukey del oxígeno disuelto	38
Tabla 21: Análisis de varianza de los coliformes fecales.....	39

Tabla 22: Prueba de Tukey de los coliformes fecales	39
Tabla 23: Resultados del mejor tratamiento mediante la aplicación de Biofiltros	40

Prólogo

La necesidad de disponer de agua para satisfacer los requerimientos básicos del hombre ha obligado a desarrollar una serie de aspectos tecnológicos de la más variada índole. Actualmente, existe a nivel mundial un particular interés en los proyectos vinculados con la provisión de agua potable, el desarrollo de energías limpias, la protección del medio del ambiente y el saneamiento hídrico.

El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), que es un programa de cooperación Científico-Tecnológica multilateral, conocedor de la importancia de la problemática del agua mantiene entre sus subprogramas el CYTED - XVII.

El CYTED - XVII: Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos, reúne especialistas e investigadores de los 21 países de Iberoamérica, generando una herramienta eficaz para colaborar con el desarrollo sustentable de la región.

La actual problemática del agua integra el saber de una variedad de sistemas, que no son usualmente considerados en forma simultánea. Por esta razón, es de gran importancia la integración de las diferentes ciencias para lograr el conocimiento transdisciplinario, la unión de la investigación con la docencia ya sea formal e informal y la integración de los iniciadores de conocimiento con todos los organismos normativos y de gestión.

El gran desafío que enfrentan todos los países iberoamericanos es el abastecimiento de agua en cantidad y en calidad adecuada para sus habitantes. Por lo tanto, es necesario exaltar el conocimiento de la relación existencial entre la aplicación del agua con los ecosistemas.

Los países de Iberoamérica comprenden una unidad cultural e histórica, que incluye una enorme extensión y diversidad desde entre los recursos

naturales y del medio ambiente. El agua es parte indisoluble de éstos, y es parte fundamental de la vida, pero está también inseparablemente unida, en su manejo y uso, con el pensamiento y cultura de los pueblos.

El conocimiento científico y tecnológico es el fundamento para una gestión integradora de un recurso casi escaso e indispensable como lo es el agua. Por esta razón es necesario realizar mecanismos que aseguren de forma total o parcial la inocuidad del agua potable, como es el caso en esta investigación que se trata sobre la creación de una planta casera purificadora de agua, lo cual ayudará a mantener y a generar agua más confiable para la salud humana y de esta manera afectar positivamente al ecosistema que nos rodea.

Ing. Agrp. Víctor A. Molina Barbotó, MS.c
ESPECIALISTA EN METEOROLOGÍA Y ECOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE TÉCNICA DE BABAHOYO

Introducción

El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo y supervivencia de los seres vivos del planeta, pero con el tiempo disminuye debido a su demanda para la satisfacción de las necesidades humanas. La contaminación de este recurso es un problema que se agrava ya que se encuentra estrechamente relacionado con las diversas actividades humanas e industriales, sumado a esto la falta de desarrollo tecnológico que permita un correcto crecimiento de estas actividades desde el punto de vista ambiental, provocando la degradación de los ecosistemas acuáticos.

Este panorama evidencia la necesidad de realizar una gestión de calidad del recurso, para lograr efectos positivos en el manejo eficiente del agua y de su tratamiento con el objetivo de mitigar el impacto sobre las fuentes de agua y mediante el uso responsable y su ahorro garantizar un abastecimiento futuro, pues, se trata de un recurso muy importante para el desarrollo de la vida. En la actualidad existen diferentes tratamientos para lograr este propósito, entre éstos se encuentra el uso de biofiltros.

La presente investigación es factible, debido a que se contó con los recursos necesarios para realizar los parámetros físicos químicos y microbiológicos, además se fundamentó en bases bibliográficas relacionadas con el objeto de estudio, en relación con la factibilidad para el desarrollo del biofiltro a partir de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) y lenteja de agua (*Lemna Minor*), las cuales se utilizaron en la depuración de aguas residuales urbanas que se descargan en el río Quevedo.

Capítulo I: Ubicación y contextualización de la problemática.

La vida es un aprendizaje de renunciamiento progresivo, de continua limitación de nuestras pretensiones, de nuestras esperanzas, de nuestra fuerza, de nuestra libertad.

Henry Frédéric Amiel

Quevedo, es la urbe más grande y poblada de la Provincia de Los Ríos. Se localiza al centro de la región litoral del Ecuador, en una extensa llanura, atravesada por el río Quevedo, a una altitud de 74 msnm y con un clima lluvioso tropical de 28°C en promedio. El río Quevedo al adentrarse en la provincia de Los Ríos recibe las aguas de varios ríos menores como el Chila, el Quinaigua y el San Pablo; corre entonces de norte a sur regando importantes zonas agrícolas y pasa junto a las poblaciones de Quevedo, Palenque y Vinces -tomando el nombre de cada una de ellas-, para finalmente, con el nombre de Junquillo, desembocar en el río Babahoyo, en la provincia del Guayas.

El agua es un recurso natural e indispensable para la vida, constituye el fundamento de toda forma de vida en la tierra; la cual satisface las necesidades de los seres humanos, en sus actividades diarias. La contaminación de este recurso es un problema que se incrementa cada día, debido a que no existe un correcto tratamiento de este recurso,

posterior a su uso. Las aguas residuales urbanas y las aguas residuales industriales son el mayor factor de contaminación de los ríos específicamente en Quevedo, ya que este Cantón no posee con una planta certificada de tratamientos de aguas residuales.

A la hora de definir cuál es la acción mas conveniente de gestión ambiental para el tratamiento de la contaminación de aguas residuales urbanas, se requiere establecer los mejores criterios y saber tomar la decisión más adecuada en el marco del desarrollo sostenible, ya que este enfoque trastoca el ámbito económico, social, ambiental, ente otros.

Otro de los factores principales para el deterioro del río Quevedo es la falta de cultura ambiental por parte de los habitantes de esta ciudad, el río no solo está contaminado por aguas residuales y aguas servidas, sino que también se ha convertido en algunos sectores como basurero. La calidad de las aguas del río se ha visto afectada por las descargas de agua residual urbana que recibe.

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), se considera actualmente como un recurso biotecnológico por su capacidad en la degradación de la materia orgánica cuando se encuentra suspendida en el agua residual. Dicha especie se puede localizar con facilidad en la tierra o en lugares adecuados para su crianza. En algunas investigaciones se las ha utilizado para el tratamiento de aguas residuales, donde usaron filtros compuestos de lombrices y aserrín para luego pasar por carbón activado y finalmente una capa de grava de piedra, dando como resultado agua libre de contaminantes orgánicos (Caicedo, 2015).

Las plantas acuáticas denominadas macrófitas son de vital importancia, estas aportan directa o indirectamente alimento, protección y habitat para diversos organismos. Varias de estas plantas son utilizadas por el hombre en numerosos procesos de biorremediación, por su facilidad para

absorber sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante su fotosíntesis. Una de estas plantas macrófitas es la lenteja de agua (*Lemna minor*), conocida por ser una planta acuática eficiente en la asimilación de los nutrientes que se liberan en el proceso de descomposición de la materia orgánica que se encuentran en el agua residual (Arroyave, 2004).

El tratamiento de las aguas residuales mediante macrófitas flotantes se fundamenta en mantener una cobertura vegetal sobre la lámina de agua, que en condiciones no controladas generarían condiciones anaeróbicas mientras que, para que ocurra la remoción de contaminantes es necesario sistemas con aireación y circulación pues los sistemas se desarrollan en condiciones aerobias (Coronel, 2015)

La implementación de este sistema de tratamiento ayuda en el mejoramiento de la calidad de agua de riego, por medio de la filtración y la depuración de contaminantes orgánicos con la ayuda de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) lenteja de agua (*Lemna minor*).

Situación actual

Los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos urbanos. Gracias a los volúmenes de agua que transportan y al movimiento de estas, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, etc.

Sin embargo, frecuentemente las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos y peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias.

En relación con la ciudad de Quevedo, el crecimiento poblacional y la falta de una planta de tratamiento de aguas residuales ha ocasionado que el río Quevedo reciba gran cantidad de aguas residuales urbanas, impidiendo la depuración natural de las aguas lo cual es un factor de contaminación a largo plazo a los habitantes y personas que dependen de este importante recurso.

En un estudio realizado sobre la calidad de agua de consumo humano en el cantón Quevedo, provincia de Los Ríos – Ecuador, se evaluó parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua de varias estaciones de bombeo comparando los resultados en las normativas vigentes como el Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, Norma INEN 1108, EPA y OMS. La mayoría de los parámetros evidenciaron diferencias significativas en las muestras de agua tomadas del río (Baque, 2016)

CAPÍTULO II: Conceptos y definiciones

El aprendizaje es cualquier cambio que haga un sistema para adaptarse a su medio ambiente.

Herbert Simón

El agua residual

Son el resultado de aguas de composición variada procedentes de las descargas de municipios, industrias comerciales, diversos servicios agrícolas. Siendo una consecuencia inevitable de las actividades humanas provocando su contaminación e invalidando su posterior aplicación para otros usos (Ley de Gestión Ambiental, 2006).

Se definen a las aguas residuales como las aguas que son resultado de un sistema de abastecimiento poblacional, luego de haber pasado por diversas actividades antropogénicas. Por la reutilización de estas aguas en diversas actividades se han desarrollado diversos sistemas para tratamiento de aguas residuales los cuales se deben asegurar en eliminar los diversos contaminantes presentes para volver segura la reutilización de la misma (Lizarazo, 2013).

Tipos de aguas residuales

Aguas blancas

Están constituidas principalmente por aguas pluviales, siendo las principales abastecedoras de las grandes aportaciones de caudales. Sin embargo, con el constante progreso del urbanismo subterráneo genera que se vuelvan de mayor importancia por ser frecuentemente afectadas por fugas de las redes de alcantarillado (Amilcar, 2008).

Aguas residuales industriales

Son procedentes de las actividades de producción o manipulación donde se utilice agua, presentan variaciones muy diversas en su caudal y composición difiriendo los componentes de los vertidos, siendo estas las más contaminadas y con una contaminación muy compleja de tratar (Guadarrama, 2015).

La contaminación del agua es problema que afecta a la sociedad actual, debido a los diferentes compuestos que se encuentran contenidos en el agua los cuales provienen de origen y naturaleza distintas, cuya presencia en el medioambiente, provoca un deteriora el agua de riesgo y aguas para consumo humano (Gil, 2012).

Aguas residuales agrícolas

Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo.

Aguas residuales domésticas o aguas negra

Son residuos de hogares producto de las actividades humanas cotidianas. Pueden contener una gran carga de materia orgánica y microorganismos, como residuos de jabones, detergentes y otros productos de uso doméstico (Portero, 2017).

Aguas grises

Las aguas grises son aquellas que no proceden del inodoro es decir se tratan de aguas que no poseen residuos fecales en cantidades considerables. Son las aguas que se generan de las actividades de duchas, bañeras y lavamanos, excluyendo a las aguas donde se intervenga procesos donde usen productos químicos contaminantes (Suarez, 2012).

Aguas residuales frescas

Las aguas residuales frescas presentan características casi inodoras y los olores desagradables se dan cuando entra en proceso de descomposición, serían estas las aguas cuyo proceso de descomposición aún no ha comenzado y no presentan ácido sulfúrico, amoníaco y aminos.

Aguas residuales sépticas

Se producen cuando las aguas residuales agotan definitivamente el oxígeno disuelto, de forma que los sólidos se encuentran en descomposición anaeróbica donde se produce el ácido sulfhídrico y otros gases. Las aguas residuales sépticas se identifican por su color negruzco, olor fétido y tener sólidos suspendidos de color negro (Bailon, 2015).

Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales se definen por la composición física, química y biológica, desarrollando una interrelación entre los parámetros que intervienen en su composición. Conocer la composición sobre su naturaleza y características es imprescindible al momento de realizar un tratamiento de aguas residuales (Martin, 2006).

Dependiendo de la composición de las aguas residuales pueden contener una gran cantidad de organismos y contaminantes. En la composición de las aguas residuales también son influenciadas por parámetros físicos, químicos y biológicos (Hernandez, 2017).

El agua contaminada, cada vez está relacionado con transmisión de enfermedades gastrointestinales y otros factores que afectan la salud humana a nivel mundial el 15% de los pacientes contraen enfermedades en los hospitales o centro de atención médica, se calcula que cada año

842000 persona mueren a causas de diarrea como consecuencia de la insalubridad (OMS, 2018).

Características físicas

La característica física principal en el agua residual es el contenido total de sólidos, este término encierra la materia en suspensión, materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta, sin embargo, existen otras características físicas importantes como temperatura, turbidez, color, sólidos y olor (Santamaria, 2015).

Temperatura

La temperatura debe ser estimada con gran exactitud para la determinación de los distintos tratamientos y análisis de laboratorios en caso de que el grado de saturación del oxígeno disuelto en el agua, la actividad biológica y el valor de saturación con carbono de calcio están directamente relacionados con la temperatura (Garcia, 2018).

En los análisis de agua residual, la temperatura se toma en el mismo sitio del muestreo. Para determinar la temperatura puede realizarse con un termómetro de mercurio de buena calidad. Para el proceso del análisis debería sumergirse en el agua en movimiento y la lectura debe realizarse después de un periodo suficiente de tiempo para que pueda estabilizarse el nivel del mercurio (Poma, 2016).

Turbidez

Se trata en la cantidad de materias en suspensión presentes en aguas residuales, como materia orgánica y microorganismos. La turbidez en las masas de aguas receptoras dificulta la penetración de la luz, que influenciaría en una baja productividad primaria (Llano, 2014).

Color

Las aguas naturales se evidencian incolora, pero a la presencia de otras sustancias contaminantes se puede tornar de diversos colores entre las aguas residuales contienen grandes variedades de compuestos orgánicos, minerales entre otros. En diversos tipos de aguas residuales algunas veces pueden ser difícil reconocer entre color y polución (Romero, 2014).

Los principales compuestos que pueden alterar la coloración del agua es la presencia de hierro y manganeso coloidal, intervención de desechos orgánicos en diferentes estados de descomposición, además de la presencia de taninos, ácido húmico y otros residuos industriales. La coloración del agua se debe a un efecto de las partículas coloidales cargadas negativamente por lo que su eliminación se puede conseguir con la intervención de un coagulante (Gilpavas, 2018).

Olor

El olor en el agua normalmente no es perceptible. Aunque pueden existir otras causas más comunes como la materia orgánica, ácido sulfúrico, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, diversos tipos de algas, hongos y otros.

Para análisis el olor en el agua debe evaluarse cualitativamente y solo debe realizarse con muestras seguras para el consumo humano (Ferrer, 2018).

Sólidos

En la determinación de los sólidos totales en el agua se determina la cantidad de material solido que contenga la muestra. El principal solido que será evaluado en cuanto a la calidad de agua es la presencia de solidos totales que son los residuos de material que se va acumulando en el recipiente posterior a la evaporación y constante secado (Silva, 2014).

Sólidos totales

En los sólidos totales se encuentran tanto las sales inorgánicas como carbonatos, bicarbonato, cloruros, sulfatos y nitratos de sodio además de materia orgánica. Y clasificándose por su tamaño y estado como sólidos en suspensión, coloidales y sólidos disueltos (Rios, 2017)

Sólidos disueltos

Está compuesta por sólidos coloidales y disueltos, son moléculas que están presentes en el agua, la concentración de sólidos disueltos es resultado de la presencia de minerales, gases producto de la descomposición de materia orgánica.

Para su determinación se da en forma directa mediante la filtración de una muestra por un filtro de asbesto, posteriormente se evaporará en una capsula de secado y luego se pesará para determinar la cantidad de sólidos disueltos en la muestra (Lara, 2015).

Sólidos suspendidos

Estos incluyen al plancton, minerales de arcilla, arena, limo, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica finamente divididos además de otros microorganismos en el agua. Provenientes de fuentes alóctonas o propias de levantamientos de tierra (Ruiz, 2017)

Sólidos volátiles y sólidos fijos

Son los que se pueden considerar en una medida aproximada al contenido de materia orgánica o en algunos casos tendrá concentraciones de sólidos biológicos como bacterias o protozoos; estos pueden ser determinados por la incineración de una muestra del residuo obtenido en sólidos totales (Valdez, 2013)

Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales son determinadas por los desechos que ingresan el afluente.

Potencial de hidrogeno (pH)

El PH es la concentración relativa de iones de hidrogeno presentes en el agua, lo que determinara si esta actuara con una débil acidez o una solución alcalina. Es muy importante su medición en los parámetros para el estudio del agua donde se lo comparara de acuerdo a su rango de 0 que consideramos muy ácido y 14 muy alcalino o básico y 7 valor neutro (Amaya, 2011).

DBO

En relación con la demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno disuelto consumido durante la descomposición de la materia orgánica. Al evaluar este parámetro se puede determinar la fracción biodegradable de la materia orgánica presente en el agua residual (Peña, 2013).

DQO

Para la estabilización química de las muestras de agua dependen de la demanda química de oxígeno. Las desventajas de la demanda química de oxígeno es lo poco exacta al momento de conocer si la materia orgánica es o no biodegradable. En cuanto a las ventajas de la demanda química de oxígeno es el periodo de análisis del parámetro es corto apenas de 3 días y se podrá conocer la toxicidad. La presencia del DQO se encontrará mayor a la DBO por la oxidación química de los compuestos y no biológica (Vazquez, 2013).

Características biológicas

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

Material orgánico.

Se encuentra compuesta por 90% carbohidratos, proteínas, aceites, grasas producto de los desechos fecales de los seres humanos o animales, al igual que restos de comida y productos de limpieza. Los que son biodegradables por la acción de microorganismos del medio que son estimulados por las condiciones del agua residual. En el agua residual puede contener en su composición moléculas orgánicas sintéticas como son los agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas (Silva, Ramirez, Alfieri, Rivas, & Sanchez, 2014).

Coliformes totales.

Las coliformes son definidas como bacterias Gram negativas en las que se encuentran la *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*, las coliformes totales pueden proliferar en altas concentraciones de sales biliares (Larrea, y otros, 2013).

Coliformes fecales

Se denomina regularmente como coliformes fecales a agentes patógenos como *Escherichia* y otras bacterias; estas se transmiten por excretas y normalmente por la ingestión de aguas contaminadas. Estos agentes patógenos no sobreviven mucho tiempo en el agua de mar, pero otros coliformes fecales si por lo que suelen considerarse indicadores de la contaminación bacteriológica de ríos y las playas (Olivas, y otros, 2011).

Especies utilizadas en tratamientos biológicos de agua

Lombriz roja californiana (Eisenia foetida)

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es un invertebrado de cuerpo cilíndrico, alargado, en su estado adulto este invertebrado llega a medir entre 5 a 6 mm, son sensibles a la luz, la exposición a los rayos solares por un corto periodo de tiempo los podría matar. Posee unas glándulas especiales en el estómago que una vez ingeridos los alimentos segregan carbonato de calcio con el fin de neutralizar los ácidos de lo ingerido para posteriormente excretarlos (Duran & Henriquez, 2009).

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) llega a su estado de madurez en 3 meses, periodo en el cual llega a un estado de reproducción, es hermafroditas, pero necesita copulas por ser incompleta. Su alimentación es de desechos orgánicos y necesita de un sustrato que posea aireación, porosidad y movimiento (Paco, 2011).

Ventajas del uso de lombriz roja californiana (Eisenia foetida)

La variedad *Eisenia foetida* son aptas para el cautiverio, su periodo de vida puede ser de 16 años y no contraen ni transmiten enfermedades, su alimentación se basa en alimentarse de desechos diversos, orgánicos o nutrientes como carbono, potasio, fosforo, esta variedad ingiere una gran cantidad de comida que equivale a su propio peso y convertirlo el 60% de humus. (Reyes, 2016)

Tiene una gran tolerancia a la aglomeración, lo que le permite habitar con 4.000 a 5.000 individuos por metro cuadrado. Su reproducción es muy prolifera tiene una tasa de reproducción anual de 1:16 por ende 3 meses duplica su población.

Lenteja de agua (*Lemna minor*)

La lenteja de agua (*Lemna minor*) son plantas acuáticas, conocidas también como macrófitas, que desarrollan un papel esencial en los ecosistemas acuáticos. Son fuente de alimento y protección para una gran diversidad de hábitats. Algunas de estas plantas son de utilidad para el ser humano, por ser útiles como alimento, materia prima para procesos industriales y como biorremediadores esta se da por su facilidad para absorber las sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis. La lenteja de agua asimila los nutrientes liberados de la descomposición de la materia orgánica en el agua residual (Arenas, Torres, & Lue, 2011).

Estudios en *Eisenia foetida* y *Eichhornia*

Un estudio realizado por, en *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* donde la filtración aplicado de dos tratamientos individuales, empleando un proceso lento de filtración, así como por ingestión de parte de las lombrices donde en el T1 y T2 se obtuvo un incremento de tasas de remoción de la materia orgánica, nutrientes y patógenos, dando como resultado un efluente de mejor calidad, similar al obtenido por el tratamiento por separado (Vizcaíno & Fuentes, 2016).

La investigación realizada por Alarcon (2015), incluye un tratamiento con lombrifiltro (*Eisenia foetida*), en las cuales las aguas residuales van a través de una cama de carbón activado filtrado y una cama de grava de piedra, donde sus resultados obtuvieron un descenso medio 94.48% de STS, 98.41 % DBO, 100% de coliformes termotolerantes y un pH de 7,51.

Los resultados de la investigación realizada por Garzón (2014), determinaron a los biofiltros como sitio-específico, dependiente del tipo de contaminante a tratar, y características del suelo. Se determinó un rendimiento promedio de materia seca de 7.072 kg/ha/año, con una extracción de N de 148 kg/ha/año.

La eficiencia del biofiltro realizado por Amilcar (2008), mostro cambios significativamente la presencia de mercurio 0,133 mg/L en el agua, la eficiencia de la planta para remover mercurio del agua, fue del 30% lo que se confirmó que la planta es eficiente para remover su presencia del agua. La planta *Lemna minor* puede utilizarse como una herramienta eficiente para la descontaminación del agua.

Tratamientos del agua residual

Filtro biológico.

Se basa en que el material biológico se encuentre dispuesto a filtrar agua y quede retenida materia orgánica y esta sea degradada por los mismos organismos presentes en las capas de filtrado, este tratamiento puede alcanzar una altura de 12m (Metcalf, 2009).

Los tratamientos de filtrado poseen la capacidad de adaptarse a variaciones en el caudal o a la carga orgánica a través de la recirculación, de manera que funcionara como filtro de baja carga o de carga alta, y sus resultados no serán muy notorios. Este proceso se basa en tratar el agua de forma descendiente por las capas del relleno, por medio de la gravedad el agua se va filtrando y los organismos vivos degradaran la materia orgánica (Castillo, y otros, 2012).

Biofiltro (Lombrifiltro)

Es un método para el tratamiento de las aguas residuales, que se basa en la tecnología de lombrices (*Eisenia foetida*) por sus capacidades físicas o estructurales que permite la eficiente remoción de materia orgánica y agentes patógenos. Este tratamiento es un biofiltro compuesto de estratos o lechos filtrantes de varios materiales por el cual a traviesa el agua residual (Parra & Chiang, 2014).

La superficie está compuesta de un material orgánico que cuenta con un gran número de microorganismos y lombrices. Al momento del agua residual fluye por el lecho filtrante o sustratos, son absorbidos los organismos y es eliminada la materia orgánica, retirando los contaminantes que son los residuos patógenos que se encuentran en el agua residual (Parra & Chiang, 2014)

El lombrifiltro consiste en una capa de humus donde se encuentran presentes tanto los microorganismos y lombrices junto al sustrato que pueden ser residuos de maderas blancas o fibra de origen vegetal que no se encuentre presencia de químicos para evitar la contaminación cruzada y no sea eficiente la biofiltración, en este proceso las lombrices se alimentan de materia orgánica retenida en las capas superiores para convertirlas en humus (Ramon, Alejandro, & Castillo, 2015).

Tiempo de Retención hidráulico

Se determina al tiempo de retención hidráulico con periodo de tiempo en que el agua residual estará en el filtro, el tiempo determinará el rendimiento del tratamiento pues a mayor tiempo de retención mayor eficiencia del filtrado de materia. El tiempo de retención prolongado permite a la calidad de biomasa no tener la aglomeración de materia y que disminuya la eficacia del tratamiento. (Scheuman & Kraume, 2009)

La carga hidráulica está compuesta por la cantidad de aguas residuales vertidas diariamente en el biofiltro y la carga orgánica se compone de carga del contaminante del efluente por el tiempo de retención hidráulica (Martelo & Lara, 2012).

CAPÍTULO III: Investigación de Campo

El conocimiento es la mejor inversión que se puede hacer.

Abraham Lincoln

Investigación de campo

Para la toma de las muestras, se utilizó como referencia la Norma Técnica INEN 2169 para muestreo y conservación de muestras como guía, la cual identifica las causas del problema en estudio, logrando establecer los factores y la incidencia de un biofiltro compuesto de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lenteja de agua (*Lemna minor*), para el tratamiento de aguas residuales que se descargan en el río Quevedo, entre otros aspectos que ayuden a solucionar la problemática.

Se realizó una investigación que permitió evaluar de manera descriptiva como; color, olor y sólidos suspendidos estos parámetros permiten evaluar de manera visible el estado actual de contaminación hídrica del río Quevedo, lo cual por medio de la aplicación de biofiltros elaborado de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lenteja de agua (*Lemna minor*), permitió evaluar la calidad del agua. Basado en el análisis experimental, donde los analitos son el factor de identificación de contaminantes contenidos en las muestras, por lo cual se considera como un método científico. Este método permitió evaluar las muestras de agua del río Quevedo; una vez obtenidas las muestras de agua se procedió a realizar los análisis físicos químicos y microbiológicos los cuales determinaron la cantidad de contaminantes contenido en cada una de las muestras analizadas (ver tabla 4).

Se determinó que el agua del río Quevedo se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, sin embargo, los valores de los parámetros medidos están en concentraciones altas, por lo cual se procedió al uso de los biofiltros lo que demostró su eficiencia al unir el biofiltro con *Eisenia foetida* y *Lemna minor*, al cual se denominó tratamiento 3 (T3).

Diseño de biofiltros

El biofiltro (vertical) se diseñó con una estructura de metal de tipo angular de 1 metro de alto por 0,5 m de ancho, sellada con láminas de vidrio, haciendo referencia a lo citado por (Ramon, Alejandro, & Castillo, 2015). Se colocó un lecho soporte de 30 cm, el cual se dividió en dos partes, uno constituido por 15 cm de piedras redondas y el otro constituido por 15 cm de grava (piedra pequeña), en la parte superior se colocó una capa de 20 cm de aserrín mezclada con 5 Kg de *Eisenia foetida*. En lo que respecta a la entrada del afluente, se hizo por aspersión ingresando el agua por la parte de arriba (Parra & Chiang, 2014). Los orificios en el sistema de tubería fueron cada 3cm.

El Biofiltro horizontal también llamado humedal artificial se lo construyó con láminas de vidrio de 1 m, diámetro de 0,60 m y una profundidad de 0,40 m, similar a una pecera, el tiempo de retención del agua fue de 48 horas, el mismo tiempo que se utilizó en el biofiltro vertical, haciendo referencia a lo recomendado por Rodríguez et al. (2010).

Diseño de la investigación

En este estudio se planteó la evaluación de tres tratamientos, utilizando dos biofiltros aerobios de flujo vertical, tratamiento 1 (T1) con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) tratamiento 2 (T2) lenteja de agua (*Lemna minor*). Un tercer tratamiento (T3) combinando las dos especies mencionadas y así establecer un solo biofiltro.

Tabla 1: Esquema del experimento

	Tratamientos	Repeticiones	Volumen/muestra	Tiempo
T1	<i>Eisenia foetida</i>	6	20 L	48 horas
T2	<i>Lemna minor</i>	6	20 L	48 horas
T3	<i>Eisenia foetida</i> + <i>Lemna minor</i>	6	20 L	48 oras

Elaborado por: Liberio, 2019

Análisis Estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) con 3 tratamientos y 6 repeticiones, dando un total de 17 muestras a estudiar, para lo cual se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) y Prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Tabla 2: Esquema de Varianza (ANOVA)

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos (t-1)	2
Error experimental t(r-1)	15
Total	17

Elaborado por: Liberio, 2019

Fuente de recopilación de información

Las fuentes correspondientes a estudios de campo y análisis de agua se tomaron como referencia el Río Quevedo. El área correspondiente al casco urbano, donde desembocan las aguas residuales urbanas del Cantón.

Instrumento de investigación

- **Cuaderno de notas diarias:** El cual se registró cada una de las actividades que se realizaron a nivel de campo.
- **Cámara fotográfica:** Permitió capturar las imágenes de toda la actividad realizada desde el punto de muestreo hasta la elaboración del biofiltro.
- **Software estadístico:** Se utilizó el software InfoStat para el desarrollo estadístico

Caracterización de aguas residuales urbanas que se descargan en el río Quevedo mediante un muestreo y análisis de laboratorio.

Mediante un muestreo puntual se realizó la primera toma de muestra de aguas residuales que se vierten sobre el río Quevedo, para lo cual se utilizó como referencia la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169 para muestreo y conservación de las muestras, una vez realizado esto se las rotularon se conservó en una hielera a una temperatura de 10°C y se enviaron al laboratorio.

Este primer análisis sirvió para comparar la eficiencia del biofiltro empleado con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) el cual se ha realizado con el fin de remover contaminantes contenidos en el agua.

Para lo cual se utilizó las tablas del Anexo 1 del Acuerdo ministerial 097-A, para comparar los resultados de esta investigación.

Tabla 3: Resultados de la caracterización inicial del agua del río Quevedo.

Parámetros	Unidad	Resultados	L.M.P Anexo 1 A. M. 097-A
Demanda química de oxígeno	mg/L	37,25	200
Demanda bio química de oxígeno	mg/L	44,3	100
Solidos disueltos totales	mg/L	114,75	500
Solidos suspendidos totales	mg/L	37,13	130
Solidos sedimentables	mg/L	3,35	-
Solidos totales	mg/L	146,75	1600
Conductividad eléctrica	μS/cm	169,63	
Potencial de hidrogeno	unidades de pH	7,47	6 - 9
Oxígeno disuelto	mg/L	1,32	-
Coliformes fecales	NMP/100mL	137,5	2000

Elaborado por: Liberio, 2019

Evaluación del uso de un biofiltro compuesto de lombriz roja californiana (eisenia foetida) y lenteja de agua (lemna minor), sobre las características físicas, químicas y microbiológica de las aguas residuales urbanas que se descargan en el río Quevedo

Una vez construido el biofiltro se realizó el tratamiento del agua residual, empleando el uso del biofiltro con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

y lenteja de agua (*Lemna minor*), una vez el agua fue pasada por este proceso durante 48 horas se le realizaron los respectivos análisis para determinar si se produjo cambios significativos con este tratamiento, a continuación, se detallan en el análisis estadístico empleado en esta investigación.

Demanda química de oxígeno

Tabla 4: Análisis de varianza de la demanda química de oxígeno (DQO)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7,45	2	3,74	2,05	0,1630
Tratamientos	4,95	2	3,74	2,05	0,1630
Error	27,36	15	1,82		
Total	34,84	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 5: Prueba de Tukey de la demanda química de oxígeno (DQO)

Parámetros	Medias	n	E.E.	
	1			
T <i>Lemna minor</i>	2,65	6	0,55	A
2				
T <i>Eisenia foetida</i>	1,92	6	0,55	A
1				
T <i>Eisenia foetida + Lemna</i>	1,07	6	0,55	A
3 <i>minor</i>				

¹ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza ANOVA (prueba F) tabla 5 y prueba de Tukey tabla 6 en relación a la demanda química de oxígeno (DQO), estadísticamente existe diferencia en relación $F= 2,05$ y un $p\text{-valor}= 0,1630$, lo cual indica que no existe variación significativa del (DQO), entre los tres tratamientos.).

Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 6: Análisis de varianza de la demanda bioquímica de oxígeno.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,54	2	1,27	0,23	0,7980
Tratamientos	2,54	2	1,27	0,23	0,7980
Error	83,18	15	5,55		
Total	85,72	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 7: Prueba de Tukey de la demanda bioquímica de oxígeno

Parámetros	Medias²	n	E.E.	
T1 <i>Eisenia foetida</i>	3,82	6	0,96	A
T2 <i>Lemna minor</i>	3,20	6	0,96	A
T3 <i>Eisenia foetida + Lemna minor</i>	2,92	6	0,96	A

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F)

² Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

tabla 7 y prueba de Tukey tabla 8 en relación a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), estadísticamente no existe diferencia en relación $F= 0,23$ y un $p\text{-valor}= 0,7980$ lo cual indica que no existe variación significativa del (DBO), entre los tres tratamientos.

Sólidos disueltos totales

Tabla 8: Análisis de varianza de los sólidos disueltos totales

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo.	63,00	2	31,50	2,73	0,0974
Tratamientos	63,00	2	31,50	2,73	0,0974
Error	173,00	15	11,53		
Total	236,00	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 9: Prueba de Tukey de los sólidos disueltos totales

Parámetros	Medias³	n	E.E.	
T3 <i>Eisenia foetida + Lemna minor</i>	71,17 mg/L	6	1,39	A
T1 <i>Eisenia foetida</i>	68,17 mg/L	6	1,39	A
T2 <i>Lemna minor</i>	66,67 mg/L	6	1,39	A

Elaborado por: Liberio, 2019

³ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 9 y prueba de Tukey tabla 10 en relación a los sólidos disueltos totales (SDT), estadísticamente no existe diferencia en relación $F = 2,73$ y un $p\text{-valor} = 0,0974$ lo cual indica que no existe variación significativa del (SDT), entre los tres tratamientos, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, los resultados se muestran en la (fig.4).

Sólidos suspendidos totales

Tabla 10: Análisis de varianza sólidos suspendidos totales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	28,43	2	14,22	0,64	0,5416
Tratamientos	28,43	2	14,22	0,64	0,5416
Error	333,71	15	22,25		
Total	362,14	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 11: Prueba de Tukey sólidos suspendidos totales

	Parámetros	Medias⁴	n	E.E.	
T2	<i>Lemna minor</i>	17,75 mg/L	6	1,93	A
T1	<i>Eisenia foetida</i>	17,33 mg/L	6	1,93	A
T3	<i>Eisenia foetida + Lemna minor</i>	14,90 mg/L	6	1,93	A

Elaborado por: Liberio, 2019

⁴ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 11 y prueba de Tukey tabla 12 en relación a los sólidos suspendidos totales (SST), estadísticamente no existe diferencia en relación $F= 0,64$ y un $p\text{-valor}= 0,5416$ lo cual indica que no existe variación significativa del (SST), entre los tres tratamientos, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, los resultados se muestran en la (fig.5).

Sólidos sedimentables

Tabla 12: Resultado comparativo de los sólidos sedimentables

Parámetros	Unidades	Resultados Inicial	n	Resultados Final
T1 <i>Eisenia foetida</i>	mg/L	3,35	6	>0,1
T2 <i>Lemna minor</i>	mg/L	3,35	6	<0,1
T3 <i>Eisenia foetida + Lemna minor</i>	mg/L	3,35	6	<0,1

Elaborado por: Liberio, 2019

Según los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio la reducción del sólidos sedimentables en los tres tratamientos mantuvieron un resultado constante en el tratamiento (T2) y (T3) lo cual representa una remoción de 3,35 mg/L a de <0,1 mg/L.

Sólidos totales

Tabla 13: Análisis de varianza de los sólidos totales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	14,86	2	7,43	0,19	0,8261
Tratamientos	14,86	2	7,43	0,19	0,8261
Error	576,01	15	38,40		
Total	590,87	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 14: Prueba de Tukey de los sólidos totales

Parámetros	Medias ⁵	n	E.E.	Columna ⁵
T2 <i>Lemna minor</i>	87,98 mg/L	6	2,53	A
T1 <i>Eisenia foetida</i>	86,18 mg/L	6	2,53	A
T3 <i>Eisenia foetida + Lemna minor</i>	85,95 mg/L	6	2,53	A

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 14 y prueba de Tukey tabla 15 en relación a los sólidos totales (ST), estadísticamente no existe diferencia en relación $F = 0,19$ y un $p\text{-valor} = 0,8261$ lo cual indica que no existe variación significativa del (ST), entre los tres tratamientos.

⁵ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Conductividad eléctrica

Tabla 15: Análisis de varianza conductividad eléctrica

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,33	2	2,67	0,25	0,7851
Tratamientos	5,33	2	2,67	0,25	0,7851
Error	162,67	15	10,84		
Total	168,00	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 16: Test de Tukey conductividad eléctrica

	Parámetros	Medias ⁶	n	E.E.	
T3	<i>Eisenia foetida</i> + <i>Lemna minor</i>	149,00 μS/m	6	1,34	A
T2	<i>Lemna minor</i>	148,33 μS/m	6	1,34	A
T1	<i>Eisenia foetida</i>	147,67 μS/m	6	1,34	A

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 16 y prueba de Tukey tabla 17 en relación a la conductividad eléctrica (CE), estadísticamente no existe diferencia en relación $F= 0,25$ y un $p\text{-valor}= 0,7851$ lo cual indica que no existe variación significativa del (CE), entre los

⁶ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

tres tratamientos.).

Potencial de hidrogeno (pH)

Tabla 17: Análisis de varianza potencial de hidrogeno (pH)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,11	2	0,06	0,55	0,5877
Tratamientos	0,11	2	0,06	0,55	0,5877
Error	1,53	15	0,10		
Total	1,64	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 18: Prueba de Tukey del potencial de hidrogeno (pH)

Parámetros	Medias⁷	n	E.E.	
T2 <i>Eisenia foetida</i>	7,37	6	0,13	A
T1 <i>Lemna minor</i>	7,27	6	0,13	A
T3 <i>Eisenia foetida + Lemna minor</i>	7,18	6	0,13	A

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 18 y prueba de Tukey tabla 19 en relación al potencial de hidrogeno (pH), estadísticamente no existe diferencia en relación $F = 0,55$ y un $p\text{-valor} = 0,5877$ lo cual indica que no existe variación significativa del (pH), entre los

⁷ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

tres tratamientos.

Oxígeno disuelto

Tabla 19: Análisis de varianza del oxígeno disuelto

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,59	2	2,79	5,19	0,0194
Tratamientos	5,59	2	2,79	5,19	0,0194
Error	8,08	15	0,54		
Total	13,67	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 20: Prueba de Tukey del oxígeno disuelto

Parámetros	Medias⁸	n	E.E.		
T3 <i>Eisenia foetida</i> + <i>Lemna minor</i>	3,29	6	0,30	B	
T1 <i>Eisenia foetida</i>	2,55	6	0,30	B	A
T2 <i>Lemna minor</i>	1,93	6	0,30		A

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 20 y prueba de Tukey tabla 21 en relación con el oxígeno disuelto (OD), estadísticamente no existe diferencia en relación $F= 5,19$ y un $p\text{-valor}= 0,0194$ lo cual indica que existe variación significativa del (OD), entre los tres tratamientos.

⁸ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Coliformes fecales

Tabla 21: Análisis de varianza de los coliformes fecales

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1712,11	2	856,06	10,12	0,0016
Tratamientos	1712,11	2	856,06	10,12	0,0016
Error	1268,33	15	84,56		
Total	2980,44	17			

Elaborado por: Liberio, 2019

Tabla 22: Prueba de Tukey de los coliformes fecales

Parámetros	Medias ⁹	n	E.E.	
T1 <i>Eisenia foetida</i>	43,00	6	3,75	A
T2 <i>Lemna minor</i>	25,50	6	3,75	B
T3 <i>Eisenia foetida</i> + <i>Lemna minor</i>	20,17	6	3,75	B

Elaborado por: Liberio, 2019

De acuerdo con los resultados del análisis de la varianza ANOVA (prueba F) tabla 24 y prueba de Tukey tabla 25 en relación a las coliformes fecales, estadísticamente no existe diferencia en relación $F= 10,12$ y un $p\text{-valor}= 0,0016$ lo cual indica que existe variación significativa, entre los tres tratamientos.

⁹ Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Determinación de la eficiencia del biofiltro compuesto de lombriz californiana (*eisenia foetida*) y la lenteja de agua (*lemna minor*) en función a la reducción de la carga contaminante.

En función a los resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua del río Quevedo podemos observar cambios significativos en el rendimiento de los biofiltros, para evaluar mejor la eficiencia de estos tratamiento se probó los filtros por separados Tratamiento 1 (T1) lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y tratamiento 2 (T2) lenteja de agua (*Lemna minor*) y finalmente se colocaron los dos filtros como tratamiento 3 (T3), estos ensayos dieron como resultados los siguientes valores que se muestran en la tabla 23.

Tabla 23: Resultados del mejor tratamiento mediante la aplicación de Biofiltros

Parámetros	Unidad	R. inicial	R. final	Eficiencia	Tratamientos
DBO	mg/L	37,25	1,07	93.40 %	T3
DQO	mg/L	44,3	2,92	97.12 %	T3
Sólidos disueltos totales	mg/L	114,75	66,67	42 %	T2
Sólidos suspendidos totales	mg/L	37,13	14,90	60 %	T3
Sólidos sedimentables	mg/L	3,35	<0,1	-----	T3-T2
Sólidos totales	mg/L	146,75	85,95	41.43 %	T3
Conductividad eléctrica	mg/L	169,63	147,67	13 %	T1

Potencial de hidrogeno	mg/L	7,47	7,37	1.33 %	T2
Oxígeno disuelto	mg/L	1,32	3,29	----	T3
Coliformes fecales	NMP	137,5	20,17	85.33 %	T3

Elaborado por: Liberio, 2019

Con los resultados obtenidos de los biofiltros se procede a la identificación del mejor tratamiento mediante la fórmula de eficiencia.

$$E = \frac{CO - CI}{CO} \times 100$$

$$Eficiencia = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

Demanda química de oxígeno (DQO)

$$E = \frac{37,25 - 1,07}{37,25} \times 100$$

$$E = \frac{36,18}{37,25} \times 100 = 97,12 \%$$

$$R=97,12 \%$$

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

$$E = \frac{44,3 - 2,92}{44,3} \times 100$$

$$E = \frac{41,38}{44,3} \times 100 = 93,40 \%$$

$$R=93,40 \%$$

Solidos disueltos totales (SDT)

$$E = \frac{114,75 - 66,67}{114,75} \times 100$$

$$E = \frac{48,08}{114,75} \times 100 = 42 \%$$

$$R=42 \%$$

Solidos suspendidos totales (SST)

$$E = \frac{37,13 - 14,90}{37,13} \times 100$$

$$E = \frac{22,23}{37,13} \times 100 = 60 \%$$

$$R=60 \%$$

Solidos totales (ST)

$$E = \frac{146,75 - 85,95}{146,75} \times 100$$

$$E = \frac{60,80}{146,75} \times 100 = 41,43 \%$$

$$R=41,43 \%$$

Conductividad eléctrica (CE)

$$E = \frac{169,63 - 147,67}{169,63} \times 100$$

$$E = \frac{21,96}{169,63} \times 100 = 13 \%$$

$$R=13 \%$$

Potencial de hidrogeno (pH)

$$E = \frac{7,47 - 7,37}{7,47} \times 100$$

$$E = \frac{0,1}{7,47} \times 100 = 1,33 \%$$

$$R=1,33 \%$$

Coliformes fecales (CF)

$$E = \frac{137,5 - 20,17}{137,5} \times 100$$

$$E = \frac{117,33}{137,5} \times 100 = 85,33 \%$$

$$R=85,33 \%$$

Vicente (2014) realizó un estudio sobre el agua residual empleando biofiltros lo cual dio como resultado que la demanda química de oxígeno inicial fue de 3650 mg/L a 583 mg/L, mientras que un ensayo realizado por Velasco (2015), menciona que el tratamiento de las aguas residuales mediante el biofiltro, la demanda química de oxígeno, 78 mg/L en su primer etapa y 31 mg/L en la segunda, dando la significancia remoción del 88,8 % y 92,4% respectivamente. Lo cual concuerda con esta investigación, ya que se obtuvo un inicial de 37,25 mg/L y disminuyó a 1,07 mg/L.

La demanda bioquímica de oxígeno en el agua residual tratada por el biofiltro de *Lemna minor* en la investigación realizada por Sarango y Sanchez (2016), presentó una concentración inicial de 11076 mg/L, tuvo un avance progresivo en el porcentaje de degradación de 22.36%, y 48.54%; 72% y 73.36% con respecto a las semanas de tratamiento, Chavez (2017) muestra que la DBO presenta una elevada concentración, pero sus

resultados se muestran por debajo de los 500mg/L, confirmando que la remoción del biofiltro es superior al 50% de la carga inicial, lo cual según la investigación realizada los biofiltros con *Eisenia foetida* y *Lemna minor* obtuvo resultados inicial 44,3 mg/L final 2,92 mg/L.

La investigación realizada por Gualán (2016), sobre los sólidos suspendidos totales (SST), en aguas residuales donde se trató el agua por 21 días con Lenteja de Agua *Lemna minor* mostró una disminución de los sólidos suspendidos totales de 54mg/L a 17mg/L. mientras que Cupe y Portocarrero (2009) menciona que el tratamiento de aguas residuales domesticas con *Lemna minor*, se tuvo una eficiencia de 0,42mg/L con la muestra inicial de 100mg/L lo que demuestra que la remoción de solidos suspendidos totales es de un 83%. Mientras que la investigación realizada obtuvo un valor inicial de 144,75 mg/L y final de 14,90 mg/L.

Otra exploración realizada por Malaver (2013) menciona que la remoción de los sólidos disueltos totales mediante el uso de lenteja de agua (*Lemna minor*) se mostró muy efectiva produciendo efluentes con concentraciones inferiores a 144mg/L evidenciando un 90% de remoción, Culqui (2015) por su parte, uso humedales tratando agua residual con (*Lemna minor*) en un área de 0,48 metros cuadrados, con caudal de 2,5 l/h, durante un tiempo de retención de 1,8 días permitió la remoción de 66.7% para solidos disueltos con una carga inicial de 430 mg/L a 4mg/L.

En la investigación realizada por Vásquez (2017) obtuvo una notoria reducción de la conductividad eléctrica desde la 1412 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en su primer día a 1261 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 5 días en comparación al testigo con 3660 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cardoso et all (2011), presentó variaciones de acuerdo a la calidad de agua residual, la que tuvo un promedio de 681 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e incremento a 1348.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en promedio posterior a pasar el vermifiltro, lo cual tiene significancia con esta investigación la cual tuvo un valor inicial de 169.63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y final 147,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Según Reyes (2016) los biofiltros con lombrices rojas californiana *Eisenia foetida*, ayudan a mejorar el pH de 6,2 del afluente y los 5,8 del efluente después de tratadas con los biofiltros experimentales de *Eisenia foetida* y fibra de coco y en ambos biofiltros se encontraron dentro de la norma ambiental aplicable. Rodríguez et al (2010), menciona que el uso de *Lemna minor* genera un aporte de elementos que aumentan el pH a valores máximos de 11, debido a la biología de la planta, que bien podría generar una volatilización del amoniaco para dar lugar a la remoción del nitrógeno.

Según Quiñonez (2018) el tratamiento de aguas residuales tratadas con *Lemna minor* realizada se logró aumentar el contenido de oxígeno disuelto en el efluente por la facilidad de transportar el oxígeno atmosférico al agua, lo cual concuerda con la investigación ya que el aumento del oxígeno disuelto fue significativo, pasó de 1,32 a 3,29.

El tratamiento de aguas residuales con biofiltro de *Eisenia foetida* realizado por Acuña (2017), donde el tratamiento comenzó con una cantidad de coliformes totales y fecales de 160.000.000 NMP/100mL, los tratamientos de *Eisenia foetida* consiguieron remociones de coliformes totales de 140.570.000 NPM/100mL. Mientras que Chuquibala y Sánchez (2017), muestra que la remoción de coliformes con *Lemna minor* con una 51.11%, la carga inicial del afluente fué de 450.000.000 NMP/100 mL y el efluente terminó con una carga de 270.000.000 NMP/100mL, lo cual tiene significancia con la investigación realizada ya que ayudó a la remoción de las coliformes fecales de 137,5 NMP a 20,17 NMP.

CAPÍTULO IV: Conclusiones

La acción es el fruto propio del conocimiento.

Thomas Fuller

Mediante el análisis de las muestras de agua realizadas en el laboratorio de la planta potabilizadora de agua del cantón Daule, se obtuvieron los resultados iniciales los cuales se encontraban dentro de los límites máximos permisibles según el Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, sin embargo a pesar que estaban dentro de los límites estos se encontraban en concentraciones medias por lo cual se realizó el ensayo empleado biofiltros a partir de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lenteja de agua (*Lemna minor*).

Una vez realizado la caracterización inicial de las aguas residuales se procedió a la aplicación de los biofiltros, el cual dio como resultado el mejor tratamiento; el tratamiento 3 (T3), combinado el tratamiento 1 y el tratamiento 2, dando como resultado la disminución del DQO de 37,25 a 1,07 mg/L, el DBO de 44,3 a 2,92mg/L, los sólidos suspendidos totales de 37,13 a 14,90 mg/L, los sólidos totales de 146,75 a 85,95 mg/L, el oxígeno disuelto de 1,37 a 3,29 mg/L y coliformes fecales de 137,5 a 20,17 NMP.

Los ensayos correspondientes de la aplicación de los biofiltros, se evaluaron de manera independiente, tratamiento 1 (T1) lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), tratamiento 2 (T2), lenteja de agua (*Lemna minor*), y un tercer tratamiento empleando ambos biofiltros, por lo cual se determinó que el tratamiento con mayor efectividad fue el tratamiento 3 (T3), obteniendo una eficiencia del DQO de 97.12 %, el DBO 93.40 %, sólidos

disueltos totales 42 % sólidos suspendidos totales 42 %, sólidos totales 41.43 %, conductividad eléctrica 13 % y coliformes fecales de 85.33 %.

Bibliografía

- Acuña, M. J., & Reyes, S. J. (2017). *Eficiencia de Lumbricus terrestris y Eisenia foetida en el tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de Bagua- Amazonas*. Bagua- Peru: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas.
- Alarcon, H. M., Martinez, Z., R, H. H., & Gladys, V. (2015). Humedales de tratamientos: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en America Latina. *Pontificia Universidad Javeriana*, 34-85. doi:ISBN: 987-958-781-235-0
- Amaya, F. W., Alberto, C. O., & Oscar, A. (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. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 14(14), 86-95. doi:ISSN: 0124-8170
- Amilcar, M. C. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Arenas, A., Torres, G., & Lue, M. (2011). Evaluación de la planta (Lemna minor) como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. *Avances en ciencias e ingeniería*, 2(3), 1-11. doi:ISSN: 0718-8706
- Arroyave, M. d. (2004). La lenteja de agua (Lemna minor L): Una planta acuática promisorio. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia*(1), 33-38. doi:ISSN 1794-1237

- Bailon, D. P. (2015). *Estudio y dimensionamiento de la instalación de recogida y tratamiento de aguas negras en un buque*. Barcelona: Facultad de Nautica.
- Baque, M. R. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Ciencia UNEMI*, 9, 109-117. doi:ISSN.2528-7737
- Caicedo, C. J. (2015). *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 Ganadera, Acuacultura y Pesca, Riobamba*. Riobamba: Escuela superior politecnica de Chimborazo.
- Cardoso, V. L., Ramirez, C. E., & Garzon, Z. M. (2011). *Vermifiltración para el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales Proyecto TC-1107*. Mexico: Instituto mexicano de tecnología del agua .
- Castillo, E., Bolio, A., Mendez, Roger, Osorio, J., & Pat Canul, R. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso del contactor biológico rotacional. *Red de revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 16(2), 83-91. doi:ISSN: 1665-529X
- Chavez, R. J. (2017). *Eficiencia de un biofiltro en la reducción de carga orgánica de un efluente industrial en la Ciudad de Celendin*. Celendin: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Chuquibala, M., & Sánchez, H. (2017). *Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes del afluente doméstico mediante la*

aplicacion de Eichhornia crassipes y Lemna minor en el anexo El Molino, distrito de Chachapoyas, Provincia de Chachapoyas, Departamento de Amazonas. Chachapoyas- Peru: Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas.

COA. (2017). *Codigo Organico del Ambiente* . Quito: Registro oficial Suplemento 983 .

Constitución. (2008). *Constitución Política del Ecuador*. Ecuador: Publicación Oficial de la Asamblea Cosntituyente.

Coronel, P. N. (2015). *Diseño e implementacion a escala de un biofiltro tohà en la ESPOCH para la depuracion de las aguas residuales domesticas procedentes de la comunidad Langos , La Nube*. Riobamba: Escuela superior politecnica de Chimborazo.

Culqui, N. A. (2015). *Diseño e implentacion de una planta piloto para el tratamiento de efluentes liquidos generados en los laboratorios del Departamento de Metalurgia Extractiva*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.

Cupe, E., & Portocarrero, C. (2009). *Evaluacion de la eficiencia de plantas acuaticas flotantes Lemna minor (lenteja de agua), Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) y Pistia stratoides (lechuga de agua) para el tratamiento de aguas residuales domesticas. Tesis Tercer Nivel*. Lima- Peru: Universidad Nacional de Ingenieria.

- Duran, L., & Henriquez, C. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281. doi:ISSN: 0377-9424
- Ferrer, P. J. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. España: Universidad Politécnica de Valencia. doi:ISBN: 978-84-9048-640-5
- García, C. C. (2018). *Diseño de un sistema de biomasa en suspensión para las aguas residuales recolectadas por el hidrosuccionador de la E.P-EMAPA-G*. Riobamba- Ecuador: Universidad nacional del Chimborazo.
- Garzón, Z. M., & Gerardo, B. (2014). Característica de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. *Revista Internacional de Contaminación ambiental*, 30(1), 65-79. doi:ISSN: 0188-4999
- Gil, M. J. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos . *Producción mas limpia*, 7(2), 52-73.
- Gilpavas, E. A. (2018). Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos Fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 157-167. doi:10.20937/RICA.2018.34.01.14
- Guadarrama, B. M. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7). doi:ISSN: 2007-9990

- Gualán, S. (2016). Evaluación del pasto Aleman (*Echinochloa polystachya*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña Provincia de Zamora Chinchipe. *Tesis de Tercer Nivel*. Zamora-Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Hernandez, S. A. (2017). Tratamiento de aguas residuales industriales en Mexico: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *Revista internacional de desarrollo Regional Sustentable*, 2(1-2), 75-88. doi:ISSN: 2448-5527
- INEN. (2013). *Calidad de agua: Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Lara, B. J. (2015). *Estudio de tratabilidad de las aguas residuales en Bogotá con lodos activados*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. doi:ISBN:978-958-716-710-8
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, Mercedes, & Heydrich, M. (2013). Bacterias indicadoras de la contaminación fecal en la evaluación de la calidad de aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 44(3), 24-34. doi:ISSN: 0253-5688
- Ley de Gestión Ambiental, R. a. (2006). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua*.
- Lizarazo, B. J. (2013). *Sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Bogotá- Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Llano, B. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Grupo Procesos químicos industriales*, 73-82. doi:doi:10.4067/S0718-07642014000300010
- Malaver, A. F. (2013). *Evaluación de un humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (Lemna minor) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres*. Bogotá: Universidad Libre.
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*, 8(15), 221-243. doi:ISSN: 1794-9165
- Martin, G. I. (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. *Instituto Tecnológico de Canarias*, 1(1), 57-107. doi:ISBN: 84-689-7604-0
- Metcalf, E. (2009). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización* (Vol. 1). Madrid España: McGraw-Hill Interamericana. doi:ISBN: 84-481-1727-1
- Núñez, B. R. (2016). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, mediante la especie macrofita emergente*. Lima- Perú: Universidad Peruana Union.
- Núñez, T. L. (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de descarga de afluentes: Recurso agua*. Quito: Ministerio del Ambiente .

- Olivas, E. E., Pedro, F. M., D, D. G., Díaz, B. C., & Avila, P. O. (2013). Contaminación fecal en agua potable del valle de Juárez. *Terra Latinoamericana*, 135-137. doi:ISSN: 2395-8030
- Olivas, E., Flores, P., Marguez, J., Serrano, M., Soto, E., Iglesias, J., . . . Fortis, M. (2011). Indicadores fecales y patogenos en agua descargada al rio Bravo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 449-457. doi:E-ISSN: 2395-8030
- OMS. (2018). *Water and sanitation for health facility improvement tool*. Organización Mundial de la Salud, UNICEF. doi:ISSN: 978-92-4-151169-8
- Paco, G., Manuel, L. M., Francisco, M., & Humberto, S. (2011). Efecto de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estacion Experimental de la Unidad Academica Campesina Carmen Pampa. *JSARS*, 2(2), 24-39. doi:ISSN 2072-9294
- Parra, I., & Chiang, G. (2014). Modelo integrado de un sistema de biodepuracion en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del Centro Sur de Chile. *Gestión Ambiente*, 16(3), 39-51. doi:ISSN: 0124-177XX
- Peña, S. E., A, M. P., M, S. J., & Javier, M. V. (2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia Psittacorum* (heliconiaceae). *Rev. Acad. Colomb.*, 469-481. doi:ISSN: 0370-3908

- Plan Nacional de Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de desarrollo 2017-2021- Toda una Vida*. Ecuador: Consejo Nacional de Planificación (CNP).
- Poma, J. J. (2016). *Remocion de contaminantes de aguas residuales urbanas por el metodo de electrocoagulacion*. Huancayo-Peru: Universidad nacional del Centro del Peru.
- Portero, P. M. (2017). *Evaluacion de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Babahoyo*. Guayaquil- Ecuador: Universidad Catolica de Santiago de Guayaquil.
- Quiñonez, B. E. (2018). *Evalucacion y monitoreo del uso de Lemna minor y Eichornia crassipes como medida de fitorremediacionde aguas residuales en las riveras del refugio de vida silvestre manglares estuario Rio Esmeraldas*. Esmeraldas: Pontificia Universidad Catolica de Ecuador.
- Ramon, J., Alejandro, J., & Castillo, N. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por el medio de la tecnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida. *Revista Mutis*, 5(1), 46-54. doi:10-21789/22561498.1018
- Reyes, J. (2016). Determinacion de la eficiencia del aserrin y la fibra de coco utilizados como empaques para la remocion de contaminantes en biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Universidad Tecnologica Equinoccial*, 7(3), 41-56. doi:ISSN: 1390-9363

- Rios, T. S. (2017). Patogenos e indicadores microbiologicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Fac. Nac. Salud Publica*, 35(2), 236-247. doi:10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08
- Rodriguez, J. P., Gomez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparacion del tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando lentejas y buchon de agua en humedales artificiales. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, 1(1), 59-68. doi:ISSN: 2007-2422
- Romero, L. T. (2014). Caracterizacion de las aguas residuales de la empresa procesadora de alimentos PODAL, Cuba. *Revista Hidraulica y Ambiental*, 35(3), 88-100. doi:ISSN: 1680-0338
- Ruiz, R. D. (2017). *Metodo de estimacion de solidos suspendidos totales como indicador de la calidad del agua mediante imagenes satelitales*. Bogota- Colombia: Universidad de Colombia.
- Santamaria, F. E. (2015). Caracterizacion de los parametros de calidad del agua para disminuir la contaminacion durante el procesamiento de lacteos. *Agroindustrial Science*, 5(1), 13-26.
- Sarango, A. O., & Sanchez, R. J. (2016). *Diseño y construccion de 2 biofiltros con Eichhornia crassipes y Lemna minor para la evaluacion de la degradacion de contaminantes en aguas residuales de la extractora Rio Manso Exa. S.A. Planta La Comuna, , Quininde*. Riobamba: Escuela superior Politecnica de Chimborazo.
- Scheuman, R., & Kraume, M. (2009). Influence of hydraulic retention time on the operation of a submerged membrane sequencing batch reactor

- (SM-SBR) for the treatment of greywater. *Elsevier*, 246(1-3), 444-451. doi:10.14279/depositonce-2596
- Silva, J., Ramirez, L., Alfieri, A., Rivas, G., & Sanchez, M. (2014). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, Carabobo, Venezuela. *Revista de la sociedad venezolana de microbiología*, 24(1-2), 1-5. doi:ISSN 1315-2556
- Suarez, L. J., Alfredo, J. B., Hector, D. R., Daniel, T. S., & Pablo, U. R. (2012). El reciclaje de aguas grises como complemento a las estrategias de gestión sostenible del agua en el medio rural. *Cuenca fluvial y desarrollo sostenible*, 265-284. doi:ISBN: 978-84-9812-174-2
- Valdez, C. E. (2013). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. *Fundación ICA*, 5(4), 5-10. doi:ISBN: 968-7508 05-4
- Vásquez, S. J. (2017). *Análisis de la eficiencia de un prototipo de biofiltro en el tratamiento de aguas residuales para riego en Trapiche, Comas*. Lima-Peru: Universidad Cesar Vallejo.
- Vazquez, M. G. (2013). Fraccionamiento de DQO del agua residual de Toluca por el protocolo STAWA. *Tecnología y ciencia del agua*, 4(2), 21-35. doi:ISSN 2007-2422
- Velasco, A. V. (2015). *Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales*. Ecuador: UDLA.

Vicente, J. (2014). Propuesta de diseño de un sistema de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales produccidas en la central termoelectrica Sacha de la Unidad de negocio Termopichincha-Celec Ep. *Tesis de Tercer Nivel*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.

Vizcaíno, L., & Fuentes, N. (2016). Efectos de Eisenia foetida y Eichhornia crassipes en remocion de materia organica, nutrientes y coliformes en efluentes domesticos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 19(1), 189-198. doi:ISSN: 0123-4226

Descubre tu próxima lectura

Si quieres formar parte de nuestra comunidad,
regístrate en <https://www.grupocompas.org/suscribirse>
y recibirás recomendaciones y capacitación



   @grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com

compAs
Grupo de capacitación e investigación pedagógica



@grupocompas.ec
compasacademico@icloud.com

