



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE VERMIFILTROS EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE IBARRA”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODESARROLLO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

04. GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS
NATURALES

SUB LÍNEA: AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

AUTORA: FERNANDA ESTEFANÍA LANDETA FLORES

ASESORA: MGS. MORAIMA MERA

IBARRA, DICIEMBRE-2019



Ibarra, 11 de diciembre del 2019

Mgs. Moraima Mera

ASESORA

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

Mgs. Moraima Mera

C.C: 100174372-1

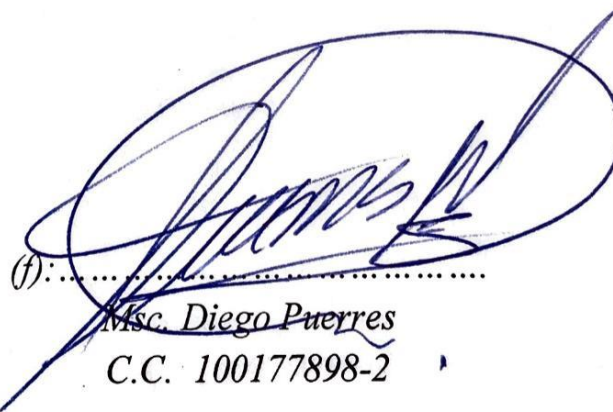


APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f): 
Mgs. Moraima Mera
C.C. 100174372-1

(f): 
Msc. Edwin del Pozo
C.C. 100175656-6

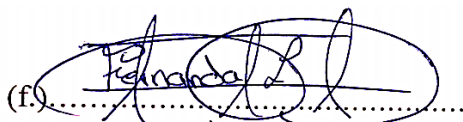
(f): 
Msc. Diego Puerres
C.C. 100177898-2



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Fernanda Estefanía Landeta Flores, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 11 de diciembre del 2019

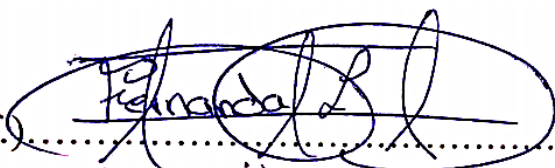
(f.) 
Fernanda Estefanía Landeta Flores

C.C. 100373710-1



AUTORÍA

Yo, Fernanda Estefanía Landeta Flores, portador de la cédula de ciudadanía N°100373710-1, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes.

(f.) 
Fernanda Estefanía Landeta Flores

C.C. 100373710-1



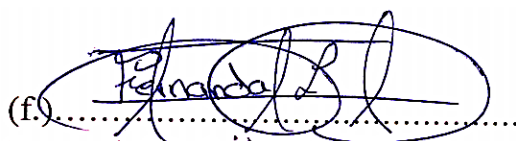
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Fernanda Estefanía Landeta Flores, con CC: 100373710-1, autora del trabajo de grado titulado: “Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del Camal de Ibarra”, previo a la obtención del título profesional de Ingeniera en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales “ECAA”.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede- Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 11 de diciembre del 2019

(f.) 
Fernanda Estefanía Landeta Flores

C.C. 100373710-1

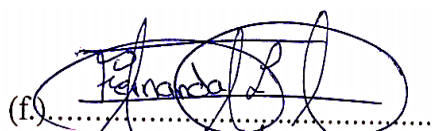


DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA LABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: “Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del Camal de Ibarra”; lo propuesto en el Código de Ética de la Investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 15 de enero de 2018.

Ibarra, 11 de diciembre del 2019

Para Constancia firma:

(f.) 
Fernanda Estefanía Landeta Flores

C.C. 100373710-1

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi esfuerzo, amor y gratitud a Dios y a mis padres Edwin Rodolfo Landeta Flores y Zulma Inés Flores Chacón quienes nunca dejaron de confiar en mí, por toda la lucha que cada uno de ellos ha tenido que realizar para que yo ahora me encuentre en este instante de mi vida donde me voy a convertir en una profesional, por no dejarme caer nunca, por todos los valores inculcados, por ser mi ejemplo a seguir como luchadores y sobre todo por el amor y paciencia con la que me ayudaron semestre a semestre a salir adelante.

A mi familia por el apoyo contante a mis tíos, tías, primos, hermano y abuelitas quienes con amor me enseñaron que en el camino se pueden presentar varios obstáculos pero que nunca estamos solos para poder cumplir nuestros sueños, que siempre estará la familia para hacerlos realidad.

A todos los estudiantes para que sigan investigando soluciones para poder ayudar a nuestro planeta Tierra a restaurarse, tomando más conciencia, empezando a poner un granito de arena y así devolver todos los bienes y servicios que nos ofrece.

AGRADECIMIENTO

El esfuerzo y dedicación colocado en mi diario vivir para cumplir las metas propuestas, se refleja en este trabajo de investigación, agradezco infinitamente a mi tutora de tesis Dra. Moraima Mera por la paciencia, conocimientos, cuidado y guía puesto a lo largo de todo mi proyecto tanto en la fase inicial, analítica y experimental.

A Dios por brindarme los dones para poder avanzar cada semestre sin tropiezo alguno, y sobre todo a lo largo de la etapa de investigación y redacción, por conducirme por los senderos correctos y por bendecirme siempre en mi carrera estudiantil y en mi vida.

A mis padres, el más grande agradecimiento por haberme brindado una de las herencias fundamentales en la vida, como es la educación, por el esfuerzo diario, por ser el pilar fundamental para que hoy me encuentre culminando una meta y un sueño propuesto, agradecerles este logro desde el fondo de mi corazón. Este proyecto de investigación es por y para ustedes padres queridos.

A toda mi familia por estar siempre ahí, en las buenas y malas, a los profesores que supieron plasmas en mí, sus conocimientos y consejos y sobre todo su don de gente.

Gracias a todos por su granito de arena.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. OBJETIVOS.....	4
4.1 Objetivo general.....	4
4.2 Objetivo específico	4
4.3 Hipótesis	4
5. ESTADO DEL ARTE.....	5
5.1 Camal o matadero.	5
5.1.1 Camales de administración pública local o camales municipales	5
5.1.2 Procesos que realizan en un camal	5
5.2 Aguas residuales	8
5.2.1 Definición	8
5.2.2 Tipos de agua residual.	8
5.2.3 Aguas residuales de camales.	9
5.2.4 Caracterización del agua de matadero.	9
5.3 Sistema Tohá.....	10
5.3.1 Estructura del Vermifiltro.....	10
5.3.2 Sustratos.	10
5.3.3 Características de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	12
5.3.4 Microorganismos	13
5.4 Descripción del tratamiento propuesto	14
5.5 Parámetros fisicoquímicos necesarios para conocer la calidad del agua.	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1 Métodos:	19
6.1.1 Metodología de la fase de experimentación.	19
6.1.1.1 Diseño de estructura metálica.....	19
6.1.1.2 Aplicación de módulos y sustratos	19
6.1.1.3 Volumen de sustratos	20

6.1.1.4	Adaptación de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	21
6.1.1.5	Toma de muestras y análisis físico químicos.	22
6.2	Metodología fase analítica	24
6.2.1	DQO (Demanda química de oxígeno)	24
6.2.2	pH (Potencial de Hidrógeno).....	24
6.2.3	Conductividad eléctrica.....	24
6.2.4	Turbidez:.....	25
6.2.5	Color:	25
6.2.6	Sólidos Totales	25
6.2.7	Materia Orgánica	26
6.2.8	Ácidos Húmicos	26
6.2.9	Hierro (Fe):	28
6.2.10	Nitritos (NO_2^-):	28
6.2.11	Nitratos (NO_3^-):	28
6.2.12	Amonio (NH_4):	29
6.2.13	Fosfatos (PO_4^{4-}).....	29
6.2.14	Sulfatos (SO_4^{2-})	29
6.3	Modelo estadístico	32
6.4	Socialización de la investigación	33
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
7.1	Caracterización de las muestras de agua (7 semanas).	39
7.2	Análisis estadístico	47
7.3	Socialización	60
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
8.1	Conclusiones	65
8.2	Recomendaciones	67
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
10.	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de materiales de campo, laboratorio y equipos.	18
Tabla 2. Volumen de los sustratos.....	21
Tabla 3. Distribucion de las lombrices en los Vermifiltros de piedra pómez y piedra bola	21
Tabla 4. Toma de muestras, días, cantidad y repeticiones.	23
Tabla 5. Coordenadas del punto de muestreo en el Camal de Ibarra.	23
Tabla 6. Listado de equipos y método de referencia.	30
Tabla 7. Caracterización del agua residual inicial.....	34
Tabla 8. Resultados iniciales y finales de los ácidos húmicos.	35
Tabla 9. Caracterización fisicoquímica del agua previamente tratada en los Vermifiltros.	36
Tabla 10. Porcentaje de remoción del contaminante con los diferentes parámetros analizados.	37
Tabla 11. Incremento de biomasa de la especie <i>Eisenia foetida</i> en los Vermifiltros con piedra bola y pómez.....	38
Tabla 12. Datos de turbidez obtenidos después de la aplicación con los Vermifiltros.	40
Tabla 13. Resultados de conductividad eléctrica después del tratamiento con los Vermifiltros.	42
Tabla 14. Resultados del pH después del tratamiento con los Vermifiltros.....	44
Tabla 15. Resultados de color después del tratamiento con los Vermifiltros.	46
Tabla 16. Resultado de DQO (Demanda Química de Oxígeno).	47
Tabla 17. Análisis de varianza de DQO (Demanda Química de Oxígeno).....	47
Tabla 18. Prueba de normalidad en los Vermifiltros con piedra bola y piedra pómez de DQO (Demanda Química de Oxígeno)	48
Tabla 19. Prueba t de Student de DQO.	50
Tabla 20. Resultado de Sólidos totales.....	53
Tabla 21. Análisis de varianza de Sólidos totales.	53
Tabla 22. Prueba de normalidad en los los tratamientos con piedra bola y piedra pómez de los Sólidos Totales.....	54
Tabla 23. Prueba t de Student de los Sólidos Totales.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipo de Vermifiltro	20
Figura 2. Incremento de la biomasa (%) de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> en los dos Vermifiltros para evaluar la viabilidad de los sistemas.	39
Figura 3. Datos de turbidez obtenidos durante 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.	40
Figura 4. Datos de conductividad eléctrica obtenidos durante las 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.	42
Figura 5. Datos de pH obtenidos durante las 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.	44
Figura 6. Datos de color obtenidos durante las 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.	46
Figura 7. Normalidad en el tratamiento con piedra pómez de DQO (Demanda química de oxígeno)	49
Figura 8. Normalidad en el tratamiento con piedra bola de DQO (Demanda química de oxígeno)	49
Figura 9. Prueba Tukey al 5% para la variable DQO (Demanda química de oxígeno) en el uso de Vermifiltros que contienen piedra bola y piedra pómez.	50
Figura 10. Datos de DQO (Demanda química de oxígeno) en las 7 semanas de cada tratamiento.	51
Figura 11. Normalidad en el tratamiento con piedra bola de los Sólidos Totales.	55
Figura 12. Normalidad en el tratamiento con piedra pómez de los Sólidos Totales.	55
Figura 13. Prueba Tukey al 5% para la variable de Sólidos Totales en el uso de Vermifiltros que contienen piedra bola y piedra pómez.	56
Figura 14. Datos de los Sólidos Totales en las 7 semanas de cada tratamiento.	57
Figura 15. Incremento de la materia orgánica en los tratamientos con piedra pómez y piedra bola.	58
Figura 16. Incremento de ácidos húmicos en los tratamientos con piedra pómez y piedra bola.	59
Figura 17. El expositor domino el tema en la socialización expuesta	60

Figura 18. El manejo de del auditorio fue adecuado por el expositor en la socialización expuesta.....	61
Figura 19. El expositor demostró una facilidad de expresión adecuada en la socialización expuesta.	61
Figura 20. La relevancia para algún actor o sector de la sociedad.	62
Figura 21. La perspectiva para estudios complementarios posteriores.	63
Figura 22. El tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución en la socialización expuesta.	63
Figura 23. Objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que estos se cumplieron en la socialización expuesta.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de la estructura metálica	73
Anexo 2. Colecta de la piedra bola y piedra pómez en la quebrada de La Esperanza	73
Anexo 3. Colocación de los sustratos en los contenedores.	74
Anexo 4. Conteo de lombrices <i>Eisenia foetida</i>	75
Anexo 5. Vermifiltros establecidos en la granja experimental ECAA.....	75
Anexo 6. Recolección de los 120 litros de agua residual del Camal de Ibarra y toma de muestras para los análisis físico químicos.....	76
Anexo 7. Riego del agua residual en los Vermifiltros.....	76
Anexo 8. Análisis fisicoquímicos del agua residual del Camal de Ibarra y del agua tratada.	78
Anexo 9. Diferencia de color entre el agua residual cruda y tratada.....	79
Anexo 10. Agua tratada con los Vermifiltros de piedra bola y piedra pómez.	79
Anexo 11. Oficio de Invitación a la socialización.....	80
Anexo 12. Invitación de la socialización.....	80
Anexo 13. Socialización de la investigación.....	81
Anexo 14. Asistencias de la socialización.....	81
Anexo 15. Encuestas de la socialización.....	82

1. RESUMEN

El uso de sistemas de vermifiltración en el tratamiento de aguas residuales es considerado una alternativa válida, no solo por la remoción de contaminantes, sino que además nos aporta con importantes ventajas como la disminución total de lodos residuales, no generan malos olores, ni utilizan energía eléctrica y la obtención de humus durante el proceso.

La presente investigación se basó en el estudio de la eficiencia de Vermifiltros con la finalidad de tratar agua residual proveniente del Camal de la ciudad de Ibarra, la disminución de los Sólidos Totales y la Demanda Química de Oxígeno.

Para este efecto se probaron 2 tipos de sistemas filtrantes con diferentes sustratos de grava, aserrín, viruta y lombrices *Eisenia foetida*; el Vermifiltro 1 se estructuró además con piedra pómez, mientras que el Vermifiltro 2 estuvo compuesto por piedra bola, la evaluación se realizó durante 2 meses, tiempo prudente para el desarrollo adecuado de la lombriz.

Se evaluaron dos tratamientos con tres repeticiones con un total de 6 unidades experimentales, el diseño experimental utilizado es el Diseño Completamente Aleatorio, la prueba de significancia fue Tukey al 5%, las variables dependientes: Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Totales y las variables de control: Turbidez, color, pH y conductividad eléctrica.

Los dos tratamientos estudiados fueron eficientes en la descontaminación de aguas residuales, de ellos el Vermifiltro 1 obtuvo los mejores resultados: 96,27% de eficiencia en la disminución de DQO, 64,01% en la remoción de Sólidos Totales, cumpliendo con los límites permisibles para las descargas al sistema de alcantarillado público según el Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente y a su vez 0,44% de incremento de materia orgánica en el sustrato de las lombrices.

Palabras clave: límites permisibles, vermifiltro, aguas residuales, remoción, eficiencia.

2. ABSTRACT

The use of vermifiltration systems in the treatment of wastewater is considered a valid alternative, not only for the removal of pollutants, but also provides us with important advantages such as the total reduction of sewage sludge, does not generate bad odors, nor use energy electric and obtaining humus during the process.

The present investigation was based on the study of the efficiency of Vermifiltros with the purpose of treating residual water from the Ibarra city road, the decrease of Total Solids and the Chemical Oxygen Demand.

For this purpose, 2 types of filter systems were tested with different strata of gravel, sawdust, shavings and earthworms *Eisenia foetida*; Vermifilter 1 was also structured with pumice stone, while Vermifilter 2 was made up of ball stone, the evaluation was carried out for 2 months, prudent time for the proper development of the earthworm.

Two treatments with three repetitions with a total of 6 experimental units were evaluated, the experimental design used is the Completely Random Design, the significance test was 5% Tukey, the dependent variables: Chemical Oxygen Demand and Total Solids and the variables of Control: Turbidity, color, pH and electrical conductivity.

The two treatments studied were efficient in the decontamination of wastewater, of which Vermifilter 1 obtained the best results: 96.27% efficiency in the reduction of COD, 64.01% in the removal of Total Solids, complying with the limits permissible for discharges to the public sewerage system according to Book VI Annex 1 of the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of Environment and in turn 0.44% increase in organic matter in the earthworm substrate.

Keywords: permissible limits, vermifilter, wastewater, removal, efficiency.

3. INTRODUCCIÓN

La contaminación de los recursos hídricos a nivel mundial se ha vuelto un tema muy preocupante para todos los habitantes, debido a que en ciertos sectores tanto públicos como privados, no se lleva un manejo adecuado al momento de la depuración de las aguas residuales, siendo esto una de las principales causas de contaminación hacia el ambiente, provocando pérdidas en ecosistemas y a su vez perjudicando la salud y bienestar de los habitantes.

Manifiesta la Secretaria Nacional del Agua SENAGUA (2011) que por cada 100 litros de aguas consumida 81,1 litros se usan para la agricultura, 12,3 litros son destinados para uso doméstico, 6,3 litros son utilizados para la industria y para otros usos 0,3 litros. Una vez que se hayan usado, estas aguas se convierten en un residuo líquido, conocidas comúnmente como aguas negras, de las cuales tan solo en 8% pasan por un sistema de depuración o tratamiento.

El crecimiento poblacional y el desarrollo en las áreas industriales son consideradas una fuente de contaminación, debido al mal manejo de los residuos generados, los Centros de Faenamiento sin un sistema de tratamiento representan desde un punto de vista económico una pérdida de recursos reutilizables, convirtiéndose en un pasivo ambiental donde se debe destinar fondos para su tratamiento, pero sin obtener un beneficio.

Los camales se caracterizan por tener aguas residuales con una alta carga orgánica, un Vermifiltro es una alternativa aplicable a estos centros, además de ser económicamente factible, auto sustentables, ayudan en el cumplimiento de las normativas, por lo tanto, protegen el medio ambiente y la salud de las personas.

El Centro de Faenamiento y Productos Cárnicos de Ibarra desecha sus aguas residuales directamente al alcantarillado, contaminando los cuerpos hídricos a los cuales estas aguas desembocan provocando un impacto negativo hacia el ambiente, debido no solo a la contaminación sino a su vez a la perdida de ecosistemas presente en el sitio.

Un Vermifiltro es capaz de brindar un tratamiento a las aguas residuales, ya sean estas domésticas o industriales; también ayuda a no generar lodos residuales, además, se puede obtener humus, un material que se puede reutilizar y aprovechar en los cultivos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterizar mediante análisis físicos - químicos la calidad de agua, antes y después del tratamiento con vermifiltros.

4.2 Objetivo específico

- Evaluar la eficiencia de remoción de Sólidos y DQO de un sistema de Vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del Camal de Ibarra.
- Determinar la cantidad de materia orgánica y ácidos húmicos producidos por las lombrices, para verificar la calidad del humus generado.
- Socialización de los resultados de la investigación a los actores sociales.

4.3 Hipótesis

- **H₀**= El Vermifiltro elaborado con piedra pómez es igual de eficiente que el Vermifiltro elaborado con piedra bola en la remoción de DQO y Sólidos Totales presentes en muestras de aguas residuales del Centro de Faenamiento y de Productos Cárnicos de la ciudad de Ibarra
- **H_a**= El Vermifiltro elaborado con piedra pómez es más eficiente que el Vermifiltro elaborado con piedra bola en la remoción de DQO y Sólidos Totales presentes en muestras de aguas residuales del Centro de Faenamiento y de Productos Cárnicos de la ciudad de Ibarra

5. ESTADO DEL ARTE

5.1 Camal o matadero

Según Giménez y Medina (2010), un matadero es un establecimiento diseñado para el sacrificio y preparación de los animales que son destinados para la alimentación humana.

5.1.1 Camales de administración pública local o camales municipales

Los mataderos municipales mediante una administración pública están destinados a ser los encargados de brindar productos cárnicos de buena calidad, que cumplan con las normativas vigentes, contando con un manejo adecuado de los residuos que se genera para disminuir el impacto ambiental que causan los procesos realizados (Taveras, et al, 2011).

La Empresa Pública de Faenamiento y Procesamiento de Cárnicos en Ibarra, se encarga de ofrecer un servicio de faenamiento de caprinos, ovinos, bovinos y porcinos, a su vez, emplea sus actividades de una forma semi-industrial, por tanto, existe la manipulación de personal para realizar algunos procesos bajo condiciones de inseguridad.

5.1.2 Procesos que realizan en un camal

- **Recepción del ganado**

Trasladar el ganado de su lugar de origen hacia las instalaciones es una actividad tediosa, debido a que la separación de estos animales de su entorno familiar los altera en gran cantidad al estar sometidos a temperaturas elevadas o bajas, alta cantidad de ruido, vibraciones, lugares muy reducidos, concentraciones de olores por las excretas, orina, gases emitidos por el vehículo, reducida o abundante ventilación. El movimiento hace que se golpee el ganado, se produzcan heridas, exista una deshidratación, provocando así, la muerte de la carne magullada, haciendo que el ganado se estrese y que su carne ya no sea apropiada para el consumo (Mafla, 2008).

Por tanto, se recomienda tener más cuidado al momento de trasladar a los animales, en la recepción del ganado se verifica si no posee alguno de estos antecedentes, de igual manera,

indispensable que el camal tenga instalaciones seguras y adecuadas como corrales, terrenos de retención si fuese necesario.

- **Ingreso a los corrales**

Al trasladar el ganado hacia el corral, se recomienda una ubicación correcta, que posea sombra, ya sea con cercas vivas o cubiertas, que mantenga una temperatura adecuada. Los pasillos deben tener una pequeña inclinación, debido a que al ganado no le gusta ir cuesta abajo, constar de pasarelas, para poder observar el comportamiento de los animales que llegan para a ser faenados (Mafla, 2008).

- **Mortandad del ganado**

El ganado se somete al atronamiento ya sea con martillo, gas CO₂, electrocución o pistola, este es inmovilizados, no debe ser alterado, es decir, no debe ver otros animales muertos o sangre.

- **Faenamiento y sus formas correctas**

Al momento de faenar se siguen distintos procesos, estos deben tener un orden adecuado Mafla (2008) manifiesta que:

Los procesos a seguir al faenar son atronamiento y sangrado, colocación en posición horizontal, colocación en la carretilla, desuello y corte de la cabeza, desuello de los costados, corte de la punta de la cola, extracción del estómago y los intestinos, extracción de los órganos, remoción del cuero, descuartizamiento, examen, sellado y canal lista para ser retirada.

- **Atronamiento**

El atronamiento es aturdir y posteriormente matar al animal, se utilizan cadenas y argollas las cuales no satisfacen las exigencias sanitarias, pero en camales pequeños pueden ser utilizados para la inmovilización del animal.

Para realizar adecuadamente el atonamiento se coloca una cadena alrededor del cuello del animal y una argolla sujeta al suelo, haciendo que acerque su cabeza hacia ella, donde el matarife la para lo que utiliza algún instrumento adecuado (Mafla,2008).

Existen varios métodos, pero en el Camal de Ibarra se usan dos, que son: atonamiento eléctrico con lanza, que depende del tipo de animal y en el que se utilizan niveles mínimos de corriente que van desde 1 A hasta 2,5 A y atonamiento con pistola de punzón percutor (Mafla, 2008).

- **Degüello**

El degüello se da una vez realizado el atonamiento, consiste en introducir una varilla larga en la apertura que dejó el punzón o la lanza, para destruir la médula espinal del ganado, esto garantiza que exista un buen desangrado y que no haya reflejos musculares, aquí el matarife debe ser rápido y realizar las acciones con seguridad.

- **Desangrado**

Para el desangrado se coloca al animal en un carril antes de que en el degüello se corte la cabeza, de esta forma, puede desangrarse y a su vez se puede recoger la sangre para aprovecharla posteriormente, lo que permite tener mayor higiene y seguridad. La cantidad de sangre recogida depende de cada animal y es recogida en una artesa de hormigón, losa o acero. La duración del desangrado es aproximadamente 6 minutos.

- **Preparación de la carne para su entrega**

Aquí, se realizan todas las actividades antes mencionadas como son: corte de la punta de la cola, extracción del estómago, intestinos, órganos, remoción del cuero, descuartizamiento, limpieza del animal, pesaje, selección de lo aprovechable y lo no aprovechable, dado que va a ser comercializada para el consumo humano no puede tener bajos estándares de calidad.

5.2 Aguas residuales

5.2.1 Definición

Un concepto claro de aguas residuales, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA (2014) define: “Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado”.

Las aguas residuales son aquellas que han perdido su valor inmediato en cuanto a su calidad, provienen de usos industriales, domésticos, municipales, agrícolas, entre otros, y se encuentran contaminadas por: heces, orina o productos agrícolas (Rao, et al, 2012).

La carga contaminante que se evidencia en las aguas residuales es distinta, esto va a depender del uso que tengan, se determinan por su composición química, física y biológica. Los parámetros en ocasiones guardan una relación como, por ejemplo: la temperatura puede afectar la actividad biológica, para poder caracterizarlas se aplican métodos cuantitativos para determinar la composición química y métodos cualitativos para la composición física y biológica (Lara, 2011).

5.2.2 Tipos de agua residual.

- **Aguas residuales domésticas:** son de origen residencial y también comercial, provenientes de las actividades del ser humano (OEFA, 2014).
- **Aguas residuales industriales:** son el resultado de las actividades generadas en los diferentes procesos industriales, donde se encuentran altas concentraciones de contaminantes tóxicos para los microorganismos (Lima, 2016).
- **Aguas residuales agrícolas:** son resultantes de actividades agrícolas; tienen y llevan los contaminantes que están en los fertilizantes, insecticidas, herbicidas, entre otros, los cuales poseen productos químicos con alta toxicidad (Proveda, 2014).

5.2.3 Aguas residuales de camales.

Entre los residuos característicos de los mataderos se encuentran la sangre, grasas, pelos, huesos, estiércol y otros contaminantes; la composición del efluente va a depender siempre de qué tipo de procesos de producción implementan y a su vez de su pretratamiento.

Según Lara (2011), manifiesta: “Los efluentes tienen altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno; la relación promedio de DQO: DBO₅: N es de 12:4:1”.

Las producciones de los residuos líquidos generalmente se generan en los corrales de reposo, en el área de desangrado, en los procesos de remoción de cuero, pelos, en el procesamiento de la carne y en los procesos de trazado de la carne.

5.2.4 Caracterización del agua de matadero.

Para tener una caracterización de un efluente de un camal es fundamental conocer parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS), aceites y grasas, nitrógeno total, turbidez, color, olor, pH, temperatura y el caudal (Landeta, 2009).

Estos análisis hacen referencia con la Resolución N° 0002-DMA-2008 (2008), en la Tabla D.1 “Guía de parámetros mínimos por sector productivo” que manifiesta que la actividad productiva se debe realizar bajo el código CIIU, donde se establece que para la matanza de ganado, preparación y conservación de carne (CIIU D1511) se deben tomar en cuenta aspectos como pH, DQO, DBO₅, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales y temperatura.

El Camal de Ibarra al momento no cuenta con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, las cuales son enviadas directamente al alcantarillado, provocando la contaminación de los cuerpos de agua. El caudal promedio que tiene el camal es de 2,5 l/s, es importante considerar que no se faena todos los días; se tiene un mayor faenamiento los días lunes y miércoles (Maltre, 2015).

5.3 Sistema Tohá

Es una combinación que consiste en la purificación de agua y la degradación de la materia orgánica, mediante la utilización de lombrices californianas *Eisenia foetida*, las mismas que representan muchos beneficios debido a que son las encargadas de digerir la materia orgánica y transformarla a humus. Con este sistema se ha evidenciado la reducción de DBO₅ de 95%.

Los tratamientos biológicos son alternativas muy buscadas, uno de los filtros biológicos para tratar aguas residuales son los Vermifiltros, los cuales tienen en su estructura materia orgánica y presentan un bajo costo de implementación y manejo (Dawood, et al, 2011).

5.3.1 Estructura del Vermifiltro.

Los filtros biológicos aeróbicos se encuentran constituidos por algunos sustratos donde las aguas residuales con ayuda de organismos y microorganismos son degradadas, logrando disminuir los contaminantes (Ramos, 2010).

Los sistemas de vermifiltración pertenecen a la familia de percoladores, están compuestos por sustratos filtrantes donde sus capas contienen piedra bola, grava, aserrín, viruta y al final del filtro están las lombrices con una capa de materia orgánica (Guzmán, 2004).

5.3.2 Sustratos

- **Piedra bola**

La piedra bola es una roca muy conocida que se encuentra en grandes cantidades en el planeta, posee un color gris oscuro, es muy dura y su brillo es opaco. De origen volcánico puede ser por efusión de lava o enfriamiento del magma, proveniente de eventos geológicos donde existen coladas basálticas en la superficie de la tierra. Posee un rango de granulometría de 100 a 300 mm o de 10 a 30 cm (MEGAROK, 2015).

Está considerada dentro del grupo de las rocas ígneas, las cuales forman parte de aproximadamente el 95% de la superficie terrestre, dentro de los tipos de rocas volcánicas es

un basalto, se la puede encontrar en los fondos oceánicos o en ríos, la composición que posee esta roca es máfica, lo cual significa que posee magnesio y hierro (Ingeoexpert, 2018).

Posee una forma redondeada y una superficie lisa, esto se da porque al encontrarse en agua ésta es pulida por el paso constante de la misma; se utiliza para varias actividades, ya sea, como decoraciones de jardines, muros o para delimitar caminos, posee varias ventajas como son: el control de la hierba mala, mantiene la humedad del suelo y puede evitar la erosión del mismo. Cuando son usados como filtros de percolación se genera una biopelícula, la cual resulta de la acumulación de microorganismos, cuando existe una multiplicación de bacterias, éstas se adhieren con mayor firmeza a la superficie haciendo así que exista una mejor filtración (Maltre, 2015).

- **Piedra pómez**

Las piedras pómez son de origen volcánico, se encuentran dentro del grupo de rocas ígneas, poseen diferentes formas, se definen como piroclásticos porosos por estar constituidas de vidrio en forma de espuma y su formación se da por un enfriamiento rápido del magma cuando este está ascendiendo y es muy viscoso. Es de color blanco grisáceo y su brillo es sedoso.

Dentro de los tipos de roca volcánica se encuentra dentro de las denominadas pumita, por la porosidad que presenta. Su composición química, según Ingeoexpert (2018) es: “Trióxido de sílice y trióxido de aluminio, entre otros componentes: 71% de SiO_2 , 12.8% de Al_2O_3 , 1.75% de Fe_2O_3 , 1.36% de CaO , 3.23% de Na_2O , 3.83% de K_2 , 3.88% de H_2O ”.

Posee una multitud de poros y células cerradas, esto hace que la piedra sea muy porosa, lo que le permite tener una buena absorción y retención de agua, es ligera y tiene una baja densidad de entre 0,4 a 0,9 g/cm^3 . La roca es muy suave y puede tallarse con facilidad, tiene gran resistencia al frío, fuego e intemperie, es libre de sales solubles en agua (Maltre, 2015).

- **Grava**

La grava es una roca sedimentaria detrítica, es un producto de la separación natural o artificial de otras piedras o minerales, su diámetro está entre 2 y 64 mm, posee una composición química variada, pero se puede ver que está constituida por cuarzo y cuarcita, con fragmentos de basalto, caliza, granito y también dolomita. Es de color oscuro y posee diferentes formas, una dureza de 6 en la escala de Mohs (MEGAROK, 2015).

- **Aserrín y viruta**

El aserrín y la viruta son considerados residuos de las industrias madereras, pero al reutilizarlas en sistemas de tratamiento es una de las soluciones que evita los impactos ambientales.

El tamaño del aserrín es menor a 0,8 mm, su densidad oscila entre 0,1 a 0,45 g/cm³, su porosidad tiene un porcentaje de 80, la capacidad de absorción de agua es de 42%. Las propiedades que tiene la viruta es que la densidad oscila entre 1,55 a 1,90 g/cm³, el porcentaje de porosidad es de 70 a 90 y la capacidad para retener el agua es de 43% (Unión Europea, 2008).

Es un material muy bueno y barato para ser utilizado como materia prima en la elaboración de sistemas de tratamiento de agua.

5.3.3 Características de la lombriz *Eisenia foetida*

Las lombrices tienen la capacidad de cambiar las propiedades físicas del suelo, ya sea este la porosidad, el estado de agregación de las partículas, la formación de canales, entre otros, de igual manera pueden cambiar la composición química y biológica como es el caso de la degradación de la materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, son capaces de regular ciertas actividades de otros microorganismos (Monroy, et al, 2008).

Las lombrices son epigeas, se las puede encontrar en el horizonte orgánico del suelo, se alimentan con la materia orgánica, son consideradas organismos pequeños, pero con una

capacidad de adaptabilidad alta en cuanto a lo que se refiere a las condiciones ambientales variables; son muy utilizadas por las características que poseen (Domínguez y Gómez, 2010).

La especie *Eisenia foetida* puede adaptarse a sitios donde se encuentre una temperatura de entre 15 y 25°C, un pH de 7 y 8 adecuado para su desarrollo, poseen una alta tasa de reproducción, longevidad, son capaces a agruparse en sitios de espacios reducidos, tienen la capacidad de vivir en poblaciones altas y lo mejor es que no son trasmisoras de enfermedades (Duran y Henríquez, 2009).

Estas especies poseen cuerpos alargados, entre 94 y 96 anillos, su tasa de reproducción se encuentra entre 2 a 21 cocones por cada individuo, son hermafroditas, un dato importante en el color es que depende del ciclo biológico que cumple la especie, tienen coloraciones blancas, rosadas y rojo oscuro (Duran y Henríquez, 2010).

- **Ácidos húmicos**

Son moléculas complejas las cuales se forman por descomposición de la materia orgánica, influyen en la fertilidad del suelo e inciden en la absorción de nutrientes. Para la obtención de estos, es necesario realizar la extracción de la fracción húmica de la materia orgánica de un suelo con hidróxido de sodio (NaOH), fraccionamiento de la materia orgánica por precipitación con ácido sulfúrico (SO₄H₂) y valoración del ácido húmico.

5.3.4 Microorganismos

Los microorganismos juegan un papel importante en un sistema de percolación, las comunidades que se pueden encontrar son muy diversas, incluye a bacterias, protozoos, algas y hongos.

La microbiología que se desarrolla en el Vermifiltro encontramos bacterias filamentosas como: *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Achromobacter* y *Alcaligenes*, mientras que en las estratificaciones inferiores podemos encontrar bacterias nitrificantes tales como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, las cuales son generadoras de malos olores, sin dejar de tomar en cuenta la falta de ventilación que existe en todo el sistema y por último la presencia de protozoos en todo el sistema pertenecientes a grupo Ciliata (Coronel, 2015).

En cuanto al pH del agua residual debería ser bajo, ya que existen bacterias que se encargan de que haya una estabilización, esto ayudaría a mejorar el porcentaje de remoción de los contaminantes.

5.4 Descripción del tratamiento propuesto

Un Vermifiltro es un filtro biológico donde existe una combinación con procesos de vermicompostaje y purificación de aguas, se presentan lombrices y microorganismos que se asocian para realizar la degradación de materia orgánica de aguas residuales del camal, presentando diferentes sustratos que cumplan la función de percolador (Mercy, et al, 2013).

Las ventajas que puede ofrecer este sistema, es que no se genera una producción de lodos residuales, ni malos olores, la operación del sistema es sencillo, en cuanto al factor económico es relativamente bajo, además, ayudará a que la carga contaminante del agua residual del camal pueda ser usada para la agricultura, el humus que producen las lombrices puede ser utilizado como un biofertilizante de calidad.

Las condiciones principales de operación en cuanto a la temperatura, humedad y pH, son analizadas mediante parámetros donde se considera un rango de resistencia, donde se establece una temperatura de 0 a 45 °C, una humedad de 55 a 85 %, un rango óptimo de operación de temperatura que va desde 14 a 27 °C, una humedad de 70 a 80 % y un pH de 6 a 8, las condiciones ideales para aplicar en un Vermifiltro es de temperatura unos 22 °C, en una humedad de 75 % y un pH de 7 y de igual forma los detalles donde se observa que una temperatura superior a 42 °C e inferior a 0 °C pueden ser letales para los microorganismos y lombrices, una humedad superior a 85 % las lombrices se encuentran en estado de latencia y una humedad inferior a 55 % se considera letal, del mismo modo, el pH al aumentar los ácidos orgánicos se van a acidificar y esto puede ser letal para las lombrices (Cevallos, 2015).

En cuanto al medio filtrante, se manifiesta que los agregados de roca deben poseer diferentes diámetros, el suelo utilizado y las arenas ayudan a la filtración de aguas residuales y suministran un lecho a los microorganismos que van a favorecer la disminución del DQO, DBO₅, Sólidos Disueltos y turbidez (Velasco, 2015).

En investigaciones realizadas por Cardoso, et al. (2011) acerca de la vermifiltración se demostró la eficiencia del sistema en cuanto a la reducción de DQO de 568 mg/l a 46 mg/l, DBO₅ de 186 mg/l a 2 mg/l y Sólidos Totales de 147 mg/l a 4 mg/l.

Una característica importante de las lombrices es que tiene capacidad de asimilar concentraciones elevadas de ciertos metales como el Cu, Fe, Cd, Pb y Zn, sin que exista la presencia de síntomas de intoxicación a un corto plazo (Zapata, et al, 2016).

5.5 Parámetros fisicoquímicos necesarios para conocer la calidad del agua.

Para poder ver la contaminación que poseen las aguas residuales, se deben estudiar o analizar diferentes parámetros fisicoquímicos que nos ayudarán a conocer mejor su estado, en cuanto a la calidad.

Dentro de estos parámetros tenemos:

- **DQO (Demanda Química de Oxígeno)**

Se puede definir como la cantidad de oxígeno, que se necesita para la oxidación de la materia orgánica, por medio de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), en una solución de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) para que ésta se transforme a Dióxido de carbono (CO_2) y a agua (H_2O), el DQO es la cantidad de oxígeno que necesita para estabilizar una muestra, tiene una duración de 3 horas, esto facilita la identificación de sustancias tóxicas y materia que no sea biodegradable (Peral y Domenech, 2006).

- **Sólidos Totales**

Se puede definir como el residuo que se tiene después de la evaporación y secado a 105 °C, también se pueden encontrar Sólidos Disueltos o Suspendidos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2007).

- **Turbidez**

La turbidez nos indica la pérdida de la transparencia, esto se debe a que la materia en suspensión como arcilla o limo; cuando hay un mayor grado de turbidez, más contaminada se encuentra el agua, lo que dificulta la depuración de la misma, ya que protege a los

diferentes microorganismos de la desinfección mediante la luz solar y otros factores (Andrade, 2010).

- **Color**

El color es un indicador de aquella composición y concentración que va desde un gris hasta un negro, esto depende de la cantidad que exista de materia orgánica, cuando las aguas son muy oscuras, impide el paso de luz solar y por lo cual no permite se realice la fotosíntesis (Andrade, 2010).

- **pH**

El pH determina cuál es la cantidad de iones de hidrógeno presentes en el agua, donde existe un rango que corresponde de 0 a 6,9 es un pH Ácido, 7 es Neutro y de 7,1 a 14 es Básico, este parámetro es de suma importancia debido a que con un pH adecuado existe la proliferación de microorganismos (Coronel, 2015).

- **Conductividad eléctrica**

Es un parámetro que ayuda a determinar la concentración de sustancias, que se encuentran disueltas en el agua, las mismas que están cargadas iónicamente y puedan trasladar una corriente eléctrica (Coronel, 2015).

- **Fosfatos**

Es un elemento importante en cuanto se habla de la propagación de ciertos organismos biológicos, al tener abundante fósforo va a existir una estimulación en el crecimiento desmedido de organismos fotosintéticos haciendo que se produzca un proceso llamado eutrofización, lo cual va a afectar a la calidad de las aguas (Dawood, et al, 2011).

- **Nitritos y Nitratos**

Los nitratos y nitritos se encuentran de forma natural, pero se pueden incrementar por algunas actividades humanas como pueden ser: los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, la orina, estiércol, vertidos, aguas residuales de industrias o domicilios, entre otros; en la naturaleza los nitratos se vuelven nitritos y viceversa (Velasco, 2015).

- **Nitrógeno Total**

Uno de los elementos principales para que existan las reacciones biológicas es el nitrógeno, su contenido total se conforma por nitrógeno orgánico en forma de aminoácidos, úrea, proteínas; nitrógeno amoniacal presente en sales de amoníaco o amoníaco libre; nitrógeno como nitritos y nitratos (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Crites y Tchobanoglous, (2000), manifiestan que: “en el agua residual reciente, el nitrógeno se encuentra mezclado en forma de materia protéinica y úrea, su transformación a la forma amoniacal es casi inmediata, el tiempo del agua residual se mide por la cantidad de amoníaco existente. Por la acción del oxígeno las bacterias aerobias oxidan el nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos”.

- **Sulfatos.**

Las sales de sulfato provienen de los insumos químicos, los cuales presentan iones de sulfato y sulfato de sodio en los insumos en polvo, utilizados como una sal muerta de estandarización (Castelles, 2012).

- **Materia orgánica**

La materia orgánica se encuentra constituida por residuos vegetales o animales, que cuando queda retenida en el medio filtrante es removida por una población de microorganismos y por lombrices adheridas al medio; estas degradan la materia orgánica que es una fuente de alimento, sirve como energía para sus procesos metabólicos y una fracción que pasa a formar parte de su masa corporal.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación tuvo lugar en el Cantón Ibarra, provincia de Imbabura, en la Granja experimental ECAA, en la zona del vivero de hortalizas y los análisis físico-químico se desarrollaron en el laboratorio de Química, Suelos y Aguas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, la toma del agua residual fue del centro de Faenamiento y Producción de Cárnicos de Ibarra.

A continuación, se dará a conocer los materiales, equipos y reactivos que se utilizó para realizar esta investigación.

Tabla 1.

Listado de materiales de campo, laboratorio y equipos.

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Equipos
6 tanques de 42 cm de altura y 32 de diámetro.	Vasos de precipitación de 50 ml	Balanza analítica ADAM® 254
12 canecas de 20 litros.	Pipetas Graduadas de 5 ml / 2 ml	Estufa de secado Biobase BJPx-spring
2 m de plástico negro	Crisoles	Baño María Wise Bath WB-22
Mallas de 0,02 mm y 0,05 mm	Tubos de ensayo	Centrifuga Centurion C2006
Piedra pómez	Hornilla eléctrica	Potenciómetro Horiba Navih F-51
Piedra bola	Matraz Erlenmeyer	Conductímetro HANNA Hi 8733
Grava	Pinzas	Colorímetro LaMotte SMART3
Aserrín	Gradilla	Horno Mufla Thermo Scientific Thermolyne

Continuación Tabla 1.

Viruta	Frasco boeco de 500 ml / 250 ml	Termorreactor Wealtec Corp. HB.1
Lombrices	Frascos Ambar	Estufa memmert SNB 300
Estructura metálica		

Elaborado por: Autor

6.1 Métodos:

6.1.1 Metodología de la fase de experimentación.

6.1.1.1 Diseño de estructura metálica.

Se realizó una estructura metálica para la colocación de los módulos, esto sirvió para que no exista derrames de las aguas residuales y a su vez para prevenir el ingreso de roedores, las medidas son: 3 m de largo, 0,50 m de ancho y 1,30 m de alto.

6.1.1.2 Aplicación de módulos y sustratos

El experimento consistió en la aplicación de 6 módulos, en los cuales se colocaron diferentes sustratos que ayudaron al tratamiento y que sirvieron como filtros, de igual manera, se colocaron 12 canecas de 20 litros que sirvieron tanto de almacenamiento para las aguas residual, como a su vez para depositar el agua tratada.

Los sustratos utilizados son: 10% (0,10 m) de piedra pómez en el primer módulo y 10% (0,10 m) de piedra bola en el segundo módulo, 10% (0,10 m) de grava de 2,5 – 3 cm y 5% (0,05 m) de la mezcla entre aserrín y viruta, 10% (0,10 m) de suelo de la granja y lombrices, dejando 7% (0,07 m) libres para que no exista la evacuación de las lombrices. El tanque tiene una altura de 0,42 m y un radio de 0,32 m.

En cada división de los sustratos se colocaron dos mallas de 0,02 mm y 0,05 mm, para no permitir que los sustratos se mezclen y de igual manera obtener una alta eficiencia del sistema, a continuación, se presenta un modelo el diseño del sistema de vermifiltración.

Hay que considerar que se realizaron dos tratamientos y tres repeticiones por lo que se tubo 6 Vermifiltros con las características antes mencionadas.

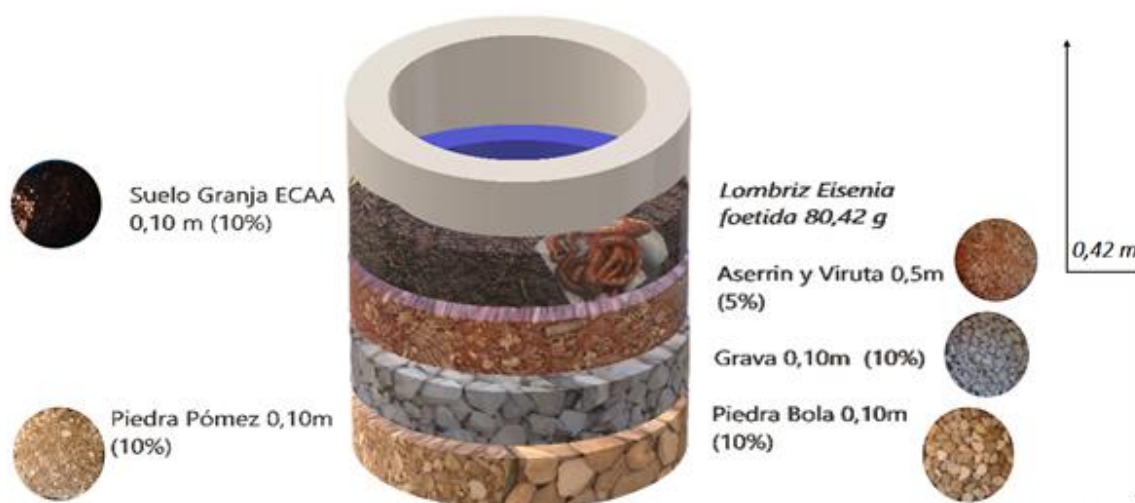


Figura 1. Tipo de Vermifiltro
Elaborado por: Autor.

6.1.1.3 Volumen de sustratos

El contenedor del módulo utilizado es de forma cilíndrica por lo que para calcular el volumen usado de cada sustrato se debe aplicar la fórmula de volumen para cilindros, tomando en cuenta su radio y altura del contenedor a utilizar.

$$V = r^2 \pi h$$

Donde:

V = Volumen de los sustratos

R = Radio del cilindro

h = Altura de los sustratos.

Tabla 2.

Volumen de los sustratos.

Sustratos	Altura del sustrato (m)	Volumen calculado (m ³)
Piedra Pómez	0,10	0,8042
Piedra Bola	0,10	0,8042
Grava	0,10	0,8042
Aserrín y viruta	0,5	0,4021
Suelo de la granja	0,10	0,8042

Elaborado por: Autor.

6.1.1.4 Adaptación de la lombriz *Eisenia foetida*

Las características que esta especie presenta son de gran utilidad para la investigación debido a que posee una alta tasa de crecimiento, adaptabilidad a factores ambientales, un manejo fácil y sencillo. Para conocer la cantidad exacta de lombrices que deben ocupar cada módulo se determina mediante el método de que por cada m³ hay 10 kg de lombrices según el estudio de Komarowski (2011), usando la siguiente fórmula:

$$V = r^2 \pi h$$

V = Volumen de los sustratos (m³)

R = Radio del cilindro (m²)

h = Altura de los sustratos (m)

- **Desarrollo:**

$$V = (\pi) (0.16)^2 (0.10 \text{ m})$$

$$V = 0,008042 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso (g)} = 0,008042 \text{ m}^3 \times \frac{10 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \times 1000 \text{ g} = 80,42 \text{ g}$$

Por tanto, al tener 80,42 g de lombrices, previa a la colocación en los Vermifiltros, se retiró toda la materia orgánica que se encontraba a su alrededor, se pesó en una balanza los gramos antes calculados, siendo este peso equivalente a 320 lombrices colocadas en cada uno de los módulos. Para proceder al análisis de calidad del agua, trascurrió una semana para que exista una adaptación de las lombrices al medio.

Tabla 3.

Distribución de las lombrices en los Vermifiltros de piedra pómez y piedra bola.

Masa de lombrices	Número de lombrices
(g)	
80.42	320 unidades

Elaborado por: Autor

Una vez que culminaron las ocho semanas se procedió a realizar el conteo de las lombrices y se verificó las condiciones en las cuales se encontraban.

6.1.1.5 Toma de muestras y análisis físico químicos.

La toma de muestras se realizó en la caja de revisión del Camal de Ibarra, en un frasco Boeco el cual se homogenizó con el agua residual, se llenó hasta que no quede ningún espacio por donde pueda ingresar oxígeno a la muestra, para que en los análisis como el DQO no interfiera con los resultados.

La toma de la muestra se realizó todos los días lunes a las 10 de la mañana, debido a que existe una mayor cantidad de Faenamiento, por un tiempo de ocho semanas, tomando 120 litros de agua que se recircularon en los Vermifiltros todos los días a las 12h00 pm.

Tabla 4.

Toma de muestras, días, cantidad y repeticiones.

Número de semana	Fecha de toma de muestra	Fecha de recirculación de la muestra
Semana de adaptación de las lombrices	07 de Enero del 2019	Del 07 de Enero hasta el 13 de Enero del 2019
Semana 1	14 de Enero del 2019	Del 14 de Enero hasta el 20 de Enero del 2019
Semana 2	21 de Enero del 2019	Del 21 de Enero hasta el 27 de Enero del 2019
Semana 3	28 de Enero del 2019	Del 28 de Enero hasta el 03 de Febrero del 2019
Semana 4	4 de Febrero del 2019	Del 04 de Febrero hasta el 10 de Febrero del 2019
Semana 5	11 de Febrero del 2019	Del 11 de Febrero hasta el 17 de Febrero del 2019
Semana 6	18 de Febrero del 2019	Del 18 de Febrero hasta el 24 de Febrero del 2019
Semana 7	25 de Febrero del 2019	Del 24 de Febrero hasta el 03 de Febrero del 2019
Semana 8	4 de Marzo del 2019	Del 04 de Marzo hasta el 10 de Marzo del 2019

Elaborado por: Autor

Las coordenadas del punto exacto donde se tomó las muestras del agua residual en el Camal de Ibarra son:

Tabla 5.

Coordenadas del punto de muestreo el en Camal de Ibarra.

(X) UTM	(Y) UTM	(msnm) Altura
820652,5	40094,5	2207

Elaborado por: Autor

6.2 Metodología fase analítica

A continuación, se explica cómo se realizó cada uno de los análisis fisicoquímicos de esta investigación.

6.2.1 DQO (Demanda química de oxígeno)

Técnica

- Homogeneizar la muestra, precalentar el bloque del calentador de COD a 150 ± 2 °C y retirar la tapa del tubo de COD.
- Mantener el tubo en un ángulo de 45 °C, usar una pipeta graduada para agregar cuidadosamente 0.2 ml de agua de muestra, permitiendo que corra por el costado del tubo, tapar y mezclar bien, enjuagar el exterior del tubo con agua destilada.
- Secar con una toalla de papel, repetir los pasos 3 a 5 con 0.2 ml de agua destilada. Este es el blanco de reactivo, colocar los tubos en el calentador de bloque COD precalentado y mantener la temperatura a 150 ± 2 °C durante dos horas, apagar el calentador.
- Esperar 20 minutos para que la temperatura de los tubos baje a 120 °C o menos, retirar los tubos del calentador de bloque, dejar enfriar a temperatura ambiente, prender el colorímetro y seleccionar la prueba correspondiente. Registrar los resultados.

6.2.2 pH (Potencial de Hidrógeno)

Técnica

- Calibrar utilizando una solución buffer ya sea de 4,7 o 10 pH,
- Ionizar el electrodo con agua destilada y sumergir en la muestra de agua.
- Proceder a medir.

6.2.3 Conductividad eléctrica

Técnica

- Limpiar los electrodos antes y después de utilizar con agua destilada.
- Esperar la estabilización del dato y anotar el valor expuesto en la pantalla.

6.2.4 Turbidez

Técnica

- Llenar hasta los 10 ml línea con agua destilada
- Insertar el tubo en la cámara, cerrar la tapa y seleccionar SCAN BLANK,
- Enjuagar un segundo tubo limpio con agua de muestra,
- Llenar hasta la línea de 10 ml, limpiar el exceso de agua y las huellas dactilares.
- Agitar para resuspender materia particular
- Insertar el tubo en la cámara, cierre la tapa y seleccione SCAN SAMPLE.
- Registre los resultados, las mediciones de turbidez deben tomarse tan pronto como sea posible.

6.2.5 Color

Técnica

- Llenar hasta los 10 ml línea con agua destilada
- Insertar el tubo en la cámara, cerrar la tapa y seleccionar SCAN BLANK,
- Enjuagar un segundo tubo limpio con agua de muestra,
- Llenar hasta la línea de 10 ml, limpiar el exceso de agua y las huellas dactilares.
- Insertar el tubo en la cámara, cierre la tapa y seleccione SCAN SAMPLE.
- Registre el resultado en unidades de color.

6.2.6 Sólidos Totales

Técnica

- Lavar los crisoles y secarlos sin dejar que las manos sin protección topen el crisol debido a que cambia el dato inicial
- Anotar el peso del crisol lavado, colocarlo en la estufa por 30 minutos, se deja enfriar en la desecadora a temperatura ambiente por 10 minutos y se anotar el peso.
- Verificar la diferencia en el último dígito el cual debe tener +/- 5
- Colocar 20 ml de la muestra en el crisol tarado y se lo lleva a la estufa a 105 °C hasta que la muestra se evapore por completo, dejar enfriar y anotar el peso.

- Colocar el crisol en la mufla a 550 °C por tres horas, dejar enfriar y anotar el peso, tener en cuenta que todos los pesos deben ser realizados en la misma balanza analítica.
- Para la determinación final se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos Totales} = \text{Peso del S:T en g} \times \frac{1000000}{\text{ml muestra}} = \frac{\text{mg}}{\text{IS}} \cdot T$$

6.2.7 Materia Orgánica

Método: Pérdida por calcinación (Buduba, Alonso, & Dave, 2017)

Técnica

- Lavar los crisoles y secar procurando no tener las manos sin protección, anotar el peso del crisol lavado, colocar el crisol en la estufa por 30 minutos, se deja enfriar en la desecadora a temperatura ambiente, anotar el peso,
- Verificar la diferencia en el último dígito el cual debe tener +/- 5, pesar 2 g de muestra de suelo filtrado por un cedazo de 60mm y se coloca en el crisol.
- Colocar en la mufla a una temperatura de 550°C durante tres horas, dejar enfriar hasta temperatura ambiente en la desecadora, pesar y anotar el resultado dictado por la balanza analítica.

6.2.8 Ácidos Húmicos

Método: Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo (Primo, E. y Carrasco, J, 1981). Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes. Alhambra.

Técnica

Realizar los siguientes reactivos:

- Hidróxido sódico aproximadamente 5 N
- Hidróxido sódico aproximadamente 0'5 N
- Hidróxido sódico al 0'5 %
- Ácido sulfúrico aproximadamente 7 N
- Ácido sulfúrico (1:10).

- Solución valorada de permanganato potásico aproximadamente 0'1 N.
- Solución valorada de oxalato amónico, aproximadamente 0'1 N.

Se realizaron los siguientes procedimientos:

1) Extracción de la fracción húmica de la materia orgánica del suelo.

- Pesar 5 g del suelo, poner en la centrifuga y agregar 30 ml de NaOH 0'5 N.
- Calentar en baño de agua a 60 °C por media hora, centrifugar a 4500 rpm por cinco minutos, el líquido sobrenadante de color oscuro se decanta, se repite el proceso hasta que el líquido quede incoloro.
- Reunir todos los extractos en un matraz de 250 ml y se diluye con agua destilada.

2) Fraccionamiento de la materia húmica

- Tomar 20 ml de la solución antes obtenida, añadir H₂SO₄, aproximadamente 7 N hasta que la solución tenga un pH de 4.
- Centrifugar por cinco minutos a 4500 rpm, el precipitado son los ácidos húmicos y la disolución son los ácidos fúlvicos se colocan en un vaso de 100 ml.
- Lavar el precipitado con dos porciones de 10 ml de H₂SO₄, aproximadamente 7 N añadir a la solución de ácidos fúlvicos.
- Pasar la solución de ácidos fúlvicos a un matraz de 100 ml y lavar con tres porciones de 5 ml de H₂SO₄ (1:10), y enrasar con agua destilada.

3) Valoración de los ácidos húmicos.

- Disolver el precipitado en la menor cantidad de NaOH 0'5 N, pasar a un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se lava el tubo con 2 ml de NaOH 0'5 N y se pasan al matraz de 500 ml.
- Añadir 25 ml de KMnO₄ 0'1 N y 25 ml de agua destilada, hervir por 10 minutos, dejar enfriar y añadir 25 de H₂SO₄, aproximadamente 7 N, añadir 25 ml de oxalato amónico 0'1 N y se agita el matraz hasta que la solución quede incolora, se valora a retroceso con de KMnO₄ 0'1 N a 40 °C aproximadamente.

6.2.9 Hierro

Técnica

- Coloca 5 ml de la muestra de agua preparada en un tubo de ensayo,
- Colocar 3 gotas del reactivo Fe^{-1} y mezclar.
- Dejar en reposo durante 3 minutos, introducir en la cubeta de 10 mm y medir en el espectrofotómetro.

6.2.10 Nitritos

Técnica

- Colocar 5 ml de la muestra de agua preparada en un tubo de ensayo.
- Añadir una microcuchara de reactivo NO_2^{-1} , agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente, el valor de pH deberá encontrarse en el intervalo 2,0 a 2,5.
- Dejar en reposo 10 minutos, luego introducir en la cubeta de 10 mm y medir en el espectrofotómetro NOVA 60.

6.2.11 Nitratos

Técnica

- Colocar una microcuchara de reactivo NO_3^{-1} en un tubo de ensayo, luego de colocar 5ml de reactivo NO_3^{-2} se agita vigorosamente durante un minuto, hasta que el reactivo NO_3^{-1} se haya disuelto completamente.
- Colocar 1, 5 ml de la muestra de agua, verter muy lenta y cuidadosamente mediante la pipeta sobre el reactivo en la pared interna del tubo de ensayo mantenida inclinada.
- Mezclar inmediatamente durante poco tiempo agarrando el tubo solo por la parte superior, dejar en reposo la solución de reacción caliente durante 10 minutos, se introduce en la cubeta de 10 mm y se mide en el espectrofotómetro NOVA 60.

6.2.12 Amonio

Técnica

- Colocar 5 ml de la muestra de agua preparada en un tubo de ensayo, luego 0,60 ml del reactivo NH_4^{-1} y mezclar.
- Colocar una microcuchara del reactivo NH_4^{-2} y se agita vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.
- Dejar en reposo durante 5 minutos, e introducir en la cubeta de 10 mm, medir en el espectrofotómetro NOVA 60.

6.2.13 Fosfatos

Técnica

- Colocar en un tubo de ensayo 8 ml de agua destilada, luego 0,50 ml de la muestra de agua filtrada y mezclar, 0,50 ml del reactivo PO_4^{-1} y se mezcla.
- Colocar una dosis del reactivo PO_4^{-2} y agitar vigorosamente hasta que el reactivo se haya disuelto completamente, dejar en reposo 5 minutos e introducir en la cubeta de 10 mm y se medir en el espectrofotómetro NOVA 60.

6.2.14 Sulfatos

Técnica

- Colocar 2.5 ml de la muestra en tubo de ensayo.
- Añadir 2 gotas del reactivo SO_4^{-1} , cerrar y agitar el tubo.
- Agregar una microcucharada del reactivo SO_4^{-2} cerrar y agitar el tubo de ensayo
- Colocarlo en baño maría durante 5 minutos a una temperatura de 40 °C
- Colocar 2.5 ml del reactivo SO_4^{-3} , cerrar y agitar el tubo de ensayo y filtrar el contenido.
- Agregar 4 gotas del reactivo SO_4^{-4} , cerrar y agitar el tubo de ensayo.
- Colocar el tubo de ensayo en baño maría durante 7 minutos a una temperatura de 400 °C.
- Introducir en la cubeta de 10 mm y se medir en el espectrofotómetro NOVA 60.

Tabla 6.

Listado de equipos y método de referencia.

Parámetro	Equipo	Anexo	Método de referencia
pH (Potencial de hidrógeno)	Potenciómetro Horiba Navih F-51		APHA, 4500-H + B
Conductividad Eléctrica	Conductímetro HANNA Hi 8733		APHA – 2510
Color	Colorímetro LaMotte		Platinum Cobalt (0).
Turbidez	SMART3		Absorptimetric (0)
Sólidos Totales	Horno Mufla Thermo Scientific Thermolyne		Método 2540-B. Sólidos Totales rango de secados 103°C – 105°C.

Demanda Química de Oxígeno (HR)	Termorreactor Wealtec Corp. HB.1		EPA 410.4
Nitritos			Análogo EPA 354.1, US Standard methods 4500-NO2 B y EN 26777
Nitratos			Análogo EPA 354.1, APHA 4500-NO2- B, y DIN EN 26 777.
Amonio			Análogo EPA 350.1, APHA 4500- NO3 D y ISO 7150/1 y DIN 38406 Es.
Hierro	Espectrofotómetro Spectroquant NOVA 60 MERCK		Análogo DIN 38405-9.
Fosfatos			Análogo EPA 365.1 +3, APHA 4500-P E B y DIN EN ISO 6878.
Sulfatos			Análogo EPA 375.4, APHA 4500-SO4 2- E, and ASTM D516-11.



Elaborado por: Autor

6.3 Modelo estadístico

El diseño estadístico implementado en esta investigación es el Diseño Completamente Aleatorio, para comparar dos tratamientos con tres repeticiones dando un total de 6 unidades experimentales; se utilizaron los programas Excel, Minitab 18 y SPSS, además de diagramas, figuras y ecuaciones. La prueba de significancia utilizada es Tukey al 5%.

Entre las variables tenemos:

- **Variables independientes.**

-Tipos de Vermifiltro 1: Piedra pómez, grava y la mezcla de aserrín, viruta y lombrices.

-Tipos de Vermifiltro 2: Piedra bola, grava y la mezcla de aserrín, viruta y lombrices

- **Variables dependientes.**

- DQO.

- Sólidos totales.

- **Variables de Control.**

-Turbidez

-Color

-pH

-Conductividad eléctrica

6.4 Socialización de la Investigación

La socialización del proyecto de investigación se realizó en el aula de audiovisuales en la Granja de la ECAA en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra el día jueves 27 de junio del 2019, contando con la asistencia de los estudiantes de octavo nivel de la carrera de Ingeniería Ambiental y Ecodesarrollo, docentes de la ECAA y a su vez con representantes del Camal de Ibarra y de la Prefectura.

Dentro del contexto de esta investigación, se englobó la problemática en cuanto a la remediación de las aguas residuales del Camal de Ibarra, principalmente en la cantidad de DQO y ST que estas aguas tienen al momento de desembocarlas al alcantarillado; así como el uso de Vermifiltros en la remoción de dichos contaminantes.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta parte de la investigación se explican los resultados obtenidos en cuanto a la caracterización del agua residual que se usó para el estudio, como de la previamente tratada por los Vermifiltros durante las 7 semanas que duró la experimentación. Los análisis físico-químicos que se realizaron fueron los siguientes: Turbidez (NTU), conductividad eléctrica (mScm^{-1}), pH, color (UC), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (mgl^{-1}), hierro (mgl^{-1}), nitritos (mgl^{-1}), nitratos (mgl^{-1}), amonio (mgl^{-1}), nitrógeno total (mgl^{-1}), sulfatos (mgl^{-1}), fosfatos (mgl^{-1}), materia orgánica y ácidos húmicos (%).

Tabla 7.

Caracterización del agua residual inicial.

Parámetros	Unidades	Resultados	Límite máximo permisible
Turbidez	NTU	723,7	-
Conductividad eléctrica	mScm^{-1}	1.17	-
pH	-	7,36	5-9
Color	UC	9712	Inapreciable en solución
DQO	mgl^{-1}	5188	500
Sólidos Totales	mgl^{-1}	2015	1600
Hierro	mgl^{-1}	5,89	25,0
Nitritos	mgl^{-1}	3,7	-
Nitratos	mgl^{-1}	31	-

Continuación Tabla 7.

Amonio	mgl ⁻¹	0,92	-
Nitrógeno Total	mgl ⁻¹	35,62	40
Sulfatos	mgl ⁻¹	116	400
Fosfatos	mgl ⁻¹	25,7	15
Materia orgánica	%	0,25	-

*Libro VI del TULSMA Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Sistema de alcantarillado.

Fuente: (TULSMA, 2013).

Elaborado por: Autor.

Nota: Los resultados dados en la caracterización de las aguas residuales iniciales, indican que existe una elevada carga contaminante en cuanto a DQO y Sólidos Totales al compararla con los límites permisibles.

Tabla 8.

Resultados iniciales y finales de los ácidos húmicos.

Parámetros	Unidades	Resultados iniciales	Piedra Bola	Piedra Pómez
Ácidos Húmicos	%	2,11	2,55	2,61

Elaborado por: Autor.

Tabla 9.

Caracterización fisicoquímica del agua tratada en los Vermifiltros.

Parámetros	Unidades	Piedra Bola	Piedra Pómez	Límite máximo permisible
Turbidez	NTU	131,39	93,88	-
Conductividad eléctrica	mScm ⁻¹	0,64	0,64	-
pH	-----	5,81	5,82	5-9
Color	UC	1387	1021	Inapreciable en solución
DQO	mg l ⁻¹	256	197	500
Sólidos Totales	mg l ⁻¹	809	599	1600
Hierro	mg l ⁻¹	0,72	0,48	25,0
Nitritos	mg l ⁻¹	1,3	1,85	-
Nitratos	mg l ⁻¹	25	20,4	-
Amonio	mg l ⁻¹	0,28	0,23	-
Nitrógeno Total	mg l ⁻¹	26,58	22,48	40
Sulfatos	mg l ⁻¹	95	85	400
Fosfatos	mg l ⁻¹	4,6	5,8	15
Materia Orgánica	%	0,38	0,44	-

Elaborado por: Autor.

Los resultados de la caracterización del agua tratada están dentro de los límites permisibles, reflejan que el tratamiento reduce la carga contaminante que poseen las aguas residuales del

Camal de Ibarra, se debe a que los Vermifiltros tienen una capacidad de absorción y adsorción, al desempeño de las lombrices *Eisenia foetida* en la capacidad de asimilación y degradación de los contaminantes.

Tabla 10.

Porcentaje de remoción del contaminante con los diferentes parámetros analizados.

Análisis	Piedra Bola	Piedra Pómez
	(%)	(%)
Turbidez	81,85	87,03
Conductividad eléctrica	45,29	45,29
Color	85,71	89,48
DQO	95,02	96,27
Sólidos Totales	58,31	64,01
Hierro	87,77	91,85
Nitritos	64,86	50
Nitratos	19,35	34,19
Amonio	69,56	75
Nitrógeno Total	25,37	36,88
Sulfatos	18,10	26,72
Fosfatos	82,10	77,43

*En la tabla no se encuentra el parámetro de pH debido a que no existe una reducción sino un cambio en los valores, porque se eliminan especies solubles.

Elaborado por: Autor.

Las lombrices de especie *Eisenia foetida* se colocaron al inicio de la investigación sobre cada Vermifiltro para poder apreciar su capacidad de reproducción en el medio.

Determinar la biomasa de las lombrices es de gran importancia, al momento de evaluar la viabilidad del sistema y a su vez su rendimiento, para poder medir este parámetro se registró el peso inicial y final de la cantidad de lombrices colocadas en los Vermifiltros. En la tabla 11 se evidencian los resultados iniciales y finales y el incremento de la biomasa tanto en gramos como en porcentaje, la cantidad en gramos de lombrices inicial es la misma para los dos Vermifiltros.

Tabla 11.

Incremento de biomasa de la especie Eisenia foetida en los Vermifiltros con piedra bola y pómez.

Filtro	Peso inicial (g)	Número de lombrices	Peso final (g)	Incremento de biomasa (%)	Número de lombrices
Vermifiltro con piedra bola	80,42	320	94,02	16,91	375
Vermifiltro con piedra pómez	80,42	320	112,02	39,29	445

Elaborado por: Autor

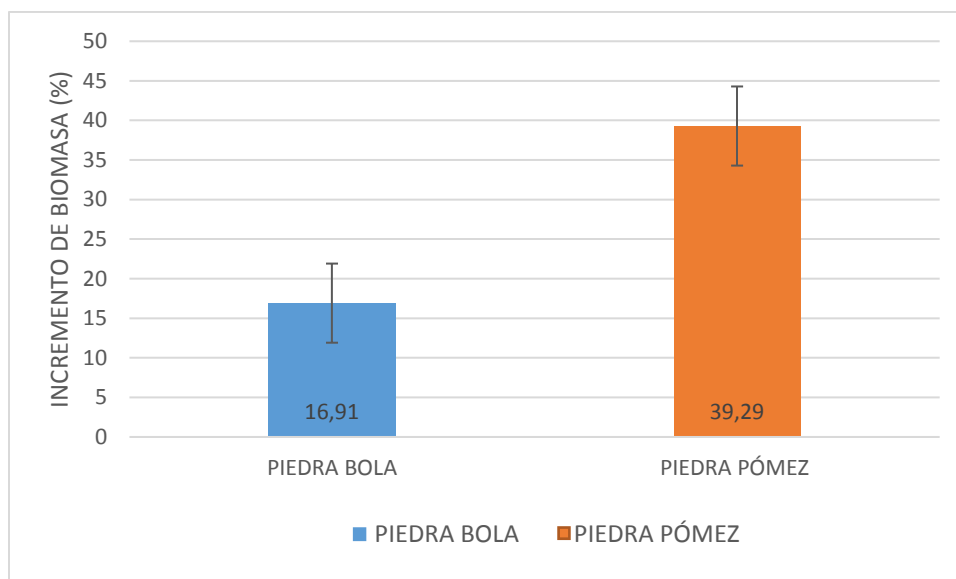


Figura 2. Incremento de la biomasa (%) de la lombriz *Eisenia foetida* en los dos Vermifiltros para evaluar la viabilidad de los sistemas.

Elaborado por: Autor

El incremento de la biomasa de las lombrices que se observa en la figura 2, indica que el tratamiento con piedra bola tiene un 16,91% y con piedra pómez existe 39,29%; se puede determinar que la piedra pómez tiene un mejor desempeño en cuanto a la tasa de crecimiento, ya que existió una mayor humedad, por lo tanto, el tiempo de retención del agua residual era mayor.

Cuando se utilizan estas piedras como lecho filtrante se distinguen dos fases de porosidad, una que corresponde a la piedra pómez y otra al lecho, es decir, las partículas más pequeñas quedan retenidas en los poros de la piedra y las partículas más grandes en el lecho, por tanto, va a existir una mayor retención de sólidos, lo que incrementa la biomasa del Vermifiltro. Los dos tuvieron las mismas condiciones al iniciar el experimento y en todo el periodo de duración del mismo.

7.1 Caracterización de las muestras de agua (7 semanas).

Para la caracterización de las muestras de agua se realizaron análisis de turbidez, color, pH y conductividad eléctrica, para poder establecer si el tratamiento con los Vermifiltros logra la reducción del contaminante y a su vez realicen que el agua se encuentre dentro de los límites permisibles para un sistema de alcantarillado.

7.1.1 Turbidez

Hace referencia a la cantidad de Sólidos Totales que pueden estar afectando a la calidad del agua.

Tabla 12.

Datos de turbidez obtenidos después de la aplicación con los Vermifiltros.

TURBIDEZ (NTU)							
TRATAMIENTOS	SEMANAS						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
PIEDRA BOLA	82,33	72,73	124,65	150,66	142,34	85,91	131,39
PIEDRA POMEZ	84,28	50,89	58,13	115,76	112,06	117,31	93,88

Elaborado por: Autor

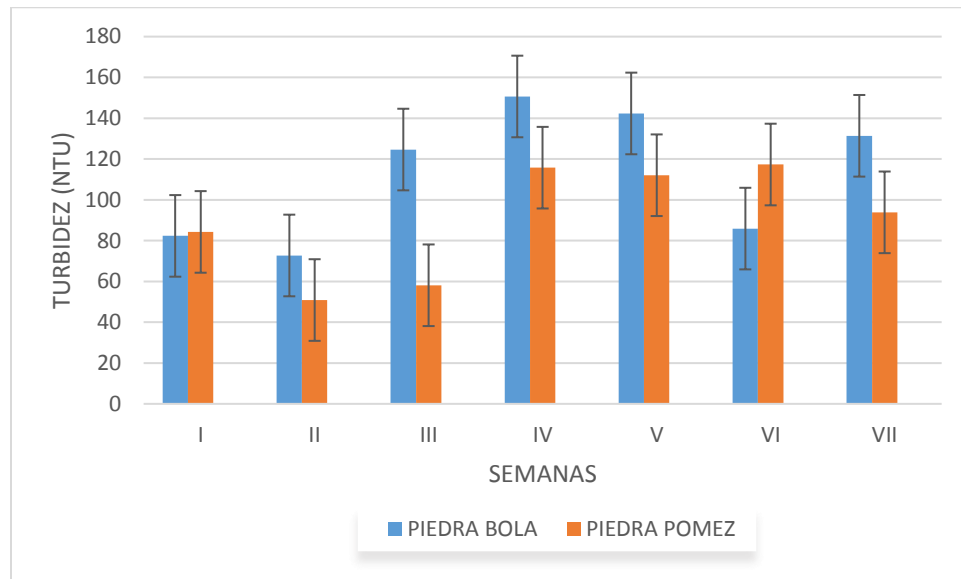


Figura 3. Datos de turbidez obtenidos durante 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.

Elaborado por: Autor

En la figura 3, se evidencia que hay una variación en las 7 semanas, existió en las tres primeras semanas una reducción en mayor grado a comparación de las cuatro siguientes en los dos tratamientos, la reducción de la turbidez en el Vermifiltro que tiene en su estructura la piedra pómez es mayor y el mejor en cuanto a la remoción del parámetro, por el tamaño

de sus partículas ya que al ser más porosa retiene los sólidos y disminuye la turbidez del agua.

El aumento de la turbidez se da por el tipo de material que se use, debido a que puede existir un arrastre de partículas dando el incremento del parámetro, como lo pueden afirmar Kumar, et al, (2015).

La reducción de este parámetro se da por la acción degradadora de las lombrices y a su vez de los microorganismos que se encuentran en las diferentes capas, también a las piedras que sirven como un filtro absorbiendo a los Sólidos Totales que están en las aguas residuales, se puede evidenciar lo dicho por Li, et al, (2009) y Manyuchi, et al, (2013).

La remoción de la turbidez en el tratamiento con la piedra bola es de 81,85% y en el tratamiento con piedra pómez es de 87,03%, en base a los resultados observados se puede discutir que la remoción que existe en estos Vermifiltros se encuentra dentro del rango existente en otros estudios similares como de Andrade, (2015).

7.1.2 Conductividad eléctrica

Tabla 13.

Resultados de conductividad eléctrica después del tratamiento con los Vermifiltros.

TRATAMIENTOS	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mScm ⁻¹)						
	SEMANAS						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
PIEDRA BOLA	0,79	0,69	0,64	0,56	0,61	0,51	0,64
PIEDRA POMEZ	0,78	0,76	0,6	0,69	0,68	0,61	0,64

Elaborado por: Autor

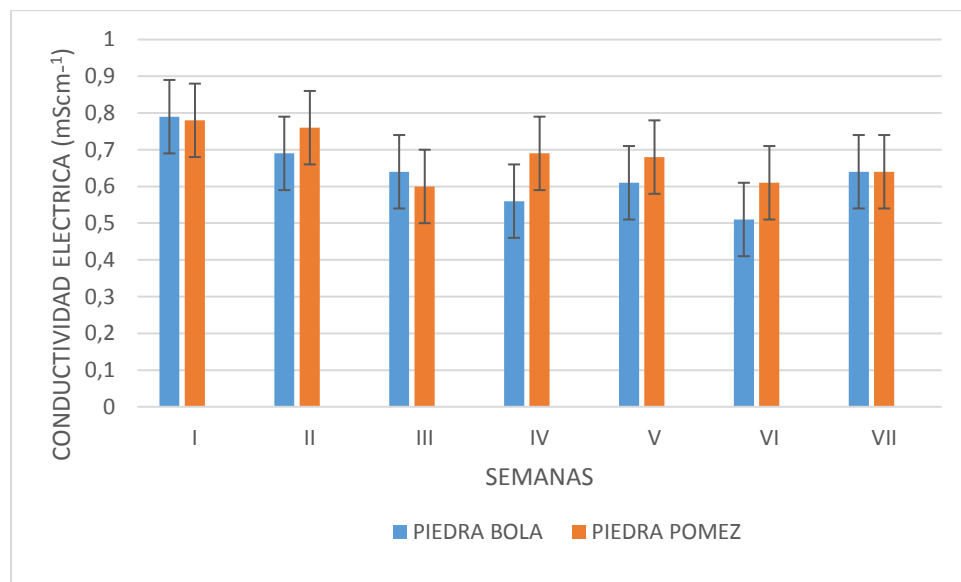


Figura 4. Datos de conductividad eléctrica obtenidos durante las 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.

Elaborado por: Autor

La conductividad eléctrica presentó diferencias favorables a partir del tratamiento con los Vermifiltros. Los dos tratamientos presentan una disminución de conductividad eléctrica con relación al agua residual sin tratar. Estos incrementos o reducciones se atribuyen a la adsorción y absorción de los constituyentes inorgánicos de aquella agua residual, en los componentes biológicos del Vermifiltro, este comportamiento se puede constatar en

investigaciones realizadas por Singh y Kaur (2015), Yang, et al, (2014), donde se verifican datos similares.

Este parámetro es el que permite obtener medidas del contenido iónico del agua, se puede observar que en el tratamiento donde existe una reducción mayor de conductividad eléctrica es el Vermifiltro con piedra bola, debido a que, la actividad de las lombrices en la materia orgánica tiende a ser más alta por la cantidad de alimento por tener una mayor retención de sólidos, dando como consecuencia que la cantidad de iones de sal sean mayores. Cabe recalcar que los dos tratamientos bajan la cantidad de conductividad eléctrica.

7.1.3 Potencial de Hidrógeno (pH)

Tabla 14.

Resultados del pH después del tratamiento con los Vermifiltros.

TRATAMIENTOS	pH						
	SEMANAS						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
PIEDRA BOLA	6,96	6,47	6,13	5,78	5,66	5,66	5,81
PIEDRA POMEZ	6,68	6,12	5,82	5,8	5,56	5,56	5,82

Elaborado por: Autor

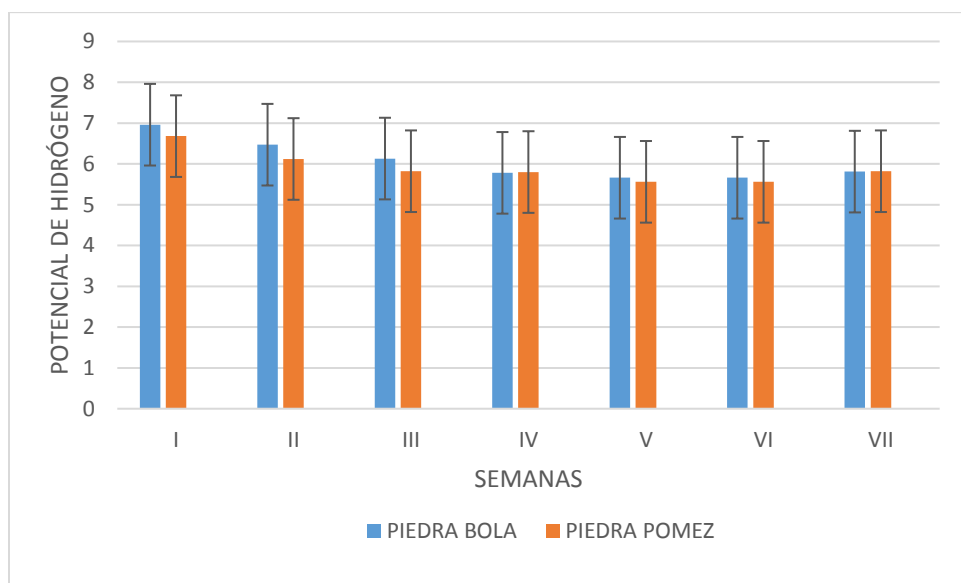


Figura 5. Datos de pH obtenidos durante las 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.

Elaborado por: Autor

Los valores obtenidos de pH van decreciendo desde la semana uno hasta la semana seis y teniendo un leve aumento en la semana siete, es importante indicar que el pH sí se encuentra dentro de los límites permisibles para descargas hacia sistemas de alcantarillado (5 a 9) como indica el Libro VI del TULSMA Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Sistema de alcantarillado y de igual manera está dentro de las condiciones que necesitan las lombrices para su desarrollo.

En investigaciones de Tomar, y Suthar, (2011), Hughes, et al, (2008), Andrade, (2015) y Cevallos, (2015) notaron el mismo comportamiento en cuanto a este parámetro que desde las primeras semanas se evidencia una reducción y en los últimos días existe un aumento en los valores de dicho parámetro, ellos asocian este comportamiento a que en sistemas de vermifiltración el incremento del pH, se puede dar por la degradación de la materia orgánica, a su vez por la actividad intensa de los microorganismos, por existir una mayor reproducción de las lombrices.

La disminución se produce por procesos de nitrificación, por lo que se puede asumir que en el tratamiento que usa piedra pómez fue más intenso que el otro tratamiento. En la semana siete se estabilizan los procesos de nitrificación y de degradación de la materia orgánica, por lo cual se evidencia que empieza nuevamente a incrementarse. Según Aroraun y Kazmi, (2014) nos menciona que el pH neutro que reflejan los datos en los tratamientos puede deberse al comportamiento de las lombrices y su capacidad inherente de neutralización y estabilización del pH.

7.1.4 Color

Tabla 15.

Resultados de color después del tratamiento con los Vermifiltros.

COLOR							
TRATAMIENTOS	SEMANAS						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
PIEDRA BOLA	924	801	1312	1561	1488	1263	1387
PIEDRA POMEZ	922	547	658	1302	1203	932	1021

Elaborado por: Autor

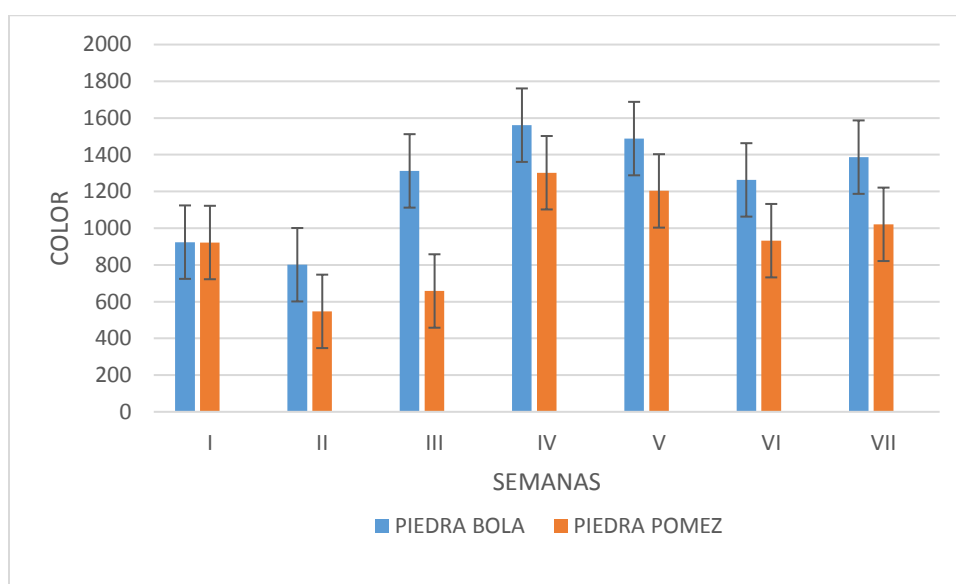


Figura 6. Datos de color obtenidos durante las 7 semanas, después de la aplicación con los Vermifiltros.
Elaborado por: Autor

El color es un parámetro de importancia debido a que se puede examinar a simple vista el grado de contaminación que posee esa agua, los datos obtenidos después del tratamiento son favorables y son relativamente bajos en comparación del agua residual cruda.

Se evidencia en el tratamiento que posee la piedra pómez debido a que esta es muy porosa y sirve como un filtro más eficiente haciendo así que disminuya el color en este tratamiento, el aumento y la disminución de este parámetro se puede deber a que en algunas ocasiones existe un mayor o menor arrastre de partículas por lo que depende mucho del material usado para la constitución de los Vermifiltros.

7.2 Análisis estadístico

7.2.1 DQO (Demanda Química de Oxígeno)

Los dos tratamientos luego de pasar por el sistema de vermifiltración, poseen concentraciones que se encuentran dentro de los límites permisibles para un sistema de alcantarillado; en la tabla 16 se describe los resultados de las siete semanas en los dos tratamientos.

Tabla 16.

Resultado de DQO (Demanda Química de Oxígeno).

DQO (Demanda Química de Oxígeno)								
TRATAMIENTOS	SEMANAS							PROMEDIO (X)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
PIEDRA BOLA	142	196	266	295	329	276	288	256
PIEDRA POMEZ	185	163	183	233	214	204	196	197

Elaborado por: Autor.

Tabla 17.

Análisis de varianza de DQO (Demanda Química de Oxígeno).

ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (P)	Valor crítico para F	Significancia
Entre grupos (Tratamientos)	12243	1	12242,5714	5,23	0,04	4,74722535	*
Dentro de los grupos (Error)	28101	12	2341,7381				
Total	40343	13					

CV:0,18 %

*Significativo

Elaborado por: Autor.

La tabla 17 nos brinda información de la probabilidad donde el resultado es de 0,04 este dato es el valor P que nos dice que si hay una significancia entre los dos tratamientos y podremos verificar cuál es el mejor con la prueba Tukey.

Si el valor P es mayor o igual a 0,05 que es el valor de significancia, quiere decir que no existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos (Díaz, 2009).

- **Coeficiente de Varianza**

Este dato hace referencia a la variación en porcentaje con respecto a su media donde se determina la dispersión entre los datos de las variables planteadas, existe una variación de 0,18% con respecto a su media que es 226 mg/l⁻¹.

- **Normalidad de los datos en los Vermifiltros.**

Para poder determinar la normalidad de los datos es importante establecer las hipótesis de normalidad donde se tiene:

$$H_0 = \text{hay normalidad} \rightarrow P > 0,05$$

$$H_a = \text{no hay normalidad} \rightarrow p < 0,05$$

Tabla 18.

Prueba de normalidad en los Vermifiltros con piedra bola y piedra pómez de DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Prueba de Normalidad de DQO			
Vermifiltros	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Significancia
Piedra Pómez	0,991	7	0,94
Piedra Bola	0,897	7	0,21

Elaborado por: Autor

- **Normalidad de piedra pómez**

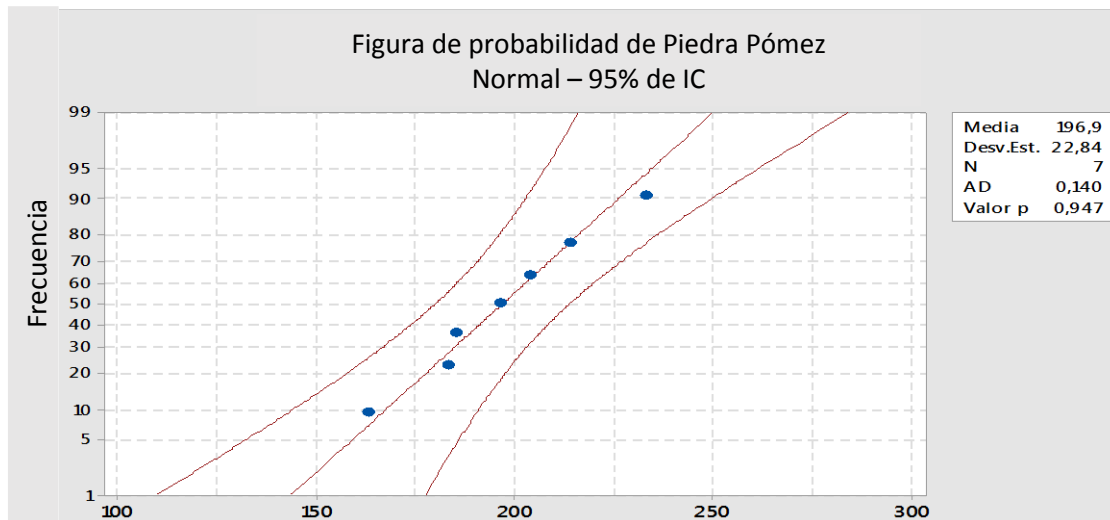


Figura 7. Normalidad en el tratamiento con piedra pómez de DQO
Elaborado por: Autor

- **Normalidad de piedra bola**

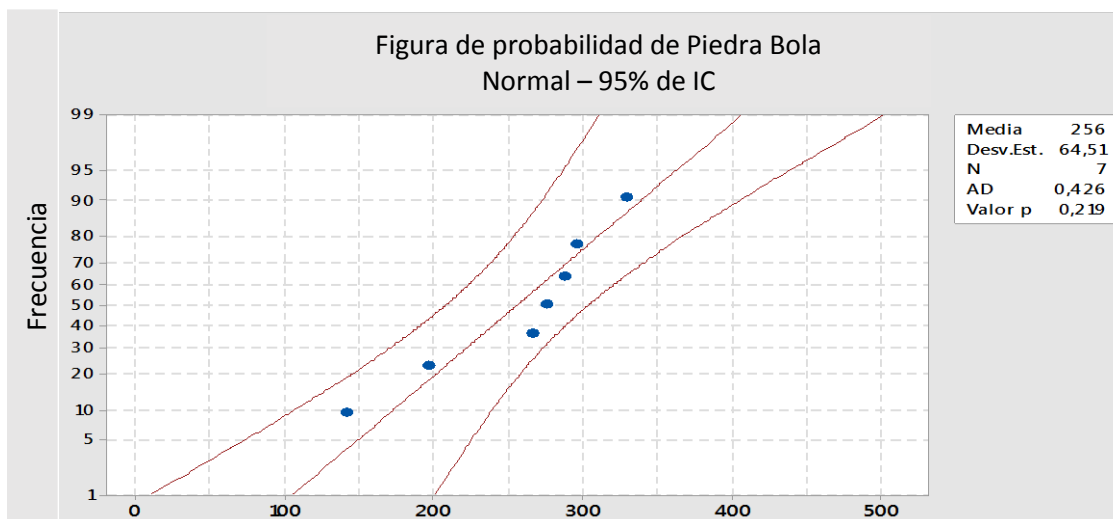


Figura 8. Normalidad en el tratamiento con piedra bola de DQO
Elaborado por: Autor

Se puede determinar que en los dos tratamientos existe una normalidad debido a que el p-value es mayor a $p > 0,05$ aceptando la hipótesis nula, los datos provienen de una distribución normal, al verificar en el análisis de varianza la diferencia significativa de los Vermifiltros se recurrió a realizar la Prueba t de Student para comprobar la igualdad de las medias.

Tabla 19.

Prueba t de Student de DQO

Prueba t de Student de DQO		
Significancia (p-value)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
0,05	-59,143	25,8

Elaborado por: Autor

La Prueba t de Student de DQO nos confirmó que existe una diferencia significativa entre las medias de los Vermifiltros de piedra bola como de piedra pómez, esto se debe a que su p-value es igual o mayor a 0,05. Para poder decidir cuál de los dos tratamientos es el mejor se procedió a realizar la prueba Tukey.

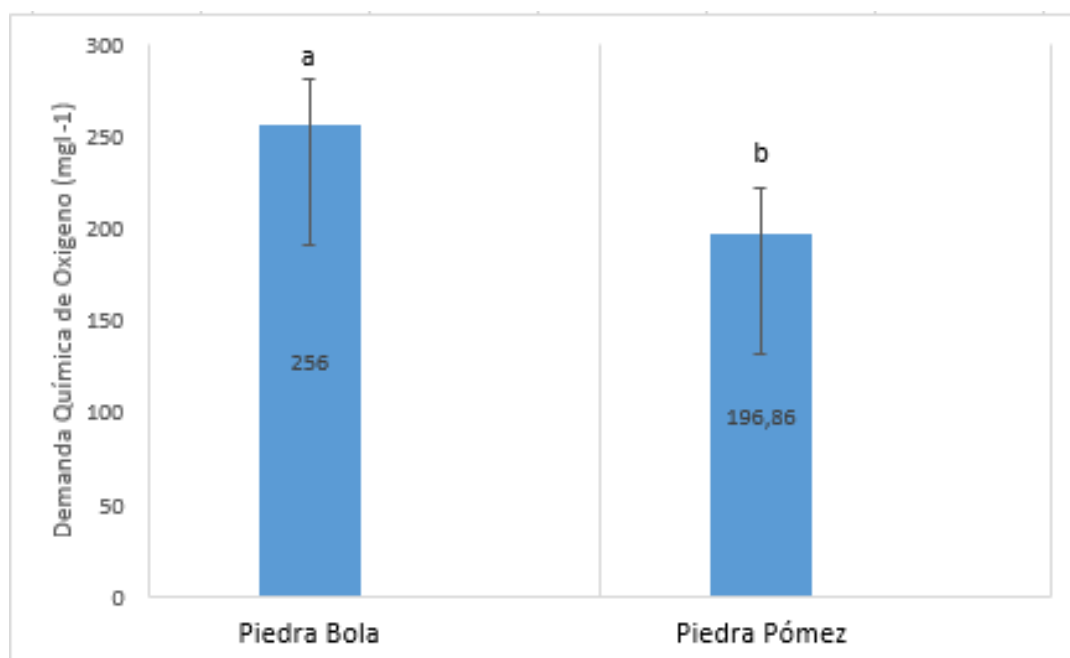


Figura 9. Prueba Tukey al 5% para la variable DQO en el uso de Vermifiltros que contienen piedra bola y piedra pómez.

Elaborado por: Autor

La prueba Tukey nos permite observar las diferencias que existen entre las medias de nuestros Vermifiltros, al verificar se puede establecer que en los dos tratamientos existe una

diferencia significativa y que el mejor tratamiento en cuanto a la reducción del parámetro es el Vermifiltro con piedra pómez, el cual representa una mayor remoción.

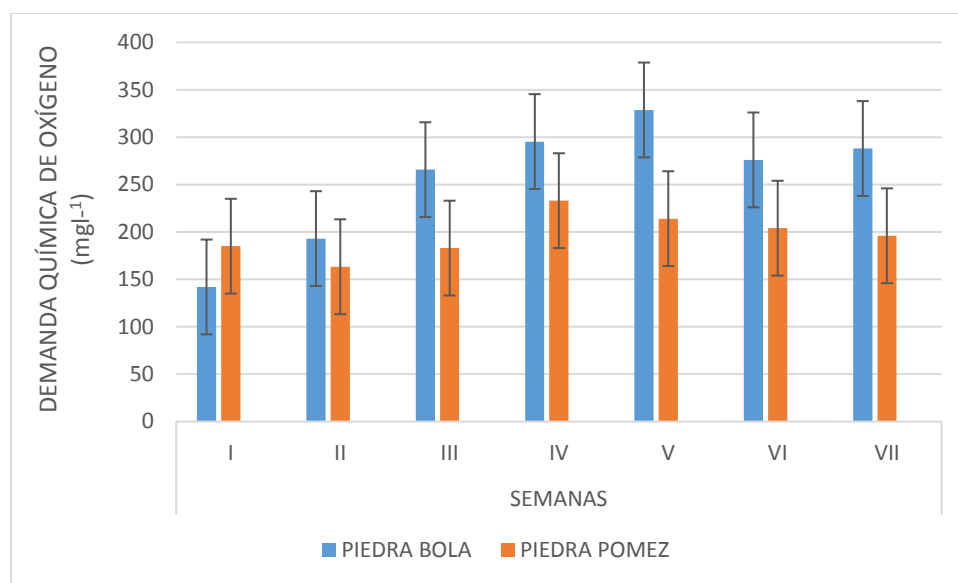


Figura 10. Datos de DQO en las 7 semanas de cada tratamiento.
Elaborado por: Autor

Se observa en la figura 10, que en las siete semanas la reducción del parámetro DQO es significativo, que, comparados con los resultados de la normativa vigente, están dentro de los límites permisibles para la eliminación de agua. La semana uno es la única que presenta datos elevados en cuanto al Vermifiltro de piedra pómez, con respecto a las seis semanas donde existe una reducción evidente en este tratamiento, esto se puede atribuir a que existió una mayor población de lombrices las cuales estimularon el crecimiento bacteriano, también se debe a una mayor adhesión de microorganismos por el tamaño de sus partículas, ya que al ser más porosa retiene una mayor cantidad de sólidos y a la formación del lecho filtrante (Komarowski, 2011).

Existe una remoción del 95% y 96% de DQO evidenciando que el Vermifiltro con piedra pómez es el que posee mayor reducción, y estadísticamente es el mejor tratamiento, como nos demuestra la prueba estadística Tukey. Los resultados presentados son similares a los de la investigación de Landeta, (2009), Guzmán, (2004), Mafla, (2008) y Merly, et al, (2013), donde se logró una remoción del 80% de este parámetro y en Coronel, (2015), Singh y Kaur

(2015), Cardoso et al. (2013), Andrade, (2015), existió una reducción de un 90% de reducción de la demanda química de oxígeno.

La remoción elevada de este parámetro que se evidenció al utilizar tratamientos con Vermifiltros, y se puede atribuir a la sedimentación, adsorción o por la biodegradación de la materia orgánica, la misma que se queda adherida en la superficie de los materiales al formarse un lecho filtrante, así como a las enzimas que son secretadas por las lombrices, las mismas que ayudan en la degradación de diferentes componentes químicos los cuales no podrían ser descompuestos sin su intervención (Manyuchi et al. 2013 y Lima, 2016).

7.2.2 Variable Sólidos Totales

Los dos tratamientos se encuentran dentro de los límites permisibles para la eliminación de agua, en la tabla 20 se describe los resultados de las siete semanas en los dos tratamientos.

Tabla 20.

Resultado de Sólidos Totales.

SÓLIDOS TOTALES								
TRATAMIENTOS	SEMANAS							PROMEDIO (X)
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
PIEDRA BOLA	801	709	816	875	899	730	834	809
PIEDRA POMEZ	434	722	682	525	621	581	628	599

Elaborado por: Autor.

Tabla 21.

Análisis de varianza de Sólidos Totales.

ANÁLISIS DE VARIANZA							
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (P)	Valor crítico para F	Significancia
Entre grupos (Tratamientos)	154560	1	154560	21,61	0,0005	4,74	*
Dentro de los grupos (error)	85803	12	7150				
Total	240363	13					

CV:0,07%

* Significativo

Elaborado por: Autor.

La tabla 21 nos brinda información de la probabilidad donde el resultado es de 0,0005 este dato es el valor P que nos dice que si hay una significancia entre los dos tratamientos y podremos verificar cual es el mejor con la prueba Tukey.

Si el valor P es mayor o igual a 0,05 que es el valor de significancia, quiere decir que no existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos (Díaz, 2009).

- **Coeficiente de Varianza**

Hace referencia a la variación en porcentaje con respecto a la media donde se determina la dispersión entre los datos de las variables planteadas, existe una variación de 0,07% con respecto a su media que es 704 mg^l⁻¹.

- **Normalidad de los datos en los Vermifiltros.**

Para poder valorar la normalidad de los valores, es importante establecer las hipótesis de normalidad donde se tiene:

$$H_0 = \text{hay normalidad} \rightarrow P > 0,05$$

$$H_a = \text{no hay normalidad} \rightarrow p < 0,05$$

Tabla 22.

Prueba de normalidad en los tratamientos con piedra bola y piedra pómez de los Sólidos Totales.

Prueba de Normalidad de los Sólidos Totales			
Vermifiltros	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Significancia
Piedra Pómez	0,969	7	0,85
Piedra Bola	0,947	7	0,72

Elaborado por: Autor

- **Normalidad de piedra bola**

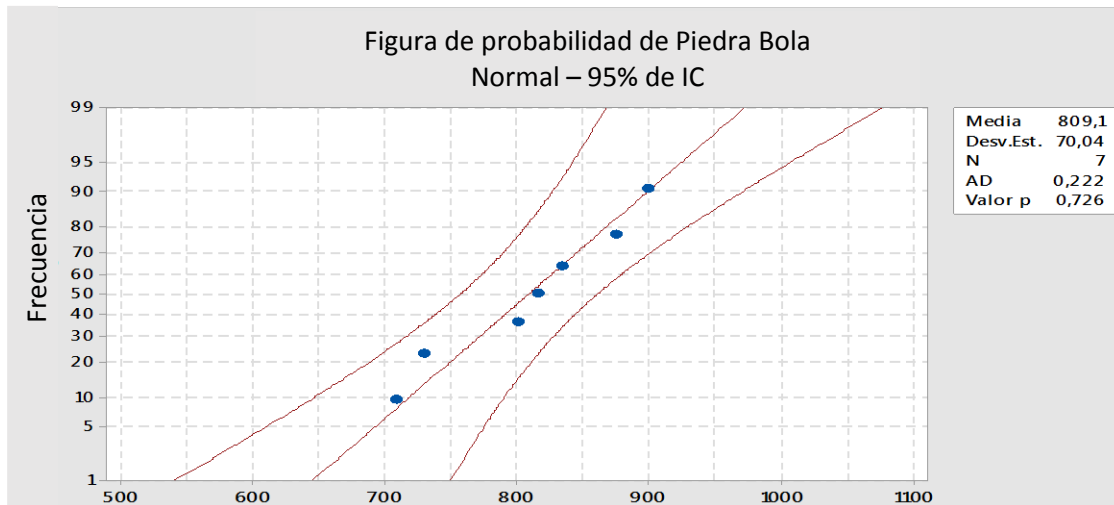


Figura 11. Normalidad en el tratamiento con piedra bola de los Sólidos Totales.
Elaborado por: Autor

- **Normalidad de piedra pómez**

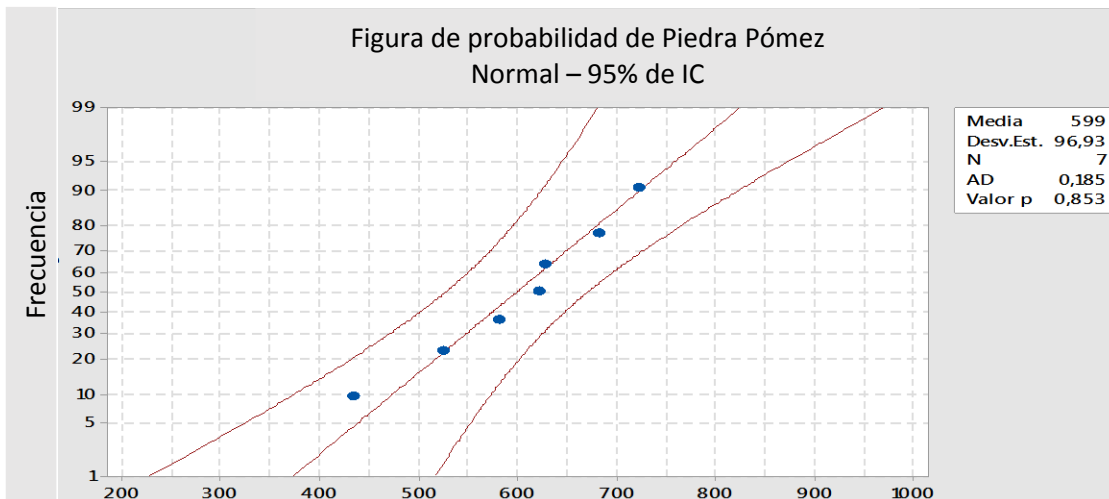


Figura 12. Normalidad en el tratamiento con piedra pómez de los Sólidos Totales.
Elaborado por: Autor

Se puede determinar que en los dos tratamientos existe una normalidad debido a que el p-value es mayor a $p > 0,05$ aceptando la hipótesis nula, los datos provienen de una distribución normal, al verificar en el análisis de varianza la diferencia significativa de los Vermifiltros se recurrió a realizar la Prueba t de Student para comprobar la igualdad de las medias.

Tabla 23.

Prueba t de Student de los Sólidos Totales.

Prueba t Student de los Sólidos Totales.		
Significancia (p-value)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
0,08	-210,14	45,19

Elaborado por: Autor

La prueba t de Student nos confirmó que existe una diferencia significativa entre las medias de los Vermifiltros de piedra bola como de piedra pómez, esto se debe a que su p-value es igual o mayor a 0,05. Para poder decidir cuál de los dos tratamientos es el mejor se procedió a realizar la prueba Tukey.

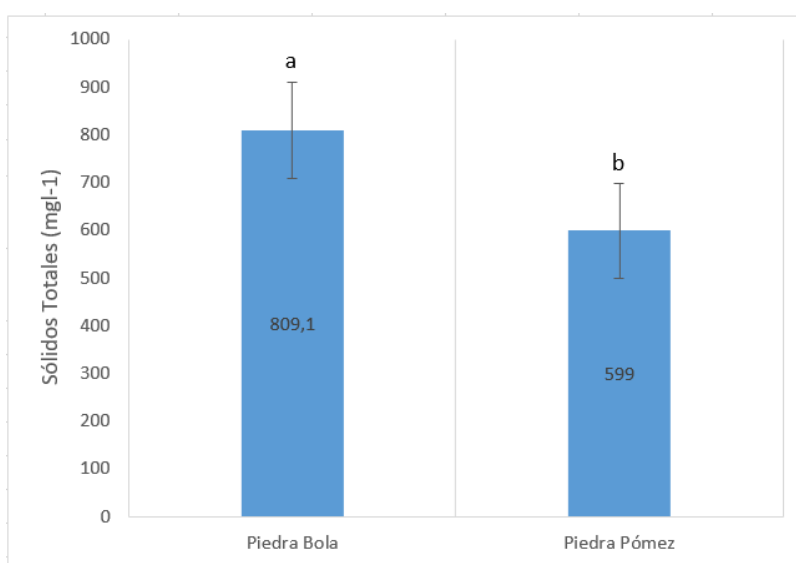


Figura 13. Prueba Tukey al 5% para la variable de Sólidos Totales en el uso de Vermifiltros que contienen piedra bola y piedra pómez.

Elaborado por: Autor

La prueba Tukey permite ver las diferencias existentes entre las medias de los Vermifiltros, al corroborar con la prueba Tukey se establece que en los dos tratamientos existe una diferencia significativa y que el mejor tratamiento en cuanto a la reducción del parámetro es el Vermifiltro con piedra pómez, donde existe una mayor remoción.

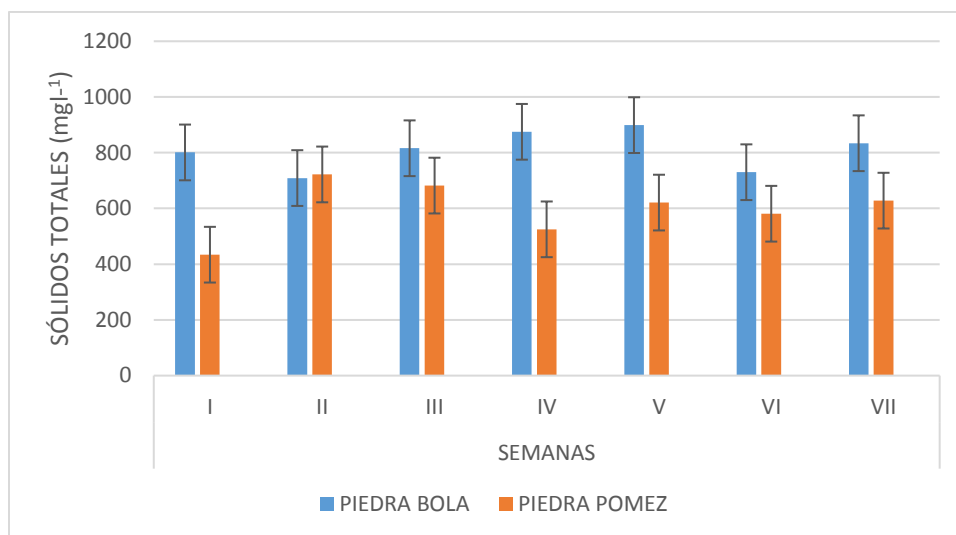


Figura 14. Datos de los Sólidos Totales en las 7 semanas de cada tratamiento.
Elaborado por: Autor

En la figura 14, se puede observar que en las siete semanas la reducción del parámetro Sólidos Totales es significativo, se comprueba los resultados con la normativa vigente se observar que están dentro de los límites permisibles para descargas de aguas a un sistema de alcantarillado. La semana dos es la única que presenta datos elevados en cuanto al Vermifiltro de piedra pómez, con respecto a las seis semanas donde existe una reducción evidente en este parámetro, esto se debe a que estos quedaron atrapados por adsorción y luego fueron estabilizados para someterse a procesos de ingestión y biodegradación (Andrade, 2015).

En investigaciones como de Cardoso et al. (2013), afirma que “Los sistemas de biofiltración al combinar medios filtrantes logran remociones de SST mínimo de un 75%”. las cantidades que obtuvo, tienen un parecido a los resultados obtenidos por los Vermifiltro planteados con piedra pómez. Al comparar con investigaciones como Lazcano, 2015 se puede comprobar que la reducción de los Sólidos Totales, tiene relación de 70 a 80% de remoción, similar a los resultados obtenidos en esta investigación.

Con estos resultados podemos observar que la mayor remoción se tiene en el tratamiento que contiene la piedra pómez con un porcentaje de 70, lo cual hace referencia a que en este Vermifiltro existió una interacción mayor entre las lombrices y los microorganismos. Estadísticamente se comprueba que el mejor tratamiento es el de la piedra bola, como nos indica la prueba Tukey.

7.2.3 Materia Orgánica

Formada por la microbiota que ayuda a que el suelo posee reservas de nutrientes buenos para las plantas y esto asegura la disponibilidad tanto de los macronutrientes como de los micronutrientes, en este proyecto de investigación se logró el aumento de la materia orgánica como lo muestra la figura 15.

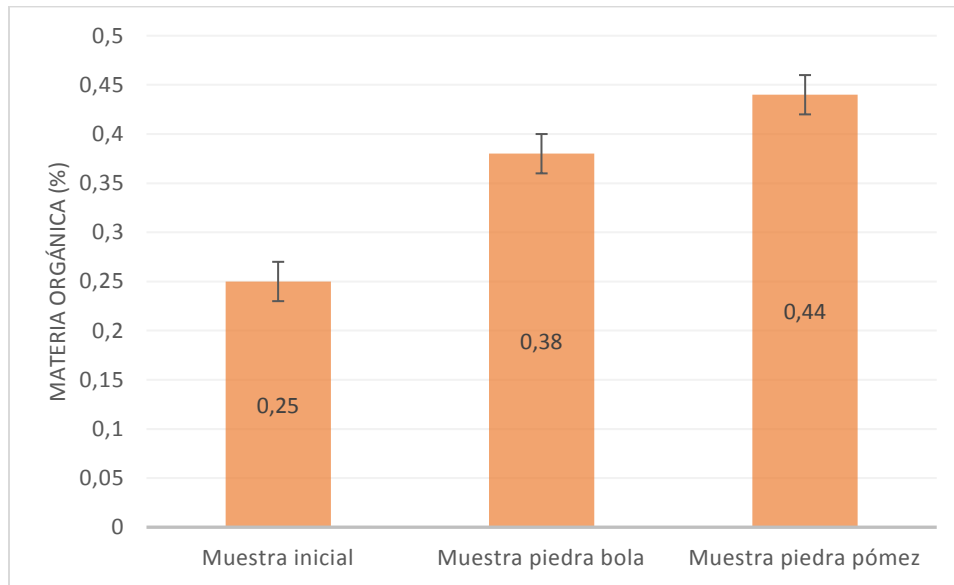


Figura 15. Incremento de la materia orgánica en los tratamientos con piedra pómez y piedra bola.
Elaborado por: Autor.

El incremento en cuanto a materia orgánica desde su muestra inicial hasta los dos tratamientos utilizados, se debe al trabajo realizado por las lombrices y los microorganismos las cuales ayudan a degradar la materia orgánica (Monroy, Aira, y Domínguez, 2008).

El tratamiento con piedra pómez presenta un mayor incremento en cuanto a materia orgánica, esto se debe a que las lombrices tuvieron una mejor adaptabilidad en este sitio debido a que la piedra pómez al ser más porosa ayuda con la retención de humedad y sólidos.

Este incremento se evidencia en investigaciones como las de Cevallos, (2015) donde la materia orgánica incrementó en un 50%.

7.2.4 Ácidos Húmicos

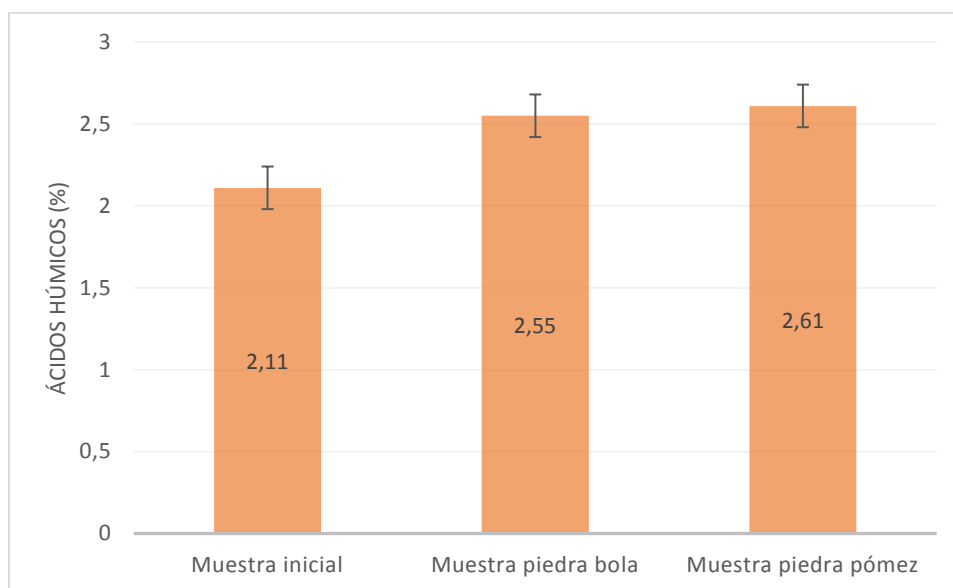


Figura 16. Incremento de ácidos húmicos en los tratamientos con piedra pómez y piedra bola.
Elaborado por: Autor.

En la figura 16, se muestra el aumento de los ácidos húmicos presentes en el suelo utilizado para esta investigación, esto se genera debido al proceso de descomposición que se realizó en la materia orgánica donde da como resultado la formación de las sustancias húmicas, esto también es gracias a la intervención de las lombrices y los microorganismos que facilitan la degradación de la materia orgánica (Guzmán, 2004).

Existió un incremento mayor en el tratamiento usando la piedra pómez debido a que existió una mayor degradación de materia orgánica dando también un aumento en los ácidos húmicos.

En la investigación de Duran y Henríquez, (2010), nos indica que los ácidos húmicos se generan por la degradación de la materia orgánica.

7.3 Socialización

Se realizó encuestas en las cuales constan las siguientes preguntas:

- **¿Considera Usted que el expositor mostro dominio del tema?**

En el momento de realizar la encuesta a los estudiantes el 75% de ellos estuvo de acuerdo con que el expositor tuvo un dominio muy alto en el tema expuesto mientras tanto que el 10% acotó que su dominio fue alto y el 15% que fue medio.

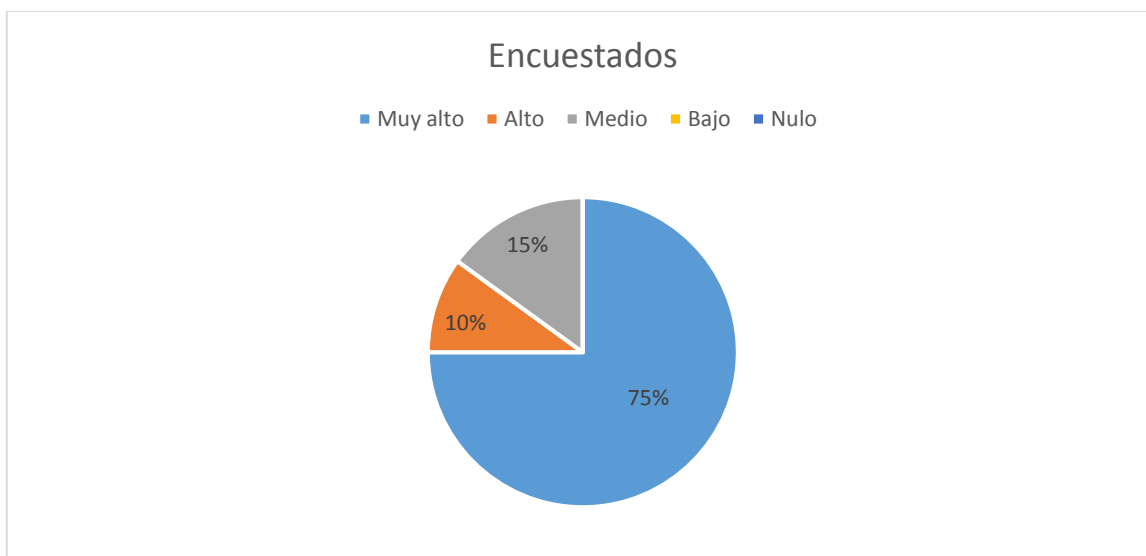


Figura 17. El expositor domino el tema en la socialización expuesta
Elaborado por: Autor.

- **¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?**

En la figura nos muestra que los encuestados estuvieron de acuerdo que el manejo del auditorio por parte del expositor fue en adecuadamente muy alto en una totalidad de un 11%, mientras que un 30 % estuvo de acuerdo que el manejo fue alto y un 15 % afirmó el desenvolvimiento fue medio.

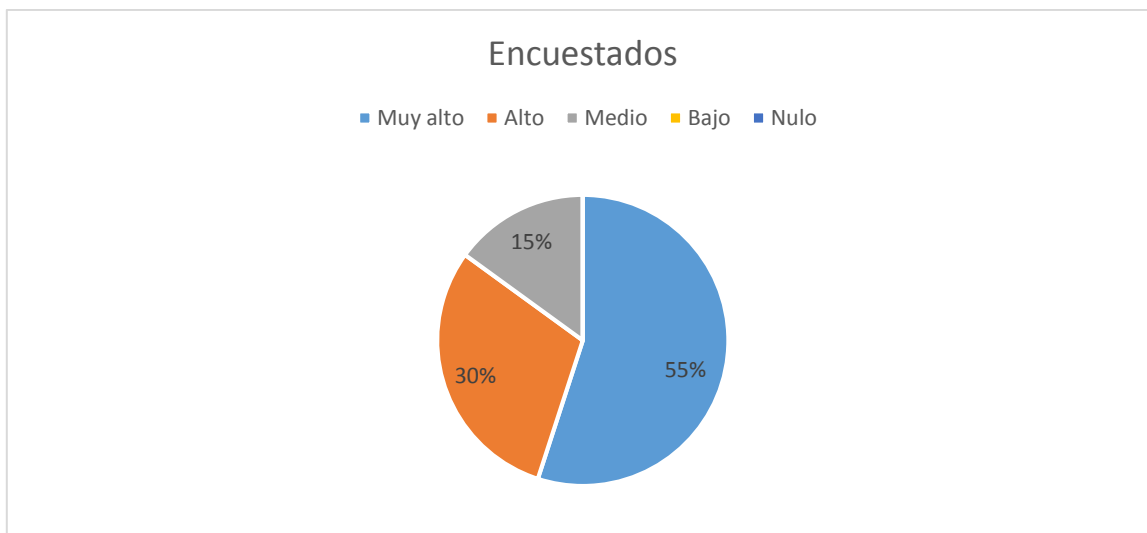


Figura 18. El manejo de del auditorio fue adecuado por el expositor en la socialización expuesta.
Elaborado por: Autor.

- **¿Considera Usted que el expositor demostró facilidad de expresión?**

En la figura, los estudiantes estuvieron de acuerdo en un 55% que la facilidad por parte del expositor fue muy alta, mientras que el 35% afirmo fue alta y el 10% media.

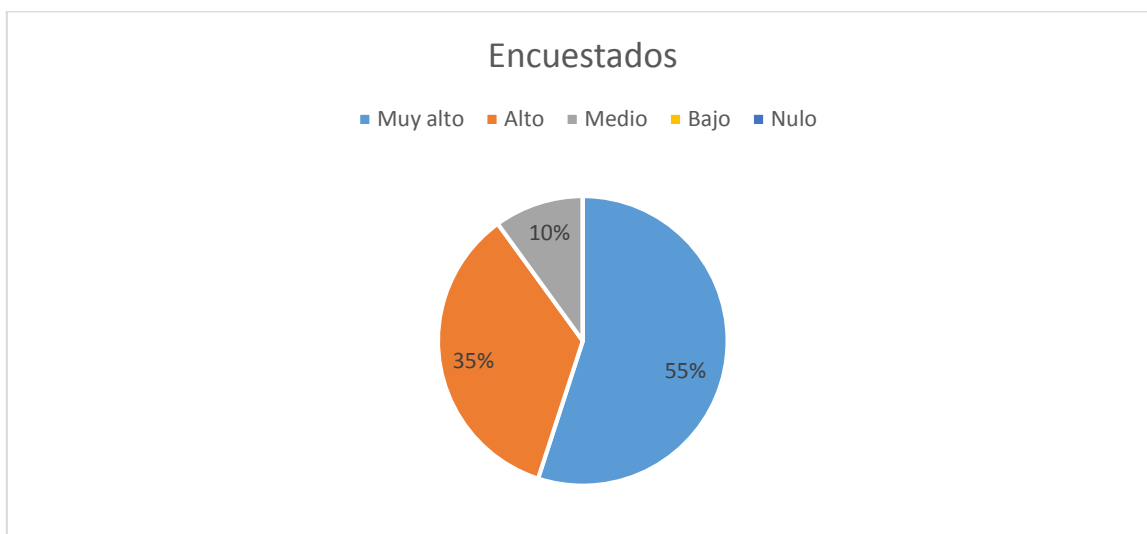
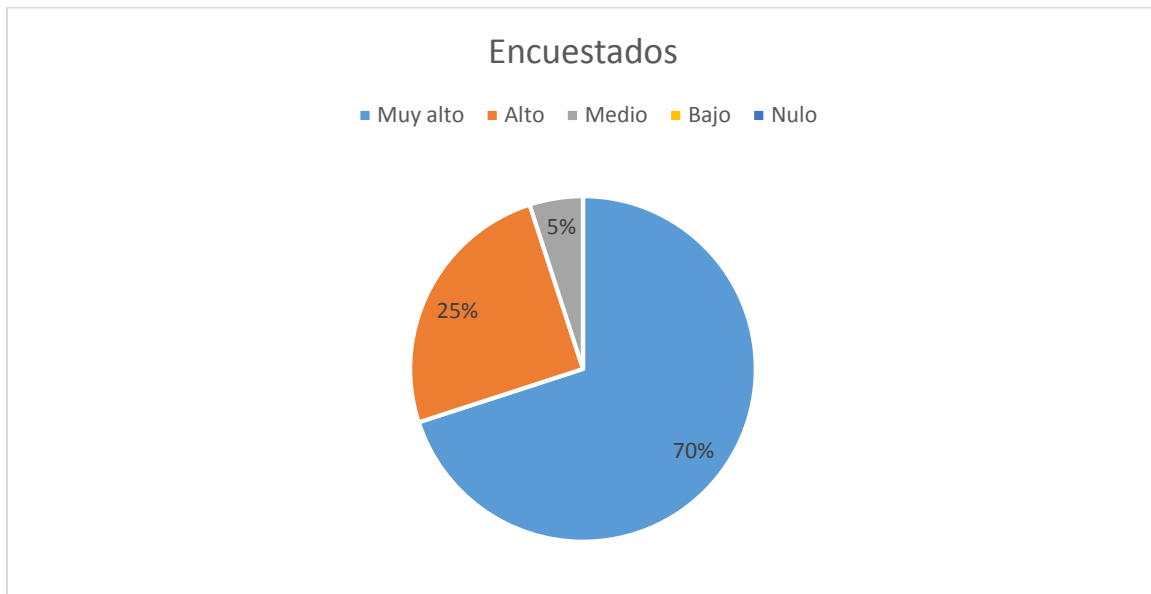


Figura 19. El expositor demostró una facilidad de expresión adecuada en la socialización expuesta.
Elaborado por: Autor.

- **¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y / o sector de la sociedad?**

En el momento de realizar la encuesta a los estudiantes el 70% de ellos estuvo de acuerdo con que el expositor que, el tema de investigación posee una relevancia tanto para otros actores y la sociedad, mientras que el 25% piensan que la relevancia es alta y solo el 5% que cree que es medio.



*Figura 20. La relevancia para algún actor o sector de la sociedad.
Elaborado por: Autor.*

- **¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?**

La perspectiva por parte de los encuestados frente a posibles estudios complementarios sobre la investigación fue muy alta llegando a un porcentaje de 65%, mientras tanto el 30% afirmó una perspectiva alta y solo un 5% media.

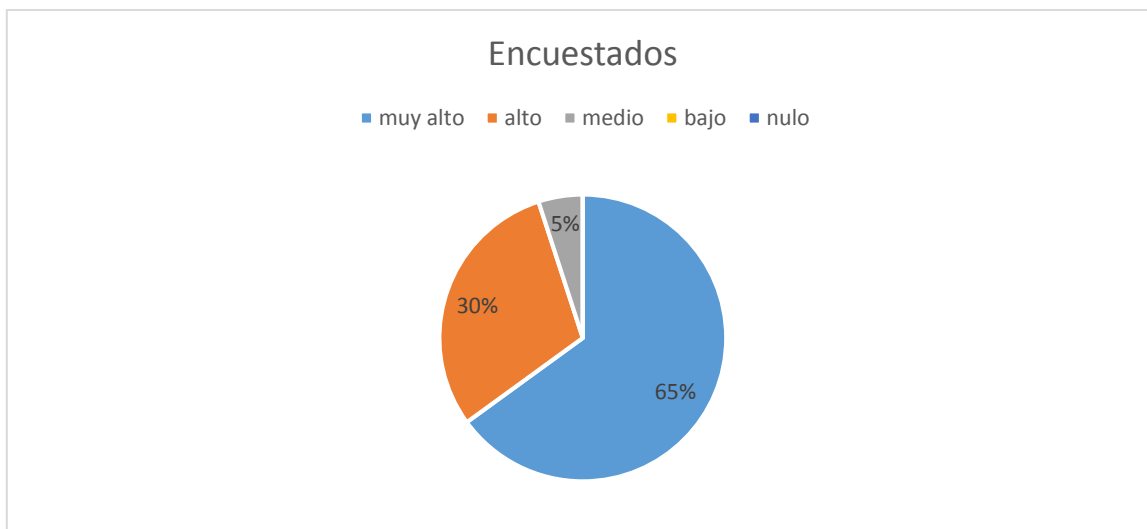


Figura 21. Perspectiva para estudios complementarios posteriores.
Elaborado por: Autor.

- **¿Considera Usted que en el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?**

Dando como resultado muy alto, en un 55% en donde los encuestados estuvieron de acuerdo que el proyecto presentado genera un actual beneficio tanto para las empresas públicas o privadas, un 35% en un parámetro alto y un 10% medio.

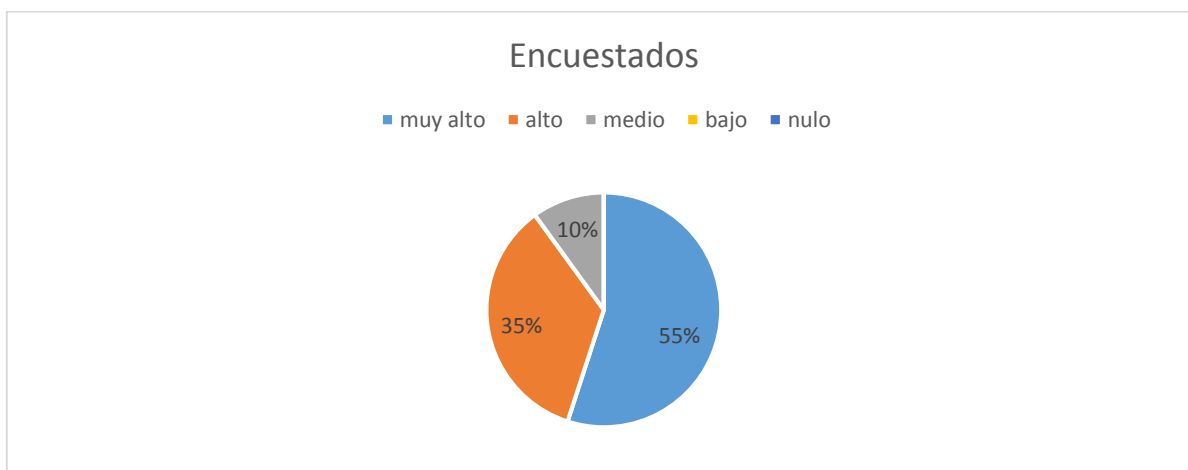


Figura 22. El tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución en la socialización expuesta.
Elaborado por: Autor.

- **¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que estos se cumplieron?**

La figura, muestra que el 55% de los encuestados estuvieron de acuerdo que los objetivos del trabajo presentado se cumplieron de una forma muy alta, un 35% acotó que se cumplieron de una forma alta y el 10% media.

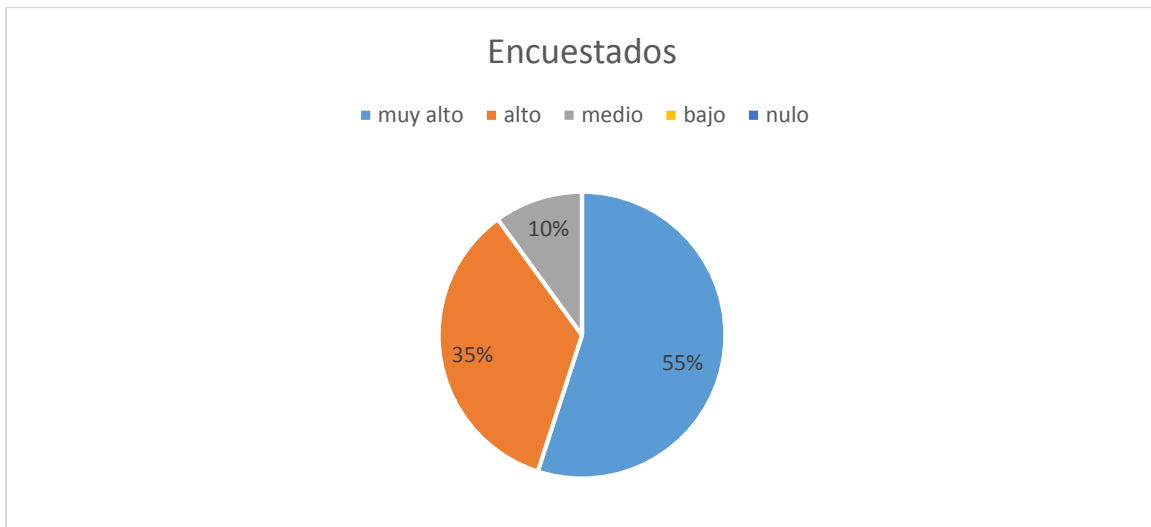


Figura 23. Los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que estos se cumplieron en la socialización expuesta.
Elaborado por: Autor.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Se acepta la hipótesis alternativa planteada en la investigación, donde se demostró que el Vermifiltro 1 estructurado con piedra pómez reduce en mayor proporción el DQO y los Sólidos Totales en las aguas residuales del Centro de Faenamiento y Productos Cárnicos de Ibarra.
- La caracterización del agua residual mediante análisis físico-químicos determinó que la carga contaminante es bastante elevada y necesita de un sistema adecuado para poder reducir esas concentraciones. El agua residual inicial presentó concentraciones de: DQO (5118 mg l^{-1}) y Sólidos Totales (2015 mg l^{-1}); mientras que el agua tratada con el Vermifiltro de piedra bola tiene: DQO (288 mg l^{-1}) y Sólidos Totales (834 mg l^{-1}); y con piedra pómez: DQO (mg l^{-1}) y Sólidos Totales (628 mg l^{-1}).
- El agua tratada con los Vermifiltros cumple con los límites máximos permisibles, según la normativa nacional vigente, contenida en el Libro VI del TULSMA Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Sistema de alcantarillado; demostrando que es una alternativa viable en la reducción de turbidez, conductividad eléctrica, pH, DQO y Sólidos Totales.
- La eficiencia de los Vermifiltros es visible por la gran capacidad de adsorción y absorción que presentan y el tiempo de remoción del contaminante es rápido, es así que se obtiene un porcentaje de reducción de la variable DQO de 95 % en la piedra bola y 96 % en la piedra pómez y de la variable Sólidos Totales de 58 % en la piedra bola y 68 % en la piedra pómez.
- El Vermifiltro que contiene piedra pómez es el mejor tratamiento, según la prueba estadística Tukey donde se pudo definir que existe una diferencia significativa entre los dos Vermifiltros, tanto en los Sólidos Totales como en el DQO, se le atribuye como el mejor debido a que existe una remoción mayor en cuanto a los parámetros analizados.
- Se incrementó la biomasa en el sistema, por consecuencia se evidencia un aumento de la materia orgánica en el suelo donde se ubicaron las lombrices, la concentración

va de 0,25 % a 0,38 % en el tratamiento con piedra bola y a 0,44 % en el tratamiento con piedra pómez.

- En la socialización más del 50% de los participantes consideraron un muy alto dominio por parte del expositor para dar a conocer el proyecto, y a su vez el 55% de los presentes consideran que el tema de investigación es relevante para posteriores estudios y que se debería analizar la aplicación de estos métodos alternativos para el tratamiento de las aguas residuales.
- Los ácidos húmicos son moléculas complejas las cuales se forman por la descomposición de la materia orgánica, ayudan así en la fertilidad del suelo e índice en la absorción de nutrientes, en el suelo de la granja se encontró 2,11 % de ácidos húmicos, luego del tratamiento con los Vermifiltros, en el de piedra bola se obtiene 2,55 % y en piedra pómez 2,61 %,

8.2 Recomendaciones

- La utilización de los Vermifiltros posee altas ventajas ecológicas y a su vez de bajo costo de implementación y mantenimiento; los proyectos que deseen utilizar este tipo de tratamientos deberían utilizar materiales naturales que existan en abundancia, respaldados por estudios que garanticen una buena depuración.
- Una vez implementados los Vermifiltros se sugiere un monitoreo constante de la temperatura y humedad de la capa donde se encuentran las lombrices para procurar una mejor adaptación y reproducción de las mismas.
- Realizar una pre filtración de sólidos de mayor tamaño, para prevenir la creación de un foco infeccioso que atraiga a moscas y que estas ovipositen en la superficie.
- En próximas investigaciones se analice la proteína llamada metalotioneina que tienen las lombrices, sustancia que les permite absorber metales pesados.
- Para que exista una mayor cantidad de humus, es importante seleccionar un suelo con contenido medio de materia orgánica para que el humus proveniente del proceso mejore las características del suelo y este se pueda utilizar.
- Es importante el uso de estos Vermifiltros en próximas investigaciones, debido a que los resultados son favorables y los beneficios obtenidos ayudan a reducir la contaminación al medio ambiente.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, V. (2015). Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas. Quito-Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4470/1/UDLA-EC-TIAM-2015-17.pdf>
- Aroraun, H, y Kazmi, T. (2014). *Estudio comparativo sobre el uso de la lombriz de tierra*. Instituto nacional de tecnología Jalandhar. Madrid.
- Cardoso, L., Ramírez, E., y Garzón, M. (2013). *Evaluación de un Vermifiltro piloto para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de: <https://chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?file=completo&id=MjY5Mg==>
- Castelles, J. (2012). Valoración de residuos procedentes de grandes industrias. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books?id=P__o0y7iq8C&pg=PA594&dq=residuos+sólidos+cromo+trivalente&hl=es&sa=X&
- Cevallos, F. (2015). *Evaluación de eficiencia de sistemas de biofiltración en aguas residuales industriales*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas. Quito-Ecuador.
- Coronel, N. (2015). *Diseño e implementación a escala de un biofiltro Tohá en la Espoch para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos La Nube*”. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4802/1/236T0150.pdf>
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogotá-Colombia: Mc Graw-Hill.
- Dawood, A., Kumar, A., y Sambhi, S. (2011). *Study on Anaerobic Treatment of Synthetic Milk Water under Variable*. Recuperado de: <http://www.ijesd.org/papers/90-D487.pdf>.
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. Universidad de Antioquia. Medellín-Colombia.

- Domínguez, J., y Gómez, M. (2010). *Ciclo de vida de las lombrices de la tierra aptas para el vermicompostaje*. Recuperado:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17.
- Duran, L., y Henríquez, C. (2009). *Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (Eisenia foetida) en cinco sustratos orgánicos*. Recuperado de:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3196375.pdf>.
- Duran, L., y Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía Mespamérica*, (21). Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/4914>.
- Giménez, D., y Medina, J. (2010). *Funcionamiento del matadero: Legislación y función del veterinario en el matadero de ganado porcino*. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/JulinVarela1/funcionamiento-del-matadero>.
- Guzmán, M. (2004). *Estudio de factibilidad de la aplicación del sistema Tohá en la Planta de tratamiento de aguas servidas de Valdivia*. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.
- Hughes, R., Nair, J. y Ho, G. (2008). The toxicity of ammonia/ammonium to the veremifiltration wastewater treatment process. *Water Science & Technology*. 58(6). Recuperado de: doi.org/10.2166/wst.2008.478
- Ingeoexpert. (2018). *Rocas volcánicas: tipos, características y formación*. Recuperado de <https://ingeoexpert.com/rocas-volcanicas/?v=3fd6b696867d>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). Sólidos totales secados a 103 -105°C. Recuperado de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>.
- Komarowski, S. (2011). *Vermiculture for sewage and water treatment sludges*. Australia. Publication of Australian Water and Wastewater Association.
- Kumar, T., Bhargava, R., Prasad, K., y Pruthi, V. (2015). Evaluatio of vermifiltration process using natural ingredients for effective wastewater treatment. *Ecological Engineering*, (75). Recuperado de: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.044.

- Landeta, M. (2009). *Diseño de estrategias para mitigar el impacto ambiental negativo causado por los desechos sólidos y líquidos generados en los procesos de recepción y Faenamiento en camales municipales de Carchi, Imbabura y norte de Pichincha*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Ibarra- Ecuador.
- Lara, L. (2011). *Las aguas residuales del camal municipal del cantón Baños y su incidencia en la contaminación del río Pastaza en la provincia de Tungurahua*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador.
- Li, Y., Xiao, Y., Qiu, J., Dai, Y., y Robin, P. (2009). Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process. *Water Science & Technology*, 60(11).
- Lima, J. (2016). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de biofiltración con lombrices (Eisenia foetida) para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la crianza de cerdos en la propiedad de la familia lima ubicada en el barrio playas la florida, cantón Yantzaza provincia de Zamora Chinchipe*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja. Zamora-Ecuador.
- Mafla, T. (2008). *Funcionamiento del camal municipal de rastro, propuestas para el mejoramiento en la higiene y salubridad*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- Maltre. (2015). *Piedra bola clasificada*. Recuperado de:
<https://www.maltrepiedraytierra.com/piedra-bola-clasificada>.
- Manyuchi, M., Kadzungura, L., y Boka, S. (2013). Vermifiltration of Sewage Wastewater for Potential Use in Irrigation Purposes Using *Eisenia Fetida* Earthworms. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, (12).
- MEGAROK. (2015). *Piedra bola*. Recuperado de <http://megarok.com.ec/web/portfolio-item/piedra-bola/>.
- Mercy, M., Kadzungura, L., y Boka, S. (2013). Pilot Scale Studies for Vermifiltration of 1000m³/day of Sewage Wastewater. *Asian journal of engineering and technology*. *Asian Journal of Engineering and Technology*, (1). Recuperado de:
<https://ajouronline.com/index.php/AJET/article/view/42/98>.

- Merly, X., Logeswari, A., Mano, S. y Kannadasan, T. (2013). Pilot Scale Studies for Vermifiltration of 1000m³/day of Sewage Wastewater, (1).
- Monroy, F., Aira, M., y Domínguez, J. (2008). Change in density of nematodes, protozoa and total coliform after transit through the gut of four epigeic earthworms (Oligochaeta). *ResearchGate*, (2). Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/222415275_Changes_in_density_of_nematodes_protozoa_and_total_coliforms_after_transit_through_the_gut_of_four_epigeic_earthworms_Oligochaeta.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *La fiscalización ambiental vinculada a las aguas residuales*. Recuperado de:
<http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2016/10/1.-Fiscalizaci%C3%B3n-ambiental-vinculada-a-las-aguas-residuales.pdf>.
- Peral, J. y Domenech, X. (2006). Química Ambiental de sistemas terrestres. Recuperado de:
http://www.ingebook.com/ib/NPcd/IB_BooksVis?cod_primaria=1000187&codigo_libro=1458.
- Poveda, R. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. (Tesis de pregrado). Ambato-Ecuador.
- Ramos, C., Agramonte, M., Rodríguez, X., y Rodríguez, X. (2010). Filtro biológico en el tratamiento de lixiviados. *CENIC-Ciencias Biológicas*, (41). Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/html/1812/181220509035/>.
- Rao, D., Senthilkumar, R., Byrne, J., y Feroz, S. (2012). *Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies*. Recuperado de:
<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=6F9Cb72wT7gC&oi=fnd&pg=PP1&dq=wastewater+treatment:advanced&ots=i5GaNsSXGi&sig=RawVuvovGPG1eLtl4ousUWFVPsI#v=onepage&q=wastewater%20treatment%3Advanced&f=false>
- Resolución N° 0002-DMA-2008. (2008). *Tabla D.1 “Guía de parámetros mínimos por sector productivo”*: CHU D1511. Recuperado de:

- <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/bibliotecadigital/categor%C3%83%C2%ADa/15-marco-normativo?download=279:resolucion-002-norma-ca&start=20>.
- Singh, D., y Kaur, A. (2015). Vermicompost as a strong buffer and natural adsorbent for reducing transition metals, BOD, COD from industrial effluent. *Ecological Engineering*, (74).
- Taveras, M., Silva, M., Flores Chang, F., y De León, M. (2011). *Programa de la USAI para la protección animal. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Renovables. Guía para buenas prácticas ambientales en mercados y mataderos*. Recuperado de:
<http://fedomu.org.do/wp-content/uploads/2015/06/Gu%C3%83%C2%ADa-para-buenas-pr%C3%83%C2%A1cticas-ambientales-en-mercados-y-mataderos-pdf>.
- Tomar, P., y Suthar, S. (2011). Urban wastewater treatment using vermibiofiltration system. *Desalination*, 282. Recuperado de: doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.007
- TULSMA. (2013). *Normas de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Recuperado de: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>.
- Unión Europea. (2008). *Reglamento (CE) n° 889/2008. Del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control*. Recuperado de:
http://www.madrid.org/rlma_web/html/web/Descarga.icm?ver=S&idLegislacion=1600&idDocumento=1
- Velasco, V. (2015). *Vermifiltros para el tratamiento de aguas residuales*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas. Quito-Ecuador.
- Yang, J., Zhang, J., y Xing, M. (2014). Insight into the roles of earthworm in vermicomposting of sewage sludge by determining the water-extracts through chemical and spectroscopic methods. *Bioresource Technology*, 154(94). Recuperado de: doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.023
- Zapata, I., Martinez, L., Posada, M., y Saldarriaga, J. (2016). *Efectos de la lombriz roja californiana (eisenia foetida), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de segovia, antioquia*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v27n1/v27n1a05.pdf>

10. ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de la estructura metálica



Anexo 2. Colecta de la piedra bola y piedra pómez en la quebrada de La Esperanza



Anexo 3. Colocación de los sustratos en los contenedores.



Anexo 4. Conteo de lombrices *Eisenia foetida*



Anexo 5. Vermifiltros establecidos en la granja experimental ECAA



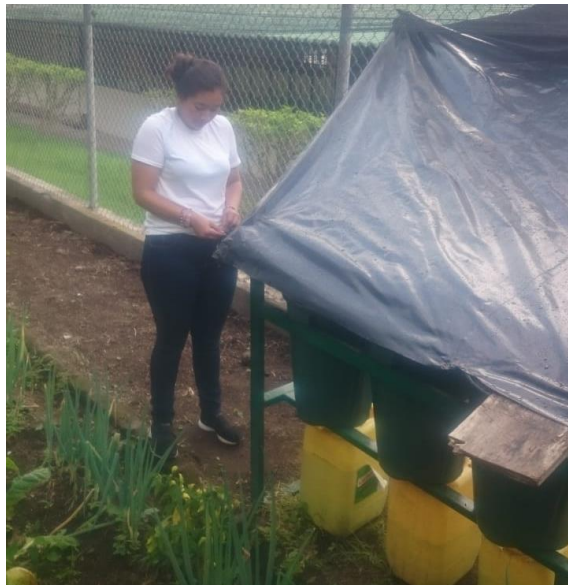
Anexo 6. Recolección de los 120 litros de agua residual del Camal de Ibarra y toma de muestras para los análisis físico químicos.



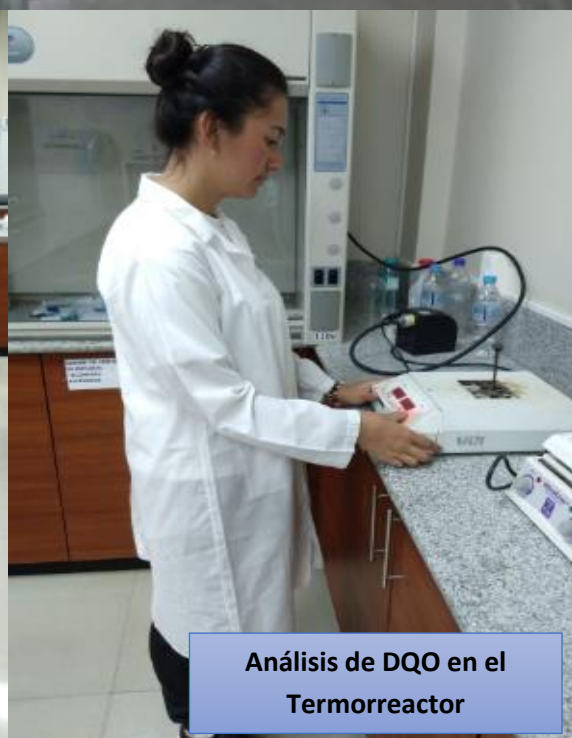
Anexo 7. Riego del agua residual en los vermifiltros.



Continuación Anexo 8.



Anexo 9. Análisis fisicoquímicos del agua residual del Camal de Ibarra y del agua tratada.



Anexo 10. Diferencia de color entre el agua residual cruda y tratada.



Anexo 11. Agua tratada con los vermifiltros de piedra bola y piedra pómez.



Anexo 12. Oficio de Invitación a la socialización.



Anexo 13. Invitación de la socialización



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

Le extienden la más cordial invitación a la socialización del trabajo de investigación:
"Evaluación de la eficiencia de un sistema de vermifiltros en el tratamiento de aguas residuales del Camal de Ibarra"
cuyo autor es la señorita **Fernanda Landeta**, de la carrera de Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo

Fecha: 27 de junio del 2019
Lugar: Sala de Audiovisuales Granja ECAA
Hora: 15H30 pm

RESUMEN

El Uso de sistemas de vermifiltración aportan con grandes beneficios al tratamiento de aguas residuales, ya que estos, no solo son capaces de brindar un tratamiento efectivo para descontaminar el agua y reducir notablemente las concentraciones de DQO, sino también evitan la formación de lodos residuales e incrementan la materia orgánica, la que luego se puede aprovechar en diferentes cultivos. Para la realización de esta investigación se evaluaron dos tipos de vermifiltros y se analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno, sólidos totales, nitratos, amonio, nitrógeno total, sulfatos, fosfatos, hierro, pH, conductividad y turbidez.

Anexo 14. Socialización de la investigación



Anexo 15. Asistencias de la socialización

 Pontificia Universidad Católica del Ecuador ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN			
NOMBRE DEL EXPOSITOR: FERNANDA LANDETA Y DANIEL HERNÁNDEZ CARRERA: INGENIERÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo FECHA: 27 DE JUNIO DEL 2019 TEMAS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE VERMICULTIVOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANAL DE IBARRA Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOACUMULADORA DE METALES PESADOS Pb y Cd EN LA ESPECIE SHONOPLECTUS CALIFORNICUS DE LA LAGUNA DE YAMARCOCHA.			
NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCIÓN A LA QUE PERTENECE	FIRMA
Fernando Llanos	1-000000000-6	PUCE-SI	[Firma]
David Chacón	000000000-0	PUCE-SI	[Firma]
Esteban Del Rio	100000000-6	ECOA/PUCE	[Firma]
Marcelo Martínez	100000000-0	ECOA/PUCE	[Firma]
Graciela Rueda	000000000-0	ECOA/PUCE	[Firma]
Marcelo Martínez	100000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Sofía Valdivia	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Conny Gómez	100000000-6	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
José Rodríguez	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	100000000-6	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]

 Pontificia Universidad Católica del Ecuador ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN			
NOMBRE DEL EXPOSITOR: FERNANDA LANDETA Y DANIEL HERNÁNDEZ CARRERA: INGENIERÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y ECODesarrollo FECHA: 27 DE JUNIO DEL 2019 TEMAS: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE VERMICULTIVOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANAL DE IBARRA Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITOACUMULADORA DE METALES PESADOS Pb y Cd EN LA ESPECIE SHONOPLECTUS CALIFORNICUS DE LA LAGUNA DE YAMARCOCHA.			
NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCIÓN A LA QUE PERTENECE	FIRMA
Fernando Llanos	1-000000000-6	PUCE-SI	[Firma]
David Chacón	000000000-0	PUCE-SI	[Firma]
Esteban Del Rio	100000000-6	ECOA/PUCE	[Firma]
Marcelo Martínez	100000000-0	ECOA/PUCE	[Firma]
Graciela Rueda	000000000-0	ECOA/PUCE	[Firma]
Marcelo Martínez	100000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Sofía Valdivia	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Conny Gómez	100000000-6	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
José Rodríguez	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	100000000-6	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]
Roberto Andrade	000000000-0	ECOA-PUCE	[Firma]

Anexo 16. Encuestas de la socialización



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**

ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN

El siguiente cuestionario tiene como finalidad proporcionar información sobre la percepción de los investigadores de la institución de investigación que tienen respecto a la socialización de la investigación.

NOMBRE	_____		
EDUCACIÓN	_____		
CURSO	CENTRO PUEBLO	FECHA PUEBLO	

NOTA IMPORTANTE: Por favor considere las preguntas de que se sigue este modelo:

5. MUY BUENO / 4. BUENO / 3. MEDIO / 2. MALO / 1. NULO

DETALLE DE VALORACIÓN		1	2	3	4	5
VALORACIÓN DE LA COMUNICACIÓN						
1.	¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento incluyó las comodidades necesarias?					X
2.	¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?					X
VALORACIÓN DEL CONTENIDO DE LA INVESTIGACIÓN						
3.	¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?					X
4.	¿Considera Usted que el mensaje del expositor por parte del expositor fue adecuado?					X
5.	¿Considera Usted que el expositor demostró facilidad de expresión?					X
VALORACIÓN DE LA RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN						
6.	¿Considera Usted que el tema investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					X
7.	¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?					X
8.	¿Considera Usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o institución?					X
9.	¿En función de los objetivos planteados en la investigación, considera Usted que éstos se cumplen?					X
VALORACIÓN DE LA COMUNICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN						
VALORACIÓN DE LA COMUNICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN						

INSTITUCIÓN O ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO	PUEBLO
