



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN MEDIO AMBIENTE**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**FILTRO GRAVITATORIO CON PIEDRA PÓMEZ MOLIDA PARA EL
TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS**

AUTORES:

**MOCHA ZAMBRANO JOSELYN MARÍA
MOREIRA MENDOZA FREDDY ERNESTO**

TUTOR:

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO, M.Sc.

CALCETA, FEBRERO 2021

DERECHOS DE AUTORÍA

JOSELYN MARÍA MOCHA ZAMBRANO con cédula de ciudadanía 1315435741 y **FREDDY ERNESTO MOREIRA MENDOZA** con cédula de ciudadanía 1350598569 declaran bajo juramento que el Trabajo de Titulación titulado: **FILTRO GRAVITATORIO CON PIEDRA PÓMEZ MOLIDA PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS** es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

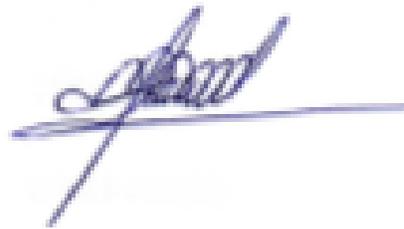
A través de la presente declaración, concedo a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a mi favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.

Joselyn María Mocha Zambrano

Freddy Ernesto Moreira Mendoza

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO, M. Sc. certifica haber tutelado el proyecto **FILTRO GRAVITATORIO CON PIEDRA PÓMEZ MOLIDA PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS**, que ha sido desarrollada por **JOSELYN MARÍA MOCHA ZAMBRANO Y FREDDY ERNESTO MOREIRA MENDOZA**, previa la obtención del título de Ingeniero en medio ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **FILTRO GRAVITATORIO CON PIEDRA PÓMEZ MOLIDA PARA EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS**, que ha sido propuesto, desarrollado por **JOSELYN MARÍA MOCHA ZAMBRANO Y FREDDY ERNESTO MOREIRA MENDOZA**, previa la obtención del título de Ingeniero en medio ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



ING. LAURA G. MENDOZA CEDEÑO, M.Sc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. JOSÉ M. CALDERÓN PINCAY, M.Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. FRANCISCO J. VELÁSQUEZ INTRIAGO, M.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de crecer como seres humanos a través de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico en primer lugar a Dios, por darme las fuerzas y la constancia para alcanzar mis objetivos trazados.

A mi madre **Magaly Zambrano** y mi padre **Wilson Mocha** ya que me apoyaron desde el inicio de mis estudios e hicieron posible a que este logro se realizara.

A mi esposo **Carlos Coveña** por haberme brindado su apoyo incondicional y permitir con sacrificio y esfuerzo que mi meta sea alcanzada.

A mi hijo **Andy Coveña** por darme el impulso y las fuerzas para seguir cada día luchando por mis objetivos.

A mi hermano **Steven Mocha** por de una u otra manera apoyarme en los días difíciles y brindarme su ayuda.

A mis abuelitos y segundos padres **Digna Pita** y **Félix Zambrano** por creer en mí siempre y darme su apoyo incondicional.



JOSELYN M. MOCHA ZAMBRANO

DEDICATORIA

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida.

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, **Freddy Moreira Macías** y **Viviana Mendoza Alcívar** por ser el pilar principal en mi formación personal y profesional, por haberme brindado su apoyo, consejos, comprensión, amor, y ayuda en los momentos difíciles.

A mis hermanos y mi novia, por el apoyo incondicional, preocupación, y consejos que contribuyeron en mi proceso de crecimiento en todo momento.



FREDDY ERNESTO MOREIRA MENDOZA

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA	vi
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS	x
CUADROS.....	x
FIGURAS.....	x
GRÁFICOS.....	xi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. IDEA A DEFENDER	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. AGUAS RESIDUALES	5
2.2. AGUAS RESIDUALES PORCINAS Y SUS CONTAMINANTES	5
2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	6
2.3.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	6
2.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	8
2.4.1. TRATAMIENTO PRIMARIO	9
2.4.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO	9
2.4.3. TRATAMIENTO TERCIARIO	10
2.5. SISTEMAS DE FILTRACIÓN	10
2.5.1. FILTROS RÁPIDOS.....	11

2.5.2. FILTROS LENTOS DE ARENA.....	11
2.6. PIEDRA PÓMEZ COMO MEDIO FILTRANTE	15
2.6.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PIEDRA PÓMEZ.....	15
2.6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PIEDRA PÓMEZ	16
2.7. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL PARA DESCARGAS A CUERPOS DE AGUA DULCE	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	18
3.1. UBICACIÓN	18
3.2. DURACIÓN	19
3.3. VARIABLES DE ESTUDIO.....	19
3.4. MÉTODOS	19
3.5. TÉCNICAS	19
3.6. PROCEDIMIENTO.....	20
3.6.1. FASE I: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES PORCINAS.....	20
3.6.2. FASE II. DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN GRAVITATORIA.....	22
3.6.3. FASE III. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AMBOS PROCESOS	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES PORCINAS.....	29
4.2. DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN GRAVITATORIA..	32
4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AMBOS PROCESOS	33
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
5.1. CONCLUSIONES	46
5.2. RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48

CONTENIDO DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS

CUADROS

Cuadro 2.1. Clasificación de los filtros.....	11
Cuadro 2.2. Granulometría del lecho filtrante.....	13
Cuadro 2.3. Series de tamices y abertura en milímetros.....	13
Cuadro 2.4. Granulometría de la capa de soporte del filtro.....	14
Cuadro 2.5. Características químicas del material pomáceo.....	15
Cuadro 2.6. Características físicas del material pomáceo.....	15
Cuadro 2.7. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	16
Cuadro 4.1. Características fisicoquímicas del agua residual porcina.....	27
Cuadro 4.2. Resultados de muestra inicial	28
Cuadro 4.3. Tiempos de retención para un volumen de 20 litros.....	32
Cuadro 4.4. Análisis fisicoquímicos en ambos sistemas de filtración.....	33
Cuadro 4.5. Porcentajes de remoción de SST para ambos procesos de filtración...33	
Cuadro 4.6. Porcentajes de remoción de SDT para ambos procesos de filtración...35	
Cuadro 4.7. Porcentajes de remoción de ST en ambos procesos de filtración.....36	
Cuadro 4.8. Porcentajes de remoción de CF en ambos procesos de filtración.....37	
Cuadro 4.9. Porcentajes de remoción de CT en ambos procesos de filtración.....38	
Cuadro 4.10. Porcentajes de remoción de DQO en ambos procesos de filtración...39	
Cuadro 4.11. Media y desviación estándar para los tratamientos.....	42
Cuadro 4.12. Prueba T de Student para muestras independientes.....	43

FIGURAS

Figura 3.1. Mapa de ubicación del sitio de investigación.....	17
Figura 3.2. Distribución de medios filtrantes en el filtro de arena y grava.....	24
Figura 3.3. Distribución de medios filtrantes en el filtro de piedra pómez y grava....	25

GRÁFICOS

Gráfico 4.1. % de remoción de SST final para cada tratamiento.....	34
Gráfico 4.2. % de remoción de SDT final en ambos tratamientos.....	35
Gráfico 4.3. % de remoción de ST final en ambos tratamientos.....	36
Gráfico 4.4. % de remoción de CF final en ambos tratamientos.....	37
Gráfico 4.5. % de remoción de CT final en ambos tratamientos.....	38
Gráfico 4.6. % de remoción de DQO final en ambos tratamientos.....	40
Gráfico 4.7. Variación de pH post tratamiento para ambos procesos.....	40
Gráfico 4.8. Diagrama de cajas para la diferencia de remoción entre tratamientos..	42

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del filtro gravitatorio con piedra pómez molida, como reemplazo de arena fina para el tratamiento primario de aguas residuales porcinas. El método utilizado fue el cuantitativo deductivo con nivel no experimental; además se hizo uso de técnicas como la bibliográfica para la construcción de los filtros, toma de muestra y análisis de datos en los programas Microsoft Excel y SPSS. En la caracterización fisicoquímica se obtuvieron valores de 580 mg/l para SST; 581 mg/l para SDT; >190000 UFC/ml para CF; 190000 UFC/ml para CT; y un valor de 820 mg/l para DQO, parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA para descargas a cuerpos de agua dulce. Para la construcción de los filtros se utilizaron dos baldes de plástico con volumen de 20 litros y un área de flujo media de 0,277 m². El tiempo de retención promedio de los filtros fue de 1 h y 35 min para el filtro de arena y 1 h y 43 min para el filtro de piedra pómez. Los porcentajes de remoción alcanzaron un 97,76% para SST (filtro de piedra pómez) como más alto y el más bajo para SDT (4,13% y 4,47%, para los filtros de piedra pómez y arena, respectivamente). Mediante la prueba t de Student se determinó que no existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos empleados.

PALABRAS CLAVES

Filtro gravitatorio, Piedra pómez molida, Arena fina, Eficiencia, Reemplazo.

ABSTRACT

This research work was carried out on the La Pavita site. It aimed to evaluate the efficiency of the gravitational filter with ground pumice stone as a replacement for fine sand for the primary treatment of swine wastewater. The method used was deductive quantitative with non-experimental level; Techniques such as bibliographical data were also used for filter construction, sampling and data analysis in the programs Microsoft Excel and SPSS. For the first specific objective, the following values were obtained as a result of physicochemical analyses performed on the swine wastewater sample: 580 mg/l for OSH; 581 mg/l for SDT; >190000 UFC/ml for CF; 190000 UFC/ml for total coliforms; and a value of 820 mg/l for COD, parameters that exceed the permissible maximum limits set by TULSMA for discharges to freshwater bodies. Were used for the construction of the filters two plastic buckets with a volume of 20 liters and an area of 0,277 m². The average retention time of the filters was 1 h 35 min for the sand filter and 1 h 43 min for the pumice stone filter. Removal percentages reached 97, 76% for OSH (pumice filter) as high and lowest for SDT (4,13% and 4,47%, for pumice stone and sand filters, respectively). Student's T-test determined that there is no significant difference between the means of the treatments used.

KEY WORDS

Gravitational filter, Ground pumice stone, Fine sand, Efficiency, Replacement.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según Gómez (2018) la contaminación de los efluentes de ríos, lagos y otros recursos naturales son consecuencia principalmente de las actividades realizadas por el hombre, esto siendo tanto en áreas urbanas y rurales, las cuales producen aguas servidas que contienen excretas humanas y animales, residuos químicos e industriales. Esto es corroborado por Samboni *et ál.* (2007) quienes indican que el recurso hídrico cuenta con una afectación crítica, debido a que la mayoría de contaminantes generados en las actividades antropogénicas son difíciles de tratar y caen a las corrientes sin ningún tipo de tratamiento.

En el Ecuador, de acuerdo a Siza (2018) la falta de acceso a un tratamiento adecuado de las aguas residuales significan un creciente problema, el cual se ve reflejado en las afectaciones a la salud de la población, debido al consumo a través de la producción agrícola que utilizan estas aguas para riego y el consumo directo para beber. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2016) en el Ecuador el 61,86% de los GAD Municipales realizan tratamientos de sus aguas residuales, mientras que el 38,14% no realizan tratamiento.

La Secretaría Nacional del Agua [SENAGUA] (2011) indica que una de las actividades antropogénicas que presenta riesgos como foco de contaminación a las fuentes de agua, son las aguas residuales generadas en las granjas porcinas, las cuales según Méndez *et ál.* (2009) debido a la presencia de sólidos suspendidos, coliformes y nitrógeno entre otros, pueden ocasionar graves daños ambientales. De acuerdo a Toinga (2016) la actividad porcina en el Ecuador según datos del censo agropecuario realizado en el año 2008, es una actividad que es efectuado a mayor escala por pequeños grupos familiares, existiendo por tal motivo mayores problemas de contaminación a los cuerpos de agua, al no contar sus aguas residuales con ningún tipo de tratamiento.

Para Rojas (2002) el tratamiento de las aguas residuales se ha venido dando relativamente hace poco tiempo, sin embargo, aún no existe un sistema que pueda terminar con aquello, esto se desarrolla como consecuencia de la relación entre contaminación de los cursos y cuerpos de agua y enfermedades de origen hídrico. Cisneros (2010, como se citó en Lovato y Espín, 2018) argumenta que, para llevar a cabo las tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, es necesario contar con equipos que consumen energía y requieren de mano de obra calificada para su operación, lo cual provoca que, por desconocimiento, falta de interés o falta de infraestructura, los efluentes de aguas residuales sean descargados directamente a los ríos, ocasionando la alteración de calidad de los mismos.

Con base a lo descrito anteriormente, se formula la siguiente problemática:

¿Cómo influye la utilización de piedra pómez molida como reemplazo de arena fina en la eficiencia de un filtro gravitatorio para aguas residuales porcinas?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El agua es sin lugar a duda el recurso más importante para el ser humano, siendo sostenible y sustentable para el avance socioeconómico, ecosistemas, entre otros aspectos fundamentales para el ambiente (Córdoba *et ál.*, 2010). Agudelo (2005) menciona que la disponibilidad del agua en el mundo es crítica y cada día más compleja para esto es importante su tratamiento y que no afecte lo social, económico y ambiental.

La presente investigación se fundamenta en la parte legal dispuesta en la Constitución de la República del Ecuador (2008) la cual en su Art. 12 expone que: “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”; así mismo, contribuye al cumplimiento del Objetivo 1, enmarcado en el Eje 1 del Plan Nacional de Desarrollo, el cual establece que “Uno de los servicios sociales más importantes y prioritarios es el agua, el

acceso y la calidad de este recurso para el consumo humano, los servicios de saneamiento y, por supuesto, para la producción y sistemas de riego”.

A fin de evitar los problemas de contaminación ambiental del recurso agua se han llevado prácticas con nuevos métodos de tratamiento, entre ellos está la filtración en arena, filtración en lechos de contacto, entre otros. Según Toapanta (2018) el filtro ampliamente usado para remover sólidos suspendidos es el filtro de grava y arena y se le llama así precisamente porque es un lecho de grava y arena el que retiene las partículas suspendidas en el agua, lo cual es corroborado por Manrique y Roa (2014). Según Cárdena *et ál.* (2018) los filtros utilizados convencionalmente eliminan en un 95% la mayoría de sólidos suspendidos más sin embargo gran parte de la eficiencia de este proceso mecánico de filtrado está dada en función del tipo de material que se utilice.

El uso de la piedra pómez tiene un gran potencial en las actividades de filtración, una de sus principales características es que tiene la capacidad de retener agua hasta 90 veces su peso en el transcurso de 120 minutos. Debido a la estructura física de sus partículas, su gran porosidad y fineza, ayuda a retener agua y gran parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos en la misma; así mismo, posee un gran potencial de absorción, con lo cual es capaz de reducir el DQO de diferentes aguas residuales (Mayorga y Carrera, 2015; Vera, 2006).

La presente investigación se desarrollará con el objetivo de evaluar la eficiencia del filtro gravitatorio con piedra pómez molida como reemplazo de arena fina para el tratamiento primario de aguas residuales porcinas; con el fin de brindar una alternativa de medio filtrante con mejores beneficios que los convencionales, debido a que es un material de bajo costo y de fácil acceso en el medio; por consiguiente es adecuado mencionar que un proceso de filtración gravitatorio con este material no generaría gastos elevados, y ayudará a garantizar que las aguas tratadas disminuyan significativamente los contaminantes.

El sistema de filtración propuesto, podría ser utilizado en estudios posteriores de tratamiento de aguas residuales, convirtiéndose en una herramienta o un punto de partida para otras investigaciones que se planteen utilizar la piedra pómez como material filtrante y adaptarlo a las plantas de tratamiento de aguas residuales, con tecnologías adicionales que potencien su eficiencia.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del filtro gravitatorio con piedra pómez molida como reemplazo de la arena fina para el tratamiento primario de aguas residuales porcinas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales porcinas.
- Desarrollar los procesos de filtración gravitatoria.
- Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes en ambos procesos.

1.4. IDEA A DEFENDER

Existe diferencia significativa en la eficiencia del filtro gravitatorio y el convencional, empleados para la remoción de contaminantes de aguas residuales de la industria porcina.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUAS RESIDUALES

Osorio *et ál.* (2010) definen a las aguas residuales como aquellas provenientes del uso de un agua natural o de una red para un fin específico, según este autor plantear una definición exacta de lo que son aguas residuales es muy complicado, ya que las características de estas van en función del tipo de población e industria que disponga de ellas. Moina y Aldaz (2013) mencionan que las aguas residuales se dan por diferentes motivos ya sean residuos domésticos, agrícolas, excremento de animales, llevando a cabo esta actividad sin ningún control, donde la disposición final va directamente a los cuerpos de agua cercanos.

2.2. AGUAS RESIDUALES PORCINAS Y SUS CONTAMINANTES

Paniagua (2018) indica que las aguas residuales porcinas, al estar compuestas mayormente de sólidos suspendidos, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, aceites y grasas, nitrógeno, magnesio, entre otros, conlleva a múltiples afectaciones al ambiente, ya que los vertidos no son realizados correctamente. Valenzuela (2017) menciona que dentro de los tipos de contaminación del agua, la industria porcina produce aguas residuales con residuos mayormente orgánicos, además de sólidos suspendidos y coliformes fecales.

Garzón y Buelna (2014) indican que las concentraciones de contaminantes de las aguas residuales porcinas van a depender del proceso productivo, tamaño de la granja y manejo de agua; encontrándose como principales contaminantes los sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes fecales, demanda química de oxígeno y NTK (Nitrógeno total Kjeldahl).

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Es de suma importancia tener en cuenta la caracterización de las aguas residuales, para lo cual es necesario conocer los parámetros físicos, químicos y microbiológicos principales que surgen como contaminantes:

2.3.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos más importantes de un agua residual se pueden describir los sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes totales y fecales, demanda química de oxígeno, entre otras como olor, pH, temperatura, densidad, turbidez (Cáscaret *et ál.*, 2009).

Las aguas residuales derivadas de las actividades porcinas y que son descargadas a los afluentes están formadas en su mayoría por heces fecales y orina mezcladas con el material utilizado como cama, residuos de alimentos, polvo, agua proveniente de labores de limpieza, entre otros (Arias *et ál.*, 2010).

2.3.1.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contiene el agua. Se componen de sólidos coloidales y disueltos (Toasa, 2012). Un indicador de SST es la turbidez y color del agua, estos al estar a un valor mayor a 1000 mg/l afectan la vida acuática debido a que dificultan la entrada de luz al agua y transportan sustancias tóxicas (Kulkarni, 2011, como se citó en Ruiz, 2017).

2.3.1.2. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Los sólidos totales disueltos son moléculas e iones; que se encuentran diluidos en el agua, su concentración en el agua se debe a la presencia de minerales, gases producto de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos

orgánicos que dan olor, color, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Jiménez, 2001).

Las sustancias disueltas pueden provenir de la naturaleza o de las que el hombre genera procedentes de su actividad, en el sentido más amplio, dan lugar a la contaminación. En general, los factores que influyen en la disolución de las sales solubles según Báez (2009) son las siguientes:

- Superficie de contacto,
- Longitud del trayecto recorrido,
- Concentración de sales en la roca,
- Tiempo de contacto,
- Temperatura y presión.

Según la investigación realizada por Can *et ál.* (2014) la conductividad eléctrica tiene una conexión con la concentración de sólidos disueltos totales (para cuerpos de agua dulce y salobre). Sin embargo, esto no es posible en ambientes hipersalinos con una salinidad mayor al 5%.

2.3.1.3. COLIFORMES TOTALES (CT)

Pascual y Calderón (2000) mencionan que los coliformes totales son las *Enterobacteriaceae* lactosa-positivas y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37°C, se encuentran en el intestino del hombre y de los animales, pero también en otros ambientes: agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc.

Los coliformes totales al estar compuestos también por microorganismos que sobreviven y proliferan en el agua, no es recomendable usarlos como índice de agentes patógenos fecales; sin embargo, pueden utilizarse como indicador para ver

la eficacia de tratamientos y así mismo, para determinar la adecuada limpieza e integridad de sistemas de distribución (Páramo *et ál.*, 2018).

2.3.1.4. COLIFORMES FECALES (CF)

Los coliformes fecales son coliformes totales que además fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24-48 horas a temperaturas comprendidas entre 44 y 45°C en presencia de sales biliares, comprenden principalmente *Escherichia coli* y algunas cepas de *Enterobacter* y *Klebsiella*; este tipo de contaminación actualmente es el principal riesgo sanitario en el agua, ya que los microorganismos patógenos pueden provocar enfermedades en la salud humana (Vélez *et ál.*, 2004).

2.3.1.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

De acuerdo a Raffo y Ruiz (2014) la demanda química de oxígeno expresa el contenido de materia orgánica que posee un cuerpo de agua; es utilizado para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable; por consiguiente, cuanto mayor es su concentración mayor es el nivel de contaminación del agua. De otra parte Cercado y Zarde (2019) la DQO en aguas industriales puede situarse entre 50 y 2000 mgO₂/l, aunque puede llegar a 5000 según el tipo de industria.

2.3.1.6. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Según Moina y Aldaz (2013) la concentración del ion hidrógeno resulta un parámetro importante para verificar la calidad de aguas tanto naturales como residuales. Se considera un intervalo adecuado de 6-9 para aguas residuales que sean descargadas a cuerpos de agua dulce.

2.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales se define según González *et ál.* (2019) como el conjunto de recursos mediante los cuales se verifican las etapas de purificación total o parcial de una corriente, dentro de un área bajo condiciones controladas. Es

importante realizar un pre tratamiento a las aguas residuales cuando se presentan sólidos de gran tamaño con el fin de evitar obstrucciones de los equipos en los tratamientos siguientes; la selección del proceso adecuado varía respecto a múltiples factores, pudiendo utilizar todos los tratamientos o uno de ellos (Freire, 2012).

De acuerdo a Bermeo y Salazar (2013) para la selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las características del agua cruda
- La calidad requerida del efluente
- La disponibilidad del terreno
- Los costos de producción y operación del sistema de tratamiento
- La confiabilidad del sistema del tratamiento
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

2.4.1. TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario se lleva a cabo con el objetivo de separar las partículas en suspensión que no fueron retenidas en el pre-tratamiento, mediante medios físicos, esto según lo define Seoanez (1995, como se citó por Heras, 2011). Se basa principalmente en la remoción de los sólidos suspendidos flocúlenos, ya sea mediante sedimentación o floculación, esto consiste en llevar el pH a un nivel más neutro y la remoción de compuestos inorgánicos mediante la precipitación química (Díaz y Caballero, 2015).

2.4.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario tiene como finalidad degradar principalmente el contenido biológico de las aguas residuales, lo cual deriva de residuos humanos, alimentos,

jabones y detergentes. Este tipo de tratamiento también es conocido como tratamiento biológico, ya que se basa en el uso de microorganismos, los cuales asimilan la materia orgánica (García *et ál.*, 2012; Vásquez *et ál.*, 2013).

2.4.3. TRATAMIENTO TERCIARIO

Según Freire (2012) los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales una vez tratadas por los tratamientos primarios y secundarios antes descritos pueden contener sólidos en suspensión que no pudieron ser eliminados, mismos que constituyen probablemente una parte considerable de demanda bioquímica de oxígeno, siendo este donde, se completa el tratamiento de aguas residuales.

2.5. SISTEMAS DE FILTRACIÓN

La filtración es un proceso utilizado para la eliminación o retención de sólidos suspendidos de las aguas residuales, las cuales pasan por capas crecientes de materiales con diferentes granulometrías para retenerlos, como medio de filtración se puede emplear arena, grava, antracita, otro material adecuado, o una combinación de ellos (Valle, 2018).

El proceso de filtración puede efectuarse de algunas formas: con baja o alta carga superficial y, en medios porosos o granulares; así mismo, los filtros pueden trabajar a presión o por gravedad, esto con base a la magnitud de carga hidráulica presente sobre el lecho filtrante (Valencia, 2013).

Cuadro 2.1. Clasificación de los filtros.

Según la dirección de flujo	Según su velocidad de filtración	Según la fuerza impulsora	Según los mecanismos de remoción predominantes	Según el tipo de lecho filtrante
Ascendentes	Rápidos	A presión	Biológicos	Granulares
Descendentes	Lentos	A gravedad	Filtración propiamente dicha	Fibrosos

Fuente: Lozano y Lozano (2015)

2.5.1. FILTROS RÁPIDOS

Los filtros rápidos siguen un proceso en el que el agua circula a través de un lecho filtrante (multicapa) a una velocidad mayor que en los filtros lentos o por gravedad; estos filtros están compuestos por un depósito de hormigón abierto, un falso fondo de hormigón o de material plástico, en el cual se colocan los orificios de drenaje y de inyección de agua de lavado, el lecho filtrante situado sobre el falso fondo, canales de entrada de agua, canales de recogida de agua de lavado y agua filtrada, esto según lo indica Tejero *et ál.* (2011, como se citó en Tocoamán, 2018).

2.5.2. FILTROS LENTOS DE ARENA

La Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2005) indica que los filtros lentos de arena están constituidos por un lecho de arena fina, ubicado sobre una capa de grava, la cual funciona como soporte de la capa de arena, esta a su vez se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recogen el agua filtrada. Campos (2000) menciona que mediante la acción de la gravedad, el agua pasa a través de los poros del material filtrante, y los sólidos suspendidos quedan adheridos en los granos de arena y grava, también se desarrolla en los granos de arena una fina capa de microorganismos, que al pasar el agua retienen materia orgánica y bacterias. Los filtros lentos de arena se distinguen de los filtros rápidos por trabajar con bajas velocidades de filtración, por utilizar un material más fino como filtro y además no están diseñados para lavado a contracorriente; estos filtros son lo más utilizados para aguas con cargas bajas o medianas de contaminantes, que necesiten de una retención de partículas de hasta 20 micras de tamaño, esto según lo expuesto por Tonato (2010).

Los filtros lentos de arena realizan un proceso similar al de la naturaleza para la filtración del agua proveniente de las lluvias, ríos, entre otros, mediante los estratos de la corteza terrestre, fluyendo sobre capas de arena, grava y arcilla hasta alcanzar los acuíferos; los procesos que realizan los filtros son físicos y biológicos como en la naturaleza (Navas, 2017).

2.5.2.1. CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL

Es la cantidad de agua filtrada por unidad de área en un día, es el parámetro de diseño más importante en un filtro lento de arena, la cual debe tener un valor en el rango: $0,1 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hora}$ - $0,3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{hora}$ (Vire, 2015). Se expresa mediante la siguiente ecuación según Padilla (2015).

$$\text{CHS} = \frac{Q}{A_f} \text{ [2.1.]}$$

Donde:

CHS: carga hidráulica superficial.

Q: caudal de agua a filtrar.

A_f: área del filtro.

2.5.2.2. CAPA DE ARENA

Según Blacio y Palacios (2011) el tamaño de los granos de arena y su distribución granulométrica son los parámetros más importantes a considerar, debe tener características duras y redondeadas, y no debe contener arcilla ni materia orgánica; no se puede disponer más del 2% de carbonato de calcio y magnesio en el medio filtrante.

Cuadro 2.2. Granulometría del lecho filtrante.

Criterios de diseño	Valores recomendados
Altura de arena (m)	
Inicial	1,00
Mínima	0,50
Diámetro efectivo (mm)	0,15 – 0,35
Coefficiente de uniformidad	
Acceptable	<3
Deseable	1,8 – 2,0
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0,1 – 0,3

Fuente: (OPS, 2005)

Respecto a la velocidad de filtración, esta varía entre los 0,1 a 0,2 m/h dependiendo de la calidad del agua que ingrese al filtro; entonces, a mayor contaminación de agua afluyente menor velocidad de filtración, cuando el filtro lento es la única unidad de tratamiento, la velocidad será de 0,10 m/h. Por otra parte, el agua sobre el lecho filtrante debe disponerse a una altura que puede variar entre 1,0 a 1,50 m y un borde libre entre los 0,2 y 0,3 m (OPS, 2005).

2.5.2.3. ESPECIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE LA ARENA

El tamaño efectivo del medio granular, se establece con un análisis granulométrico. A continuación, se detalla el procedimiento que indica Salgado (2017):

- Se toma una muestra representativa de arena, se extraen impurezas mediante un lavado y se deja secar al ambiente.
- Luego se tamiza una cantidad de 500 g aproximadamente de arena seca pasándola a través de una serie de tamices estándar, luego se continúa tamizando por 15 minutos y se usa un agitador mecánico de tamices.
- Por último, se pesa la arena que queda en el tamiz más grueso, y se agrega la que queda retenida en cada uno de los tamices subsiguientes.

Cuadro 2.3. Granulometría del lecho filtrante.

N° Tamiz "mesh"	Abertura (mm)	N° Tamiz "mesh"	Abertura (mm)	N° Tamiz "mesh"	Abertura (mm)
4	4,75	18	1	50	0,3
6	3,35	20	0,85	60	0,25
8	2,36	25	0,71	70	0,212
10	2	30	0,6	80	0,18
12	1,7	35	0,5	100	0,15
14	1,4	40	0,425	120	0,125
16	1,18	45	0,355	140	0,106

Fuente: (Salgado, 2017)

2.5.2.4. GRAVA DE SOPORTE

La grava es utilizada como medio de soporte para el lecho de arena y proporcionar un medio de salida más fácil desde la base del lecho; es necesario que las gravas sean duras, redondas, y despejadas de granos de arena, arcilla, suciedad y materia orgánica (Blacio y Palacios, 2011).

Cuadro 2.4. Granulometría de la capa de soporte del filtro.

Capas	Diámetros mínimos (mm)	Diámetros máximos (mm)	Altura (cms)
1	0,5 – 2,0	1,4 – 4,0	5
2	2,0 – 2,5	4,0 – 15,0	5
3	5,0 – 20,0	10,0 – 40,0	10

Fuente: (Blacio y Palacios, 2011)

2.5.2.5. SISTEMA DE DRENAJE

El drenaje puede estar conformado por drenes o por ladrillos de construcción, estos sirven para asegurar que el área de filtración recolecte uniformemente el agua, por lo cual la capa de grava debe cubrir en su totalidad este sistema de drenaje. Los tubos de drenaje están compuestos de un dren principal y ramificaciones o drenes

laterales, los cuales se unirán al principal mediante tees o cruces y podrán ser de concreto, de cerámica o de PVC. Los drenes laterales se instalan dejando juntas abiertas de 2 cm (Blacio y Palacios, 2011; Moncada, 2017).

2.6. PIEDRA PÓMEZ COMO MEDIO FILTRANTE

La piedra pómez o también denominada pumita o pumicita, es un material volcánico natural, la cual se forma cuando la roca altamente recalentada y presurizada es expulsada violentamente de un volcán, se caracteriza por poseer un pH neutro, no se descompone ni se quema, cuando se utiliza la piedra pómez como material filtrante se muestran dos grados de porosidad, una de la piedra pómez y otra del lecho, es decir, que mientras las partículas más pequeñas quedan retenidas en los poros de la pumita, las más grandes se retienen en el lecho, por lo tanto un lecho de piedra pómez posee una buena retención de sólidos (Váscomez, 2017). Nata (2018) menciona que el bajo peso y resistencia que posee la piedra pómez la hace un material ideal para utilizarse como agregado liviano; además debido a su alta capacidad de absorción de material orgánico e inorgánico puede utilizarse en la fabricación de filtros, abrasivos y en usos agrícolas.

2.6.1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA PIEDRA PÓMEZ

Cuadro 2.5. Características químicas del material pomáceo.

Fórmula del compuesto	Nomenclatura internacional	Porcentaje
SiO ₂	Anhídrido silícico	65,90%
AlO ₃	Óxido de aluminio	11,20%
Fe ₂ O ₃	Óxido férrico	1,25%
MgO	Óxido de magnesio	0,52%
Na ₂ O	Óxido de sodio	2,10%
K ₂ O	Óxido de potasio	3,20%

Fuente: (Siza, 2018)

2.6.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PIEDRA PÓMEZ

Cuadro 2.6. Características físicas del material pomáceo.

Parámetro	Valor
Contenido de humedad	3,4 %
Densidad	0,4 a 0,9 g cm ³
Color	gris
Capacidad de absorción	90 veces su peso

Fuente: (Nata, 2018)

2.7. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL PARA DESCARGAS A CUERPOS DE AGUA DULCE

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ambiente [TULSMA] (2015) establece los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de agua dulce, mismos que se encuentran en la Tabla 9 de la norma. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Cuadro 2.7. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO_5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Potencial de hidrógeno	pH	-----	6 – 9
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130

Sólidos totales	ST	mg/l	1600
-----------------	----	------	------

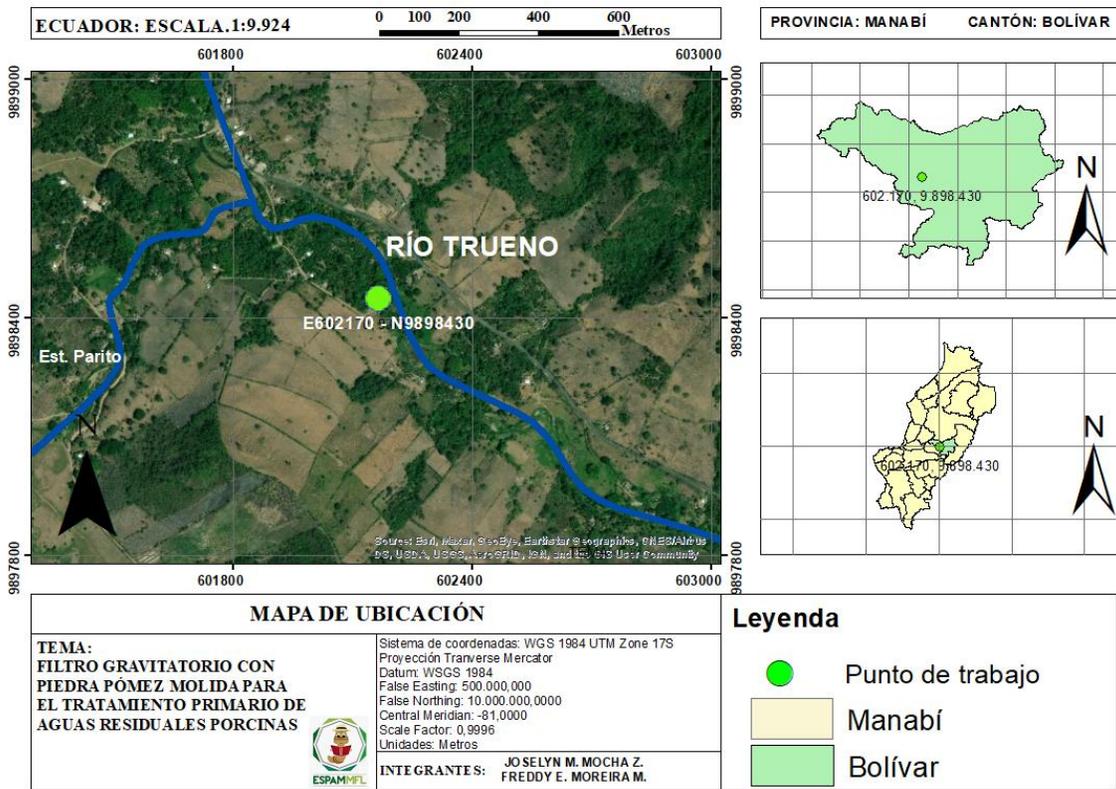
Fuente: (TULSMA, 2015)

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la parroquia Quiroga, Cantón Bolívar de la provincia de Manabí-Ecuador, específicamente en el sitio La Pavita, localizado a una altitud de 52 m, coordenadas UTM 602170 E y 9898430 N, donde se tomaron las muestras de agua residual respectivas para el trabajo de investigación antes mencionado. En la figura 3.1., se muestra la ubicación geográfica.

Figura 3.1. Mapa de ubicación del sitio de investigación



3.2. DURACIÓN

El proyecto tuvo una duración de 6 meses a partir de su aprobación para el desarrollo y análisis del mismo.

3.3. VARIABLES DE ESTUDIO

Variable independiente: Medio filtrante.

Variable dependiente: Eficiencia de los filtros gravitatorios.

3.4. MÉTODOS

Para el presente proyecto de investigación se empleó el método deductivo cuantitativo con nivel no experimental, el método cuantitativo trata de determinar la fuerza de las asociaciones o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados a través de una muestra para ser inferencia en una población (Cadena *et ál.*, 2017). Este método permitió tomar datos cuantitativos, mediante los cuales se realizaron comparaciones entre los resultados obtenidos para comprobar la idea a defender del presente trabajo de investigación.

3.5. TÉCNICAS

Las técnicas que se utilizaron para el desarrollo del presente proyecto de investigación fueron en primera instancia: la revisión bibliográfica, la cual permitió obtener un fundamento para la construcción de los filtros y su análisis; toma de muestra, para los análisis fisicoquímicos de laboratorio del agua residual en estudio; y procesamiento de datos en los programas Microsoft Excel y SPSS.

3.6. PROCEDIMIENTO

3.6.1. FASE I: DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES PORCINAS

A continuación, se describen cada una de las actividades realizadas para el cumplimiento de la primera fase.

ACTIVIDAD 1: TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL

La muestra de agua se tomó en la finca “Zambrano”, ubicada en el sitio La Pavita, para los análisis de SST, SDT, CF, CT y pH se colectó con base a los lineamientos establecidos por la Norma NTE INEN 2176:1998, y para lo correspondiente a DQO se tomó en consideración la Norma NTE INEN 2169:1998, debido a que la muestra para este parámetro se conservó y transportó a un laboratorio distante al lugar de muestreo.

Se realizaron análisis de sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos totales, coliformes fecales, coliformes totales y demanda química de oxígeno (DQO), esto de acuerdo a las investigaciones realizadas por (Escalante *et ál.*, 2012; Garzón y Buelna, 2014) los cuales mencionan que son unos de los parámetros con concentraciones más altas en las aguas residuales porcinas, y que deben ser analizados para verificar la calidad de agua pre y post tratamiento. Adicional se analizó el pH de la muestra.

Una vez tomada la muestra para la determinación de DQO, se mantuvo debidamente rotulada y envasada para su posterior traslado al Laboratorio INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. acreditado por el SAE (N° SAE LEN 07-006) y A2LA (N° 2101 y N° 2185.02), el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil. Así mismo, se mantuvo la muestra para los análisis de los parámetros restantes; mismos que fueron realizados en el Laboratorio de aguas de Ingeniería Química de la UTM en la ciudad de Portoviejo (esto correspondiente a los análisis de SDT y pH), SST en el laboratorio de Química ambiental, y coliformes fecales con

coliformes totales en el laboratorio de Microbiología, ubicados en la carrera de agroindustria de la ESPAM "MFL". Se utilizó como referencia lo establecido por American Public Health Association [APHA] (2012) para los análisis fisicoquímicos, y para los análisis microbiológicos el método oficial 991.14 establecido por The Association of Official Analytical Chemists [AOAC] (2019).

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Se utilizó el método gravimétrico establecido por APHA (2012) para esto se colocó el papel filtro en la estufa a 105°C por 30 minutos, se dejó enfriar en el desecador y se pesó inmediatamente. Posteriormente, se colocó el filtro en el disco y se conectaron ambos al sistema de bombeo, luego se agregó 100 ml de la muestra en una probeta, para comenzar el proceso de filtración, finalizado esto se llevó el papel filtro a la estufa a 105°C por 1 hora, para finalmente ser enfriada en el desecador por 20 minutos y pesada inmediatamente en la balanza analítica para realizar los respectivos cálculos.

DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Mediante el método gravimétrico, se calcularon los sólidos totales de la muestra para luego mediante diferencia calcular los SDT. Para esto se ubicó en la estufa a 105°C una cápsula de porcelana por 1 hora, luego se dejó enfriar en el desecador y se pesó inmediatamente. Seguidamente, se agregó 10 ml de muestra en la cápsula, se llevó al reverbero para evaporar la mayor cantidad de muestra, y finalmente se llevó a la estufa a 105°C durante 1 hora, para luego llevar al desecador, pesar y realizar los respectivos cálculos (APHA, 2012).

DETERMINACIÓN DE pH

Se utilizó el método gravimétrico, el cual consistió en colocar 10 ml de muestra en un vaso de precipitado, se llevó la misma hasta el potenciómetro y se midió el pH. Finalmente se elevaron y enjuagaron los electrodos con agua destilada y se secaron con un paño limpio (APHA, 2012).

DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES Y TOTALES

Se utilizó el método oficial 991.14 establecido por AOAC (2019) en el cual se realizaron 6 diluciones, es decir se tomaron 5 tubos de ensayo con 9 ml de agua peptona y una fiola con 90 ml de la misma solución. Para la primera dilución se tomó 10 ml de la muestra y se agregó en los 90 ml de agua peptona, la cual se rotuló como 10^{-1} , luego se tomó 1 ml y se colocó en el primer tubo que contenía 9 ml y se rotuló como 10^{-2} , y así sucesivamente hasta llegar a la sexta dilución. Posteriormente, se sembró 1ml por cada dilución en cada placa petrifilm, para luego ser incubadas por 24 horas a una temperatura de 37°C . Seguidamente, se hizo el conteo de colonias separando coliformes fecales como puntos azules y coliformes totales como puntos rojos.

3.6.2. FASE II. DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN GRAVITATORIA

ACTIVIDAD 2. PREPARACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR PARA EL FILTRO DE ARENA Y GRAVA

La arena y la grava fueron obtenidas en un depósito de materiales de construcción en la ciudad de Portoviejo, teniendo esta una granulometría apropiada para luego ser procesada por el tamiz y zaranda. Se utilizó el tamiz N° 35 con mallas de 0,5 mm de abertura para arena gruesa, y el tamiz N° 120 con mallas de 0,125 mm de abertura para arena fina, esto con base a la investigación realizada por Moncada (2017). Se procedió a esterilizar la arena de forma que no contenga impurezas y, posteriormente se guardaron en bolsas ziploc el material recolectado, separado en arena fina y gruesa.

ACTIVIDAD 3. CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO GRAVITATORIO A TRAVÉS DE ARENA Y GRAVA

Se describen cada uno de los pasos para la presente actividad, mismos que tomaron como base el trabajo de investigación realizado por Moncada (2017) y para el sistema de drenaje lo establecido por Blacio y Palacios (2011):

- Para la construcción del filtro se utilizó un balde de plástico con 20 litros de volumen, un diámetro de 33 cm en la parte superior y 26 cm en la base. La carga hidráulica superficial se determinó a partir del área y caudal a filtrar, esto mediante la ecuación establecida por Padilla (2015) para calcular carga hidráulica superficial. El filtro tiene un área media de flujo de $0,277 m^2$; debido a que tiene una forma de tronco o cono, fue calculada mediante la fórmula establecida para dicho cuerpo geométrico.

$$\text{Área media de flujo} = \frac{\text{Área superior} + \text{Área inferior}}{2}$$

$$\text{Área media de flujo} = \frac{\pi(33 \text{ cm})^2 + \pi(26 \text{ cm})^2}{2}$$

$$\text{Área media de flujo} = 0,277 m^2$$

- Para la adaptación del recipiente para el filtro, se perforó el recipiente en la parte de abajo, a 5 centímetros del fondo, para la salida del agua filtrada.
- Se ensambló la tubería de agua filtrada con material en PVC, para lo cual se utilizaron 5 tubos de 5 centímetros y 1 de 10 centímetros, 4 conexiones (TEE) y 5 tapas.
- Se construyó una estructura en forma de espina de pescado, con perforaciones de 5 milímetros de diámetro cada 2 centímetros en los 6 tubos y 4 conexiones, los taponos fueron para cada orificio de salida de los tubos TEE, y luego se ensambló la tubería utilizando las conexiones.
- Se elaboró una estructura recta, en la cual se utilizó un tubo largo de 15 centímetros y 2 uniones universales que sirvieron de soporte entre cada lado del recipiente para que no haya pérdida en el efluente que se distribuye a través del filtro.

- Se ubicó la conexión recta a través del orificio de salida, luego se colocó la tubería “espina de pescado” en el fondo del tanque, tomando en cuenta que los orificios queden hacia abajo; y por último se unieron estas dos conexiones con las uniones universales.
- En la parte del tubo que sale del tanque, se instaló una llave para disponer en un recipiente el agua filtrada. Se selló las conexiones con teflón con el fin de evitar pérdidas de efluente.

ACTIVIDAD 4. COLOCACIÓN DEL MATERIAL EN EL FILTRO DE ARENA Y GRAVA

Dentro de esta actividad se colocó una regla dentro del filtro que llegue hasta la base del recipiente, se agregó en primera instancia, la grava, cuidando que quede bien distribuida y que alcance los 10 cm de altura. La capa de grava envuelve el tubo de drenaje como lo establece Blacio y Palacios (2011). Seguidamente, se colocó la arena gruesa de manera homogénea a una altura de 5 cm; y por último la arena fina, a una altura de 20 cm (Ver figura 3.2.).

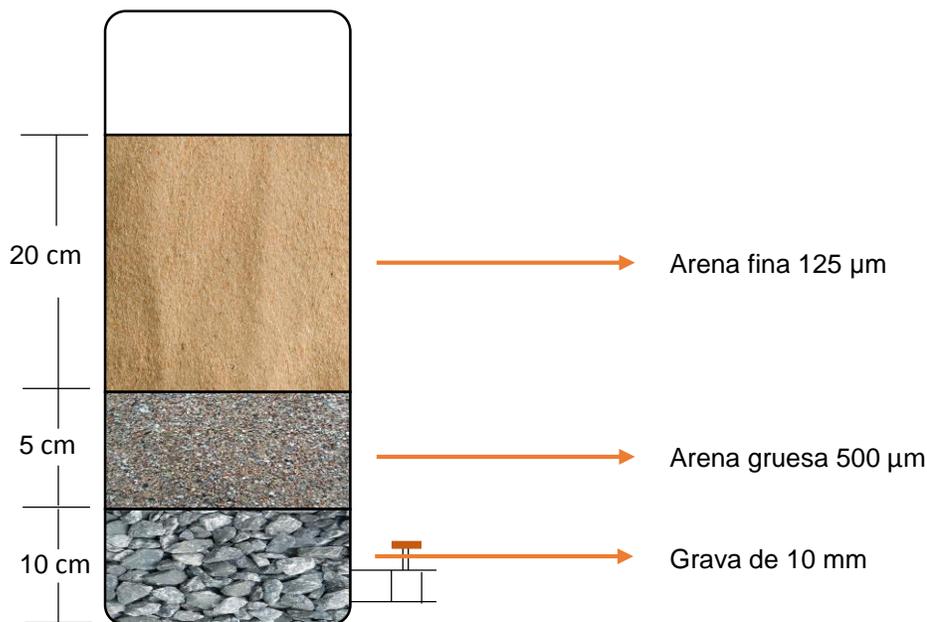


Figura 3.2. Distribución de medios filtrantes en el filtro de arena y grava.

ACTIVIDAD 5. PREPARACIÓN DEL MATERIAL GRANULAR Y CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO DE PIEDRA PÓMEZ Y GRAVA

La piedra pómez fue adquirida en un depósito de construcción de bloques en la ciudad de Portoviejo. Antes del proceso de tamizaje y zaranda, fue necesario la trituración de la piedra pómez, para facilitar el proceso. Luego se molió la piedra pómez, y se procedió a realizar el mismo procedimiento realizado para la arena, se utilizó el tamiz N° 35 con mallas de 0,5 mm de abertura para piedra pómez gruesa, y el tamiz N° 120 con mallas de 0,125 mm de abertura para piedra pómez fina. Posteriormente, se procedió a esterilizar la piedra pómez de forma que no contenga impurezas y, se guardó en bolsas ziploc separada en piedra pómez fina y gruesa.

La construcción del filtro se llevó a cabo con los mismos lineamientos de la actividad 3, correspondiente a la construcción del filtro de arena y grava.

La grava se colocó a 10 cm de altura desde la base del recipiente del filtro, la piedra pómez gruesa a 5 cm y la fina a 20 cm, siguiendo los lineamientos del diseño del filtro de arena y grava (Ver figura 3.3.).

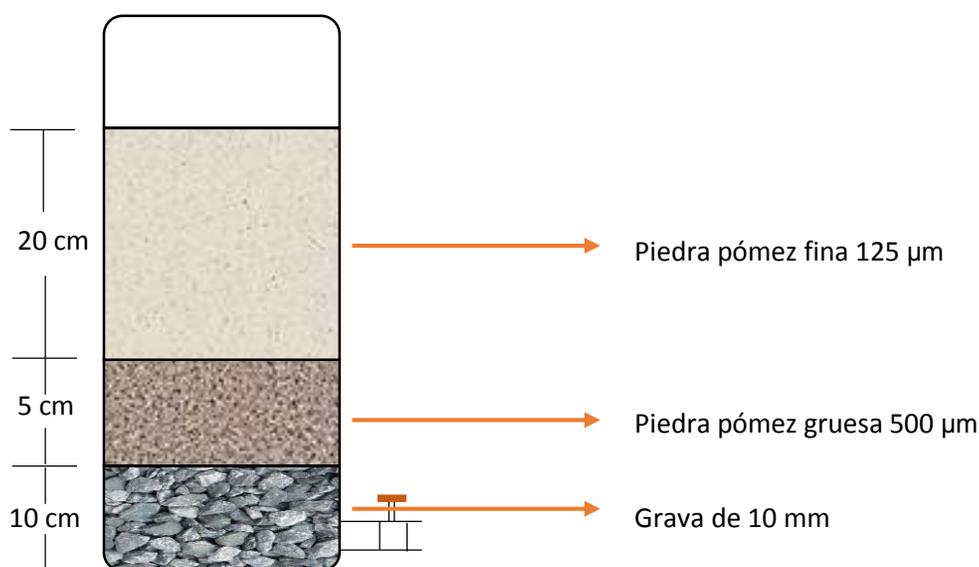


Figura 3. 3. Distribución de medios filtrantes en el filtro de piedra pómez y grava.

ACTIVIDAD 6. EJECUCIÓN DE LOS DOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Para la ejecución de los sistemas de filtración se tomaron como muestra 60 litros de las aguas residuales porcinas para el filtro gravitatorio de arena y grava, y 60 litros para el filtro gravitatorio de piedra pómez molida y grava, los cuales pasaron a través de los sistemas de tratamiento primario distribuidos en 3 repeticiones; es decir, 20 litros por repetición, y el agua filtrada fue recogida en un reservorio. Para evitar que se rebose el recipiente de cada tratamiento, se reguló la entrada del caudal del efluente al filtro de manera manual mediante una llave de corte.

Los procesos de filtración fueron realizados durante un lapso de 3 días. El tiempo de vida útil de los filtros dependerá de la limpieza continua que se le realice a los medios filtrantes y una vez ya deteriorados se procederá a reemplazarlos.

Adicional a esto, se calculó de manera empírica el tiempo de retención de cada filtro. Esto con el fin de verificar cuál de los dos tratamientos presentaba una mayor acumulación de sólidos suspendidos en el lecho filtrante.

3.6.3. FASE III. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AMBOS PROCESOS

ACTIVIDAD 7. TOMA DE MUESTRAS DE LOS SISTEMAS DE FILTRACIÓN GRAVITATORIA

Una vez culminados los procesos de filtración, se procedió a tomar dos muestras, una correspondiente al filtro gravitatorio de arena y grava, y otra del filtro gravitatorio de piedra pómez molida y grava. Se realizó el mismo procedimiento que en la actividad 1 para la toma de muestras y se utilizaron los mismos métodos y procedimientos para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. La muestra para el parámetro de demanda química de oxígeno (DQO) fue enviada al laboratorio INSPECTORATE DEL ECUADOR S.A. acreditado por el SAE (N° SAE LEN 07-006) y A2LA (N° 2101 y N° 2185.02), ubicado en la ciudad de Guayaquil.

Los parámetros de sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, pH, coliformes fecales y coliformes totales fueron realizados en los laboratorios de Química ambiental y laboratorio de Microbiología, ubicados en el área agroindustrial de la ESPAM “MFL”.

ACTIVIDAD 8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN AMBOS PROCESOS DE FILTRACIÓN

En esta actividad, se procesaron los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, para lo cual se procedió a realizar una tabulación de los mismos en el programa Microsoft Excel, para el respectivo análisis, síntesis y discusión, con la finalidad de establecer interrelaciones entre las variables, que permitieron la aceptación o rechazo de la idea a defender de la presente investigación. Se calculó el porcentaje de remoción haciendo uso de la siguiente fórmula propuesta por Chuchón y Aybar (2008):

$$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100 \quad [3.1]$$

Donde:

C: representa la concentración del parámetro.

ACTIVIDAD 9. VERIFICACIÓN DE IDEA A DEFENDER

Se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics, donde se realizó una Prueba T para muestras independientes, la cual según Ferrer *et ál.* (2011) tiene como finalidad evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias. Por otro lado, Sánchez y Reinaldo (2015) mencionan que la prueba T resulta adecuada al comparar dos medias aunque una de las dos muestras no tenga distribución normal pero la otra sí y además que la razón de la varianza grande a la más pequeña sea <2.

El propósito fue verificar si existe o no diferencia significativa entre los dos tratamientos empleados, mediante un nivel de significancia fue de 0,05 (5%). A continuación se detallan los pasos seguidos para esta validación.

En primer lugar, basándose en la idea a defender de la presente investigación, se plantearon las siguientes hipótesis alterna y nula.

H_1 = Existe diferencia significativa entre la media de remoción del filtro de piedra pómez y la media de remoción el filtro de arena.

H_0 = No existe diferencia significativa entre la media de remoción del filtro de piedra pómez y la media de remoción el filtro de arena.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES PORCINAS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización físicoquímica del agua residual porcina analizada.

Cuadro 4.1. Características físicoquímicas del agua residual porcina

Parámetros	Resultados
Sólidos suspendidos totales (SST)	0,058 % / 580 mg/l
Sólidos disueltos totales (SDT)	581 PMM/ 581 mg/l
Coliformes fecales	>190000 UFC/ml
Coliformes totales	190000 UFC/ml
DQO	820 mg/l
pH	6,64

Según el cuadro 4.1., para lo correspondiente a sólidos suspendidos totales (SST), muestra una concentración alta (580 mg/l), esto tiene relación según Ortíz y Riascos (2016) a la cantidad presente de material orgánico de baja densidad representado por la materia fecal. Además, este resultado para SST se encuentra en los intervalos de concentración de contaminantes que reporta Pérez (2001) los cuales se encuentran entre los 83 y 20020 mg/l. Boursier *et ál.* (2005, como se citó en Cervantes *et ál.*, 2007) indican que las aguas residuales porcinas llegan a tener concentraciones desde 8,2 g/l a 42,5 g/l (8200 mg/l, 42500 mg/l), lo cual se ve influenciado por el tamaño de la granja y si realizan algún tratamiento. La industria porcina de acuerdo a Garzón y Buelna (2014) ha provocado efectos severos en el ambiente por la acumulación de desechos sólidos sin tratar y por la contaminación de diferentes cuerpos de agua donde son descargadas sus aguas residuales.

Respecto a coliformes fecales y coliformes totales, se obtuvieron valores de >190000 UFC/ml y 190000 UFC/ml, respectivamente. Los resultados correspondientes a CF se encuentran por debajo de los valores comunes en otros estudios de aguas residuales porcinas, los cuales tienen valores de aproximadamente 800000 UFC/ml según el estudio realizado por Alarcon (2018). Estos resultados son corroborados además por Méndez *et ál.* (2010) mismos que tuvieron valores desde 100000 UFC/ml hasta 1000000 UFC/ml en lo que corresponde a coliformes totales y desde 220 UFC/ml hasta 700000000 UFC/ml para coliformes fecales.

En lo correspondiente a demanda química de oxígeno se obtuvo un valor de 820 mg/l, esto es justificado por el estudio realizado por Sandoval *et ál.* (2020) el cual presentó un valor de aproximadamente 800 mg/l para una granja de traspatio (granja pequeña de autoconsumo); además se presentaron concentraciones de 700 mg/l para SST y 4000 NMP /100 ml para CT.

El potencial de hidrógeno (pH) se encuentra en un estado ligeramente ácido (6,64), esto es respaldado por la investigación realizada por Garzón y Buelna (2014) el cual caracterizó las aguas residuales de 6 granjas, obteniendo valores de entre 6,5 a 7,8 respecto a pH. Según Gallo y Gallo (2016) las aguas residuales porcinas poseen valores de pH de entre 6 y 8, los cuales se ven influenciados por el estado de las excretas, tendiendo a un pH neutro cuando las excretas son más frescas; corroborando esto Boursier *et ál.* (2005, como se citó en Cervantes *et ál.*, 2007) los cuales mencionan que el pH de efluentes porcinos varían de 6,5 a 7,5.

Cuadro 4.2. Resultados de muestra inicial.

Parámetros	Resultados	Límite máximo permisible TULSMA	Cumplimiento (SI/NO)
Sólidos suspendidos totales (SST)	0,058% / 580 mg/l	130 mg/l	NO
Sólidos disueltos totales (SDT)	581 PPM/581 mg/l		
Sólidos totales	1161 mg/l	1600 mg/l	SI

Coliformes fecales	>190000UFC/ml 284557,91 NMP/100ml	10000 NMP/100ml	NO
Coliformes totales	190000 UFC/ml		
DQO	820 mg/l	200 mg/l	NO
pH	6,64	6-9	SI

De acuerdo a los parámetros descritos en el cuadro 4.2., en lo que respecta a SST, CF y DQO, ninguno cumple con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA, descritos en la Tabla 9 para descargas a un cuerpo de agua dulce, esto confirma los daños por contaminación que se ven reflejados en el cuerpo de agua, que se encuentra a metros del lugar de investigación, donde se descargan las aguas residuales porcinas sin ningún tipo de tratamiento, simplemente separan las excretas y las vierten en el suelo alrededor de la granja, siendo de igual manera una contaminación al suelo. Al tratarse de aguas residuales no tratadas, es imposible no encontrar parámetros con altas concentraciones de contaminación; sin embargo, esto depende del tipo de granja porcina.

Según Paniagua (2018) las granjas tecnificadas y semitecnificadas poseen una mayor concentración de contaminantes, debido a que se utilizan menos volúmenes de agua, situación contraria sucede en las granjas de traspatio o de autoconsumo (mayor volumen de agua), esto es corroborado por las investigaciones realizadas por Blanco *et ál.* (2015) que obtuvieron valores de 10864 mg/l para DQO y 2264 mg/l para SST; por otro lado 25205 mg/l para DQO y 15042 mg/l para SST según los resultados obtenidos por Garzón y Buelna (2014), esto para granjas tecnificadas y semi tecnificadas; mientras que en esta investigación se presentan valores menores al ser una granja de autocosumo pequeña.

El verter las aguas residuales directamente sin ningún tipo de tratamiento previo es un daño seguro a los recursos agua (junto con su vida acuática) y suelo; además de las afectaciones a la salud de los pobladores que utilizan el agua de río para sus actividades diarias, ya que según Cervantes *et ál.* (2007) las explotaciones porcinas y sus aguas residuales generan impactos ambientales negativos sobre las fuentes

de agua, siendo ampliamente criticadas y mayormente vigiladas por la autoridad ambiental; sin embargo, esto no se traduce en un cumplimiento adecuado de la normativa.

4.2. DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN GRAVITATORIA

La carga hidráulica superficial (CHS) dio como resultado para un caudal de 0,65 litros/min y un área de 0,277 m², que es la media de las áreas de flujo superior e inferior del filtro lo siguiente:

$$CHS = \frac{Q}{A}$$

$$CHS = \frac{0,65 \text{ l/min}}{0,277 \text{ m}^2}$$

$$CHS = 2,35 \text{ l/m}^2\text{min}$$

El caudal a filtrar fue calculado de manera empírica, tomando el tiempo en el que se llenaba un recipiente de 650 ml, dando como resultado 1 min. Cabe mencionar, que se buscó llenar el filtro con un caudal mínimo ya que, al ser a pequeña escala, y no disponer de una altura considerable para el agua sobrenadante, podía rebosar el recipiente del filtro. Para tratar el caudal de las aguas residuales porcinas generadas en tiempo real, se debe disponer de un área mayor para el proceso de filtración.

Cuadro 4.3. Tiempos de retención para un volumen de 20 litros.

Día	TRH-Filtro de arena y grava	TRH-Filtro de piedra pómez y grava
1	1 h 20 min	1 h 26 min
2	1 h 35 min	1 h 45 min
3	1 h 50 min	1 h 57 min
Promedio	1 h 35 min	1 h 43 min

Se puede evidenciar en el cuadro 4.3., que el tiempo de retención hidráulica fue creciendo conforme aumentaban las repeticiones, esto debido a la cantidad sólidos que contiene el agua residual porcina; ya que Blacio y Palacios (2011) mencionan que el correcto funcionamiento de un filtro disminuye debido a las partículas que provocan pérdida de carga, como son, sedimentos, restos orgánicos, bacterias y microorganismos. Pese a esto, se demuestra que el filtro de piedra pómez podría significar una mayor retención de sólidos, ya que en la investigación realizada por Moncada (2017) el tratamiento con mayor porcentaje de remoción de SST (95,33%) tuvo mayor tiempo de retención hidráulica, lo que demuestra que un mayor tiempo de retención hidráulica está relacionado con una mejor retención de sólidos en el lecho filtrante.

El tiempo de vida útil de los filtros depende de la limpieza continua que se le realice a los medios filtrantes y una vez ya deteriorados se procederá a reemplazarlos; siendo necesario un lavado cada 1 o 2 meses, según lo requiera el filtro. Esto se verá reflejado en un aumento del nivel de agua sobrenadante, según (Sepulcre, 2019).

4.3. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AMBOS PROCESOS

A continuación, se detallan los resultados de análisis fisicoquímicos realizados en los dos sistemas de filtración.

Cuadro 4.4. Análisis fisicoquímicos en ambos sistemas de filtración.

Parámetros	Resultados filtro de piedra pómez y grava	Resultados filtro de arena y grava	LMP TULSMA	Cumplimiento
SST	13 mg/l	55 mg/l	130 mg/l	SI
SDT	557 mg/l	555 mg/l	-	
ST	570 mg/l	610 mg/l	1600 mg/l	SI
CF	10000 UFC/ml 10797,75 NMP/100ml	25000 UFC/ml 29887,45 NMP/100ml	10000 NMP/100ml	NO
CT	15000 UFC/ml 16942,99 NMP/100ml	40000 UFC/ml 50383 NMP/100ml	-	
DQO	45 mg/l	28 mg/l	200 mg/l	SI
pH	7,08	6,45	6-9	SI

El cuadro 4.4., muestra los resultados obtenidos para cada parámetro en cada proceso de filtración, evidenciándose que, en lo correspondiente a SST, ST, DQO y pH cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA, situación contraria con el parámetro de coliformes fecales, el cual no cumple con el límite máximo permisible pese a los tratamientos realizados al agua. Para SDT y CT el TULSMA no registra límites, sin embargo, Perugachi (2015) indica que los SDT altos producen al agua un sabor amargo, a metal o salado, pueden indicar presencia de minerales tóxicos y dureza en la misma; respecto a los CT según Araujo (2017) deben encontrarse en concentraciones bajas, ya que esto conlleva a problemas al ambiente, malos olores y problemas en la salud de las personas que tienen contacto o utilizan el agua para sus actividades diarias.

Cuadro 4.5. Porcentajes de remoción de SST para ambos procesos de filtración.

Tratamiento	SST inicial (mg/l)	SST final (mg/l)	Remoción de SST (mg/l)	$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100$
Arena y grava	580	55	525	90,57%
Piedra pómez y grava	580	13	567	97,76%

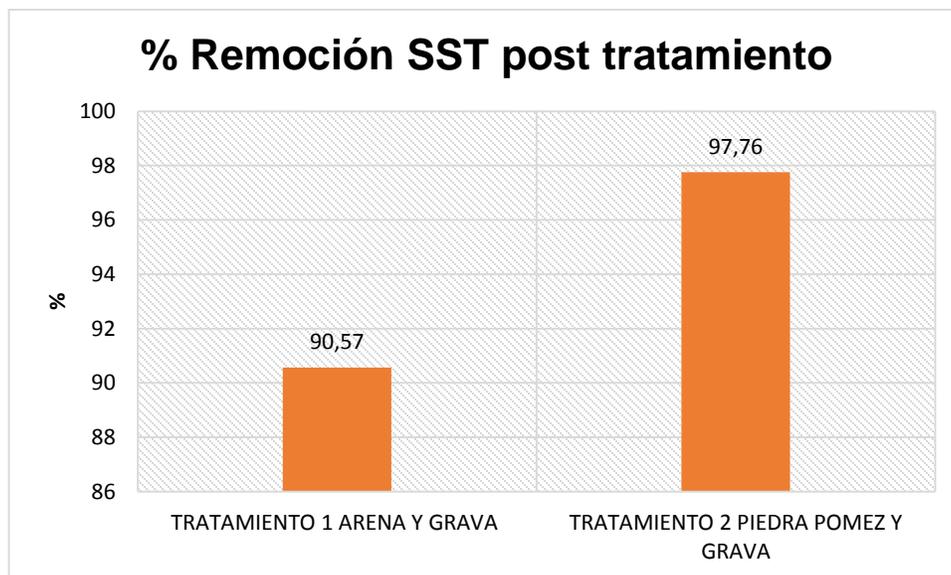


Gráfico 4.1. % de remoción de SST final para cada tratamiento

El cuadro 4.5., muestra los datos obtenidos para el parámetro de sólidos suspendidos totales después del tratamiento en ambos procesos de filtración; se lograron reducciones de 580 mg/l a 55 mg/l, y 581 mg/l a 13 mg/l para los filtros de arena y piedra pómez, respectivamente.

En lo que corresponde al porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales, el filtro de piedra pómez y grava tuvo un mayor porcentaje de remoción (97,76%) frente al filtro de arena y grava (90,57%). Se evidencia una diferencia entre valores de remoción de 7,19% (a favor del filtro de piedra pómez y grava). De acuerdo a la investigación realizada por Cevallos (2015) con título “Evaluación de sistemas de Biofiltración en aguas residuales industriales” utilizando piedra pómez como medio filtrante, se obtuvo un porcentaje de remoción de sólidos suspendidos de 98% a 99%.

Ortíz y Riascos (2016) indican que un alto porcentaje de remoción de sólidos suspendidos se ve influenciado por la granulometría del lecho filtrante, esto con base a estudios donde tamaños de grano de 0,17 mm y 0,35 mm presentaron porcentajes de remoción de hasta 95,99 %; lo cual justifica la presente investigación

donde se utilizaron tamaños de 0,55 mm ($500 \mu m$) para arena y piedra pómez gruesa y 0,12 mm ($125 \mu m$) para arena y piedra pómez fina.

Cuadro 4.6. Porcentajes de remoción de SDT para ambos procesos de filtración.

Tratamiento	SDT inicial (mg/l)	SDT final (mg/l)	Remoción de SDT (mg/l)	$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100$
Arena y grava	581	555	26	4,47%
Piedra pómez y grava	581	557	24	4,13%

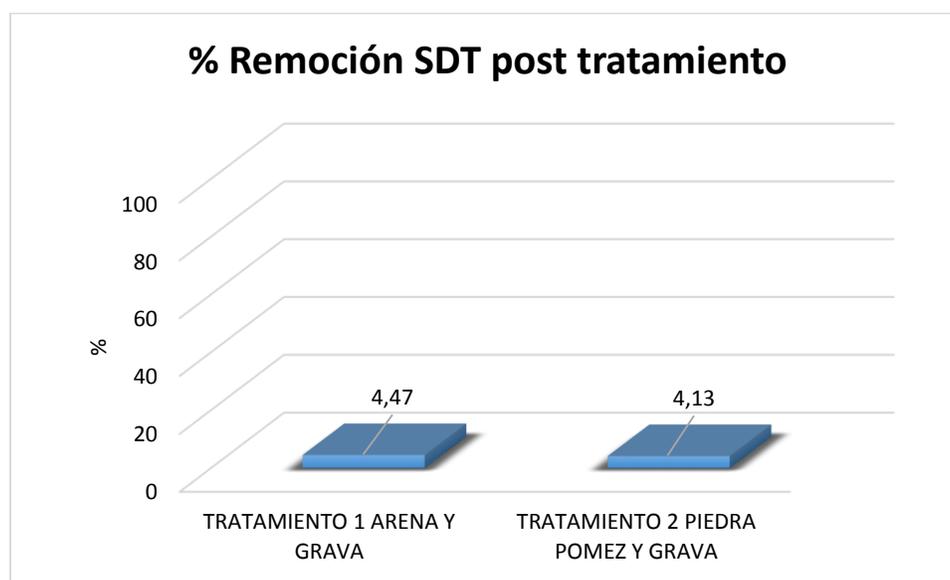


Gráfico 4.2. % de remoción de SDT final en ambos tratamientos.

El cuadro 4.6., muestra los datos obtenidos para el parámetro de sólidos disueltos totales después del tratamiento en ambos procesos de filtración. En este caso en particular, se obtuvieron reducciones de 581 mg/l a 555 mg/l y 580 mg/l a 557 mg/l para los filtros de arena y piedra pómez, respectivamente.

Basándose en el gráfico 4.2., el porcentaje de remoción para ambos procesos de filtración fue mínimo con valores de 4,47% y 4,13% para los filtros de arena y piedra pómez, respectivamente. Según Lugo (2017) en un estudio realizado donde se utilizó una filtración lenta de arena, solo se logró una remoción de sólidos disueltos

totales del 6%, esto justifica el bajo porcentaje de remoción para SDT en la presente investigación. Situación contraria en la investigación realizada por Ortíz y Riascos (2016) donde se obtuvo un porcentaje de remoción de 91% para este parámetro. Con base a los resultados expuestos, se evidencia la variabilidad que presenta la capacidad de remoción en lo que respecta a SDT mediante filtros lentos.

Cuadro 4.7. Porcentajes de remoción de ST en ambos procesos de filtración.

Tratamiento	ST inicial (mg/l)	ST final (mg/l)	Remoción de ST (mg/l)	$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100$
Arena y grava	1161	610	551	47,45%
Piedra pómez y grava	1161	570	591	50,90%

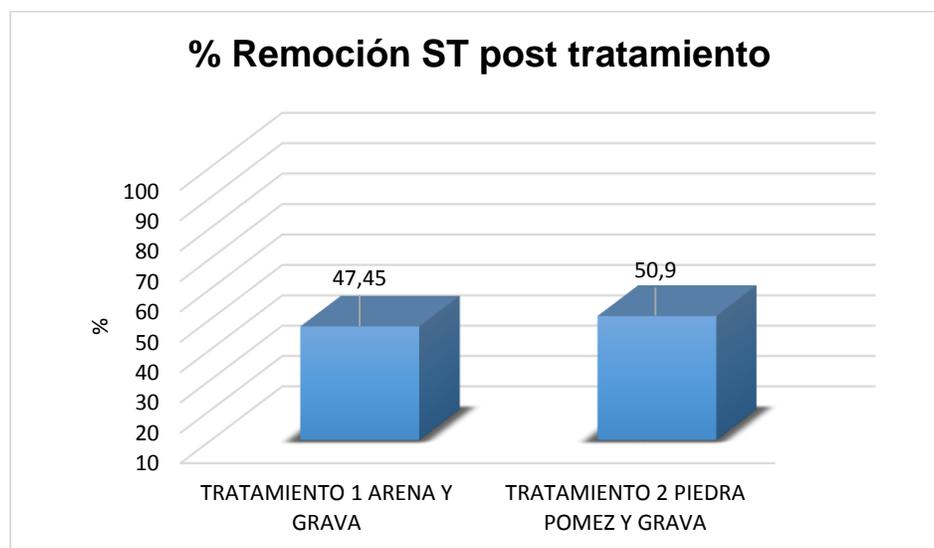


Gráfico 4.3. % de remoción de ST final en ambos tratamientos.

De acuerdo al cuadro 4.7., el filtro de arena y grava redujo los valores de 1161 mg/l a 610 mg/l, y el filtro de piedra pómez redujo de 1161 mg/l a 570 mg/l.

Según muestra el gráfico 4.3., el mayor porcentaje de remoción fue el del filtro de piedra pómez y grava (50,90%) frente al de arena y grava (47,45%); lo que indica una diferencia de valores de remoción del 3,45%. Llanos y Mirano (2018) en su investigación, obtuvieron una remoción de 58,25% para un filtro lento de arena; por

el contrario en la presente investigación el filtro de piedra pómez fue el que tuvo una mayor remoción (50%), esto se justifica debido a los grados de porosidad que contiene, ya que Váscomez (2017) menciona que mientras las partículas más pequeñas se retienen en sus poros, las más grandes se retienen en el lecho; además Vélez (2019) indica que la piedra pómez está compuesta mayormente por trióxido de sílice, el cual es uno de los materiales más usados para la absorción por su gran superficie efectiva.

Cuadro 4.8. Porcentajes de remoción de CF en ambos procesos de filtración.

Tratamiento	CF inicial (UFC/ml)	CF final (UFC/ml)	Remoción de CF (UFC/ml)	$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100$
Arena y grava	>190000	25000	>165000	86,84%
Piedra pómez y grava	>190000	10000	>180000	94,73%

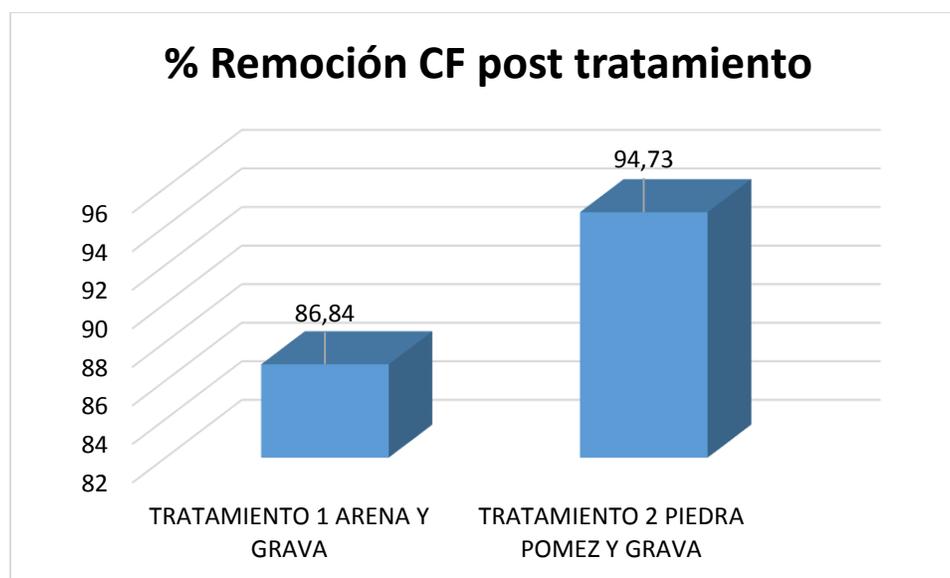


Gráfico 4.4. % de remoción de CF final en ambos tratamientos

En lo que corresponde a coliformes fecales, el cuadro 4.8., muestra que el filtro de arena y grava redujo los CF de >190000 UFC/ml a 25000 UFC/ml; mientras que, el filtro de piedra pómez y grava redujo de >190000 UFC/ml a 10000 UFC/ml.

El gráfico 4.4., muestra los porcentajes de remoción para ambos procesos de filtración, con valores de 86,84% y 94,73% para los filtros de arena y piedra pómez, respectivamente. Existe una diferencia de valores de remoción de 7,89% (a favor del filtro de piedra pómez y grava). La piedra pómez debido a su alto porcentaje de absorción, redujo la concentración de CF, esto lo corroboran Torres *et ál.* (2017) el cual determinaron un 99,9% de remoción de CF utilizando piedra pómez y arena en el lecho filtrante.

Cuadro 4.9. Porcentajes de remoción de CT en ambos procesos de filtración.

Tratamiento	CT inicial (UFC/ml)	CT final (UFC/ml)	Remoción de CT (UFC/ml)	$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100$
Arena y grava	190000	45000	145000	76,31%
Piedra pómez y grava	190000	15000	175000	92,10%

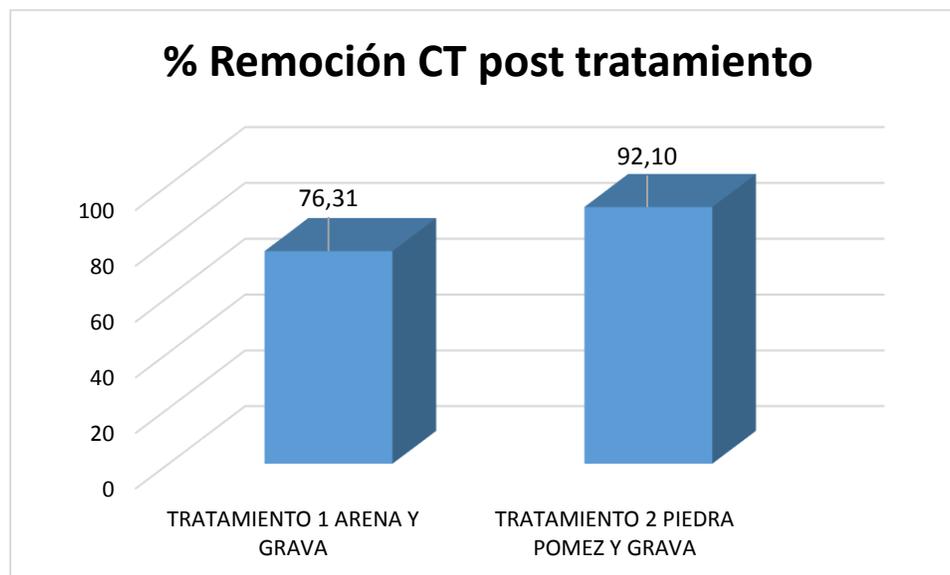


Gráfico 4.5. % de remoción de CT final en ambos tratamientos

El cuadro 4.9., muestra los valores de coliformes totales antes y después de ambos procesos de filtración. El filtro de piedra pómez grava redujo la concentración de CT

de 190000 UFC/ml a 15000 UFC/ml, y el filtro de arena y grava presentó una reducción de 190000 UFC/ml a 45000 UFC/ml.

El gráfico 4.5., demuestra una mayor eficiencia para el filtro de piedra pómez, con un porcentaje de remoción de 92,10% frente al filtro convencional de arena y grava (76,31%). El porcentaje de remoción del filtro de piedra pómez, se acerca al obtenido por Torres *et ál.* (2017), obtuvieron valores de remoción del 99,9% para coliformes totales empleando arena y piedra pómez en su lecho filtrante.

Cuadro 4.10. Porcentajes de remoción de DQO en ambos procesos de filtración.

Tratamiento	DQO inicial (mg/l)	DQO final (mg/l)	Remoción de DQO (mg/l)	$\%Remoción = \frac{C_{afluente} - C_{efluente}}{C_{afluente}} * 100$
Arena y grava	820	28	792	96,58%
Piedra pómez y grava	820	45	775	94,51%

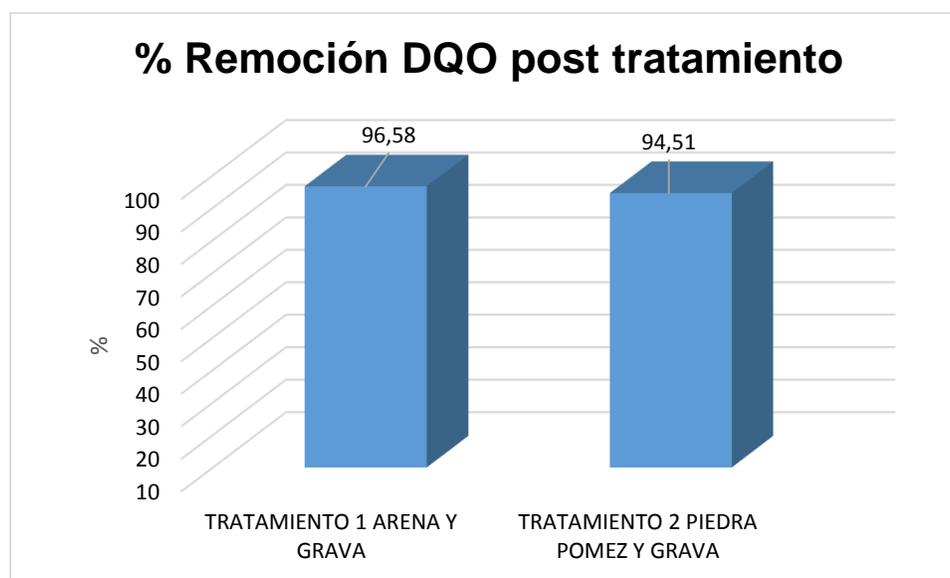


Gráfico 4.6. Concentraciones de DQO finales en ambos tratamientos.

Según el cuadro 4.10., el filtro de arena y grava redujo la DQO desde 28 mg/l a 820 mg/l, y el de piedra pómez tuvo un valor final de 45 mg/l frente a 820 mg/l.

El gráfico 4.6., muestra los porcentajes de remoción para los sistemas de filtración, con valores de 96,58% para el filtro de arena y grava y 94,51% para el filtro de piedra pómez y grava. Se evidencia una diferencia entre valores de remoción del 2,07 % (a favor del filtro de arena y grava). Estos datos se encuentran entre los obtenidos por Sánchez (2016) con porcentajes de remoción del 85% y 95% con el uso de piedra pómez como parte del medio filtrante. Por otro lado, Nata (2018) en su investigación logró reducir en un 50,91% el parámetro de DQO, esto puede estar relacionado a que en su investigación sólo utilizó piedra pómez como material filtrante y con una granulometría mayor a la utilizada en el presente estudio.

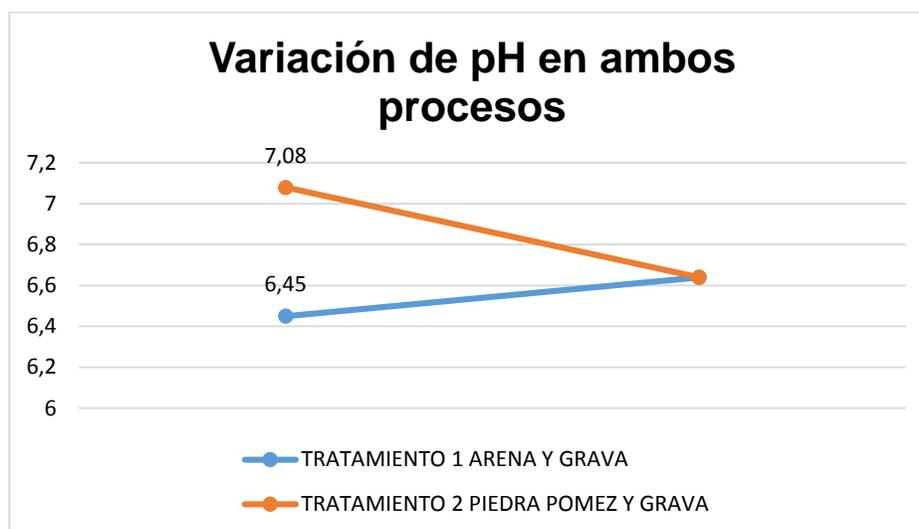


Gráfico 4.7. Variación de pH post tratamiento para ambos procesos.

Según lo muestra el gráfico 4.7., el filtro de piedra pómez provocó que el agua presente una mayor tendencia a un pH neutro ligeramente alcalino (7,08), de la misma manera Torres *et ál.* (2017) en su investigación reportaron un aumento en el pH con el uso del filtro, esto puede atribuirse según el mismo autor al uso de piedra pómez y otras calizas como material filtrante; mientras que el filtro de arena redujo el pH a una forma más ácida de 6,64 a 6,45. Sin embargo, con base a lo establecido por el TULSMA, el agua pre y post tratamiento para ambos procesos se encuentra en el límite máximo permisible para descargas a cuerpos de agua dulce (6-9).

Mediante la prueba de normalidad, se determinó que una de las variables (filtro de piedra pómez) no sigue una distribución normal ($>0,05$); sin embargo, fue justificable realizar la prueba t de student, ya que la otra variable sí presentó una distribución normal y la razón de la varianza grande a la más pequeña fue < 2 (1.15), esto según lo establecido por Sánchez y Reinaldo (2015). El gráfico 4.8., muestra que existe una diferencia entre los porcentajes de remoción entre la piedra pómez y grava, así mismo, se evidencia una diferencia entre las medias establecidas en el cuadro 4.11; sin embargo, para validar si es significativa se analiza la prueba t de student.

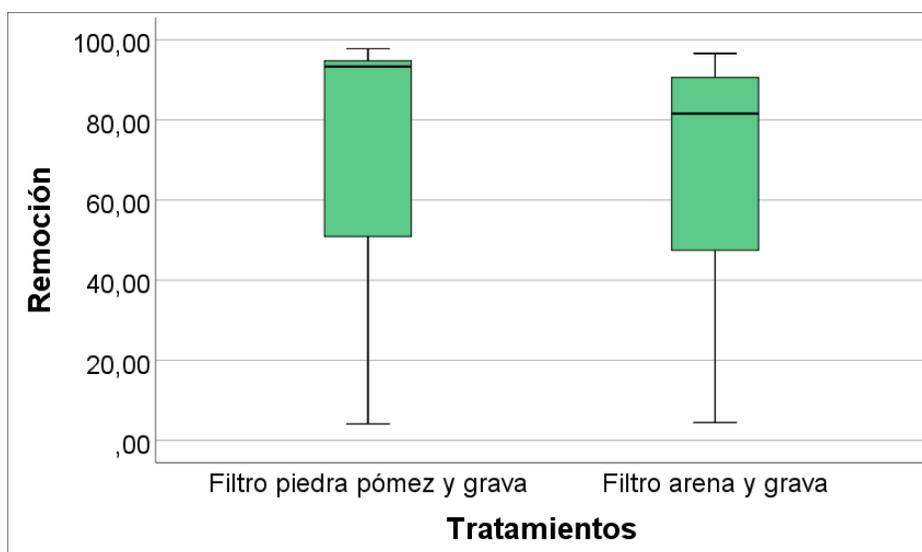


Gráfico 4.8. Diagrama de cajas para la diferencia de remoción entre tratamientos.

Cuadro 4.11. Media y desviación estándar para los tratamientos.

Estadísticas de grupo					
	Tratamientos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Remoción	Filtro piedra pómez y grava	6	72,3550	37,79347	15,42912
	Filtro arena y grava	6	67,0367	35,22220	14,37940

El cuadro 4.12., muestra los resultados obtenidos en la Prueba t de Student, obteniéndose un valor de significancia de 0,821 para el análisis de igualdad de

varianzas frente a $\alpha=0,05$, con lo cual se establece que las varianzas son iguales al ser $0,806 > 0,05$. Con base a esto, se aprueba la hipótesis nula de que no existe diferencia significativa entre las medias de remoción entre tratamientos, ya que el valor de significancia para la prueba T de Student (0,806) es mayor a $\alpha=0,05$, pudiéndose utilizar ambos procesos con similares resultados de remoción de contaminantes.

Cuadro 4.12. Prueba T de Student para muestras independientes.

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
										Inferior	Superior
Remoción	Se asumen varianzas iguales	,054	,821	,252	10	,806	5,31833	21,09087	-41,67506	52,31173	
	No se asumen varianzas iguales			,252	9,951	,806	5,31833	21,09087	-41,70660	52,34327	

Las aguas residuales son un creciente problema en el mundo, debido a la falta de tratamientos eficientes, económicos y de fácil operación, siendo esto la principal limitación de los dueños de las pequeñas granjas porcinas. Sin embargo, es indispensable el tratamiento de las aguas residuales de estas granjas, debido a las altas concentraciones de contaminantes responsables de la contaminación de aire, agua, suelo y la salud de la población. En una investigación realizada por Pérez (2017) en donde se evaluaron los impactos ambientales que causan las aguas residuales porcinas se determinó que el recurso suelo tiene un impacto alto debido al mal manejo de residuos, el agua un impacto medio por el vertido de aguas residuales y el aire un impacto bajo por olores ofensivos. Los tratamientos de aguas residuales porcinas se vienen dando de diferentes maneras a lo largo del tiempo, Blanco *et ál.* (2015) utilizó en su investigación digestores de laguna tapada para remoción de contaminantes en residuales porcinos obteniendo resultados de hasta

90 % para DQO y 71 % para SST, por otro lado Garzón y Buelna (2014) utilizaron un digestor anaeróbico donde obtuvieron una remoción del 92 % para DQO y 93 % para SST.

El filtro lento es una de las tecnologías más usadas para la remoción de sólidos suspendidos, viéndose influenciada su eficiencia por el material filtrante utilizado. En una investigación realizada por Alberca (2018) se utilizó zeolita y grava como medio filtrante obteniendo una remoción del 25 % al 80 % para sulfatos, cloruros y DQO. Por su parte Valencia *et ál.* (2009) realizaron una investigación utilizando arena como medio filtrante para tratamiento terciario de aguas residuales domésticas, donde se presentaron remociones del 83 y 94 % para SST, siendo una tecnología apropiada para la remoción de contaminantes. La piedra pómez molida por su parte no ha sido utilizada como medio filtrante en filtros lentos para remoción de contaminantes, sin embargo, se ha estudiado su eficiencia en la adsorción de gases contaminantes, esto según la investigación realizada por Vélez (2019) donde se utilizó piedra pómez molida y carbón activado para adsorción de metano, donde se concluyó que los tratamientos con mayor cantidad de carbón activado tuvieron mayor eficiencia, pese a esto se resaltó que la piedra pómez molida al tener la capacidad de reterner humedad facilita el proceso de adsorción de metano dentro de los filtros.

En un estudio realizado por Siza (2018) se evaluó la eficiencia de la piedra pómez en la reducción de contaminantes, los resultados que se obtuvieron, demostraron que este material ayuda a reducir notablemente las concentraciones del DQO y DBO₅; además se demostró que es un material biodegradable muy eficiente para descontaminar aguas que contengan Cr⁶⁺, con un porcentaje de hasta un 80,77 %. Esto lo corrobora Salguero (2018) el cual indica en su investigación que al analizar la eficiencia de la piedra pómez en la reducción de DQO y DBO₅, se obtuvieron buenos resultados en la remoción de estos parámetros, con porcentajes de eficiencia de hasta DQO (81,7%) y DBO₅ (81,9%). Estos datos justifican los resultados obtenidos en la presente investigación por parte de la piedra pómez

molida y el filtro convencional de arena y grava, que, aunque no presentan diferencias significativas, el filtro de piedra pómez puede presentar mejores resultados al implementarse en las plantas de tratamiento convencionales, debido a su bajo costo y fácil obtención.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Mediante la caracterización de las aguas residuales porcinas se obtuvieron valores de 580 mg/l para los SST; 581mg/l para SDT; >190000 UFC/ml para coliformes fecales; 190000 UFC/ml para coliformes totales y 820 mg/l de DQO, encontrándose por encima de los límites permisibles establecidos por el TULSMA.
- Se obtuvo una carga hidráulica superficial de $2,35 \text{ l/m}^2\text{min}$, para un caudal de entrada al filtro de 0,65 litros/min, todo esto para un área de flujo media de $0,277 \text{ m}^2$. Se mantuvo un caudal mínimo para evitar un rebose del agua sobrenadante. Se obtuvo un tiempo de retención promedio de 1 h y 35 min para el filtro de arena y grava, y un tiempo de 1 h y 43 min para el filtro de piedra pómez y grava.
- Los porcentajes de remoción estuvieron desde el 4% para los SDT en ambos sistemas de filtración; 50,90% a 97,76% para el filtro de piedra pómez y grava, y 47,45% a 96,58% para el filtro de arena y grava, en los parámetros restantes. Se determinó que la remoción de contaminantes del filtro de piedra pómez frente al filtro de arena y grava no es significativa, dando un valor de 0,806 ($>0,05$).

5.2. RECOMENDACIONES

- Para una mejor caracterización de las aguas residuales porcinas es recomendable verificar más parámetros fisicoquímicos, como la turbidez, con el fin de verificar si es recomendable utilizar un pre tratamiento del agua antes de ser pasada por los procesos de filtración y evitar estancamiento.
- La construcción de los filtros debe realizarse con una capa de agua sobrenadante mayor que la utilizada en el presente trabajo de investigación, cuando se requiera calcular la pérdida de carga y requerimiento de mantenimiento del lecho filtrante.
- En futuras investigaciones considerar diferentes alturas y diámetros de partículas en el lecho filtrante de piedra pómez, con el fin de verificar si existe otro tratamiento que presente mejores resultados que los obtenidos en la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, R. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 23(1).
- Alarcon, L. (2018). Efecto de la micro alga (*Chlorella vulgaris*) en el tratamiento de efluentes provenientes de la explotación bovina y porcina ubicados en la granja experimental de la facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8488/1/Tesis%20Luis%20Alarc%C3%B3n.pdf>
- Alberca, Á. (2018). Disminución de contaminantes tipo fosfatos en el río peripa mediante el uso de zeolitas. Tesis de grado. Universidad Internacional SEK. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3089>
- American public health association (APHA) (2012). Standard Methods for examination of water and wastewater. Washington DC: Centennial. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/apha.method.9221.1992.pdf>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2019. Official Methods of Analysis, 21st Edition (2019). Vol. 1.
- Araujo, S. (2017). Remoción de coliformes totales y fecales en lodos por procesos electroquímicos, planta de tratamiento de aguas residuales—Lima 2017. Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3485>
- Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., y Hernández, M. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador técnico(74), 12-22.
- Báez, M. (2009). Validación de métodos de ensayo para el análisis de parámetros físico-químicos en aguas limpias y residuales en el laboratorio de medio ambiente. Título de grado. Universidad Politécnica del Ejercito., Sangolqui. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/772>
- Bermeo, D., y Salazar, F. (2013). Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa textil. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6215>
- Blacio, D., y Palacios, J. (2011). Filtros biológicos para la potabilización del agua, posibilidades de uso de FLA (filtros lentos de arena) con agua superficial de nuestra región. Tesis de grado. Universidad de Cuenca., Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/751>
- Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L., Cabeza, E., y Verde, J. (2015). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de

- laguna tapada. *Pastos y Forrajes*, 38(4), 441- 447. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v38n4/pyf08415.pdf>
- Cadena, P., Rendón, R., Aguilar, J., Salinas, E., De la Cruz, F., & Sangerman, D. (2017). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. *Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1603-1617. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000701603&lng=es&tlng=es
- Campos, I. (2000). *Saneamiento Ambiental (Primera ed.)*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Can, A., Ortega, H., Sánchez, E., y Cruz, E. (2014). Calidad del agua para riego en la Sierra Norte. *Tecnología y Ciencias del Agua*, V(5), 77-96. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n5/v5n5a5.pdf>
- Cárdena, I., Parra, J., y Parga, C. (2018). Diseño e implementación de un prototipo para la concienciación del consumo de agua en la universidad cooperativa de Colombia Sede Villavicencio. Tesis de pregrado. Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/6828>
- Cáscaret, D., Pérez, N., Marañón, A., y Bajo, R. (2009). Caracterización físico-química de las aguas residuales de la planta. *Revista Cubana de Química*, XXI(2), 22-28. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543717004.pdf>
- Cercado, J., y Zarde, J. (2019). Evaluación del comportamiento de la dbo y dco en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita. Tesis de grado. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2703>
- Cervantes, F., Saldívar, J., y Yescas, J. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista latinoamericana de recursos naturales*, 3(1), 3-12.
- Cevallos, F. (2015). Evaluación de eficiencia de sistemas de biofiltración en aguas residuales industriales. Tesis de grado. Universidad de las Américas. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2503>
- Chuchón, S., y Aybar, C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 165-171. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162008000100020&lng=es&tlng=en

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial. N° 449. Quito, Ecuador.
- Córdoba, M., Del Coco, V., y Basualdo, J. (2010). Agua y Salud Humana. Revista QuimicaViva, 9(3), 105-119. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86315692002.pdf>
- Díaz, H., y Caballero, J. (2015). "Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales y su análisis Técnico - económico - ambiental en la ciudad de Iquitos mediante el uso de Super pro Designer V6 – 2015. Tesis de grado. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú.
- Escalante, V., Garzón, M., y Valle, S. (2012). Remoción de macronutrientes en el tratamiento de aguas residuales porcícolas. Ra Ximhai Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, 8(3), 75-82.
- Ferrer, K., Hernández, M., Blanca, S., Chacín, J., González, E., y Archile, A. (2011). Evaluación del rendimiento estudiantil de química analítica en dos planes de estudio. Educere, 15(52), 651-662.
- Freire, P. (2012). Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa TEIMSA- Ambato. Riobamba, Ecuador: (tesis de pregrado). Universidad Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2337>
- Gallo, B., y Gallo, D. (2016). Dimensionamiento de instalaciones para el tratamiento de purines de una empresa porcina en confinamiento. Tesis de grado. Universidad Nacional de la Pampa. Obtenido de http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/a_galdim042.pdf
- García, N., Villanueva, P., Campos, E., y Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. Quivera Revista de Estudios Territoriales, 14(1), 109-129.
- Garzón, M., y Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. Rev. Int. Contam. Ambie., 30(1), 65-79.
- Gómez, O. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. Revista de la Facultad de Medicina, 66(1), 7-8.
- González, J., González, A., y González, F. (2019). Evaluación de un sistema de filtración lenta en arena como alternativa para la remoción de contaminación bacteriológica en aguas residuales de efluentes secundarios Anaerobio (Primera ed.). Ecuador: In Biblioteca Colloquium.
- Heras, M. (2011). Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia 16 de agosto del cantón Palora, provincia de Morona Santiago y su incidencia en la calidad del agua del estero blanco.

- Tesis de grado. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/105>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1998). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Primera edición.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1998). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:1998. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación. Primera edición.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2015 (agua y alcantarillado). Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Mexico, México: Limusa, S.A.
- Llanos, S., y Mirano, H. (2018). Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada La Oyada, Moyobamba, Perú – 2017. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Martín. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3033>
- Lovato, G., y Espín, M. (2018). “Diseño de jardín depurador piloto para tratamiento de aguas residuales en la hostería Garceta-Sol. Tesis de pregrado, Quito: UCE. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14432>
- Lozano, W., y Lozano, G. (2015). Potabilización del Agua. Principios de diseño, control de procesos y laboratorio. (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Lugo, J. (2017). Evaluación de alternativas de potabilización a bajo costo en comunidades palafíticas en el caribe norte colombiano. Tesis de maestría. Universidad del Norte. Obtenido de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7444/129814.pdf?sequence=1>
- Manrique, H., y Roa, M. (2014). Evaluación técnica y operativa del proceso de tratamiento de agua potable en la empresa de acueducto del municipio yopal, casanare. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2686>
- Mayorga, E., y Carrera, D. (2015). Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego. Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 10(1), 30-36.

- Méndez, R., Castillo, E., Vázquez, E., Briceño, O., Coronado, V., Pat, R., y Garrido, P. (2009). Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería*, 13(2), 13-21. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46713053002.pdf>
- Méndez, R., San Pedro, L., Castillo, E., y Vázquez, E. (2010). Modelación del tiempo de conservación de muestras biológicas de agua. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(4), 327-335.
- Moina, R., y Aldaz, G. (2013). Implementación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Provenientes de las Porquerizas en la Comunidad de San Martín de Veranillo Utilizando Tamuz Comercial. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba- Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2640>
- Moncada, R. (2017). Eficiencia del tratamiento filtro lento de arena en la remoción de carga orgánica en efluentes del mercado de Flores, Barranco, 2017. Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Repositorio de la Universidad César Vallejo., Lima, Perú. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/8959>
- Nata, J. (2018). Análisis de piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de una lavadora y lubricadora de autos "City wash", ubicada en la ciudad ambato, provincia de Tungurahua. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato., Ambato, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27678>
- Navas, A. (2017). Análisis de la fibra de coco como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos "Izurieta" ubicada en el cantón cevallos provincia de Tungurahua. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26854>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2005). Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/029_Dise%C3%B1o_tratamiento_Filtracion_ME/Dise%C3%B1o_tratamiento_Filtraci%C3%B3n_ME.pdf
- Ortíz, A., y Riascos, B. (2016). Determinación de la eficiencia de dos tratamientos naturales de determinación de agua residual doméstica en la inactivación de coliformes para uso en riego agrícola en la finca el Jardín-Tocaima Cundinamarca. Tesis de grado. Universidad de Cundinamarca. Obtenido de <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/274>
- Osorio, F., Torres, J., y Sánchez, M. (2010). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales. Madrid, ES: Diaz de Santos.

- Padilla, R. (2015). Diseño del proceso de potabilización del agua destinada al consumo humano para mejorar sus características físico - químicas en la parroquia San Bartolomé de Pinillo. Tesis de grado. UNIVERSIDAD REGIONAL AUTÓNOMA DE LOS ANDES, Ambato, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/3081>
- Paniagua, E. (2018). Implementación de un sistema de gestión integral de las aguas residuales en la granja porcina Santa Adelaida, Estelí, 2018. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/250144717.pdf>
- Páramo, L., Garmendia, T., y Villalta, J. (2018). Herramientas moleculares para estudiar las aguas de consumo humano del Cacao, Mozonte, Nueva Segovia, Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 31(01), 01-15. doi:<https://doi.org/10.5377/nexo.v31i01.6450>
- Pascual, M., y Calderón, V. (2000). Microbiología alimentaria. Metodología analítica para alimentos y bebidas. (Segunda ed.). Madrid, España: Diaz de Santos.
- Pérez, R. (2001). Porcicultura y contaminación del agua en la Piedad, Michoacán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 17(1), 5-13.
- Pérez, R. (2017). Estudio del impacto ambiental en una granja porcicola en el municipio Tibirita Cundinamarca. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15854>
- Perugachi, R. (2015). Evaluación y la propuesta de la demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos disueltos totales (TDS) en las aguas residuales del baño de tintura en la empresa Textiles Tornasol. Tesis de grado. Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4343>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. Obtenido de : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=816/81640855010>
- Rojas, R. (2002). Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR.pdf?1533263624=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1602891943&Signature=ZcmAWxjZfdXFEBRa3iu0tUjlxlu~Y2kL
- Ruiz, D. (2017). Método de Estimación de Sólidos Suspendidos Totales como Indicador de la Calidad del Agua Mediante Imágenes Satelitales. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/57367/>

- Salgado, K. (2017). Caracterización y análisis de distintas bandas granulométricas de la arena de ramadillas para ser utilizada como material natural de soporte en la extracción no convencional de gas. Tesis de grado. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile. Obtenido de <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/1182>
- Salguero, E. (2018). Análisis de piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria florícola la herradura Floherrera S.A, ubicada en el cantón Salcedo. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato., Ambato, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27801>
- Samboni, N., Carvajal, Y., y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e investigación*, 27(3), 172-181.
- Sánchez, S. (2016). Investigación experimental, “utilización de la liparita o vulcanita para la reducción de parámetros o indicadores físicos, químicos de aguas residuales domésticas”. Tesis de maestría. Universidad de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13037>
- Sánchez, T., y Reinaldo, A. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología*, 26(1), 59-61.
- Sandoval, M., Nani, G., Sandoval, L., Rivera, S., Fernández, G., y Alvarado, A. (2020). Evaluación del desempeño de humedales construidos verticales parcialmente saturados para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, 38.
- Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). (2011). Análisis de la calidad del agua, proceso N°. 682- 10-dn, demarcación hidrográfica Esmeraldas. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/InformeCrecult2.pdf>
- Sepulcre, P. (2019). Proyecto básico de adaptación de eco tecnologías para la gestión de efluentes del proceso industrial del café en el Departamento del Cauca, Colombia. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/170887/Memoria_TFG_PabloSepulcre.pdf
- Siza, C. (2018). Análisis de la piedra pómez como material biodegradable y filtrante en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la curtiduría artesanal palahua, ubicado en la parroquia Totoras, del cantón Ambato y de la provincia de Tungurahua. Tesis de pregrado. Universidad Técnica de Ambato. Repositorio digital - Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28170>

- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ambiente (TULSMA). (2015). Libro VI. Anexo 1. Edición Especial N° 387 - Registro Oficial. Tabla 9. Límites de Descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Toainga, A. (2016). Diseño de un plan de manejo ambiental en la granja porcina "El Rosario" en la provincia de Tungurahua. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/5374>
- Toapanta, A. (2018). Análisis de grava como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y tinturadora de Jeans Dayantex, ubicada en el cantón Pelileo, provincia Tungurahua.". Tesis de grado. Universidad Técnica De Ambato. Repositorio digital Universidad Técnica de Manabí. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27679>
- Toasa, F. (2012). Validación de los métodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, sólidos suspendidos y total de sólidos disueltos (TDS). Quito, Ecuador: (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/894>
- Tocoamán, F. (2018). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Jacinto de Izamba del cantón Ambato. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/8610>
- Tonato, J. (2010). Diseño e implementación de un sistema de control y HMI en la planta de tratamiento de agua de las calderas de vapor para la refinería estatal de Esmeraldas. Tesis de grado. Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3075>
- Torres, C., García, C., García, J., García, M., y Pacheco, R. (2017). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. Rev. Salud Pública., 19(4), 453-459. doi:10.15446/rsap.v19n4.56039
- Valencia, A. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador-provincia de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/3118>
- Valencia, V., Sánchez, L., y Aponte, A. (2009). Evaluación de la filtración lenta en arena como tratamiento terciario de agua residual doméstica con fines de reuso agropecuario y piscícola. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente(8), 39-49. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2311/231116390005>
- Valenzuela, M. (2017). Tratamiento del agua residual en granjas porcícolas Parte I - Problemática e Importancia . Obtenido de

<https://www.porcicultura.com/destacado/Tratamiento-del-agua-residual-en-granjas-porc%C3%ADcolas-Parte-I%7CProblem%C3%A1tica-e-Importancia>

- Valle, J. (2018). Desarrollo de una ingeniería conceptual para el tratamiento de aguas residuales, provenientes de curtiembres de tipo artesanal e industrial de la provincia de Tungurahua. Tesis de grado. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11053>
- Váscomez, V. (2017). Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del centro de faenamiento ocaña del cantón Quero. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato., Ambato, Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27232>
- Vásquez, A., Aguinaga, E., Zegarra, A., y Timaná, F. (2013). Propuesta de mejora de tratamiento de aguas residuales en una empresa pesquera. Tesis de grado. Universidad de Piura, Piura, Perú. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1712>
- Vélez, A., Marín, Z., y Garay, J. (2004). La REDCAM. Cooperación Interinstitucional para la Vigilancia de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 6(2), 147-160. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/89156/75608>
- Vélez, F. (2019). Adsorción de metano (CH₄) de biogás mediante un filtro relleno de un soporte con carbón activado y piedra pómez molida. Tesis de grado. Universidad de las Américas. Obtenido de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/11527>
- Vera, C. (2006). Capacidad de adsorción de contaminantes químicos de aguas residuales utilizando piedra pómez (pumicita). Tesis de maestría. Universidad Nacional del Antiplano. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Antiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/582>
- Vire, M. (2015). Diseño de la planta de potabilización del agua de una parroquia urbana, provincia de Loja. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador., Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6075>

ANEXOS

ANEXO 1. REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO PARA LA MUESTRA INICIAL SIN TRATAMIENTO.

REPÚBLICA DEL ECUADOR



ESPAMMFL
 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
 AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ
 Ley 2006 – 49 Suplemento R.O. 298 – 23 – 06 - 2006
 CALCETA – ECUADOR



REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		Página 1 de 1	
CLIENTE:	Joselyn María Mocha Zambrano Freddy Ernesto Moreira Mendoza	Nº DE ANÁLISIS:	2
DIRECCIÓN:	Quiroga		
TELÉFONO:	0984649261	Fecha de recibido:	04/12/2019
NOMBRE DE LA MUESTRA:	"AGUA RESIDUAL SIN TRATAR"	Fecha de análisis:	04/12/2019
CANTIDAD RECIBIDA:	1	Fecha de reporte:	09/12/2019
TIPO DE ENVASE:	Recipiente de vidrio de 300 mL de capacidad	Fecha de muestreo:	04/12/2019
OBSERVACIONES:	El laboratorio no se responsabiliza por la recolección y el traslado de las muestras.	Método de muestreo:	NTE INEN 1529-2
OBJETIVO DEL MUESTREO:	Control de calidad	Responsables del muestreo:	Investigadores

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PRUEBAS SOLICITADAS	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO
AGUA RESIDUAL SIN TRATAR (INICIAL)	Determinación de Coliformes totales	UFC/mL	1,9x10 ⁵	AOAC método oficial 991.14
	Determinación de Escherichia coli	UFC/mL	>1,9x10 ⁵	

Nota:

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas y, no para otros productos de la misma procedencia.
 Prohíbida la reproducción total o parcial de este informe.



Ing. Mario López Vera, M.Sc.

TÉCNICO LAB. DE MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL ÁREA AGROINDUSTRIAL

ANEXO 2. REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO PARA LAS MUESTRAS CON TRATAMIENTO.



REPORTE DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		Página 1 de 1	
CLIENTE:	Joselyn María Mocha Zambrano Freddy Ernesto Moreira Mendoza	Nº DE ANÁLISIS:	4
DIRECCIÓN:	Quiroga	Fecha de recibido:	24/09/2020
TELÉFONO:	0984649261	Fecha de análisis:	24/09/2020
NOMBRE DE LA MUESTRA:	"AGUA RESIDUAL TRATADA"	Fecha de reporte:	25/09/2020
CANTIDAD RECIBIDA:	2	Fecha de muestreo:	24/09/2020
TIPO DE ENVASE:	Recipiente de vidrio de 500 mL de capacidad	Método de muestreo:	NTE INEN 1529-2
OBSERVACIONES:	El laboratorio no se responsabiliza por la recolección y el traslado de las muestras.	Responsables del muestreo:	Investigadores
OBJETIVO DEL MUESTREO:	Control de calidad		

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	PRUEBAS SOLICITADAS	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO
T1= Arena	Determinación de Coliformes totales	UFC/mL	4,0x10 ⁴	AOAC método oficial 991.14
	Determinación de Escherichia coli	UFC/mL	2,5x10 ⁴	
T2= Piedra pómez	Determinación de Coliformes totales	UFC/mL	1,5x10 ⁴	AOAC método oficial 991.14
	Determinación de Escherichia coli	UFC/mL	1,0x10 ⁴	

Nota:
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas y, no para otros productos de la misma procedencia.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe.



Ing. Mario López Vera, M.Sc.
TÉCNICO LAB. DE MICROBIOLOGÍA AMBIENTAL ÁREA AGROINDUSTRIAL

ANEXO 3. REPORTE DE LOS ANÁLISIS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.



Solicitud de Análisis: 102208



Áreas:	Microbiología <input type="checkbox"/>	Cromatografía <input type="checkbox"/>	Metales <input type="checkbox"/>	Pesticidas <input type="checkbox"/>	Ambiental <input checked="" type="checkbox"/>	Bromatología <input type="checkbox"/>	Minería <input type="checkbox"/>
Fecha Ingreso:	24/09/2020		Fecha Resultado:	30/09/2020		Cantidad de Muestras:	3
Observación:	Muestras enviadas por el Cliente.						

DATOS DE LA MUESTRA											
Cod:	102208 - 1										
Tipo:	Agua residual	Cantidad:	1000ml	Temperatura:	10°C	Envase:	cerrado, de vidrio,				
Descripción:	M1.- Agua sin tratamiento/ Fecha: 24/09/2020; Hora: 6:00 am.										
Recolector:	El Cliente			Lugar:	N/A			Fecha/Hora:			
Notas:											
PARAMETRO	METODO	A2LA	SAE	UNIDAD MEDIDA	RESULTADO	CCa	LOQ	LOD	(±)U	%R	NOTA
AMBIENTAL Demanda Química de Oxígeno (DQO)	BVE-CTD-LAB-SOP-038/Spectroquant Soluciones A-B para DQO Nova 60 144538,114539,114679,114680 análogo	✓	✓	mg/L	820	-	-	-	25,91	-	

DATOS DE LA MUESTRA											
Cod:	102208 - 2										
Tipo:	Agua residual	Cantidad:	1000ml	Temperatura:	10°C	Envase:	cerrado, de vidrio,				
Descripción:	M2.- Agua con tratamiento, "Filtro de arena"/ Fecha: 24/09/2020; Hora: 6:00 am.										
Recolector:	El Cliente			Lugar:	N/A			Fecha/Hora:			
Notas:											
PARAMETRO	METODO	A2LA	SAE	UNIDAD MEDIDA	RESULTADO	CCa	LOQ	LOD	(±)U	%R	NOTA
AMBIENTAL Demanda Química de Oxígeno (DQO)	BVE-CTD-LAB-SOP-038/Spectroquant Soluciones A-B para DQO Nova 60 144538,114539,114679,114680 análogo	✓	✓	mg/L	28	-	-	-	4,17	-	

DATOS DE LA MUESTRA											
Cod:	102208 - 3										
Tipo:	Agua residual	Cantidad:	1000ml	Temperatura:	10°C	Envase:	cerrado, de vidrio,				
Descripción:	M3.- Agua con tratamiento, "Filtro piedra Pómez"/ Fecha: 24/09/2020; Hora: 6:00 am.										
Recolector:	El Cliente			Lugar:	N/A			Fecha/Hora:			
Notas:											

DATOS DE LA MUESTRA											
Cod:	102208 - 3										
Tipo:	Agua residual	Cantidad:	1000ml	Temperatura:	10°C	Envase:	cerrado, de vidrio,				
Descripción:	M3.- Agua con tratamiento, "Filtro piedra Pómez"/ Fecha: 24/09/2020; Hora: 6:00 am.										
Recolector:	El Cliente			Lugar:	N/A			Fecha/Hora:			
Notas:											
PARAMETRO	METODO	A2LA	SAE	UNIDAD MEDIDA	RESULTADO	CCa	LOQ	LOD	(±)U	%R	NOTA
AMBIENTAL Demanda Química de Oxígeno (DQO)	BVE-CTD-LAB-SOP-038/Spectroquant Soluciones A-B para DQO Nova 60 144538,114539,114679,114680 análogo	✓	✓	mg/L	45	-	-	-	6,70	-	

ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO



Foto 1. Toma de muestra de agua residual



Foto 2. Resultado de Sólidos disueltos totales para muestra inicial



Foto 3. Análisis de Sólidos suspendidos totales para la muestra inicial.



Foto 4. Resultado de pH para muestra inicial



Foto 5. Obtención del material granular para el filtro de piedra pómez y grava

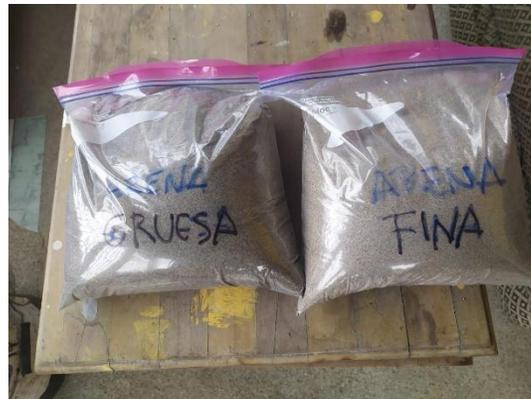


Foto 6. Material granular de arena separado en arena fina y arena gruesa.



Foto 7. Construcción de los filtros.



Foto 8. Distribución del lecho filtrante en el filtro de piedra pómez y grava



Foto 9. Ejecución de los filtros de piedra pómez-grava y arena-grava, respectivamente.



Foto 10. Toma de muestra final en ambos procesos de filtración.



Foto 11. Descargas de aguas residuales porcinas en la finca “Zambrano” hacia el río.



Foto 12. Análisis de coliformes fecales y totales para las muestras de agua con tratamiento.

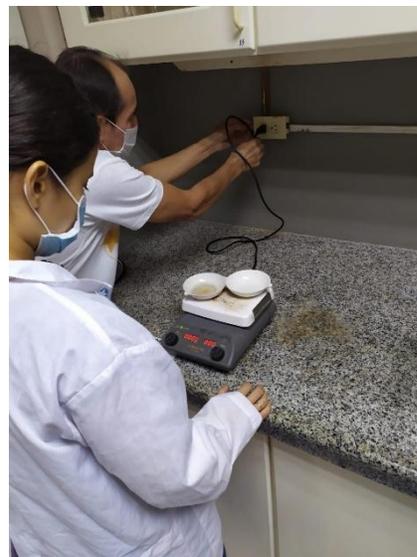


Foto 13. Análisis de sólidos suspendidos totales y sólidos totales para las muestras de agua con tratamiento.

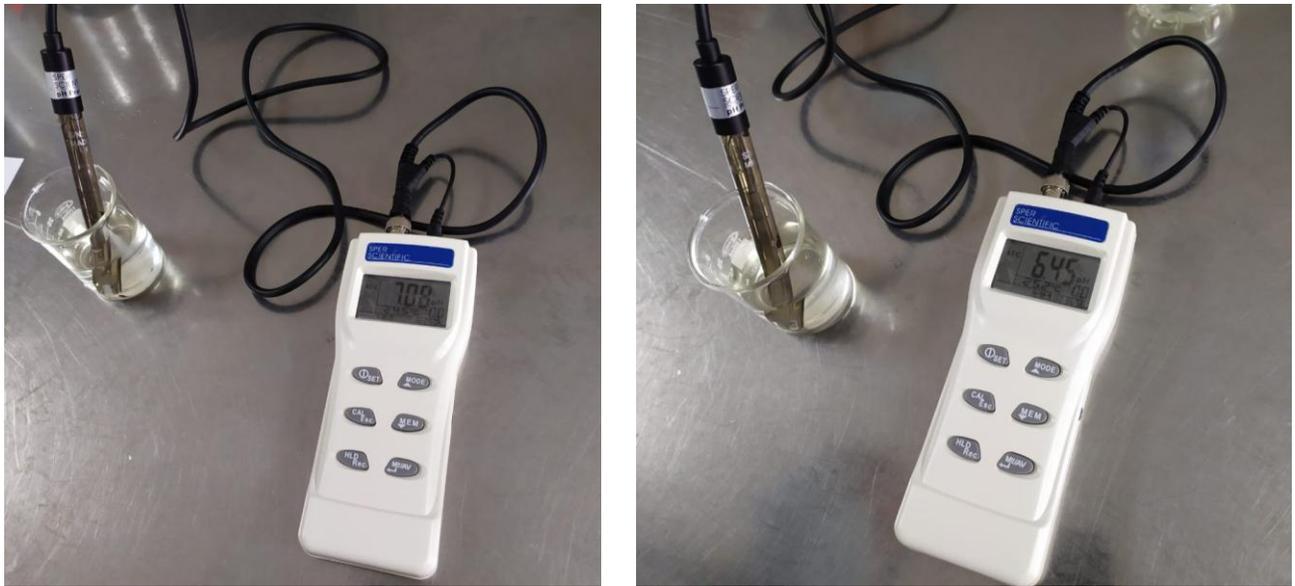


Foto 14. Análisis de pH para los tratamientos de piedra pómez y arena, respectivamente.