



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APLICACION DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN LA
TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS GENERADAS EN PUERTO
AYORA ISLA SANTA CRUZ PROVINCIA DE GALAPAGOS

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTOR: Tomás Santiago Mejía Viera

TUTOR: Alex Eduardo Arias Morán, M.Sc.

Guayaquil- Ecuador

2024

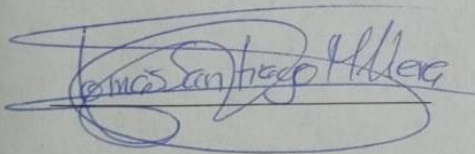
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Tomás Santiago Mejía Viera con documento de identificación N° 0502966476 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, miércoles 6 de marzo del 2024

Atentamente,



Tomás Santiago Mejía Viera

0502966476

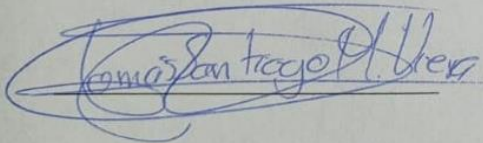
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Tomás Santiago Mejía Viera con documento de identificación N° 0502966476, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo Experimental "APLICACION DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN LA TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS GENERADAS EN PUERTO AYORA ISLA SANTA CRUZ PROVINCIA DE GALAPAGOS" la cual ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero Ambiental en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, miércoles 6 de marzo del 2024

Atentamente,



Tomás Santiago Mejía Viera

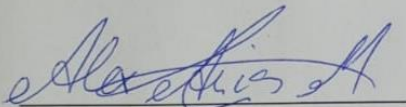
0502966476

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Yo, Alex Eduardo Arias Morán con documento de identificación N° 0919248161, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: APLICACION DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN LA TRATABILIDAD DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS GENERADAS EN PUERTO AYORA ISLA SANTA CRUZ PROVINCIA DE GALAPAGOS realizado por Tomás Santiago Mejía Viera con documento de identificación N° 0502966476, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, miércoles 6 de marzo del 2024

Atentamente,



Alex Eduardo Arias Morán

0919248161

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a:

Mis hijas, Isabela y Floreana que han sido mi fuente de inspiración y de dedicación, gracias a ellas tome la decisión de estudiar esta carrera con la finalidad de darles un mejor presente y forjar nuestro futuro.

A mi madre por ser esa fuente de inspiración y por heredarme ese espíritu de lucha, ella es mi ejemplo de constancia, gracias por siempre apoyarme aun cuando estabas cansada y fatigada.

A mi esposa que ha sido la persona que me ha impulsado a superarme y me ha dado ánimos en los momentos que he querido tirar la toalla, ella ha sido mi compañera constante durante estos 4 años de estudio y durante toda nuestra vida matrimonial.

A mi hermana Ana que siempre ha creído en mí y me ha apoyado en todas mis aventuras de vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y vida para cumplir mis metas trazadas, por cuidar de mí y de mi familia en cada momento que tenía que ausentarme de casa para cumplir con mis obligaciones académicas.

Agradezco a mis hijas, Isabela y Floreana por entender que papá no podía estar siempre con ellas ya que tenía que ir a la universidad.

Agradezco a mi madre por ese apoyo constante, por estar siempre preocupada que asista a clases y no falte.

Agradezco a mi amada esposa por su apoyo incondicional y por todo su esfuerzo para mantener un equilibrio en casa, el trabajo, y la vida diaria.

Agradezco a la ingeniera Carmen Palacios por esas pláticas de apoyo y por siempre darse el tiempo de atenderme y escucharme.

Agradezco a todos mis profesores y tutores que me han enseñado y guiado en todos estos años de preparación académica.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) mediante el análisis físico-químico y microbiológico de su efluente para determinar la capacidad de remoción de contaminantes.

Este estudio pretende reducir la carga contaminante usando tres tipos de rocas volcánicas con características y tamaños diferentes. Se elaboraron 4 filtros, tres contienen un tipo de roca volcánica cada uno, y un filtro mixto. Estas rocas ígneas poseen características físicas que las obtienen al momento de su proceso de enfriamiento, lo cual les otorgan condiciones que son aptas para ser usadas en los FAFA.

Los filtros fueron elaborados con tubos de Policloruro de Vinilo (PVC) de 4 pulgadas y con características técnicas y específicas para procesar el agua residual de la mejor manera posible. Los filtros se inocularon con lodos activos procedentes de una planta de tratamiento de aguas residuales. Se caracterizó mediante análisis físico-químico y microbiológico el agua residual para luego introducirla en el sistema a un caudal controlado.

Se establecieron 3 caudales diferentes los cuales otorgaron 3 tiempos de residencia hídrica (TRH) para luego analizar en un laboratorio los parámetros de control de calidad del agua.

Los resultados demostraron que los filtros anaerobios de flujo ascendente son muy efectivos en la reducción de la Demanda Química de Oxígeno y sólidos suspendidos totales, tienen una efectividad media para los tensoactivos, aceites y grasas por lo que no son de utilidad para eliminar Coliformes fecales.

En base a los resultados de laboratorio se puede indicar que a menor TRH los parámetros de control dan valores muy elevados y por el contrario usando un TRH más prolongado se obtuvieron mejores resultados, de los cual unos cumplían con la normativa vigente y otros superaban los límites.

Palabras claves: Agua residuales domésticas, Filtro anaerobio de flujo ascendente, Rocas ígneas, Islas Galápagos.

ABSTRACT

The research purpose is to evaluate the efficiency of upflow anaerobic filters (UAF) through the physical-chemical and microbiological analysis of their effluent to determine the pollutant removal capacity.

This research pretends to decrease the pollution load using three types of volcanic rocks with different characteristics and sizes. Four filters were built, three contain one type of volcanic rock inside to each filter, and the other filter is mixed (contains the three types of volcanic rocks). These igneous rocks have physical characteristics obtained at the moment of their cooling process after the volcanic eruption that gives them the appropriated conditions to be used in UAF.

The filters were built with 4-inch Polyvinyl Chloride (PVC) tubes and with specific technical characteristics to process wastewater in the best possible way.

The filters were inoculated with activated sludge obtained from a wastewater treatment factory plant. The wastewater was characterized through physical-chemical and microbiological analysis and then introduced into the filters system to a controlled flow rate. Three different flow rates were established which gave three water residence times (WRT) to analyze the water quality control parameters in a laboratory.

The results showed that upflow anaerobic filters are very effective in reducing Chemical Oxygen Demand and total suspended solids but they have a medium effectiveness for surfactants, oils and greases that aren't useful to eliminate fecal coliforms.

Based on the laboratory results, it can be indicated that using a lower WRT the control parameters give very high values and, on the contrary, using a longer WRT the results are better, and some of them followed the current regulations and others exceeded the limits.

Key Words: Domestic wastewater, up flow anaerobic filters, igneous rocks, Galapagos island.

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN II	
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XVI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XVII
ÍNDICE DE ANEXOS	XVIII
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	XIX
1. INTRODUCCIÓN.....	1

1.1.	Problema.....	1
1.1.1.	Antecedentes.....	1
1.1.2.	Planteamiento del problema.....	5
1.2.	Justificación.....	8
1.3.	Delimitación.....	10
1.3.1.	Ubicación.....	10
1.3.2.	Población.....	11
1.3.3.	Geología.....	13
1.3.4.	Clima.....	14
1.4.	Pregunta de investigación.....	17
1.5.	Objetivo.....	17
1.5.1.	General.....	17
1.5.2.	Objetivo Especifico.....	17
1.6.	Hipótesis.....	18
1.6.1.	Hipótesis general.....	18
1.6.2.	Hipótesis específicas.....	18

2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	19
2.1.	Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente.....	19
2.1.1.	Carga hidráulica superficial	20
2.1.2.	Área de entrada	21
2.1.3.	Medio filtrante	22
2.1.4.	Procesos anaerobios.....	23
2.1.5.	Tiempo de residencia hidráulica	24
2.2.	Rocas Ígneas.....	24
2.2.1.	Basalto.....	25
2.2.2.	Escoria volcánica	33
2.3.	Parámetros físico químicos y biológicos.....	36
2.3.1.	Potencial de Hidrógeno.....	36
2.4.	Marco legal.....	39
2.4.1.	Acuerdo Ministerial N. 097 – A. Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio de Ambiente.....	39
2.4.2.	Código orgánico del ambiente.....	40

2.4.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	40
3. METODOLOGÍA.....	41
3.1. Diseño del filtro.....	41
3.1.1. Falso fondo.....	41
3.1.2. Espacio para el lecho filtrante.....	42
3.2. Criterios de diseño.....	42
3.2.1. Tiempo de residencia hidráulica	42
3.2.2. Carga orgánica volumétrica	43
3.2.3. Carga hidráulica superficial	43
3.3. Elección del material filtrante	44
3.4. Inoculación del material filtrante	44
3.5. Caracterización del agua residual.....	44
3.6. Extracción y metodología de análisis de datos.....	46
3.6.1. Coliformes fecales	46
3.6.2. Tensoactivos	46
3.6.3. Sólidos suspendidos totales.....	47

3.6.4.	Aceites y grasas.....	47
3.6.5.	Color	47
3.6.6.	Demanda Química de oxígeno.....	48
3.6.7.	Potencial de hidrógeno.....	48
3.6.8.	Temperatura	48
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1.	Cálculos de los criterios de diseño de los FAFA	48
4.1.1.	Volumen del Falso Fondo (FF).....	48
4.1.2.	Volumen del lecho filtrante (LF)	49
4.1.3.	Área del agua clarificada	49
4.1.4.	Calculo de los TRH.....	50
4.1.5.	Calculo de la carga orgánica volumétrica.....	51
4.2.	Caracterización del agua residual doméstica	51
4.3.	Caracterización físico-químico y microbiológica de las FAFA.....	53
4.4.	Discusión.....	58
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60

5.1. Conclusiones	60
5.2. Recomendaciones.....	61
6. BIBLIOGRAFÍA.....	62
7. ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Minerales del basalto.	26
Tabla 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. Tabla 10.	45
Tabla 3. Caracterización del agua residual doméstica sin tratamiento	52
Tabla 4. Filtro de basalto de textura afanítica.....	53
Tabla 5. Filtro de basalto de textura porfídica.	54
Tabla 6. Filtro de escoria volcánica.	55
Tabla 7. Filtro combinado con 3 materiales.....	56
Tabla 8. Remoción de contaminantes.	57
Tabla 9. Cumplimiento de normativa.	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cobertura de servicios básicos del Ecuador	3
Ilustración 2. Objetivo de desarrollo sostenible 6.....	4
Ilustración 3. Barrancos que rodean Puerto Ayora	10
Ilustración 4. Costo de servicio de agua por taquero.....	12
Ilustración 5. Mapa preliminar de los flujos de lava emitidos durante la erupción del volcán Wolf – Islas Galápagos. El mapa fue elaborado en base a las imágenes satelitales de los satélites: Sentinel-2 y PlanetScope	14
Ilustración 6. Cauce del río que desemboca en los barrancos de Puerto Ayora.	15
Ilustración 7. Precipitaciones mensuales de Puerto Ayora.	16
Ilustración 8. Cortes de un FAFA	20
Ilustración 9. FAFA sin falso fondo de entrada. A. FAFA con falso fondo de entrada. B.....	21
Ilustración 10. Medios filtrantes de polipropileno.....	22
Ilustración 11. Diseño de FAFAs en 3D.....	49

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Instalación de alcantarillado. Barrio La Unión.	7
Fotografía 2. Limpieza de pozo séptico ubicado en la parte trasera de una casa.	8
Fotografía 3. Técnicos de la empresa pública del agua alistando los equipos para realizar el monitoreo de la calidad del agua en la Grieta la camiseta.	12
Fotografía 4. Cascada en época de lluvia.....	16
Fotografía 5. Diferentes texturas de rocas ígneas.	25
Fotografía 6. Muestra de basalto con formaciones de calcita en su interior.	27
Fotografía 7. Camión esparciendo polvo de basalto en tierras de cultivo	28
Fotografía 8. Basalto de textura afanítica	29
Fotografía 9. Basalto de textura porfídica.....	30
Fotografía 10. Monolitos de la isla de la Pascua tallados sobre roca basáltica	31
Fotografía 11. Cabezas de la cultura Olmeca.	32
Fotografía 12. Perlas talladas en basalto para joyería.....	32
Fotografía 13. Isla Bartolomé.	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Composición típica del agua residual doméstica bruta.....	66
Anexo 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. Tabla 10.....	67
Anexo 3. Basalto de textura afanítica	68
Anexo 4. Basalto de textura porfídica.....	68
Anexo 5. Escoria Volcánica.....	69
Anexo 6. Elaboración de filtros	69
Anexo 7. Instalación de FAFA	70
Anexo 8. Agua residual doméstica	70
Anexo 9. Triturado de piedra.....	71
Anexo 10. Sistema de filtros anaerobios de flujo ascendente.....	71
Anexo 11. Toma de muestra de agua residual doméstica.....	72
Anexo 12. Toma de muestras del agua filtrada.....	73
Anexo 13. Agua filtrada con 6 horas de TRH.	74
Anexo 14. Agua filtrada con 12 horas de TRH	74
Anexo 15. Agua filtrada con 18 horas de TRH	75

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

FAFA: Filtro anaerobio de flujo ascendente

l.m.p: Límite máximo permisible

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

SENAGUA: Secretaria Nacional del Agua

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

EPMAPASC: Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santa Cruz.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

EPAMIL: Empresa Pública Aguas de Milagro

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

CO₂: Dióxido de carbono

TRH: Tiempo de Residencia Hidráulica

H₂S: Ácido sulfhídrico

PNG: Parque Nacional Galápagos

INOCAR: Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada

COOTAD: Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

1.1.1. Antecedentes

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en su informe “Estadísticas de información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales” sobre la Gestión de Agua Potable y saneamiento 2021 informó que 108 municipios poseen alcantarillado público diferenciado, 106 con alcantarillado combinado y 7 municipios no poseen dicho servicio. Aunque solo el 3.2 % de municipios a nivel nacional no cuentan con alcantarillado público, sin embargo, el funcionamiento y cobertura del 96.8 % restante no funciona de manera adecuada. En aproximadamente 85 cantones el servicio de alcantarillado público no llega ni al 50 % de cobertura y en otros 36 cantones este servicio no llega ni al 20 % de cobertura. (Castillo, 2023).

En 2015, Ecuador ratificó su compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y declaró la Agenda 2030 como Política de Estado, el objetivo 6 busca “ *Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*” y una de sus metas es... “*mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad a nivel mundial*”, por lo cual el Gobierno Central junto con los Gobiernos provinciales, cantonales y parroquiales deben buscar alternativas para mejorar en todos los aspectos que dicho objetivo menciona.

Si bien los números porcentuales han tenido una tendencia al alza en el servicio de alcantarillado y saneamiento, este crecimiento ha sido muy lento, para 1995 el 74.2 % de la población tenía el servicio y en 29 años no se ha logrado llegar al 100 %. (SENAGUA, 2016).

La falta de recursos económicos, la nula planificación, malos cálculos hidráulicos, disputas de

jurisdicción territorial y la falta de voluntad política han sido los principales factores que han retrasado la construcción de nuevos servicios de alcantarillado en las diferentes ciudades del país. También, las malas administraciones municipales en los diferentes cantones del país han permitido que los sistemas ya instalados no sigan creciendo para dar cobertura a todo el cantón, además la falta de mantenimiento y la mala operación de los sistemas de saneamiento conlleva a que unos no cumplan con los criterios de calidad al momento de descargar sus aguas residuales, otros estén sobresaturados y viertan sus aguas grises directamente a cuerpos de agua como ríos, esteros, lagunas sin el tratamiento requerido.

Uno de los cuerpos de agua que han recibido descargas directas es el río Chicharrón ubicado en el cantón Montañita en la provincia de Santa Elena debido a la mala construcción del alcantarillado. Adicional, el río El muerto ubicado en la ciudad de Manta ha sufrido descargas directas de aguas negras e industriales y esto debido a la falta de cobertura en ciertos sectores de la urbe. El cantón La Concordia, ubicada en el límite de las provincias de Esmeraldas, Pichincha y Santo Domingo de los Colorados ha tenido problemas de gobernanza, ya que las 3 provincias mencionadas buscaron ejecutar obras para poder adherir dicho cantón a su territorio, estas disputas llevaron a que los proyectos de alcantarillado gestionados por las diferentes administraciones municipales no se construyeran de una manera técnica y sin estudios de factibilidad, estas malas gestiones terminaron en proyectos inconclusos e ineficientes por lo cual varios sectores del cantón vierten sus aguas residuales a cuerpos de agua. (Alejandra Bonilla, 2020).

La alternativa que les queda a los municipios que no han establecido sistema de alcantarillado eficientes es la construcción de pozos sépticos. La norma CPE INEN 005-9-2 en su capítulo siete del Sistema de disposición de excretas y residuos sólidos determina que el...” tipo de letrina debe realizarse a base de un análisis de las características sociales, culturales y económicas de la población, así como de las características del suelo, especialmente en lo relacionado a su capacidad de infiltración, facilidad de excavación, estabilidad y posición del nivel freático”. (INEN, 1997).

Algunos municipios tienen establecido por ordenanza la construcción de pozos sépticos en la parte frontal del terreno ya que de esa manera se facilita su vaciado y limpieza en caso que este se llene.

Ilustración 1. Cobertura de servicios básicos del Ecuador



Fuente. Castillo 2023

Ilustración 2. Objetivo de desarrollo sostenible 6



Fuente. ONU 2015

1.1.2. Planteamiento del problema

La isla Santa Cruz es la más poblada del archipiélago de Galápagos con aproximadamente 19000 habitantes y tiene una densidad poblacional de 10 habitantes / km². Puerto Ayora que es su capital es la parroquia más poblada. Según datos del INEC en 1990 existían 4294 habitantes, dato que para el 2001 se duplicó a 9582. Este acelerado crecimiento poblacional es por el apogeo de las actividades turísticas y pesqueras que se realizan en la isla.

El incremento en el ingreso de personas a la isla se vio frenado por la Ley de Galápagos que se estableció en 1998 la cual controla entrada de personas al archipiélago. Según datos del INEC, la población de Puerto Ayora era de 11974 habitantes en el 2010 y en el 2015 se contabilizaron 11822, en esta ocasión se observó una reducción y esto se debió a los controles migratorios realizados por la autoridad.

La falta de planificación y ordenamiento territorial llevaron a que Puerto Ayora crezca de una manera desordenada y sin miras a una comunidad sostenible. La isla arrastra problemas que han puesto en riesgo la integridad de sus habitantes y su frágil ecosistema, el cual les ha dado la fama mundial que tienen.

En Puerto Ayora es común tener problema de abastecimiento de agua y esta es de mala calidad, las autoridades de turno buscan soluciones buscando nuevas fuentes de captación de agua e implementado nuevas tecnologías de purificación, aún no se logra alcanzar los estándares de calidad requeridos.

Otro problema que acoge la isla es la falta de un sistema de alcantarillado público. Los habitantes de la isla desde años atrás depositan sus aguas residuales domésticas en pozos sépticos. Pero esta práctica está muy lejos de ser una solución al problema, es en esta parte del sistema donde se vuelve el verdadero problema, Santa Cruz como al igual de las otras islas se formaron por erupciones volcánicas, por ende, sus suelos son principalmente formados por rocas basálticas y

posee un sin número de grietas y cavidades que se conectan entre sí y llegan a acuíferos subterráneos y luego al mar.

La ordenanza municipal No. 0054-CC-GADMSC-2016 publicada en el Registro Oficial No. 45 el lunes 24 de julio de 2017 determina que los pozos sépticos se construyan en la parte frontal del terreno para que el hidrosuccionador tenga acceso para su vaciado en caso de que este se llene. Lastimosamente esta es la única ordenanza que existe concerniente a la construcción pozos sépticos, luego de esto el propietario es libre de construir a sus necesidades y economía. Los principales problemas que se evidencia en la construcción de pozos es la falta de cámaras para la separación de sólidos, fondos y paredes sin impermeabilización y descargas directas en grietas que encuentran en el lugar de excavación.

En los últimos años se ha construido el alcantarillado público de manera paulatina por lo cual no se cuenta con una cobertura total. La empresa pública presta el servicio de alcantarillado sanitario al 29 % de la población del Cantón Santa Cruz, es decir, de los 18 barrios que componen Puerto Ayora solo 2 de ellos cuentan con el servicio completo (EPMAPASC EP, 2022).

Para el 2022 existían en Puerto Ayora un aproximado de 3396 hogares de los cuales solo 977 contaban con alcantarillado, los restantes 2419 cuentan con sistema de pozos sépticos, estos pozos en su mayoría no fueron construidos con las normas técnicas y al momento de su construcción se busca pequeñas grietas por donde se puede filtrar el agua y así evitar gastos de mantenimiento (EPMAPASC EP, 2022).

Como evidencia de esto tenemos que en el 2022 a las instalaciones de la EPMAPAS. EP solo se ingresaron 333 solicitudes para vaciar pozos sépticos que estaban completamente llenos. El costo por limpieza de pozo séptico con hidrosuccionador la EPMAPAS. EP lo cobra en base al tiempo de bombeo, siendo este \$ 75/15 min, \$90/30 min y \$120.01 / 1 hora. (EPMAPASC EP, 2022)

Aproximadamente 2086 hogares de Puerto Ayora que usan pozos sépticos para verter sus aguas residuales no han realizado solicitudes de limpieza, por lo cual esas aguas grises se están infiltrando

en los suelos rocosos contaminando los acuíferos y la única laguna de la bahía.

Existen varios estudios sobre la calidad del agua de Bahía Academia- Puerto Ayora donde se puede evidenciar la contaminación de los acuíferos y de la línea costera. En 2001 el resultado de Coliformes totales en la Laguna de las Ninfas fue de 11000 NMP/100 ml. (INOCAR, 2001). En 2007 otro estudio obtuvo 3200 NMP/100 ml de Coliformes totales y 400 NMP/100 ml de fecales. (Palacios y Burgos, 2009).

La presente investigación busca determinar si al conectar los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) al efluente de un pozo séptico correctamente diseñado, se reducirá la carga contaminante y así dar cumplimiento con los límites máximos permisibles que establece el Acuerdo Ministerial 097-A –Tabla 10, se considera esta tabla ya que esta agua vertida se filtra y llega directo a los acuíferos cuales esta conectados de manera directa con el mar.

Fotografía 1. Instalación de alcantarillado. Barrio La Unión.



Fuente. GADMSC

Fotografía 2. Limpieza de pozo séptico ubicado en la parte trasera de una casa.



Fuente. EPAMIL

1.2. Justificación

Las islas Galápagos son reconocidas a nivel mundial por su flora, fauna y lugares paradisíacos para realizar turismo, ha logrado ganar títulos internacionales y nacionales como Parque Nacional (1959), Patrimonio Natural de la Humanidad (1978 UNESCO), Reserva de la biosfera (1984 UNESCO), Santuario de ballenas (1990), Reserva Marina (1998) y desde el 2006 hasta la fecha ha ganado un sin número de reconocimientos turísticos como mejor lugar para vacacionar, bucear, entre otros.

Toda esta fama desde años atrás ha atraído la atención de muchas organizaciones que buscan conservar Galápagos, las cuales han dado apoyo técnico y económico logrando varios proyectos que han ayudado a la conservación y desarrollo de las islas. En el 2007 la UNESCO envió una comisión a las islas para determinar si estas debían ingresar a la lista de los Patrimonios Naturales en riesgo y esto debido a la mala administración pública, crecimiento acelerado y descontrolado

de turismo y la pesca industrial en sus alrededores.

En la actualidad, el agua que se usa para tratar y disponer en la red de distribución de Puerto Ayora es captada de la Grieta La camiseta ubicada al oeste del centro poblado a unos 2800 metros, esta agua es salobre ya que está compuesta por agua marina que se filtra por las rocas disminuyendo su concentración de sal y por agua lluvia procedente de las partes altas de la isla. Años atrás se captaba agua de grietas que están dentro del centro poblado, pero se clausuró su uso debido a que los estudios de laboratorio determinaron que los límites máximos permisibles para Coliformes fecales, tensoactivos y sólidos suspendidos sobrepasaban lo estipulado en el Acuerdo Ministerial 097-A Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (tabla 1) de los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, incluso sobrepasan los criterios de calidad de agua para uso de riego agrícola.

Para las actividades de uso doméstico como lavar ropa, bañarse, regar plantas y lavar platos la población de Puerto Ayora usa el agua distribuida por la empresa de agua local y para cocinar, lavar vegetales y beber usan agua distribuida de manera particular por embotelladoras locales las cuales tienen sus fuentes de agua en grietas particulares ubicadas en Puerto Ayora. Por lo cual los habitantes de la isla continúan consumiendo agua contaminada por Coliformes fecales al igual que sus visitantes. (Vega, 2021)

La falta de un sistema de alcantarillado público que brinde el servicio a toda la población se siguen contaminando las fuentes de agua para potabilizar y las costas de la isla las cuales pueden traer efectos secundarios sobre los bosques de manglar y a la fauna marina que merodea la costa en busca de comida.

Debido a lo mencionado, es trascendental realizar este estudio para ayudar a minimizar la contaminación por agua residuales domésticas y de esta manera podemos ayudar a que los sistemas acuíferos y las costas pueden recuperar sus parámetros de calidad.

De este estudio se verá beneficiada principalmente la población ya que no se estará vertiendo

contaminantes a las fuentes de agua para desalinizar, este estudio también será de utilidad al municipio de Santa Cruz ya que podría ser una alternativa hasta que puedan otorgar el servicio de alcantarillado a toda la población y ayudará al Parque Nacional Galápagos ya que con el tiempo se podría recuperar La Laguna de las Ninfas, área protegida que está contaminada por Coliformes fecales y que desde el 2013 tiene prohibida cualquier actividad de contacto primario como natación y actividades recreativas.

1.3. Delimitación

1.3.1. Ubicación

Puerto Ayora es la cabecera cantonal de la isla Santa Cruz en la cual se concentra el mayor número poblacional de todo el archipiélago de Galápagos. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2022). Tiene una extensión aproximada de 300 hectáreas y está ubicado dentro de una falla geológica (Delgado, 2022), posee barrancos que oscilan entre los 3 y 20 metros de altura (Ilustración 3) . La parte más baja está ubicada al nivel del mar y la más alta oscila los 50 m.s.n.m.

Ilustración 3. Barrancos que rodean Puerto Ayora



Fuente. Elaboración propia

1.3.2. Población

La provincia de Galápagos entre 2001 y 2010 se ubicó entre las 4 provincias de mayor crecimiento poblacional del país, según datos otorgados por el censo 2001 en Galápagos vivían 18. 640 personas mientras que según el censo del 2010 la tasa poblacional creció en el 3.32 %, por lo cual con ese aumento la población llegó a 25124 habitantes, Datos del censo 2022 reflejaron una población de 28583, por lo cual 3459 habitantes aumentaron en un periodo de 12 años. (INEC, 2022).

Estos datos nos muestran una reducción en la tasa de crecimiento poblacional y esto debido a varios factores como migración hacia el Ecuador continental por efecto de la pandemia y por los controles migratorios que ejecuta la autoridad competente de las personas que ingresan a la provincia a laborar de manera irregular.

La isla Santa Cruz es la isla más poblada del archipiélago de Galápagos con aproximadamente 19000 habitantes con una densidad poblacional de 10 habitantes / km². La demanda del líquido vital de los isleños es de aproximadamente 2000 metros cúbicos diarios, uno de los problemas que heredan las autoridades locales es la falta y constancia en la distribución de este servicio, ya que se distribuye por horas en diferentes sectores. Cuando a los usuarios no les abastece el caudal diario otorgado por la empresa de agua deben incurrir en gastos comprando agua por tanqueros con una capacidad de 10 m³ a un precio de \$ 35.

Su fuente de agua principal está ubicada a 2.8 km del centro poblado, esta grieta se explota desde el 2009, está ubicada en la zona del Parque Nacional Galápagos, por lo cual la empresa pública del agua debe realizar el proceso de ley para tener una autorización de uso y aprovechamiento del agua. Esta agua es tratada en una planta desalinizadora mediante osmosis inversa de 5 módulos de 11 l/s y se la desinfecta con hipoclorito al 70 % y los estudios demuestran cumplimiento con la Norma INEN 1108. (EPMAPASC EP, 2022).

Fotografía 3. Técnicos de la empresa pública del agua alistando los equipos para realizar el monitoreo de la calidad del agua en la Grieta la camiseta.



Fuente. EPMAPASC EP. 2022

Ilustración 4. Costo de servicio de agua por tanquero.

Agua de Galápagos

Capacidad Tanquero: 10 m³
Costo Agua x m³: 1,45 USD

- VALOR TANQUERO PTO. AYORA. 32,00 USD (PRECIO FINAL).
- VALOR TANQUERO BELLAVISTA. 37,00USD (PRECIO FINAL).
- VALOR TANQUERO SANTA ROSA. 40,00 USD (PRECIO FINAL).

SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POR TANQUERO

EMPRESA PÚBLICA
MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
DE SANTA CRUZ, E.P.

AGUAS DE GALAPAGOS EP

ATENCIÓN AL CLIENTE
05 -301-3262

WEBSITE
www.aguasdegalapagosep.com

Fuente. EPMAPASC EP. 2022.

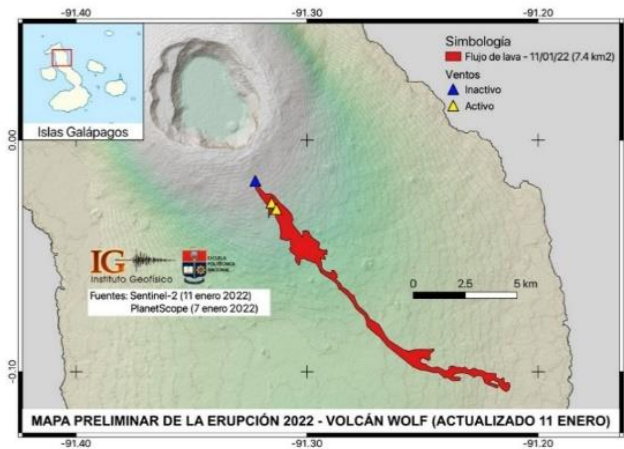
1.3.3. Geología

Las islas Galápagos están ubicadas sobre la placa tectónica de Nazca a unos 980 Km del Ecuador Continental, estudios realizados sobre la porción terrestre de las islas data que tienen aproximadamente 20 millones de años de formación, este dato nos indica que son relativamente jóvenes en comparación a otras superficies terrestres. La placa de Nazca anualmente se mueve 4 cm aproximadamente hacia el este y esto genera que las islas pasen por un punto caliente el cual genera una fuga de magma generando cadena de islas y montes submarinos. (Delgado, 2022).

Las islas más alejadas del punto caliente son las islas más viejas mientras que las más cercanas aún se encuentran en etapa formativa debido a su actividad volcánica. La isla San Cristóbal se considera la isla más antigua con aproximadamente 4 millones de años desde que se formó mientras que Isabela y Fernandina apenas tienen 700 000 años, estas dos islas poseen volcanes activos y en los últimos 200 años han tenido 50 erupciones modificando la superficie terrestre del lugar. La erupción más reciente fue el 6 de enero del 2022 a las 23h20 hora de Galápagos (7 de enero del 2022 a las 00h20 Hora continental). (Instituto Geofísico, 2022).

El flujo de lava que emana los volcanes que formaron las Islas Galápagos es de composición basáltica MENOR que 52 % en peso de SiO₂, por lo cual los suelos volcánicos son formados netamente de roca ígnea de tipo basalto (Granda, 2023). La variedad de tipos de suelos que tienen las islas está dada por ciertos factores tales como el tipo de lava, la pendiente del volcán que emanó la lava, la viscosidad de la lava, profundidad de recorrido y tiempo de enfriamiento. Las diferentes texturas de suelo que se encuentran también se debe a que la lava se mezcla con bolas de lava y troncos de árboles carbonizados. Otro factor es la diferencia de tiempo entre las erupciones volcánicas y el tiempo que duró dicha erupción. Es por ello que el suelo de Puerto Ayora posee un sin número de grietas las cuales poseen agua salobre ya que aquí se une el agua del mar y el agua que escurre desde las partes altas de la isla (Delgado, 2022).

Ilustración 5. Mapa preliminar de los flujos de lava emitidos durante la erupción del volcán Wolf – Islas Galápagos. El mapa fue elaborado en base a las imágenes satelitales de los satélites: Sentinel-2 y PlanetScope



Fuente. Instituto Geofísico, 2022.

1.3.4. Clima

El clima de las Islas Galápagos está definido principalmente por los vientos y las corrientes oceánicas, la corriente de Panamá más conocida como corriente cálida de El Niño en diciembre trae las aguas calientes desde el norte logrando un clima cálido y tropical por las mañanas, así como nublado y lluvioso por las tardes. La temperatura del mar aumenta e igual que la del aire por lo cual aumenta también la humedad lo cual es significado del inicio de la época lluviosa en las islas. Entre los meses de diciembre y abril la temperatura del mar oscila los 25 ° C, el viento alcanza los 31 ° C y las precipitaciones más altas llegan en febrero con 45 mm hasta 60 mm (Spark, 2024), las fuertes lluvias de estos meses generan grandes lagunas en la parte alta de la isla los cuales se rebosan y generan pequeños ríos los cuales desembocan en el perfil costero como sucede en el Barrio La Cascada (Figura 6).

La corriente fría de Humboldt genera mayor incidencia en el segundo semestre del año, llega a partir de junio hasta diciembre mezclándose con las aguas cálidas creando una garúa que genera un clima frío y seco en toda esa época del año. En esta época del año la temperatura del aire

desciende hasta los 19 ° C, la del mar desciende hasta los 21 ° C. Es durante los meses de septiembre y octubre que la corriente de Humboldt tiene mayor incidencia y las temperaturas llegan a sus picos más bajos. (Korntheuer, 2023)

Durante esta época del año existe una mayor presencia de plancton debido a que la corriente de Humboldt viene directa desde el Océano Glaciar Ártico pasando por las costas de Chile y Perú, estas aguas llegan ricas en nutrientes por lo cual existe una mayor presencia de peces. (Korntheuer, 2023).

En la isla Santa Cruz existe una estación meteorológica administrada por la Estación Científica Charlas Darwin, esta estación fue instalada en 1965 por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Consta de 3 equipos básicos necesarios para el análisis del clima como un pluviómetro, un psicrómetro y un heliógrafo que mide la intensidad y duración de los rayos solares. (Fudación Charles Darwin, 2022).

Ilustración 6. Cauce del río que desemboca en los barrancos de Puerto Ayora.



Fuente. Elaboración propia

Fotografía 4. Cascada en época de lluvia.



Fuente. GADCSC

Ilustración 7. Precipitaciones mensuales de Puerto Ayora.



Fuente. (Spark, 2024)

1.4. Pregunta de investigación.

¿Los filtros anaerobios de flujo ascendente son eficientes para la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas?

1.5. Objetivo

1.5.1. General

Evaluar de eficiencia de los filtros anaerobios de flujo ascendente mediante el análisis físico-químico y microbiológico de su efluente para determinar su capacidad de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas.

1.5.2. Objetivo Especifico

- Elaborar 4 Filtros anaerobios variando su material filtrante usando roca volcánica tipo basalto afanítico, basalto porfídico y escoria volcánica para determinar el nivel de retención de contaminantes de cada tipo de roca.
- Realizar los análisis físico-químico y biológicos de las aguas obtenidas de los filtros mediante los diferentes métodos químicos de laboratorio para conocer si estos cumplen con los límites máximos permisibles estipulados en el Acuerdo Ministerial 097- Tabla 10.
- Determinar cuál es el tiempo de residencia hidráulica óptimo para una mejor remoción de contaminantes mediante un monitoreo a diferentes horas de permanencia del agua contaminada en los filtros.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

¿Los filtros anaerobios de flujo ascendente son eficientes para la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas?

1.6.2. Hipótesis específicas

- ¿Elaborando 4 FAFA variando su material filtrante usando roca volcánica tipo basalto afanítico, basalto porfídico y escoria volcánica se podrá determinar el nivel de retención de contaminantes de cada tipo de roca?
- ¿Realizando los análisis físico-químico y biológicos de las aguas obtenidas de los efluentes se podrá conocer si estos cumplen con los límites máximos permisibles estipulados en el Acuerdo Ministerial 097- Tabla 10?
- ¿Determinando el tiempo de residencia hidráulica óptimo se podrá realizar una mejor remoción de contaminantes?

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente.

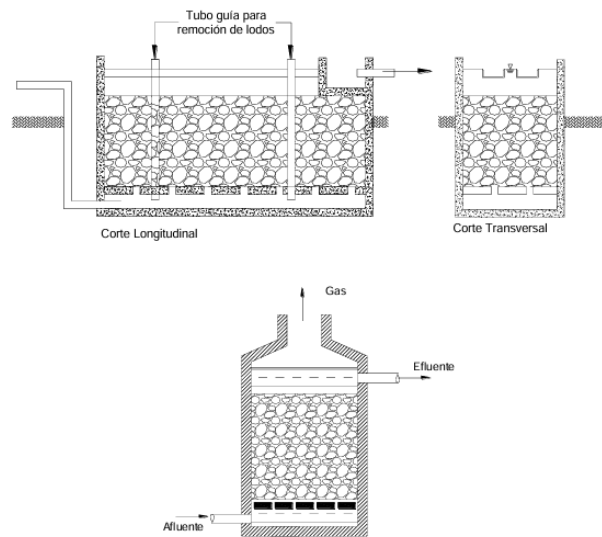
Los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), son reactores en los cuales se desarrollan procesos químicos en ausencia de oxígeno. Poseen un medio filtrante que puede ser de diferentes materiales como roca, madera y plástico, es aquí donde se adhieren las bacterias anaerobias para poder alimentarse de la carga orgánica que posee el agua a tratarse y de esta manera se obtiene un agua más limpia y menos contaminada. (Ras, 2021).

Los FAFAs son un tratamiento secundario para aguas residuales industriales y domésticas, su principal campo de implementación es en áreas rurales donde no se tiene acceso a alcantarillado público. No se debe usar este tipo de filtros como tratamiento primario ya que no está diseñado para este fin, solo puede usarse con aguas previamente tratadas libre de sólidos de gran tamaño y lodos densos que puedan obstruir al flujo constante del agua residual, por lo cual estos filtros solo deben de usar como un tratamiento adicional. (Arango, 2021)

La eficiencia de las FAFA está dada por varios elementos que se deben considerar al momento de diseñar, construir y durante su funcionamiento.

- Carga hidráulica superficial
- Falso Fondo
- Medio filtrante.
- Procesos anaerobios.
- Tiempo de Retención hidráulica.

Ilustración 8. Cortes de un FAFA



Fuente. Ras, 2021

2.1.1. Carga hidráulica superficial

La carga hidráulica superficial (CHS) es el volumen de agua residual que recibirá el área **superficial** del medio filtrante. Este valor se obtiene con la siguiente ecuación.

$$CHS = \frac{Q \left(\frac{m^3}{d} \right)}{A (m^2)}$$

Donde:

CHS = carga hidráulica representada en $l/(m^2 \cdot d)$.

Q = Caudal en $\frac{m^3}{d}$

A = Área en m^2

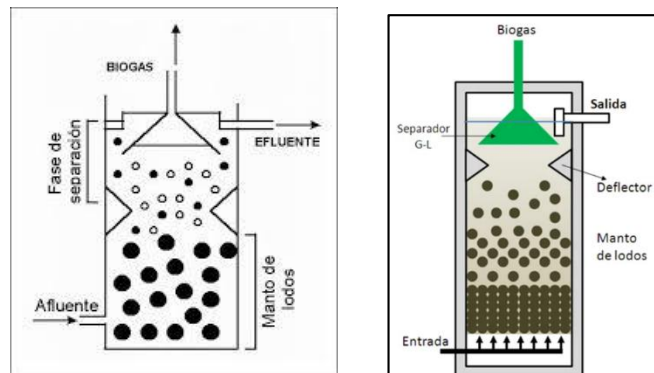
La Comisión Nacional del Agua Mexicana (CONAGUA) (2017), en su Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente aconseja trabajar entre los 6 y 15 m³ / m²*d.

2.1.2. Área de entrada

Existen dos alternativas para esta zona de los FAFAs, una es con la implementación de un falso fondo, el cual será proporcional al tamaño del filtro. En caso se realice este fondo, se deberá colocar una vía para la extracción de lodos que pasaron del tratamiento primario. Puede tener una llave de salida en la parte inferior o un tuvo para succionar desde la parte superior, esto dependerá del lugar de instalación.

La otra alternativa es sin fondo, donde el medio filtrante ocupará todo el volumen del filtro. Aquí se deberá tener más cuidado con los lodos ya que puede existir la posibilidad de taponamiento del sistema. Se deberá distribuir el agua residual de manera uniforme por medio de tubería perforada.

Ilustración 9. FAFAs sin falso fondo de entrada. A. FAFAs con falso fondo de entrada. B



Fuente. Fibras y normas de Colombia S.A.S

2.1.3. Medio filtrante

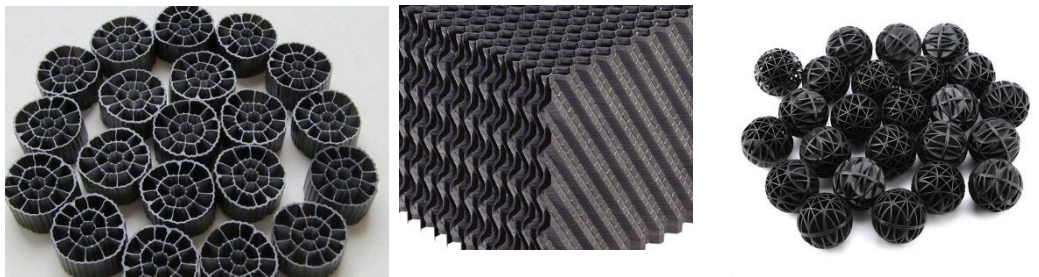
La principal función del medio filtrante es otorgar un área superficial lo más extensa posible. El área superficial mínima requerida es de $30 \text{ m}^2/\text{m}^3$. De esta manera se asegura que las colonias bacterianas se puedan adherir al lecho filtrante (Arango, 2021).

Desde que comenzaron a implementar los FAFA el principal medio filtrante fueron las rocas, se usaba de todas las variedades disponibles, el tamaño de la piedra oscila entre los 4 y 8 cm. Gracias a los avances tecnológicos se ha diseñado otro tipo de medios filtrantes que logra dar mejores resultados que las rocas gracias a sus distintos diseños ergonómicos que se adaptan a las necesidades actuales.

Existen de todos los tamaños y formas, en su mayoría son construidos en polipropileno lo cual les da una mayor firmeza y durabilidad. Sin bien estos productos son costosos, sus beneficios en cuanto a área superficial y resultados son excelentes. Los rosetones redondos llegan a otorgar un área superficial de hasta $90 \text{ m}^2/\text{m}^3$. (Ilustración 10).

Otra alternativa que se suele utilizar es la cascara del coco, ladrillo triturado y el bambú. Uno de los problemas que se ha observado con la piedra como medio filtrante es el taponamiento del sistema debido a que los lodos obstruyen la entrada del afluente.

Ilustración 10. Medios filtrantes de polipropileno



Fuente. Ambiente y soluciones integrales ASI.

2.1.4. Procesos anaerobios.

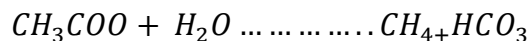
Los procesos anaerobios en el tratamiento de aguas residuales degradan la materia orgánica como proteínas, lípidos y carbohidratos transformándolos en compuestos más simples y biomasa. Todo este proceso se realiza en ausencia de oxígeno por lo cual podríamos encontrar microorganismos como *Clostridium spp*, *Lactobacilos spp*, *Thermococcus spp*, *Methanococcus spp*. Entre otros.

Factores como la temperatura y el pH del medio, determinaran el tipo de microorganismo que se desarrolle en dicho proceso, en temperaturas bajas entre 10 °C y 30 °C se encontraran bacterias de tipo psicrófilos y psicrótrofos, con temperaturas altas entre 50 °C y 80 °C bacterias termófilas. De igual manera el pH es fundamental, en medios ácidos encontraremos bacterias acidófilas y en medios alcalinos bacterias alcalonófilos.

Este proceso de transformación de materia está dividido en 4 etapas. La primera es la **hidrólisis**, donde las enzimas hidrolasas se encargan de descomponer la materia orgánica en moléculas más pequeñas y romper los enlaces. De este proceso se obtienen monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos de cadena larga. (Arango, 2021).

Luego llega la **acidogénesis**, obteniendo ácido láctico, ácido propiónico, ácido acético, butanol, acetona y etanol. Luego de un proceso de fermentación, la materia orgánica se transforma en alcoholes, acetato, hidrogeno, ácidos grasos de cadena corta, , y dióxido de carbono (CO_2). Durante esta etapa el crecimiento bacteriológico se dispara con velocidades de hasta 20 veces y es por ello que en esta etapa del proceso suele acidificarse el medio a tratarse.

En la etapa llamada **acetogénesis**, se oxidan los ácidos generados, obteniendo gas metano, acetato e hidrógeno y durante la **metanogénesis** las bacterias usan el acetato y se forma el metano (CO_3).



2.1.5. Tiempo de residencia hidráulica

El tiempo de residencia hidráulica (TRH) es el tiempo promedio que permanecerá el agua a tratarse dentro del filtro. Este valor se calcula relacionando el volumen del filtro y el caudal del efluente.

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica expresado en días.

V= Volumen del filtro en m^3

Q = Caudal del efluente en m^3/h

El TRH es el factor que más influye en el resultado final, es recomendable un tiempo mínimo de 12 horas (Lozano, 2019), se puede realizar estudios con diferentes horas de TRH para determinar cuál es la más adecuada para tratar el agua residual. Un correcto TRH permitirá que los procesos químicos, físicos y biológicos se desarrollen de manera adecuada por lo se llevará a cabo una correcta sedimentación de sólidos y una oxidación completa de la materia orgánica.

Si el TRH es muy corto estos procesos no se podrían completar y si este tiempo fuera muy extenso se podrían generar gases tóxicos como el ácido sulfhídrico H₂S.

2.2. Rocas Ígneas

El nombre de ígneas viene del latín ignis que quiere decir fuego, estas rocas se originaron mediante el enfriamiento y solidificación del magma. El proceso de formación de las rocas ígneas se lo conoce como cristalización, ya que al enfriarse el magma se realiza un entrelazamiento de las

partículas presentes en el magma y los minerales de la superficie terrestre. El magma es una mezcla compuesta por roca fundida, minerales y gases que se encuentra a una temperatura entre 900 y 1200 grados centígrados (Aulinas Juncá, 2021).

Fotografía 5. Diferentes texturas de rocas ígneas.



Fuente. Ingeoexpert

Para la roca ígnea, la composición se divide en 4 grupos: félsica, intermedia, máfica, y ultramáfica. Estos grupos se refieren a diferentes cantidades de sílice, hierro y magnesio que se encuentren en los minerales que componen las rocas. (Puebla, 2022).

2.2.1. Basalto

Los basaltos son las rocas más comunes en nuestro planeta y constituyen más del 90% de las lavas participantes de las erupciones volcánicas. Cubren prácticamente todas las cortezas oceánicas, también se encuentra en la Luna, en Marte y en algunos meteoritos. Es la variedad más común de roca volcánica. Se forman por el rápido enfriamiento y solidificación del magma al llegar a la superficie. Los basaltos contienen plagioclasas cálcicas, y puede también contener hornablenda, biotita, ortopiroxeno, y feldespatoides. Los basaltos suelen tener una variedad de texturas y características que brindan la información sobre la formación de la roca y su historial de enfriamiento. (Esquivel Macías, 2022).

Tabla 1. *Minerales del basalto.*

Principales minerales presente en el basalto			
Minerales síalicos	Feldespatoides (5%)	Feldespato (2%)	Plagioclasa (90%)
Minerales máficos	Anfibol (1%)	Piroxenos (2%)	

Fuente. (Aulinas Juncá, 2021)

Los basaltos son rocas ígneas volcánicas de color muy oscuro, de grano fino y composición máfica. Este término se utiliza para referirse a una roca con alto contenido en magnesio y hierro. Máfico se deriva de la contracción magnesio y férrico. Están compuestos por minerales ricos en silicatos de magnesio, hierro, manganeso, silicio, cobalto, zinc, boro y aluminio y poca cantidad de sílice. (Aulinas Juncá, 2021)

Se compone mayormente de piroxeno generalmente augita y olivino, conteniendo menores cantidades de feldespato y cuarzo. La composición exacta del basalto puede variar según la ubicación específica y las condiciones geoquímicas y geotérmicas específicas durante su formación. (Puebla, 2022)

El basalto posee una amplia gama de propiedades y aplicaciones. Sus características únicas le convierten en una roca importante en varios campos incluida la geología, la construcción y el patrimonio cultural. La característica del color oscuro del basalto y su naturaleza densa, le da la combinación química de mantener su contenido de sílice relativamente bajo entre un 45 y 55% y un alto contenido de hierro y magnesio. (Esquivel Macías, 2022)

El basalto es conocido por su durabilidad y resistencia, lo que lo hace ideal para materiales de construcción, es resistente al desgaste, a la erosión y puede soportar cargas pesadas y altas presiones. El basalto es un alto retenedor de CO₂ ya que puede retenerlo en sus poros formando

minerales carbonatados estables a través de un proceso llamado carbonatación mineral. Esto puede ayudar a mitigar el cambio climático al almacenar CO₂ en forma sólida y reducir su liberación a la atmósfera.

Fotografía 6. Muestra de basalto con formaciones de calcita en su interior.



Fuente. Climeworks

2.2.1.1. Basalto y la agricultura.

Los basaltos son un estructurante del suelo, por su alto contenido de sílice y calcio puede ser aprovechado en suelos ácidos y básicos. Poseen una combinación de minerales, microorganismos y de sustancias orgánicas. Esta propiedad se debe a las características higroscópicas del basalto micronizado y al desarrollo de humus. (Aguilera, 2020)

Esta roca volcánica reducida a polvo, es una arcilla de alta calidad, estimula la vida microbiana de los excrementos de las lombrices. El polvo de basalto se lo puede usar en la agricultura debido a que es rico en magnesio el cual es de vital importancia para las plantas ya que este ayuda en el proceso de la fotosíntesis

En la actualidad, es un competidor en el refuerzo de fibras de materiales compuestos como las fibras de vidrio y de carbono. (Aguilera, 2020).

Fotografía 7. Camión esparciendo polvo de basalto en tierras de cultivo



Fuente: BBC

El proceso de producción de las fibras de basalto consiste en pulverizar las rocas, luego los fragmentos son sometidos a altas temperaturas para ser extruidas por máquinas para obtener las fibras de basalto. (Aulinas Juncá, 2021)

La harina de basalto es un tipo de fertilizante natural y orgánico de mucho beneficio para el suelo y las plantas. Se obtiene a partir de rocas trituradas y molidas generalmente de origen mineral como basalto, caliza, fosfatos para ser mezclados con el suelo antes de la siembra o incorporarle alrededor de las plantas en cultivos ya establecidos. La dosificación y frecuencia de aplicación pueden variar según el tipo de cultivo y las necesidades específicas de cada suelo. La composición de un suelo varía con la profundidad.

Un ejemplo de este tipo de fertilizante es la composta o compost que se forma de la combinación de productos o desechos orgánicos que sirven para abonar la tierra.

Existen plataformas basálticas que antes estaban bajo el mar, pero debido a los cambios de la corteza terrestre con el pasar de los miles de años, estas plataformas hoy en día están al aire libre, lo cual permite realizar estudios donde se podría saber más sobre la formación de la Tierra.

2.2.1.2. Texturas

Según las características que presentan por la textura, conocemos la de textura afanítica, vesicular, vidriosa, unión columnar, textura amigdaloidal, textura porfídica (Puebla, 2022). Se forma más comúnmente como una roca extrusiva clásica (volcánica) de grano fino (afanítica) presente en la superficie como un flujo de lava a lo largo de las cordilleras en el fondo marino, pero también puede formarse en pequeños cuerpos intrusivos (plutónicos) bajo la superficie como diques. El basalto se hace presente en áreas volcánicas a modo de flujos de lava, piroclasto o ceniza.

La textura afanítica es una roca volcánica, de grano fino en la que los pequeños grupos minerales no son fácilmente visibles a simple vista y se forma a partir del enfriamiento rápido de los flujos de lava en la superficie de la Tierra, lo que evita la formación de grandes cristales minerales y se compone de cristales microscópicos. En cambio, la textura vesicular conserva los vestigios de burbujas producidas por vapor de agua en expansión generado durante el enfriamiento y solidificación de la lava. (Esquivel Macías, 2022).

Fotografía 8. Basalto de textura afanítica



Fuente. Intergard

Los flujos de lava basáltica pueden crear características geológicas únicas como mesetas de basalto, tubos de lava, juntas de columnas que a menudo se utilizan para estudios geológicos y turismo. En algunos casos el basalto también puede exhibir una textura porfídica donde los

cristales más grandes de minerales como el olivino, o la plagioclasa están incrustadas en una matriz de grano fino. Suelen tener una textura porfídica con fenocristales y una matriz cristalina fina. En ocasiones puede presentarse en forma de vidrio denominado sideromelano con muy pocos cristales o sin ellos. (Aulinas Juncá, 2021).

Fotografía 9. Basalto de textura porfídica.



Fuente. OpenGeology

2.2.1.3. Origen del basalto.

La mayor parte del basalto encontrado en la Tierra se produce en tres entornos de formación de rocas:

- Límites divergentes oceánicos. - sufren enfriamientos bruscos y expanden el piso oceánico. Ejemplo. Basaltos almohadillados.
- Puntos calientes oceánicos. - son los que se originan sobre la litósfera oceánica y sobre el continente. En el océano los basaltos son expulsados a través de las estructuras geológicas formando las islas. Ejemplo. Las islas Hawái y las islas Galápagos.
- Plumas del manto y puntos calientes en los continentes. - son erupciones que han formado los basaltos de inundación continentales muy extensos. Ejemplo. Basaltos del río Columbia en EEUU y las Trampas de Deccan en la India.

Las columnas de basalto se producen porque la lava basáltica al enfriarse, se solidifica, pero disminuyendo su volumen, por lo que se cuartea en forma de prismas de diferentes tipos hexagonales, formando unos conjuntos característicos en muchos relieves volcánicos.

2.2.1.4. Usos del basalto

Se ha utilizado principalmente en la construcción como roca triturada en el proceso de fundición de baldosas y especialmente en la producción de agregados pétreos para hormigón o concreto y pavimentos, para bases de carreteras y ferrocarriles (Lucesoli y Pascua, 2020).

También ha sido utilizado por parte de antiguas civilizaciones a lo largo de la historia como utensilios para armas, herramientas y como artes culturales. Podemos destacar las estatuas de la isla de la Pascua en Chile conocidas como Moai, de las cuales existen un aproximado de 1043, estos rostros fueron tallados en roca volcánica hace miles de años atrás. (Yang, 2022), otro ejemplo son las enormes cabezas de la cultura Olmeca que data de los años 1000 – 800 A.C (Machón, 2021).

Fotografía 10. Monolitos de la isla de la Pascua tallados sobre roca basáltica



Fuente. National Geographic

Fotografía 11. Cabezas de la cultura Olmeca.



Fuente. Revista Travesías.

En la industria le utilizan para el revestimiento de basalto fundido para tubos de acero. El proceso de fundición requiere solo una línea de alimentación para transportar la roca de basalto triturada al horno de fusión. Se utiliza también para fabricar materiales de refuerzo de fibra conocidos como fibra de basalto que se utiliza en una amplia gama de aplicaciones incluidas piezas de automóviles, componentes aeroespaciales y artículos deportivos.

Fotografía 12. Perlas talladas en basalto para joyería



Fuente. Muristar.

2.2.2. Escoria volcánica

Es un tipo de roca ígnea extrusivas, producida por la actividad volcánica. Se forma cuando la lava fundida rica en gases se eleva en una tubería volcánica y se enfría rápidamente o se cristaliza. La presión decreciente permite que el gas se expanda. Esta roca es conocida como basalto escoriáceo afanítico lo que significa que está hecho de granos finos y agujeros de gas llamados vesículas, (abundantes cavidades similares a las burbujas). Es una roca piroclástica, liviana, y vidriosa. (Granda, 2023)

La palabra escoria proviene del griego SKORIA que quiere decir óxido. La lava alcanza la presión más baja de la superficie de la Tierra, estos gases comienzan a salir de la solución y forman burbujas dentro de la lava. (Delgado, 2022)

A medida que a lava alcanza la presión más baja de la superficie de la Tierra, estos gases comienzan a salir de la solución y forman burbujas dentro de la lava. (Delgado, 2022)

El tamaño y la distribución de los poros o vesículas que posee la escoria volcánica se deben al rápido enfriamiento en la superficie terrestre y las burbujas de gases se quedan almacenadas en el interior formando vacíos los cuales son muy característicos de este tipo de roca.

Los conos de escoria volcánica se originan en erupciones que por lo general son débiles con una actividad eruptiva pasiva. Los fragmentos de lava que se almacenan cerca del filo del cráter se van acumulando uno sobre otro hasta que forman pequeñas torres que al enfriarse tienen forma de picos (Granda, 2023).

Fotografía 13. Isla Bartolomé.



Fuente. GADMSC.

La escoria se encuentra comúnmente en regiones con actividades volcánicas recientes o pasadas. A menudo se asocia con erupciones volcánicas basálticas o andesítica. Puede confundirse con la pumita o piedra pómez, pero la escoria volcánica es más densa y sus colores son más oscuros.

2.2.2.1. Características físicas

La escoria es una lava de textura altamente vesiculada y porosa, lo que le da una apariencia áspera y esponjosa, de composición máfica, similar a la basáltica y a la andesítica, de color oscuro y llamativo que puede extenderse generalmente de marrón y gris oscuro, negro o rojo violáceo profundo. A menudo está influenciado por la presencia de minerales como hierro y magnesio. (Granda, 2023)

Debido a la alta porosidad manifestada en la cantidad de espacios abiertos (poros, huecos, vesículas dentro de las rocas), la escoria es relativamente liviana. No es tan dura como otras rocas volcánicas, se la puede romper fácilmente o aplastar. Pero, es un buen aislante del calor y del sonido y absorbe y retiene agua.

Tiene una densidad relativamente baja como resultado de sus numerosas vesículas elipsoidales macroscópicas y una gravedad específica superior a 1. Se hunde en el agua. Se compone

aproximadamente con el 50% de sílice y el 10% de óxido de calcio con menor contenido de potasa y soda. Es importante tener en cuenta que las propiedades físicas específicas de la escoria pueden variar según factores como su composición mineral, la velocidad del enfriamiento y el entorno geológico.

2.2.2.2. Características químicas

La escoria es una roca volcánica ígnea piroclástica, generalmente máfica que va del 45-52% del SiO_2 , pero también puede ser intermedia, es decir que puede ir entre el 66- 52% de SiO_2 .

La diversidad química junto con las condiciones termodinámicas propiciará la categorización de la roca ígnea según su composición y textura. Además, les conferirán una serie de propiedades de dureza, color, peso, conductividad térmica y resistencia a los procesos de meteorización y erosión. La escoria tiene características distintivas que la hacen única y reconocible de entre otros tipos de rocas volcánicas.

Las características físicas y químicas de la escoria volcánica se originan desde el magma y durante el proceso eruptivo y el de enfriamiento. Se puede encontrar diferentes tipos de color debido a su composición de hierro y magnesio. También poseen piroxeno y feldespato los cuales están presentes también en otras rocas ígneas.

Algunas de las ocurrencias geológicas de escoria incluyen conos y cráteres volcánicos alrededor de la boca de un volcán o dentro de su cráter. Se acumula a los lados de las chimeneas formando colinas o montículos conocidos como conos volcánicos.

Unos montículos cónicos formados de fragmentos volcánicos se acumulan alrededor y viento debajo de una chimenea volcánica forman conos de ceniza producto de erupciones relativamente leves y el resultado de erupciones masivas de lava forman mesetas volcánicas.

2.2.2.3. Usos de la escoria

La escoria volcánica tiene diferentes usos, en el hogar se usa como decoración de jardines, camino, incluso se usa para decorar muros y cerramientos. Debido a que es una roca liviana la suelen utilizar en construcciones en las cuales se busque aligerar la carga sobre la estructura civil.

- Drenaje y filtración adecuado del agua para evitar anegamientos.
- Aislamiento térmico y acústico.
- Terraplenes viales y ferroviarios.
- Control de la erosión
- Fines artísticos y decorativos.
- Exhibiciones geológicas y educativas.
- Joyas de roca pulida de lava.

Esta roca otorga ventajas en la jardinería y horticultura porque permiten absorber y retener agua permitiendo cosechas de alta calidad. La escoria y las pumitas son rocas vacuoladas que se utilizan como exfoliantes para la piel o materiales aislantes.

2.3. Parámetros físico químicos y biológicos

2.3.1. Potencial de Hidrógeno.

El potencial de hidrogeno(pH), nos indica la concentración de iones de hidrogeno en un fluido. Posee una escala que va de 0 a 14. Siendo 0 el grado más alto de acidez, 14 el grado más bajo de acidez llamado alcalinidad. (Pérez, 2020)

Este parámetro de control de calidad del agua se mide mediante el método electroquímico que consiste en usar un equipo llamado potenciómetro que está compuesto de una sonda con electrodos que reaccionan al entrar en contacto con el fluido a analizar y se genera una corriente eléctrica

dando como resultado un voltaje en mini voltios. Si los mini voltios son positivos estaremos frente a un fluido ácido, si los valores son negativos el fluido es alcalino y si los voltios son igual a 0 es neutro. (Martorell, 2023)

El pH es uno de los parámetros de calidad de agua más relevantes para determinar la contaminación o inocuidad del agua, ya que un pH bajo nos indica que el fluido posee una carga excesiva de materia orgánica y un pH más elevado es indicador de valores elevados de nitrógeno y fosforo. (Martorell, 2023)

2.3.2. Sólidos suspendidos totales (SST)

Este parámetro hace referencias al material particulado presente en el agua residual, estos se determinan por el método gravimétrico. La técnica para eliminar estos SST del agua es mediante reacciones químicas como la coagulación y la floculación. Las altas concentraciones de SST puede generar alteraciones en la temperatura y turbidez del agua. También puede afectar a la vida acuática y puede contribuir a la reducción del oxígeno disuelto.

2.3.3. Color verdadero

El color verdadero está relacionado con las sustancias disueltas o suspendidas en el agua como materia orgánica o ciertos metales como hierro y cobre. (Higiene Ambiental, 2019). Generalmente estas partículas son de tamaño coloidal como arcillas, algas y óxidos de manganeso. (Secretaría de Economía, 2021)

2.3.4. Coliformes fecales.

La presencia de Coliformes fecales es un indicador de que nuestro medio receptor está contaminado. Si bien para nuestro estudio el límite máximo permisible es de 2000 NMP/100 ml, para otros casos este valor cambia como es en el caso del agua para riego que debe tener máximo

1000 NMP/100 ml. Las fuentes de agua para consumo humano de igual manera deben cumplir con máximo 1000 NMP/100 ml. La Norma INEN 1108 determina que el agua potable debe tener menor de 2 NMP/100 ml. Existen varios métodos para eliminar los Coliformes del agua como la ozonización, cloración, ebullición y la más usada y conocida la luz ultravioleta.

2.3.5. Tensoactivos

Los Tensoactivos también conocido como surfactantes los podemos encontrar en varios productos de uso diario y especialmente en jabones y detergentes. Si bien estos se han vuelto indispensables en el diario vivir se han vuelto una amenaza para cuerpos receptores ya que estos reciben aguas residuales domesticas e industriales en muchas ocasiones sin tratamiento previo.

En los últimos años las empresas han buscado la forma de reducir la contaminación por tensoactivos por lo cual sus materiales de limpieza contienen una estructura química que se pueda degradar más fácilmente con las condiciones naturales el clima.

Los efectos negativos más relevantes que generan las altas concentraciones de tensoactivos en el agua es el aumento del pH, eutrofización, acumulación de metales pesados y espumas que impiden el intercambio de gases y de luz.

2.3.6. Aceites y grasas.

Estos compuestos orgánicos están formados por ácidos grasos los cuales pueden ser de origen animal, vegetal o derivados del petróleo. Estos contaminantes crean una película en la superficie del agua impidiendo así el intercambio de gases entre la atmosfera y el agua la cual puede llegar a la reducción del oxígeno disuelto y a la acidificación de la misma. Otro problema que pueden

generar los aceites y grasas en el agua es el impedimento de la penetración de la luz solar al agua por lo cual causa un impacto negativo en la vida acuática.

2.4. Marco legal

En el marco legal ecuatoriano se han establecido códigos, acuerdos y leyes que buscan mitigar la contaminación por aguas residuales domésticas, en estos cuerpos reglamentarios también se establecen responsabilidades, restricciones y prohibiciones.

2.4.1. Acuerdo Ministerial N. 097 – A. Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio de Ambiente.

En el anexo 1 de las Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes al recurso agua, el capítulo 5 apartado 5.2.5 de las Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua marina estable que: *5.2.5.1. Se prohíbe la descarga de aguas residuales domesticas e industriales a cuerpos de agua salobre y marina, sujetos a la influencia de flujo y reflujos de mareas. Todas las descargas a cuerpos de agua estuarinos, sin excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de esta norma. Las Municipalidades deberán incluir en sus planes maestros o similares, las consideraciones para el control de la contaminación de este tipo de cuerpos receptores, por efecto de la escorrentía pluvial urbana.* (MAE, 2015).

En la tabla 10 del Anexo 1 del TULSMA se establecen los límites máximos permisibles para descargar agua residual a un cuerpo de agua marina (anexo 2). En esta tabla se establecen dos áreas por las cuales se puede descargas, de manera directa sobre la zona de rompiente y la descarga por medio de un emisario submarino. Todas estas descargas deberán estar dentro de los parámetros establecidos. (MAE, 2015).

2.4.2. Código orgánico del ambiente.

En el art. 191 del Monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo, dice que los GAD en cooperación con otras autoridades competentes... *“realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción”* (COA, 2017)

En el art. 196 del tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales decreta que *los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia.* (COA, 2017)

2.4.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y

Descentralización (COOTAD)

En el art. 54 de las funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal literal k indica que el municipio debe *Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales* (COOTAD, 2015).

En el art. 55 de las competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal literal d declara que debe *Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley* (COOTAD, 2015).

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño del filtro

Se construyeron 4 FAFA con una altura de 145 centímetros, de los cuales los 15 primeros fueron destinados al falso fondo, luego se destinó 1 metro de lecho filtrante, después de esta se estableció la zona de clarificación con 15 centímetros y por último 15 centímetros más para la zona de circulación y liberación de gases.

3.1.1. Falso fondo

Es la entrada del filtro y es el lugar donde se almacenarán los lodos, CONAGUA (2017) propone la siguiente fórmula para determinar el volumen. Este primer segmento tiene 15 cm de alto.

$$\text{Falso fondo} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Siendo:

r = Radio

h = Altura

3.1.2. Espacio para el lecho filtrante

En este espacio se ubican los diferentes tipos de rocas que se usan como lecho filtrante. CONAGUA (2017) propone la siguiente fórmula para calcular el volumen.

$$\text{Esp. Lecho filtrante } c3 = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Siendo:

r = Radio

h = Altura

El volumen para el agua clarificada y la salida de gases es la misma del falso fondo. Se usó tubos PVC de 4" para elaborar los filtros. En la parte interna posee una rejilla que retiene el lecho filtrante permitiendo de esta manera no caiga al falso fondo. Para la salida del efluente se usó tubo PVC de 1/2". En la salida de gases se instaló una manguera de 1/2" la cual está sumergida en un fluido para evitar el ingreso de oxígeno al sistema y mantener las condiciones anaerobias.

Para el ingreso del agua residual se instaló un sistema a gravedad con la finalidad de no usar bombas para alimentar a los filtros. El agua residual se almacenó a una altura mayor de que los filtros y mediante tubos de 1/2" el agua llegó por la parte interna del filtro a un caudal controlado.

3.2. Criterios de diseño.

3.2.1. Tiempo de residencia hidráulica

Para obtener la TRH se usa la siguiente fórmula (CONAGUA, 2017).

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica expresado en horas.

V= Volumen del filtro en m^3

Q = Caudal del efluente en m^3/d

Para este caso de estudio se usó 3 TRH (6, 12 y 18 horas) para poder determinar cuál es el óptimo, por lo cual se debe controlar el caudal del efluente para alcanzar los tiempos requeridos.

3.2.2. Carga orgánica volumétrica

La carga orgánica volumétrica COV es la cantidad de materia orgánica que recibe el filtro por unidad de medida. La fórmula con la que podemos determinar este parámetro según (CONAGUA, 2017) es:

$$COV = \frac{Q * S}{V}$$

Donde:

V= Volumen del filtro en m^3

Q = Caudal del efluente en m^3/d

S= Concentración de DQO en el afluente en kg/ m^3

3.2.3. Carga hidráulica superficial

La Carga Hidráulica superficial CHS es el volumen de agua residual que recibe diariamente la superficie del medio filtrante. Para esto total que nos proporciona nuestro

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

necesitaremos saber la superficie material filtrante. La siguiente

formula es la que nos ayuda a determinar dicho valor. (COOTAD, 2015).

Donde:

CHS: Carga hidráulica superficial m^3/m^2*d

Q = Caudal del efluente en m^3/d .

A = área superficial del medio empacado en m^2 .

3.3. Elección del material filtrante

Para este caso se va a usar roca de origen volcánico con diferentes niveles de porosidad y texturas. Los basaltos y la escoria volcánica poseen cavidades las cuales permiten tener una mayor área superficial donde las bacterias puedan adherirse.

3.4. Inoculación del material filtrante

La inoculación del material filtrante se la realizó con lodos activos adquiridos en una Planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR), en cada filtro se introdujeron 4 kg de lodos activos los cuales ayudaron a acelerar los procesos ayudando en la eficiencia de los resultados obtenidos. Se dejó actuar a los lodos por 2 semanas para que de esta manera las bacterias anaerobias puedan adherirse y multiplicarse en el lecho filtrante.

3.5. Caracterización del agua residual

El agua residual de este trabajo experimental fue de origen doméstico, en un tanque reservorio de 100 litros se almacenó el agua residual y se tomó una muestra para realizar el análisis físico

químico y biológico con la finalidad de obtener un valor inicial en el cual basar nuestros resultados finales. Si bien este trabajo experimental busca que el agua residual cumpla con los parámetros de calidad expuestos en la Tabla 10 del Acuerdo Ministerial 097-A, solo se realizó 8 parámetros de dicha tabla ya que estos son los que aportan más problemas a los acuíferos cuando hablamos de aguas residuales domésticas.

Tabla 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. Tabla 10.

Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina			
Parámetro	Expresado como	Unidad	LMP. Descarga a zona de rompiente
Aceites y grasas	Sus. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color	Color verdadero	Unidades de color	Inapreciable en dilución
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	400
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	250
Temperatura	°C		35
Potencial de hidrógeno	pH	6-9	6-9
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5

Fuente. Acuerdo Ministerial 097- A

3.6. Extracción y metodología de análisis de datos

Para iniciar a tomas muestras de agua de los 4 FAFA se debe respetar muy bien los caudales establecidos para cada uno de los tiempos de residencia hidráulica. En total se tomaron 13 muestras de agua. La primera es la muestra de control, la cual se analizó para tener como referencia para los otros análisis. Luego se tomaron 3 muestras de cada filtro en un intervalo de 6, 12 y 18 horas

Se tomaron 3 litros de muestra del agua cruda y del agua de cada filtro, ya que esta cantidad es la requerida por el laboratorio que realizará los análisis físico- químico y biológicos. El laboratorio que realizó los análisis es un laboratorio acreditado por la Norma ISO / IEC INEN 17025. Para la toma de muestras y transporte se seguirán las indicaciones establecidas en la Norma INEN 2169. Agua. Calidad del agua. Monitoreo. Manejo y Conservación de muestras.

3.6.1. Coliformes fecales

Los coliformes fecales se los analizó mediante la técnica de tubos múltiples. Esta metodología consiste en someter la muestra a incubación a 35 °C entre 24 y 48 horas.

Este método aconseja que se debe realizar un mínimo de tres repeticiones para asegurar un correcto resultado. Recomienda apearse rigurosamente a la metodología para evitar contaminación externa o cruzada que nos alteren los resultados finales. (HACH, 2000)

3.6.2. Tensoactivos

Este parámetro de calidad del agua se lo realiza mediante espectrofotometría por medio del procedimiento ITU-AQLAB-01 (Bello, 2000).

3.6.3. Sólidos suspendidos totales

Los SST se los determinaron por medio del método 2540-D SST secados a una temperatura de 103 a 105 °C. Antes de iniciar el análisis, retire las partículas gruesas flotantes y los aglomerados sumergidos, de materiales no homogéneos o de naturaleza extraña al resto de la muestra. Debido a que un residuo excesivo en el filtro puede formar una costra que impide el paso del agua, limite el tamaño de muestra suspendiendo la operación de filtrado cuando el tiempo de filtración haya superado los 10 minutos (IDEAM, 2020).

3.6.4. Aceites y grasas

El análisis de los aceites y grasas se lo realizó mediante el método 5520-D Extracción Soxhlet. Para este método el contaminante es extraído con la ayuda de un solvente hexano con la ayuda de un equipo de destilación. Este método puede caracterizar diferentes tipos de aguas como residuales domesticas e industriales. Debido a la fácil oxidación que poseen ciertos aceites y gras se debe tener precaución al no sobre limitar la temperatura del roto vapor. Mediante este método solo se puede determinar de manera global la concentración de aceites y grasas mas no se puede identificar el tipo o clase de contaminante. (IDEAM, 2020).

3.6.5. Color

Para analizar el parámetro de color se lo realiza mediante espectrofotometría método 8025. Se puede expresar el color como color “aparente” o “verdadero”. El espectrofotómetro viene ya programado con las metodologías para analizar el color, por lo cual se debe de seguir el instructivo para obtener óptimos resultados. (HACH, 2000).

3.6.6. Demanda Química de oxígeno

La demanda química de oxígeno se la analizó mediante el método analítico S.M. 5220-D Reflujo cerrado, método colorimétrico. Este método recomienda usar botellas plásticas sólo si se tiene la certeza de que estos envases estén libres de materiales contaminantes orgánicos. El análisis de laboratorio se debe realizar lo antes posible y no mantener almacenada mucho tiempo la muestra. Se debe agitar la muestra para garantizar buenos resultados. Salvo que las muestras se preserven con ácido sulfúrico y se refrigeren a 4°C podría darse el caso que dure hasta 28 días para luego realizar el respectivo análisis. (HACH, 2000)

3.6.7. Potencial de hidrógeno

Para analizar este parámetro se utilizó el método electrométrico 4500-H+B.

3.6.8. Temperatura

Mediante un medidor multiparámetro HI -9829 se realizó la toma de temperatura de las muestras (HACH, 2000). De preferencia este parámetro debe ser analizado in situ, debido que en su transporte y almacenamiento a un laboratorio el resultado final va a variar. (HACH, 2000)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cálculos de los criterios de diseño de los FAFA

4.1.1. Volumen del Falso Fondo (FF)

Las medidas del falso fondo son de 15 cm de alto y tiene un radio de 5.1 cm.

$$FF = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$FF = \pi \cdot 5.1\text{cm}^2 * 15 \text{ cm} = 1226 \text{ cm}^3$$

4.1.2. Volumen del lecho filtrante (LF)

El lecho filtrante tiene una altura de 100 cm y un radio de 5.1 cm.

$$LF = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$LF = \pi \cdot 5.1 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} = 8172 \text{ cm}^3$$

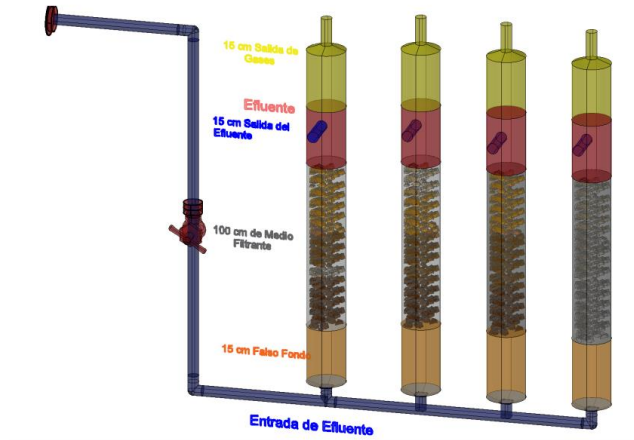
4.1.3. Área del agua clarificada

Las medidas para el agua clarificada son de 15 cm de alto y tiene un radio de 5.1 cm.

$$FF = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$FF = \pi \cdot 5.1 \text{ cm}^2 \cdot 15 \text{ cm} = 1226 \text{ cm}^3$$

Ilustración 11. Diseño de FAFAs en 3D



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Calculo de los TRH

El Volumen total del filtro es de 10624 cm^3 , por lo cual para determinar el caudal necesario para obtener los TRH deseados, se divide el volumen del filtro entre 6, 12 y 18 respectivamente.

$$Q_1 = \frac{10624 \text{ cm}^3}{6 \text{ h}} = 1770.66 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}$$

$$Q_2 = \frac{10624 \text{ cm}^3}{12 \text{ h}} = 885.33 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}$$

$$Q_3 = \frac{10624 \text{ cm}^3}{18 \text{ h}} = 590.22 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}$$

$$TRH_1 = \frac{10624 \text{ cm}^3}{1770.66 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}} = 6 \text{ horas}$$

$$TRH_2 = \frac{10624 \text{ cm}^3}{885.33 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}} = 12 \text{ horas}$$

$$TRH_3 = \frac{10624 \text{ cm}^3}{590.22 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}}} = 18 \text{ horas}$$

4.1.5. Cálculo de la carga orgánica volumétrica

La demanda química de oxígeno (S) del agua a tratar es de 448 mg/l, si este valor lo llevamos a kg/m^3 se obtienen un valor $0.448 \text{ kg}/\text{m}^3$. Para calcular este parámetros se necesita además el volumen (V) del filtro que es 10624 cm^3 y el caudal (Q).

$$COV = \frac{Q * S}{V}$$

$$COV_1 = \frac{1770.66 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} * 0.448 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{10624 \text{ cm}^3} = 0.074 \text{ kg DQO} / (\text{m}^3 * \text{h})$$

$$COV_2 = \frac{855.33 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} * 0.448 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{10624 \text{ cm}^3} = 0.037 \text{ kg DQO} / (\text{m}^3 * \text{h})$$

$$COV_3 = \frac{590.22 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} * 0.448 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{10624 \text{ cm}^3} = 0.024 \text{ kg DQO} / (\text{m}^3 * \text{h})$$

4.2. Caracterización del agua residual doméstica

En la tabla 4 se detallan los valores obtenidos en el análisis de laboratorio del agua residual doméstica utilizada en el trabajo experimental. Como resultado de los análisis de laboratorio se obtuvo que el agua residual tiene un pH de 7.9, la DQO fue de 448 mg/l, los sólidos suspendidos totales con una concentración de 310 mg/l, la temperatura $21.4 \text{ }^\circ\text{C}$, aceites y grasas 75 mg/l, el valor de tensoactivos 1.25 mg/l, los Coliformes fecales $1,1 \times 10^4$ y el color verdadero fue de 25.

De los 8 parámetros analizados se evidenció que 5 de ellos se encuentran sobre el L.M.P estipulados en la tabla 10 del Acuerdo Ministerial 097-A.

Tabla 3. Caracterización del agua residual doméstica sin tratamiento

Caracterización del agua residual doméstica sin tratamiento		
Parámetro	Unidad	Valor
Aceites y grasa	mg/l	75
Coliformes fecales	NMP/100 ml	11.000
Color		25
DQO	mg/l	448
SST	mg/l	310
Temperatura	°C	21.4
pH		7.9
Tensoactivos	mg/l	1.25

Fuente. Elaboración propia

4.3. Caracterización físico-químico y microbiológica de las FAFA.

4.3.1. FAFA de basalto de textura afanítica

Tabla 4. Filtro de basalto de textura afanítica

Filtro de basalto de textura afanítica				
Parámetro	Ud.	TRH 6 horas	TRH 12 horas	TRH 18 horas
Aceites y grasa	mg/l	63	52	43
Coliformes fecales	NMP/100 ml	9800	9400	9100
Color		23	20	18
DQO	mg/l	320	233	174
SST	mg/l	265	202	164
Temperatura	°C	21,1	22,3	20,5
pH		7,7	7,9	7,3
Tensoactivos	mg/l	1,10	0,95	0,85

Fuente. Elaboración propia

4.3.1.1. Análisis de resultados de laboratorio B. Afanítico

En la tabla 5 se describen los resultados del análisis de laboratorio de las aguas tratadas en el filtro con basalto de textura afanítica donde el pH se encuentra entre 7.3 y 7.9 manteniéndose dentro de los l.m.p estipulados en el A.M 097-A. Para los parámetros de DQO y SST se observa una

variación alta en los resultados logrando reducir entre un (28%-61%) y (20%-47%) respectivamente, donde el TRH es un factor determinante logrando reducir la concentración de los contaminantes por debajo de los L.M.P de la Tabla 10 del A.M. 097-A.

4.3.2. FAFA de basalto de textura porfídica

Tabla 5. Filtro de basalto de textura porfídica.

Filtro de basalto de textura porfídica				
Parámetro	Ud.	TRH 6 horas	TRH 12 horas	TRH 18 horas
Aceites y grasa	mg/l	58	44	31
Coliformes fecales	NMP/100 ml	9800	9400	9000
Color		22	19	16
DQO	mg/l	310	220	130
SST	mg/l	235	190	150
Temperatura	°C	21.1	22.3	20.5
pH		7.7	7.9	7.3
Tensoactivos	mg/l	1.05	0.90	0.83

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.1. Análisis de resultados de laboratorio B. porfídico

En el segundo filtro, que está compuesto por basalto de textura afanítica, el cual es más poroso que el B. afanítico se logró estabilizar los SST con el TRH 6 cumpliendo con lo estipulado en la normativa. Para los aceites y grasas, coliformes fecales y tensoactivos si obtuvo una reducción de la contaminación, sin embargo, no se llegó a los valores establecidos como límites máximos permisibles. Para el parámetro de aceites y grasas los resultados obtenidos con el TRH 18 estuvieron más cercanos de cumplir con la normativa la cual estipula que el l.m.p es de 30 mg/l y el resultado obtenido fue de 31 mg/l.

4.3.3. FAFA de escoria volcánica

Tabla 6. Filtro de escoria volcánica.

Filtro de escoria volcánica				
Parámetro	Ud.	TRH 6 horas	TRH 12 horas	TRH 18 horas
Aceites y grasa	mg/l	56	39	29
Coliformes fecales	NMP/100 ml	9700	9300	8000
Color		18	15	13
DQO	mg/l	295	210	115
SST	mg/l	220	179	125
Temperatura	°C	21.1	22.3	20.5
pH		7.7	7.9	7.3
Tensoactivos	mg/l	0.95	0.78	0.55

Fuente. Elaboración propia

4.3.3.1. Análisis de resultados de laboratorio del filtro con escoria volcánica.

En la tabla 7 se evidencia una baja en la concentración de contaminantes, para aceites y grasas con un TRH de 18 horas se logró estar bajo el l. m. p, los coliformes fecales y tensoactivos se evidencia una pequeña disminución de la concentración, pero no es representativo salvo el tensoactivo con 18 horas de TRH que se acercó bastante al l.m.p que es 0.50.

4.3.4. FAFA mixto

Tabla 7. Filtro combinado con 3 materiales.

Filtro combinado con los 3 materiales				
Parámetro	Ud.	TRH 6 horas	TRH 12 horas	TRH 18 horas
Aceites y grasa	mg/l	58	45	32
Coliformes fecales	NMP/100 ml	9800	9500	8800
Color		18	15	13
DQO	mg/l	340	225	145
SST	mg/l	248	210	145
Temperatura	°C	21.1	22.3	20.5
pH		7.7	7.9	7.3
Tensoactivos	mg/l	1.0	0.86	0.65

Fuente. Elaboración propia

4.3.4.1. Análisis de resultados de laboratorio del filtro combinado.

En este filtro se usó los tres diferentes tipos de rocas volcánicas usadas en los filtros anteriores. Los resultados se mantuvieron cerca de los resultados de los otros filtros. Los parámetros de aceites y grasas, tensoactivos y Coliformes fecales se mantuvieron sobre el l.m.p.

4.3.5. Análisis de capacidad de remoción de contaminantes

Para determinar cuál fue el mejor medio filtrante se tomará en cuenta solo los 5 parámetros sobre los cuales hubo mayor influencia como SST, DQO, Coliformes fecales, tensoactivos y aceites y grasas. Los parámetros de temperatura y pH no se los considera ya que no existió una alta variación en sus valores al momento de analizarlos. El análisis se lo realizó sobre el THR de 18 horas ya que con este tiempo se registró la mayor retención en cada uno de los filtros.

Para conocer la eficiencia en la remoción de cada uno de las Fafa, realicé una relación entre la cantidad de contaminante retenido y la cantidad de contaminante de la muestra de control. Es así que mediante cálculos matemáticos se obtuvo cual es la capacidad que tiene cada Fafa para retener contaminantes en base a su TRH. En la tabla 9 se observa que la el Basalto afanítico logró retener un 40.20 %, basalto porfídico 46.61 %, el filtro mixto retuvo un 49,2 % y el filtro de escoria volcánica retuvo un 55.72 %.

Tabla 8. Remoción de contaminantes.

Análisis de capacidad de remoción de contaminantes										
Parámetro	Agua cruda	Unidad	B. afanítico		B. Porfídico		Escoria Vol.		Mixto	
			TRH 18	%	TRH 18	%	TRH 18	%	TRH 18	%
Aceites y grasas	75	mg/l	43	42.67	31	58.67	29	61.33	32	57.33
Coliformes fecales	11000	NMP/100 ml	9100	17.27	9000	18.18	8000	27.27	8800	20
DQO	448	mg/l	174	61.16	130	70.98	115	74.33	145	67.63
SST	310	mg/l	164	47.10	150	51.61	125	59.68	145	53.23
Tensoactivos	1.25	mg/l	0.84	32.8	0.83	33.6	0.55	56	0.65	48
% de remoción del filtro =			40.20		46.61		55.72		49.2	

Fuente: Elaboración propia

4.3.6. Determinación de cumplimiento de la normativa del agua tratada

En la tabla 10 se evidencia que, de todos los parámetros analizados, cinco de ellos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles, por lo cual se sometieron a los FAFA para reducir su carga contaminante y así lograr cumplir con la ley.

El mejor resultado obtenido fue el del filtro de escoria volcánica con un (TRH) de 18 horas, se logró reducir la carga contaminante de 3 parámetros, más los parámetros de Coliformes fecales y tensoactivos no se logró llegar a los valores ideales.

Tabla 9. Cumplimiento de normativa.

Determinación de cumplimiento de la normativa vigente							
Parámetros	Análisis de agua cruda	Unidad	L.M.P. A.M 097- A Tabla 10: Zona de rompiente	B. afanático	B. porfídico	Mixto	Escoria Volcánica
				TRH 18 horas			
Aceites y grasas	75	mg/l	30	43	31	32	29
Coliformes fecales	11000	NMP/100 ml	2000	9100	9000	8800	8000
DQO	448	mg/l	400	174	130	145	115
SST	310	mg/l	250	164	150	145	125
Tensoactivos	1.25	mg/l	0.5	0.85	0.83	0.65	0.55
Temperatura	21.4	oC	-30	20.5	20.5	20.5	20.5
pH	7.9		6 a 9	7.3	7.3	7.3	7.3

Fuente. Elaboración propia

4.4. Discusión

Los FAFA fueron eficientes con la reducción de carga contaminante de DQO y SST. El porcentaje más alto que se logró reducir fue con un TRH de 18 horas, alcanzando un 74 % de remoción. Arango (2021) en su estudio sobre los FAFA logró una remoción del 95 % con un TRH de 48 horas. Debido a esto mientras más alto el TRH es mejor la remoción del contaminante. Arango

(2021) también aconseja que el TRH no sea mayor que 52 horas que ya se comienza a generar ácido sulfhídrico el cual modifica la composición química del agua tratada.

Los SST fue otro parámetro del cual se logró una alta remoción, por ser un sistema de flujo ascendente, mantener caudales muy bajos y tener una alta superficie de contacto, los sólidos se quedan atrapados en el fondo logrando así excelentes resultados. El FAFA de escoria volcánica con un TRH de 18 horas logró retener el 60 % de sólidos en relación a la muestra de agua cruda.

En los anexos 10,11 y 12 observamos la diferencia de color de nuestras muestras. El color verdadero se determina por la concentración de sólidos disueltos en nuestra solución. A medida que se aumenta el TRH y se reduce el caudal logramos reducir la concentración de sólidos disueltos.

Los parámetros de pH y temperatura desde que se inició los estudios no superaron el límite máximo permisible, también se observó que los FAFA no generaron grandes cambios en dichas concentraciones. Sin embargo, estos dos parámetros son de vital importancia monitorearlos ya que influyen en el desarrollo de las bacterias anaerobias. (Lucia Costanza, 2020).

Los aceites y grasas son un problema en los sistemas de tratamientos de aguas residuales, ya que llegan a atascar tuberías y generar condiciones no favorables para el tratamiento. Las aguas residuales domésticas se caracterizan por tener altas concentraciones de aceites y grasas (anexo 1). Con el FAFA de escoria volcánica y con un TRH de 18 horas se logró retener un 65 % de este parámetro logrando así estar por debajo del l.m.p que es de 30 mg/l (Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 10).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Mediante análisis de laboratorio se logró determinar la eficiencia de los FAFAs para remover contaminantes como SST con una capacidad de remoción del 60 %, DQO con un 74 %, aceites y grasas con un 65 %, para tensoactivos 56 %, color verdadero el cambio de coloración fue bastante apreciable, pH y temperatura no existió influencia del sistema de tratamiento y los Coliformes fecales no tuvieron retención ya que este es un sistema de filtración de sólidos y materia orgánica mas no de desinfección.
- La roca volcánica por sus características físicas resultó ser un excelente medio filtrante, de los 4 filtros elaborados el basalto afanítico logró retener un 40.20 %, el basalto porfídico retuvo un 46.61 %, la escoria volcánica un 55.72 % y el filtro mixto logró retener 49.2 % por lo que podemos concluir que la escoria volcánica es el material filtrante con mayor capacidad de remoción de contaminantes.
- Las Filtros Anaerobios de Flujo ascendente parcialmente han ayudado a que las aguas residuales domesticas cumplan con los límites máximos permisibles, de los 8 parámetros analizados se logró cumplir con un 75 %, demostrando que son eficientes para ciertos parámetros mas no en otros.
- Para el presente estudio se determinaron 3 TRH, 6, 12 y 18. Los análisis de laboratorio determinaron que el mejor TRH es 18 horas, ya que se otorgó mayor tiempo para que las bacterias anaerobias puedan transformar la materia orgánica y los SST puedan precipitarse y así obtener un agua más clarificada y menos contaminada.
- Las concentraciones del agua residual domestica varía según las condiciones de los hogares, por lo cual si en desea implementar un FAFAs en dicho domicilio se debe realizar un estudio de los parámetros de control de calidad de dicho afluente, para diseñarlo de modo que cumpla con su propósito de una manera técnica y eficiente.

5.2. Recomendaciones

- Los nuevos pozos sépticos que estén por construirse en Puerto Ayora deben de construirse mediante el monitoreo y control de la autoridad competente con la finalidad de que sean sellados herméticamente y no contribuyan a la contaminación de los cuerpos de agua marina.
- En caso de instalar un sistema de FAFAs se deberá instalar un sistema de trampa de grasa previo para evitar los taponamientos y reducir la carga contaminante de aceites y grasas.
- El efluente del FAFAs puede ser depositado en un lecho filtrante de flujo descendente para ayudar a reducir más su carga contaminante o en un campo encapsulado agrícola con plantas con alta demanda de agua que no sean comestibles.
- Realizar más estudios de la eficiencia de los FAFAs usando otros tipos de medios filtrantes como rosquetes plásticos, PET, madera, ladrillos para determinar el mejor material retenedor de contaminantes y así reducir los gastos de construcción y operación.
- Aumentar el TRH a 24, 32 y 48 horas para determinar la eficiencia en la reducción de los contaminantes del agua residual doméstica.
- Captar el CH_4 producido durante el proceso y buscar alternativas de aprovecharlo y no liberarlo al ambiente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J. G. (2020). *Influencia de dosis de polvo de basalto sobre cultivares de soya*. Research, Society and Development.
- Alejandra Bonilla, G. D. (2020). V. Santa Domingo de los Tsáchilas: EL rectismos y sus efectos en las periferias al sur de la ciudad. *Contested Cities Ecuador- Flacso Ecuador* , 17 -20.
- Arango, A. R. (2021). *Evaluación del diseño de filtros anaerobios de flujo ascendente en planta de tratamiento de aguas residuales municipales*. . Medellín-Colombia .
- Aulinas Juncá, M. R. (2021). Las rocas ígneas en el microscopio petrográfico . *Estrategias y recursos para su aprendizaje*.
- Castillo, A. N. (26 de sep de 2023). *Primicias*. Obtenido de Servicios básicos: El alcantarillado es la gran deuda de los municipios.: <https://www.primicias.ec>
- COA. (2017). *Código orgánico del ambiente*. Quito .
- CONAGUA, C. N. (2017). *Diseña de plantas de tratamiento de aguas residuales minicipales: Filtro Anaeroio de Flujo Ascendente*. México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- COOTAD. (2015). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Quito.
- Delgado, B. (2022). Galápagos: Volcanes dentro de islas oceánicas . *Fundación Científica Charles Darwin* .

- EPMAPASC EP, E. P. (2022). Informe final de rendición de cuentas año fiscal 2022. 14-19.
- Esquivel Macías, C. C.-Q.-C.-O.-C.-S. (2022). Rocas ígneas intrusivas. . *Temas de investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales.* , 310-336.
- Fundación Charles Darwin, C. (2022). *Base de datos climatológicos* . Santa Cruz - Galápagos .
- GADMSC. (2016). *Uso y ocupación del suelo urbano del Cantón Santa Cruz* . Santa Cruz .
- Granda, E. A. (2023). *Cartografía de alta resolución y caracterización física, geoquímica y petrográfica de los productos de erupción de 2018 del volcán Fernandina, Islas Galápagos*. Quito: Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional.
- Higiene Ambiental, H. (17 de mayo de 2019). *Aire, agua y legionella*. Obtenido de Higiene Ambiental: <https://higieneambiental.com>
- INEC, I. N. (2022). *Censo poblacional y vivienda*. Quito.
- INEN. (1997). *CPE INEN 005-9-2 Código práctico para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Quito.
- INOCAR. (2001). Informe técnico de Crucero Costero Insular CO-02-01. *Septiembre del 2001*.
- Instituto de Geociencias (CSIC, U.). (2020). Clasificación de las rocas. *Ciudad ciencia*, 2-3.
- Instituto Geofísico, I. (2022). *Informe Especial Volcán Wolf NO. 2022-01*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, I. (2022). *Estadísticas de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos DEscentralizados Municipales, Gestión de agua Potables y Saneamiento 2021*. Ecuador: INEC.

Korntheuer, R. (2023). *Ecuador Galapagos Info*. Obtenido de Clima de la Isla Santa Cruz : <https://ecuadorgalapagosinfo.com>

Lozano, L. F. (2019). *Evaluación de un sistema de tratamiento descentralizado para el manejo integral de aguas residuales del campus el limonal de la Universidad Santo Tomás , seccional Bucaramango*. Santander, Colombia: Tesis de grado.

Lucesoli y Pascua, D. y. (2020). *Usos potenciales del basalto*. Zapala: Ministerio de Energía y Recursos Naturales.

Lucia Costanza, D. A. (2020). *Bacterias anaerobias: proceso que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta* . Bogotá : Universidad, colegio mayor de cundinamarca. .

Machón, J. R. (2021). Un texto olmeca . *El Tlacuache* , 1-11.

MAE, A. M.-A. (2015). *Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*. Quito .

Martorell, S. D. (12 de Mayo de 2023). *PRISMAB*. Obtenido de PH del agua: 10 cosas que debes saber : <https://prismab.com>

Palacios y Burgos, C. y. (2009). ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁREA MARINO COSTERA DE BAHÍA ACADEMIA , CALETA AEOLIAN Y PUERTO VILLAMIL-ISLAS GALÁPAGOS , JUNIO Y JULIO 2017. *ACTO OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO. VOL 15, 4-5*.

- Pérez, J. V. (2020). *Caracterización y modelado de un reactor anaerobio de flujo ascendente empacado con lecho de lodos*. Ciudad de México: Tesis doctoral .
- Puebla, A. R. (2022). *Rocas y minerales*. Cali-Colombia .
- Ras, R. t. (2021). *Listado de tecnologías de tratamiento de aguas residuales* . Bogota-Colombia : Anexo No.2.
- Rodriguez Ayala, M.A., Y SAndoval Pachón. (2019). *Caracterización de arenas como material para construcción de obras civiles, procedentes de la playa del rio Ariari en el municipio de Puerto Lleras-Meta*. Villavicencio: Uiversidad Cooperativa de Colombia.
- Salamanca, U. d. (2020). *Características de las agus residuales* . España : Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua.
- Secretaría de Economía, S. (2021). *Análisis de Agua–Medición de Color Verdadero en Aguas Naturales, Residuales, Residuales Tratadas y Marinas - Mediante Coeficientes de Absorción Espectral - Método de prueba*. Ciudad de México: Dirección Nacional de Normas.
- SENAGUA. (2016). *Estrategia NAcional de Calidad del Agua, ENCA 2016-2030*. Quito.
- Spark, W. (1 de Febrero de 2024). *Weather Spark*. Obtenido de El clima y tiempo promedio en todo el año en Puerto Ayora -Ecuador : <https://es.weatherspark.com/>
- USFQ, U. C. (2021). "Aguas para Galápagos": un programa de monitoreo de la calidad del agua en las islas Galápagos. *Revista USFQ*.
- Vega, F. (2021). Porqué en Galápagos se bebe agua con excrementos? *Bitacora ambiental* .

Yang, A. (2022). La isla de la Pascua: mitos, leyenda y origen de las famosas cabezas. *National Geographic*.

7. ANEXOS

Anexo 1. Composición típica del agua residual doméstica bruta.

TABLA 3-16
Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1.200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1.000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales ^b	n.º/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	<100	100-400	>400

^a Los valores se deben aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro.

^b Consultar la Tabla 3-18 para obtener los valores típicos correspondientes a otros microorganismos.

Fuente. Calidad del agua

Anexo 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina. Tabla 10.

TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo permisible	
			(A) DESCARGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0	30,0
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro total	CN	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/ l	200, 0	400
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/ l	400, 0	600
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20, 0	20,0
Ma t e r i a flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Me r c u r i o total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno Total kjedahl	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Total es	SST	mg/ l	250, 0	250, 0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/l	50,0	50,0
Compuestos Organofosforados	Organofosforados total e s	µg/l	100, 0	100, 0
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	oC		< 35	< 35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

Fuente. AM 097-A

Anexo 3. Basalto de textura afanítica



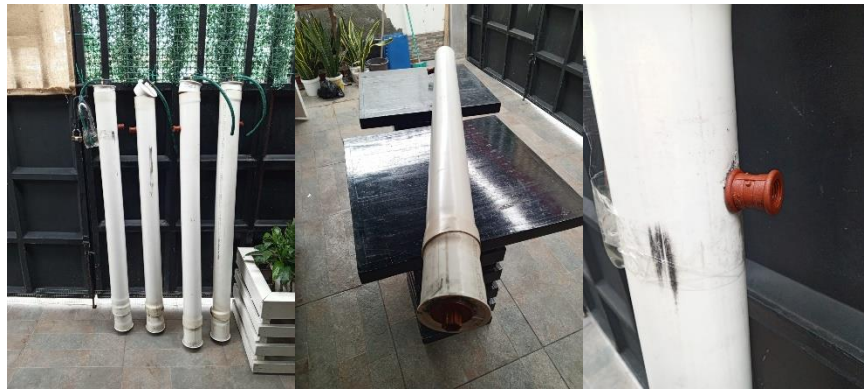
Anexo 4. Basalto de textura porfídica



Anexo 5. Escoria Volcánica



Anexo 6. Elaboración de filtros



Anexo 7. Instalación de FAFA



Anexo 8. Agua residual doméstica



Anexo 9. Triturado de piedra



Anexo 10. Sistema de filtros anaerobios de flujo ascendente



Anexo 11. Toma de muestra de agua residual doméstica.



Anexo 12. Toma de muestras del agua filtrada



Anexo 13. Agua filtrada con 6 horas de TRH.



Anexo 14. Agua filtrada con 12 horas de TRH



Anexo 15. Agua filtrada con 18 horas de TRH



Anexo 16. Análisis de aceites y grasas

