



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

“ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR:

Erik Patricio Anatoa Chandi.

TUTOR:

Ing. Marco Antonio Riofrío Guevara. MSc.

Latacunga, agosto, 2025

Latacunga, 28 de Julio del 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Anatoa Chandi Erik Patricio declaro ser autor del proyecto de titulación, **“ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, siendo el Ing. Marco Antonio Riofrio. MSc tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Anatoa Chandi Erik Patricio

CC. 172598362-9

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **Erik Patricio Anatoa Chandi** identificado con cédula de ciudadanía No.172598362-9 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Abril 2024 – Agosto 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 23 de julio

Tutor: Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara. MSc

Tema: **“ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- g) La publicación del trabajo de grado.

- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. – LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de febrero del 2025

Erik Patricio Anatoa Chandi
LA CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.
LA CESIONA

Latacunga, 28 de Julio del 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, propuesto por el estudiante Anatoa Chandi Erik Patricio de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometido al tribunal de lectores.



Ing. Marco Antonio Riofrio Guevara, Mg.

C.C. 1600682916

TUTOR

Latacunga, 28 de Julio del 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

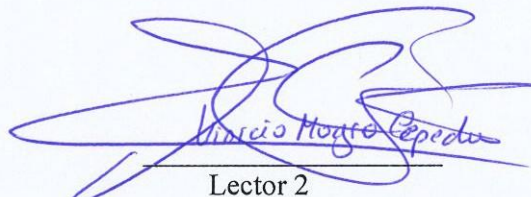
Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, propuesto por el estudiante Anatoa Chandi Erik Patricio de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, me permito indicar que el estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad presencial en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

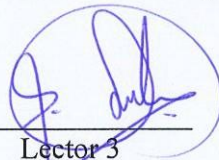
Atentamente,



Lector 1 (Presidente)
Ing. Jorge Luis Villarroel Guerrero.MsC.
CC: 0502943491



Lector 2
Ing. Yenson Vinicio Mogro Cepeda.MsC.
CC: 0501657514



Lector 3
Ing. Patricio Germanico Chavez Zapata.MsC.
CC: 0501305668

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por el regalo de la vida y la sabiduría que me ha concedido, permitiéndome perseverar cada día hasta este punto en mi vida académica.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, por su paciencia, comprensión quienes han sido mi guía y mi mayor apoyo a lo largo de este proceso, sosteniéndome en los momentos difíciles y brindándome la fuerza para seguir adelante.

Asimismo, mi más profundo agradecimiento al Ing. Marco Rio Frio por su dedicación y paciencia infinita. Su dirección académica, llena de sabiduría y estímulo, ha sido fundamental para dar forma a esta investigación. Expreso con palabras cuánto valoro su apoyo y orientación a lo largo de este viaje académico.

A mis compañeros, por su compromiso y entrega a lo largo de este camino, compartiendo esfuerzos y aprendizajes que hicieron de esta experiencia universitaria.

Muchas gracias, de todo corazón, a todos ustedes.

Anatoa Chandi Erik Patrico

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios porque siempre fue mi guía durante todo este proceso, por su sabiduría y fe, para continuar a llegar a la recta final.

Al culminar una de las etapas más significativas de mi vida, dedico este logro a mi madre, Verónica chandi a mi padre Marco Anatoa, a mi hermana Sarahi Anatoa, gracias por su amor incondicional y apoyo constante, por ser mi inspiración y llegar este logro salir adelante cada día con esfuerzo.

De igual forma, dedico este logro a mi abuelita, Rosa Anatoa, con su amor incondicional, sabios consejos y oraciones.

Además, dedico a mis compañeros más cercano Jhon Zumba, por estar en este proceso universitario estando en las buenas y malas compartiendo momentos únicos al igual a Alison Jacho, Marco Villarruel.

Finalmente, a Gissela Velasco por su comprensión y amor, por creen en mí y por acompañarme cada paso hasta la culminación de mi carrera.

Anatoa Chandi Erik Patrico

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ELABORACIÓN DE UN FILTRO DOMESTICO PARA LA ELIMINACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS ZONAS RURALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.”

Autor:

Erik Patricio Anatoa Chandi

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un filtro casero de agua para mejorar la calidad del agua en comunidades rurales en la provincia de Cotopaxi donde no existe tratamiento potable o es inadecuado para el consumo humano.

El líquido vital en las zonas rurales presenta altos niveles de coliformes totales debido a la contaminación generada por actividades antropogénicas: ganadería, y el tratamiento inadecuado de aguas residuales contaminando ríos, quebradas o vertientes naturales. Esto presenta un riesgo para la salud humana, causando enfermedades intestinales y afectando el desarrollo cognitivo infantil.

Se ha diseñado un filtro de agua con materiales fisicoquímicos con el uso de sílice de arena con el 50%, Carbón Activado con el 31%, Zeolita de arena con él 13%, Zeolita de piedra con el 7% y 4 membranas de 20 micras y en base a los análisis de laboratorio microbiológico se obtuvo la eliminación de 98.93% y el 95.56%, con respecto al diseño hidráulico, filtro presento las siguientes propiedades: El flujo es laminar ideal sin turbulencias, con un rango de presión de 0-15.228 psi, la filtración lenta: 0.1-0.3 m/s (cumple), con puertos de salida y entrada de ½ pulg.

Como conclusión se puede determinar que el filtro sirve de base para futuros estudios, con la finalidad de mejorar al 100% del rendimiento para cumplir las normas sanitarias y calidad del agua.

Palabras clave: Filtración, Coliformes totales, calidad del agua, microbiología.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

Theme: "Development of a Domestic Filter for the Elimination of Total Coliforms in Rural Areas of the Province of Cotopaxi."

Author:

Erik Patricio Anatoa Chandi

ABSTRACT

The objective of this project is to develop a homemade water filter to improve water quality in rural communities in the province of Cotopaxi, where there is no potable water treatment or it is inadequate for human consumption. The vital liquid in rural areas has high levels of total coliforms due to contamination generated by anthropogenic activities: livestock farming and inadequate treatment of wastewater contaminating rivers, streams, or natural springs. This poses a risk to human health, causing intestinal diseases and affecting children's cognitive development. A water filter has been designed with physicochemical materials using 50% silica sand, 31% activated carbon, 13% sand zeolite, 7% stone zeolite, and four 20-micron membranes. Based on microbiological laboratory analyses, 98.93% and 95.56%, respectively. About the hydraulic design, the filter has the following properties: ideal laminar flow without turbulence, with a pressure range of 0-15.228 psi, slow filtration: 0.1-0.3 m/s (compliant), with ½-inch inlet and outlet ports. In conclusion, the filter serves as a basis for future studies, to improve performance to 100% in order to comply with health and water quality standards.

Keywords: Filtration, Total Coliforms, Water Quality, Microbiology.

Contenido

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. PROBLEMA	4
2.1.1. Situación Problemática	4
2.1.2. Formulación del problema.....	5
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.2.1. Objeto de investigación	5
2.2.2. Campo de acción	5
2.3. BENEFICIARIOS	5
2.3.1. Beneficiarios directos	5
2.3.2. Beneficiarios Indirectos.....	6
2.4. JUSTIFICACIÓN.....	6
2.5. OBJETIVOS.....	7
2.5.1. General	7
2.5.2. Específicos.....	7
2.6. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS....	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	9
3.1. ANTECEDENTES	9
3.2. MARCO REFERENCIAL	11
3.2.1. El Agua	11
3.2.2. Agua Potable	11
3.2.3. Coliformes totales.....	11
3.2.4. Contaminación fecal en aguas	12
3.2.5. Indicadores de contaminación fecal de aguas.....	13
3.2.6. Microbiología del agua.....	13
3.2.7. Microbiología del río Cutuchi	13

3.2.8.	Contaminantes en el río Cutuchi	13
3.2.9.	Bacterias	14
3.2.10.	Escherichia coli	15
3.2.11.	Estreptococos Fecales.....	15
3.2.12.	Salud Humana	15
3.2.13.	Calidad del Agua	15
3.2.14.	Filtros para el tratamiento de agua en el hogar.....	16
3.2.15.	Materiales para el desarrollo del prototipo.....	18
3.2.16.	Construcción del prototipo	20
3.2.17.	Marco legal.....	21
3.2.18.	AutoCAD.....	21
3.2.19.	ANSYS.....	21
4.	METODOLOGÍA.....	22
4.1.	Selección de materiales filtrantes	24
4.1.1.	Análisis de materiales fisicoquímicos antes del filtrado	24
4.1.2.	Análisis del rio cutuchi después del filtrado.....	25
4.1.3.	Análisis del agua con los materiales fisicoquímicos después del filtrado.....	25
4.1.4.	Segundo análisis y selección con el prototipo 3 de botellas de plástico.....	28
4.2.	Desarrollo del prototipo de filtro basado en resultados de filtros caseros.....	31
4.2.1.	Aspectos geométricos en el diseño del software AUTOCAD	31
4.3.	Pruebas del prototipo en ANSYS FLUENT	32
4.3.1.	Análisis de muestras antes del filtrado	33
4.3.2.	Análisis procedimiento después del filtrado en el laboratorio microbiológico	34
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
5.1.	Resultados fisicoquímicos de materiales para la eliminación de coliformes totales.	35
5.1.1.	Configuración del sistema de filtración en prototipo experimental	37

5.2.	Resultados de la simulación del flujo del agua en el software ANSYS FUENT para el análisis del comportamiento del fluido.....	37
5.3.	Diseño de filtro en AutoCAD	42
5.3.1.	Ensamblaje del prototipo con materiales fisicoquímicos	43
5.4.	Validación de la efectividad del prototipo mediante muestras de agua.....	44
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
6.1.	CONCLUSIONES.....	49
6.2.	RECOMENDACIONES	49
7.	REFERENCIAS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.....	1
Tabla 2. 1 Campo de acción.....	5
Tabla 2. 2 Beneficiarios directos.	5
Tabla 2. 3 Sistemas de Tareas.	7
Tabla 3. 1 Especificaciones técnicas del carbón activado.....	18
Tabla 3. 2 Especificaciones técnicas de arena de sílice.....	19
Tabla 3. 3 Especificaciones técnicas de la zeolita.....	19
Tabla 4. 1 P1.....	25
Tabla 4. 2 -P2.....	26
Tabla 4. 3 -P3.....	26
Tabla 4. 4 -P4.....	27
Tabla 4. 5 -P5.....	27
Tabla 4. 6 P3-1.....	29
Tabla 4. 7 P3-2.....	29
Tabla 4. 8 P3-3.....	30
Tabla 4. 9 Características de diseño del filtro.....	32
Tabla 4. 10 Interpretación de resultados.....	34
Tabla 5. 1 Efectividad de materiales Fisicoquímicos.....	36
Tabla 5. 2 Características de separadores tipo rejilla.....	43
Tabla 5. 3 Ensamblaje del filtro impreso con material fisicoquímicos.....	43
Tabla 5. 4 Muestras después y antes del filtrado.....	44
Tabla 5. 5 Especificaciones técnicas del filtro.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1 Filtros cerámicos (cubo + olla).....	16
Figura 3. 2 Filtración y ultrafiltración por membrana.....	17
Figura 3. 3 Filtro de varias etapas.....	17
Figura 4. 1 Diagrama de flujo.....	23
Figura 4. 2 Elaboración de los prototipos de botellas de plástico.....	28
Figura 4. 3 Segundo análisis y selección con el prototipo 3 de botellas de plástico.....	31
Figura 4. 4 Diseño del filtro domestico en AutoCAD.....	32
Figura 4. 5 kit de análisis Colilert.....	35
Figura 5. 1 Vectores de velocidad.....	37
Figura 5. 2 Contorno de presión.....	38
Figura 5. 3 Magnitud de velocidad.....	39
Figura 5. 4 Configuración de zonas de capas.....	41
Figura 5. 5 Caudal de salida.....	42
Figura 5. 6 Diseño en AUTOCAD 3D.....	43
Figura 5. 7 Ensambla del prototipo.....	44
Figura 5. 8 Pruebas de kit Colilert.....	45
Figura 5. 9 Pruebas de kit Colilert.....	46
Figura 5. 10 Pruebas kit de Colilert.....	46
Figura 5. 11 Pruebas de kit Colilert.....	47

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: “Diseño y elaboración de un filtro domestico para la eliminación de los coliformes totales en las zonas rurales de la provincia de Cotopaxi”.

Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Examen de indicadores de RDA		

Tipo de Proyecto: Proyecto de Investigación

Carrera: Ingeniería Hidráulica

Equipo de trabajo:

Tutor de titulación: Ing. Mg. Marco Antonio Riofrío Guevara.

Investigador: Anatoa Chandi Erik Patricio

Área de conocimiento

Tabla 1. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

2302.20 Química Microbiológica	
3305.06	Ingeniería Hidráulica
3305.15	Ingeniería Química

3308.09	Ingeniería Sanitaria
3312	Tecnología de Materiales

Línea de investigación: Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

Sub líneas de investigación de la carrera: Gestión y manejo sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Cotopaxi, se han reportado altos índices de contaminación del agua por coliformes totales lo que representa una seria amenaza para la salud pública. Por ejemplo, los coliformes totales en el río Cutuchi en la ciudad de Latacunga tiene como resultado (3115,5 NMP/100 ml).[1] Se sabe mediante revisión bibliográfica que el consumo de agua contaminada está asociado con enfermedades del tracto intestinal, Sin embargo, el acceso insuficiente a agua potable y la falta de prácticas adecuadas de higiene pueden contribuir a la desnutrición infantil de diversas maneras mujeres embarazadas[2]. Diversos estudios han evidenciado, la calidad del agua en la provincia de Cotopaxi, el agua, especialmente la calidad del río, está empeorada, principalmente debido a fuentes de aguas residuales de centros urbanos, áreas industriales, actividades agrícolas y aguas residuales.[3]. Se considera una fuente de contaminación debido a la inexactitud de tratamiento después de su uso debido a ninguna cobertura sanitaria que afecte el ciclo del agua.[4]

A nivel global, organismo como UNICEF y el sector de agua, sanitario e higiene (WASH) ha priorizado en cantidades suficientes de agua segura, especialmente en sociedades vulnerables.[5] Existen múltiples estrategias para el tratamiento del agua en el domicilio, como pastillas de cloro, desinfección solar y filtros, que han demostrado ser eficientes en diferentes contextos. Sin embargo, la implementación de filtros de bajo costo y alta eficiencia representa una alternativa sostenible para el descenso de la carga microbiológica en el agua potable.

En Ecuador, por su parte se realizó un trabajo de investigación la contaminación bacteriana del agua potable embotellada reutilizable en la costa norte. El producto que se vende en envases reutilizables en la provincia de Esmeraldas, estaba contaminado con coliformes. El agua tomada directamente del sistema de tratamiento contenía coliformes, lo que sugiere que la mayor parte de la contaminación bacteriana observada se debió a la limpieza inadecuada de las botellas

reutilizables entre usos. La contaminación por coliformes podría representar un riesgo para la salud de la provincia de Esmeraldas. [6]

Según la OMS, Las cantidades recomendadas por las guías de la OMS son 0 UFC (unidades de formación de colon) /100 ml. La mayoría de los países analizan si cumplen con los estándares nacionales.

Las directrices de la OMS establecieron 0 parámetros UFC/ml para las bacterias coliformes totales adoptadas por países como Canadá, EE. UU, Costa Rica, Salvador, Bolivia, Brasil, Perú y Uruguay con un total de 61.11%.

Se encontró el 38.88% de los países por encima de esta frontera, incluidos Chile, Colombia y Ecuador, muestran la cantidad máxima permitida de 1 UFC/ml, al contrario, como México, Ecuador, Honduras, Paraguay y Nicaragua de 2 a 4 UFC/ml. Ninguno de los países es inferior a lo que se recomienda.[7]

En parte por la norma técnica ecuatoriana de normalización NTE INEN 1108:2011 esta normativa establece obligaciones que debe cumplir el agua potable para el consumo humano. Esta norma es predeterminada se refiere al agua potable en sistemas de entrega pública y privada utilizando redes de distribución y tanque.[8]

El agua potable debe cumplir con los requisitos microbiológicos que se establecen por parámetros. Los coliformes totales tiene como unidad máxima de número/100 ml con las ausencias corresponde a “< 1,1 NMP/100 ml” y “<1 UFC/100 ml” con los métodos de ensayo, Standard Methods 9221 y Standard Methods 9222. En el caso de los métodos de prueba alternativos para los especificados, deben cortarse. Si no era un método estandarizado, debe ser aprobado por las agencias sanitarias nacionales.[8]

Tanto la encuesta ENEMDU 2018 [9] como el censo de 2018 indagan si el hogar lleva a cabo algún tratamiento del agua potable. Los tratamientos más comunes incluyen: hervir el agua, añadir cloro, utilizar filtros o adquirir agua embotellada. La forma más común de tratar el agua es hirviéndola. Este procedimiento, suponiendo que se conserva en un depósito apropiado y se hierva el tiempo necesario, suprimiría los agentes microbiológicos, como la bacteria del E.coli, los parásitos, entre otros.[10]

En el año 2021 Las enfermedades provocadas por los alimentos suelen ser infecciosas o tóxicas, causadas por bacterias, virus o parásitos que integran al cuerpo a través de agua o alimentos contaminados. Involucran diversas dolencias y representan un problema de salud pública creciente en todo el mundo, en cualquier fase del procesamiento alimentario, desde la

producción hasta el consumo. El signo clínico más frecuente es la manifestación de síntomas gastrointestinales. Se han reportado 4.794 casos en todo el Ecuador y en la provincia de Cotopaxi se registran un total de 239 casos. [11]

En base en estos problemas que mantiene la provincia de Cotopaxi se elaboró un filtro domestico para eliminar los microorganismos para mejorar la calidad de agua, se investigó varios materiales fisicoquímicos en los cuales se escogió la zeolita, zeolita de piedra, sílice y carbón activado, además se diseñó un filtro en 3D en el software AUTOCAD con una geometría cilíndrica que se imprimió con el material (PET).

2.1. PROBLEMA

2.1.1. Situación Problemática

A lo largo de la historia, el agua ha sido considerada un recurso fundamental para la conservación humana; es un nutriente crucial para la vida y el elemento más prevalente en el organismo, involucrándose de alguna forma en casi todos los procesos fisiológicos.[12]

En algunos sectores rurales de la provincia de Cotopaxi, el acceso al agua potable continúa representando un desafío significativo. La calidad del agua, sobre todo de los ríos, se deteriora, fundamentalmente por su utilización a su uso como origen de aguas residuales procedentes de centros urbanos, zonas industriales, actividades agrícolas y aguas residuales.[13], En muchas comunidades, el agua reservada al consumo humano, así como para actividades domésticas como la elaboración de alimentos, el lavado de ropa y la higiene personal, proviene de fuentes superficiales como ríos y quebradas, las cuales no siempre cuentan con tratamientos adecuados.

Estudios de laboratorio realizados en diversos cuerpos de agua de la provincia de Cotopaxi han evidenciado la presencia de altos niveles microbiológicos como la cuantificación de aerobios totales, coliformes totales, Escherichia coli y bacterias indicadoras de contaminación fecal.[14] Esta situación representa un peligro directo para la salud pública, ya que la ingestión de agua contaminada puede ocasionar enfermedades gastrointestinales como diarreas, parasitosis, infecciones intestinales y en casos más graves desnutrición infantil la misma que deriva en bajo un desarrollo intelectual en los niños. En Ecuador, se estima que la prevalencia de parasitosis intestinal en la infancia es del 85,7% de los niños, afectando principalmente a localidades rurales, en regiones con alta densidad poblacional y escasos recursos económicos.[15]

Esta problemática plantea la necesidad de buscar soluciones inmediatas y prácticas que respondan a la realidad de las comunidades rurales, considerando factores como la distancia

entre poblaciones, la falta de recursos para cambiar en sistemas adecuados de tratamiento y el poco control que existe sobre la calidad del agua que llega a los domicilios. Es fundamental que estas soluciones ayuden a garantizar el acceso a una mejor calidad de agua para el consumo diario de las familias de la provincia de Cotopaxi.

Por ejemplo, los escasos recursos de agua potable, provocados por la inadecuada gestión y reparto de recursos hídricos para los residentes de las comunidades de Shuyo Chico y San Pablo, localizadas en la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, ha resultado en el uso de agua entubada en condiciones no idóneas, la cual contiene partículas y microorganismos que afectan la calidad del agua potable.[16]

2.1.2. Formulación del problema

Existencia de coliformes totales en las fuentes hídricas de las zonas rurales de la Provincia de Cotopaxi.

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de investigación

Desarrollar un filtro para la eliminación de coliformes totales mediante el diseño y la elaboración para el uso en comunidades rurales.

2.2.2. Campo de acción

Tabla 2. 1 Campo de acción

23 Química	2302 Bioquímica	2302.20 Química Microbiológica
33ciencias Tecnológicas	3305 tecnología de la Construcción	3305.15 Ingeniería Hidráulica

2.3. BENEFICIARIOS

2.3.1. Beneficiarios directos

Las comunidades rurales son los beneficiarios directos porque serán quienes mejoren sus condiciones de vida mediante el consumo de un agua más purificada.

En las comunidades beneficiarias se encuentra la siguiente cantidad de habitantes, según se detalla en la Tabla 2.2

Tabla 2. 2 Beneficiarios directos.

Cantón	Población
Latacunga	217.261
Salcedo	67.493
Pujilí	66.980
La maná	53.793
Saquisilí	24.356
Pangua	21.867
Sigchos	18.460
Total	470.210

2.3.2. Beneficiarios Indirectos

Los beneficiarios indirectos son todos aquellos investigadores, estudiantes, ciudadanía en general.

2.4. JUSTIFICACIÓN

En muchas comunidades rurales en la provincia de Cotopaxi, el acceso al agua potable segura es limitado, lo que expone a la población a diversas enfermedades gastrointestinales y cutáneas. Una de las principales problemáticas es la contaminación del agua por coliformes totales es un problema recurrente debido a la actividad agrícola, la ganadería y el inadecuado tratamiento de aguas residuales un grupo de bacterias que incluyen especies indicadoras de contaminación fecal y posibles agentes patógenos. La ingesta de agua contaminada con coliformes totales puede provocar enfermedades gastrointestinales, infecciones y otras afecciones que afectan especialmente a niños, personas mayores y personas con sistemas inmunológicos debilitados.

El desarrollo de un filtro para la eliminación de coliformes totales es un medio accesible y efectiva para optimar la calidad del agua en comunidades rurales. Este tipo de tecnología permite reducir significativamente la presencia de microorganismos nocivos sin la necesidad de infraestructuras costosas o tratamientos con agentes químicos que puedan ser difíciles de gestionar en estas localidades.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. General

Desarrollar un filtro para la eliminación de coliformes totales mediante el diseño y la elaboración para el uso en comunidades rurales.

2.5.2. Específicos

- Establecer propiedades químicas y microbiológicas de materiales para la eliminación en los coliformes totales.
- Simular el flujo del agua mediante en el software ANSYS FLUENT para el análisis del comportamiento del fluido.
- Diseñar un filtro en AutoCAD en impresión en 3D con materiales reciclables (PET).
- Validar la efectividad del prototipo mediante muestras de agua.

2.6. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. 3 Sistemas de Tareas.

Objetivos Específicos	Actividad	Resultados esperados	Técnicas e Instrumentos
Establecer propiedades químicas y microbiológicas de materiales para la eliminación en los coliformes totales	Investigar el tipo de materiales adecuados para la eliminación de coliformes totales.	Comprobar eficiencia de los diferentes materiales para la retención de microorganismos	Técnica: Revisión Documental Instrumento: Tesis, artículos científicos
	Ensamblaje de los materiales en ocho botellas de plástico para filtrar y retener los microorganismos.	Obtener el mejor diseño en función a la composición que contiene cada uno de los 8 prototipos de botellas.	Técnica: Revisión Documental Instrumento: reactivo de MacConkey, artículos científicos

<p>Simular el fluido del agua mediante modelos matemáticos en el software ANSYS FLUENT</p>	<p>Simulación con resultados hidráulicos con el fluido y materiales fisicoquímicos.</p>	<p>Resultados en la simulación en ANSYS FLUENT datos hidráulicos: vectores de velocidad, contorno de presión (Pa) y la magnitud de velocidad (m/s) y la configuración de zonas de materiales y caudal de salida (m³/s).</p>	<p>Técnica: Simulación Instrumento: Software ANSYS</p>
<p>Diseñar un filtro en AutoCAD en impresión en 3D con materiales reciclables (PET).</p>	<p>Diseño en 3D con sus respectivas mediciones y bocetado al filtro casero.</p>	<p>Diseño e impresión con el material resistente y durable para las pruebas de laboratorio.</p>	<p>Técnica: Instrumento: Software AUTOCAD Y impresión en 3D Creality k2 plus en la empresa Velops Corrales</p>
	<p>Selección del material tereftalato de polietileno (PET).</p>		
	<p>Impresión y ensamblaje del prototipo con los materiales fisicoquímico.</p>		
<p>Validar la efectividad del prototipo mediante muestras de agua esterilizada.</p>	<p>Selección y recolección de muestras de agua esterilizadas después de la filtración.</p>	<p>Porcentaje de eliminación de coliformes</p>	<p>Técnica: Kit de análisis Colilert. Instrumento: Filtro impreso, laboratorio</p>

	Análisis de resultados en los laboratorios Latacunga y Quito.	totales después del filtro.	Multianalytica, Agua potable Latacunga.
--	---	-----------------------------	---

Fuente: Elaboración propia

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Mediante investigaciones se encontró diseño y construcción de diferentes materiales o métodos de filtros caseros para eliminar microorganismos como tal el estudio de la calidad del agua en las zonas rurales provincia de Cotopaxi. La problemática actual es la presencia de coliformes totales en el agua ya que indica una potencial contaminación fecal y, por tanto, un riesgo elevado de malestares gastrointestinales y otras, especialmente en poblaciones vulnerables. Las acciones de tratamiento doméstico del agua (TDA) pueden ayudar considerablemente a salvaguardar la salud pública en casos donde el agua potable de distintas fuentes, incluyendo el agua entubada u otras fuentes mejoradas, no reciba un tratamiento adecuado o se contamine durante su distribución o almacenamiento.[17]

En estudios llevados a cabo sobre la calidad del agua, son elementos que garantizan bioindicadores adecuados para las actividades agrícolas. En el caso del río Cutuchi, se recolectaron muestras de dos lugares de las comunidades vecinas, tienen lugar los análisis de laboratorios convenientes en Tiobamba y San Rafael, donde se llevaron a cabo técnicas bioquímicas para diferenciar bacterias, pertenecientes a las familias E. coli, Enterobacter, Shigella y Pseudomonas. Se detectaron coliformes fecales en el río Cutuchi. Este río provoca serias infecciones a la salud humana, dado que se utiliza para el riego y consumo animal. Su promedio es de 23 UFC/100ml a 23,67 UFC/100ml, que en comparación con la norma superan los límites establecidos por el Libro VI Anexo I del TULSMA, que dicta que el valor máximo permitido es de 20 UFC/100ml. [18]

Este estudio se enfoca en el análisis de la contaminación del río Pumacunchi en la Provincia de Cotopaxi, empleando los indicadores CANADIENSE e ICOMI durante el lapso correspondiente entre mayo y julio de 2022. Se hallaron coliformes fecales (138166,66 NMP/100ml) evaluados en dos lugares clave situados en Chantilín-Saquisilí y el mercado mayorista de Latacunga.[19]

La investigación evaluó cómo cambia la calidad del agua en el río Cutuchi a lo largo del tiempo, utilizando el índice de aguas superficiales de la Fundación Nacional de Sanidad (NSF). Durante el periodo de análisis, los años 2011 (800 UFC/100ml), 2012 (4300 UFC/100ml) y 2013 (790 UFC/100ml) mostraron niveles de Coliformes Fecales que se sitúan dentro del rango de los LMP. Sin embargo, en 2014 (170000 UFC/100ml) y 2015 (110000 UFC/100ml), junto con el periodo de muestreo, todos los índices superaron los límites permitido. En enero de 2020, se observó el mayor nivel de contaminación por Coliformes Fecales (350000 UFC/10mL), como se indica en la Tabla 3 del (TULSMA, LIBRO VI ANEXO 1, 2015).[20]

En uno de sus trabajos, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, desarrolló y fabricó un filtro de agua vegano. Respecto al estudio microbiológico, se notó que las dos muestras poseen un elevado número de Coliformes Totales, lo que resulta en que el líquido no sea apropiado para el consumo humano. Además, es notable que las muestras no exhiben Coliformes fecales, lo que representaría un elemento aún más perjudicial para el agua. Dimensiones de la Muestra No Tratada Total de Coliformes (UFC/100ml) - 600 Incontable.[21]

El Dpto. Ingeniería Ambiental, Facultad de Tecnología Mineral, Universidad Nacional de Desarrollo de Yogyakarta, Indonesia, Realizo un estudio de la filtración lenta con arena para la eliminación de coliformes totales y E. coli. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de SSF en la eliminación de bacterias (coliformes totales y E. coli). El rendimiento general de estas columnas con respecto a la eliminación de bacterias fue bueno, alcanzando ente 1.6 y 4.7 unidades logarítmicas o 97,7-99.998% de eliminación de coliformes totales y 1.6-5 unidades logarítmicas o 97,6-99.995% Eliminación de E. coli. El mejor rendimiento, con resultados consistentes, se obtuvo con las columnas de filtración F4 que consistía en arena de lava y tenía la configuración C2 ($d_{10} = 0,07$ mm y $C_u = 4,2$).[22]

Se llevó a cabo una investigación sobre la aplicación de la zeolita como medio de filtración en aguas procesadas en una planta de tratamiento, y los resultados de los análisis microbiológicos mostraron "coliformes totales UFC/ml 100 incubadora bacteriana permitido 3000 UFC/ml", lo que demuestra que se ha evaluado la existencia de coliformes totales en una muestra de agua desinfectada. Los coliformes totales albergan varias bacterias, y algunas de ellas pueden señalar contaminación fecal y representar un peligro para la salud si se hallan en concentraciones altas en el agua. Los coliformes totales contienen diversas bacterias, algunas de las cuales pueden indicar la existencia de contaminación fecal y representar un riesgo para la salud si se encuentran en grandes cantidades en el agua. El valor "UFC/ml" indica la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias por mililitro en la muestra, lo que se traduce en 100 UFC/ml. Este

hallazgo se ha conseguido al mantener la muestra en una incubadora de bacterias, lo que permite la multiplicación de las bacterias existentes para su identificación eventual. Para coliformes totales, el límite máximo autorizado es de 3000 UFC/ml. El resultado de 100 UFC/ml, que se encuentra considerablemente por debajo de este límite, señala que el agua examinada satisface los criterios de calidad fijados en relación a la existencia de coliformes totales. No existen anomalías en el agua procesada con zeolita.[23]

3.2. MARCO REFERENCIAL

3.2.1. El Agua

El agua es el entorno ideal donde tiene lugar las complejas reacciones bioquímicas que facilitan el surgimiento de la vida; además, es el único compuesto presente en los tres estados físicos de la materia y en una cantidad considerable, dado que se estima que el total de agua en el planeta alcanza los 1400 millones de Km³, de los cuales un 3% corresponde al agua dulce. [24]

El agua, además de ser fundamental para la existencia debido a sus diversas características, se utiliza extensamente en la agricultura, la industria y el consumo en casa, convirtiéndose en uno de los recursos más valorados del mundo. Por eso es fundamental preservar y mantener las fuentes naturales libres de contaminación, asegurando su sostenibilidad y uso para las futuras generaciones.[25]

La norma INEN 1108: 2011, en su cuarta revisión, describe el agua potable de la siguiente manera: "Es el agua cuyas características químicas, físicas y microbiológicas han sido ajustadas para garantizar que sea apta para el consumo humano."[8]

3.2.2. Agua Potable

Las Guías de Calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS) describen el agua potable como "apta para el consumo humano y para cualquier uso cotidiano en el hogar, incluyendo la higiene personal". Es el líquido que no contiene microorganismos que pueden provocar problemas de salud. Los cuerpos de agua en la superficie están expuestos a múltiples elementos que alteran su calidad en diferentes grados, pudiendo actuar como vectores para la contaminación, desechos en el aire y en el suelo, así como para gérmenes patógenos que provienen del sistema digestivo.[26]

3.2.3. Coliformes totales.

Los coliformes totales son seres vivos que pueden encontrarse en el suelo, el entorno y materiales en descomposición, entre otros. Su existencia no significa necesariamente contaminación fecal, las bacterias se encuentran en contacto con los alimentos crudos cuando no se ha realizado una adecuada desinfección o el saneamiento de las superficies de los alimentos no es suficientemente adecuado, Se encuentran en condiciones de insalubridad o contaminación tras las fases de procesamiento. Es importante considerar que la existencia de coliformes puede provocar enfermedades. No obstante, para eliminar dichos microorganismos, se llevan a cabo diversos procedimientos térmicos, de congelación o de desinfección con soluciones de cloro (Cl) para erradicar su existencia. Incluye el grupo de bacterias anaerobias facultativas negativas, como la E. coli, y representa un indicador de contaminación y mala higiene en la elaboración o gestión de alimentos. Dentro de este grupo se incluyen: Enterobacter, E. coli, Klebsiella, son las bacterias líderes en términos de bacterias principales.[27]

3.2.4. Contaminación fecal en aguas

Según la OMS, la falta de sistemas adecuados de saneamiento representa una causa significativa de morbilidad a nivel global. Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) señala que aproximadamente el 80% de las aguas residuales generadas por actividades humanas son vertidas en cuerpos de agua sin recibir un tratamiento previo. Esta situación constituye un problema sanitario mundial. En el contexto nacional, la investigación evidencia diversas deficiencias por parte de las autoridades en la aplicación y cumplimiento de las normativas constitucionales, lo que dificulta asegurar condiciones de limpieza y salubridad que se ajusten a los criterios de calidad para todos los residentes de Ecuador. Según el Programa Mundial de Medio Ambiente de las Naciones Unidas, cerca del 15% de los ríos en América Latina, África y Asia tienen altos niveles de contaminación por gérmenes, lo que supone un riesgo considerable para el consumo de agua y otras aplicaciones en el hogar. El principal origen de la contaminación fecal se origina en las aguas residuales del hogar, dado que poseen elevadas concentraciones de microorganismos dañinos que se originan directamente de los residuos humanos y animales, además de la actividad agrícola. A pesar de que las aguas residuales domésticas presentan un alto riesgo por su uso directo, es necesario que todas sus aplicaciones cumplan con las regulaciones ambientales sobre la calidad del agua. Según información proporcionada por la Secretaría Nacional del Agua en Ecuador, se calcula que el 70% del agua en las cuencas que se encuentran a menos de 2. 800 metros de altura no es segura para el consumo humano directo, debido a la contaminación por microorganismos nocivos y la

presencia de sustancias químicas dañinas. Este dato de SENAGUA es fundamental en el estudio de microorganismos para la evaluación correspondiente al momento de examinar el aspecto físico del río.[28]

3.2.5. Indicadores de contaminación fecal de aguas

Los microorganismos dañinos que perjudican la calidad del agua comprenden principalmente bacterias, virus y protozoos; dicho de otro modo, las bacterias representan una señal esencial de patógenos en las fuentes de agua. En el estudio de la polución fecal en el agua, se utilizan colifagos somáticos, que son microorganismos relacionados y actúan como hábitats para E. Coli. Normalmente sirven como un modelo a seguir en cuanto a su capacidad de soportar diferentes condiciones ambientales, lo cual será beneficioso para los procesos de desinfección.[28]

3.2.6. Microbiología del agua

El agua, fundamental para la vida de los seres vivos, incluido el ser humano, también funciona como medio de transporte de microorganismos entéricos.[29]

Las excreciones pueden representar el medio de propagación de agentes patógenos, tales como bacterias, virus, protozoos y helmintos. La seguridad microbiana de los abastecimientos de agua potable se basa en la utilización de múltiples barreras, desde la recolección hasta el usuario, con el objetivo de evadir la contaminación del agua potable o reducirla a niveles aceptables.[30]

3.2.7. Microbiología del río Cutuchi

El medio de comunicación El Telégrafo reporta que el río Cutuchi, del que se obtiene agua para el sistema de riego de Latacunga, Salcedo y Ambato, está sufriendo contaminación. Durante los años 2009 y 2010 se realizó una investigación en la que se encontraron diversos contaminantes biológicos, patógenos e incluso elementos tóxicos que superan las normas ambientales. El Telégrafo no ha sido el único medio que ha compartido su reporte sobre la polución en el río Cutuchi. En noviembre, el periódico La Hora también comunicó que en el río se han detectado contaminantes biológicos como coliformes fecales, E. coli, Klebsiella pneumoniae y Pseudomonas aeruginosa, los cuales provocan enfermedades en las personas que viven cerca del río.[28]

3.2.8. Contaminantes en el río Cutuchi

La polución del río Cutuchi proviene de los vertidos de desechos ocasionados por fábricas y de las personas que utilizan sus aguas. Estas empresas no cumplen con la normativa ecuatoriana sobre la calidad del agua respecto a los límites de contaminantes en sus efluentes. Se han llevado a cabo diferentes investigaciones sobre el estado actual.[28] El río Cutuchi ha sido objeto de proyectos destinados a mitigar la contaminación y los daños que sufre, dado que los ganaderos cercanos dependen de su agua para el abastecimiento del ganado, que a su vez se emplea en la producción de leche y carne para la alimentación humana. El empeoramiento de la calidad del agua amenaza a los ecosistemas acuáticos, impacta la salud de las personas y dificulta el progreso social y económico. El río recibe aguas residuales de, al menos, 88 empresas relacionadas con la agricultura (57%), la industria (16%), el petróleo (23%) y otras (4%). Además, el Cutuchi recibe no menos de 1,8 toneladas de desechos cada día. En la Universidad Técnica de Cotopaxi, los alumnos de la carrera de ingeniería ambiental están llevando a cabo un proyecto que busca crear franjas riparias, lo cual ayuda a mejorar la calidad del agua en el río Cutuchi. La funcionaria encargada del agua ha puesto en marcha varios proyectos de infraestructura, cuyo propósito es restaurar la calidad del agua, especialmente la del río Cutuchi. La recuperación de esta cuenca busca aprovechar el recurso hídrico en iniciativas relacionadas con el riego, el suministro de agua potable y la mejora del saneamiento ambiental. [28]

3.2.9. Bacterias

Las bacterias son microorganismos de una sola célula que se multiplican mediante fisión binaria; dependiendo de la especie, su tamaño puede oscilar entre 0,2 μm y 10 μm de diámetro. Su morfología cambia entre esférica (cocos), en forma de bastón alargado (bacilos) o en espiral (espirilos).

Es más habitual encontrar bacterias entéricas en el agua, que residen en el sistema digestivo humano y son eliminadas por las heces. Cuando se sumerge en el agua, las diferentes condiciones del entorno limitan su habilidad para reproducirse y sobrevivir, resultando así restringida.

Los coliformes totales se caracterizan por ser negativos, facultativos anaerobios, no esporulantes, fermentadores de lactosa con emisión de gas, y poseen una enzima β -D-Galactosidasa que les facilita el uso de un sustrato galactopiranosido como genérico para su evolución.

Los coliformes fecales (termo tolerantes) tienen la capacidad de reproducirse fuera del intestino de los animales de sangre caliente, aprovechando las condiciones apropiadas de materia

orgánica, pH, humedad, entre otras. Algunos géneros también tienen la capacidad de reproducirse en las biopelículas que surgen en las tuberías de suministro de agua potable.[31]

3.2.10. Escherichia coli

E. coli es un indicador clave de contaminación fecal, siendo una bacteria negativa, anaerobia discrecional de la familia Enterobacteriácea. Esta bacteria se encuentra en grandes cantidades en el intestino de seres humanos y animales, y se excreta mediante las heces. El cual representa ser un componente del conjunto de coliformes totales más frecuente y distintivo. La conducta de esta bacteria cuando se encuentra en agua sugiere que puede haber un peligro para la salud pública en una población, incluso si es de consumo humano o agricultura. [28]

3.2.11. Streptococos Fecales

El género Streptococcus forma parte de los cocos positivos y constantemente se clasifica en el grupo D de Lancefield (clasificación serológica), su principal característica es su aparición en cultivos, estructuradas en cadenas, son anaerobios libres por lo cual poseen catalasa negativa.[28]

3.2.12. Salud Humana

La contaminación fecal representa un peligro para la salud en el agua debido a microorganismos patógenos que causan enfermedades en las personas, por lo que es fundamental la regulación de la calidad de los peligros microbianos. De acuerdo con la Subsecretaría Nacional de Vigilancia de la Salud Pública, las enfermedades transmitidas por agua y alimentos indican que se transmiten a través de bacterias al consumir alimentos contaminados con salmonella, shigelosis, las cuales suelen causar dolores gastrointestinales. Usualmente, los síntomas son ligeros y se consigue la recuperación; no obstante, la situación varía con los niños y los ancianos, debido a la deshidratación.

La bacteria E. coli, generadora de toxinas Shiga, estimula dolor abdominal y diarrea, lo cual puede progresar a colitis hemorrágica, además de vómitos y fiebre. El tiempo de incubación varía de 3 a 8 días. Se estima que un 10% de los pacientes podría padecer síndrome urémico hemolítico, con un riesgo elevado en niños y personas de tercera edad, mientras que el 25% podría sufrir problemas neurológicos. En individuos que no forman parte del grupo de riesgo, generalmente se recuperan en aproximadamente una semana. [28]

3.2.13. Calidad del Agua

Al discutir la calidad del agua, se corresponde con el adecuado manejo del recurso hídrico, dado que este cumple con las necesidades fundamentales de salud y las condiciones de vida tanto para las personas como para los ecosistemas terrestres. A pesar de esto, hay deficiencias en la calidad de los servicios del agua, ya sea por desorganización, falta de planificación previa y la insuficiencia de inversión que afirme, a mediano y largo plazo, la sostenibilidad de la cobertura de los servicios de agua y saneamiento en todo el mundo. Se halla como calidad del agua a la relación química, física y biológica del agua con respecto a la naturaleza, siendo esta afectada por sustancias producidas por actividades antropológicas como procesos naturales.

3.2.14. Filtros para el tratamiento de agua en el hogar

3.2.14.1. Filtración cerámica

Los filtros de cerámica son los más comunes en los hogares, ya que se producen en todo el mundo a bajo costo y son ampliamente aceptados en varios países de bajos recursos. Los orificios en los filtros de cerámica pueden reducirse en tamaño, hasta 0,2 micras, lo que permite la eliminación de bacterias (aunque los virus solo en cierta medida), usualmente con una eficiencia de entre 2 y 3 log. Además, el flujo de flujo puede variar entre 2 y 15 litros por hora, en función del tipo y la cantidad de síntesis de filtrado (de 2 a 4 l/h por elemento) y su ciclo de vida.[32]



Figura 3. 1 Filtros cerámicos (cubo + olla). [32]

3.2.14.2. Filtración y ultrafiltración por membrana

Además de la destilación por cerámica, el método de filtración por cápsula es el más habitual para la filtración en el hogar. El método de filtrado por medio de membrana se basa en los poros situados en la zona de la membrana que facilitan el flujo del agua, pero no de los agentes patógenos, que son de mayor tamaño. La filtración por medio de membranas se divide en dos

categorías fundamentales, en función del tamaño de las partículas que la membrana retiene: filtración (que abarca microfiltración), que retiene partículas de 0,1 μm y más, y ultrafiltración, que retiene partículas de hasta 10 nm, su ciclo de vida es de dos años.[32]



Figura 3. 2 Filtración y ultrafiltración por membrana [32]

3.2.14.3. Filtro de varias etapas

Este tipo de filtros está ampliamente disponible y se puede hallar en los mercados locales de la mayoría de los países a un costo relativamente bajo. Emplea un proceso de filtración en etapas, comenzando generalmente con una filtración cerámica (poros de 0,3 micras), luego el agua transita por varios elementos diferentes situados bajo la vela cerámica hasta alcanzar el contenedor mínimo. Estas etapas pueden incluir carbón activado, arena de sílice, zeolitas, arena mineral y resina de intercambio de iones, entre otros elementos, su ciclo de vida es de dos a Estas fases pueden abarcar carbón activado, arena de sílice, zeolitas, arena mineral y resina de cambio de iones. Su ciclo de vida se extiende por dos años.[33]



Figura 3. 3 Filtro de varias etapas [33]

3.2.15. Materiales para el desarrollo del prototipo

3.2.15.1. Carbón activado

Este material en el proceso de filtrado, ya que facilita la eliminación; el uso de filtros con este agente químico en los sistemas de tratamiento de agua ha mostrado ser una solución efectiva para eliminar diversos contaminantes, tales como metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y agentes microbianos. Lo que lo hace uno de los recursos más efectivos para la limpieza ambiental. Lo que convierte en uno de los materiales más eficientes para la purificación medioambiental. La elaboración de carbón activado a partir de residuos orgánicos, como la cascara del coco babassu (*Attlea speciosa*) es una práctica que combina sostenibilidad y eficiente, promueve la reutilización de subproductos agrícolas y contribuye la disminución en el impacto ambiental.[34]

Tabla 3. 1 Especificaciones técnicas del carbón activado

Parámetro	Especificaciones
Número de Yodo	Mg/g 1000(min)
Humedad %	5 (Max)
Dureza	99 (min)
Ceniza %	3 (Max)
Densidad aparente kg/m ³	0.49
PH	8-9
Tamaño de malla	6x12 malla (1.68 mm-3.66mm)

Fuente: Carbón activado [35]

3.2.15.2. Arena de sílice

La gravilla de sílice debe estar formada por un agregado de gran grosor donde una gran cantidad de las partículas tienen formas redondeadas o de igual tamaño. Deberían tener una resistencia y dureza apropiadas para resistir el deterioro durante su manejo y utilización, estar notablemente exentas de sustancias perjudiciales y exceder el requisito mínimo de gravedad específico. La grava de sílice debe poseer una gravedad específica para un área saturada seca que no sea inferior a 2,5, a no ser que se requiera una gravedad superior para cumplir con el requisito de diseño para un filtro específico.[36]

Tabla 3. 2 Especificaciones técnicas de arena de sílice

Parámetro	Especificación (U)
Granulometría	2-4 mm
Punto de Ebullición	2230 ° C
Punto de Fusión	1676 ° C
Densidad	2.65 g/cm ³
Solubilidad en agua	INSOLUBLE
Densidad Aparente	1.62 g/ml
Dureza:	7.0 (min)

Fuente: arena de sílice [37]

3.2.15.3. Zeolita

La zeolita es un sólido microporos con una estructura tridimensional cristalina que muestra una red de canales y cavidades bien delimitadas. Este mineral se compone mayoritariamente de aluminio, silicio y oxígeno, y tiene la capacidad de intercambiar iones sin modificar su estructura básica. La estructura porosa de la zeolita le proporciona características exclusivas de adsorción y cationización, lo que la hace un material extremadamente adaptable y frecuentemente empleado en múltiples usos industriales y ambientales, incluyendo el tratamiento de aguas.

La zeolita se destaca en su notable habilidad para captar sustancias orgánicas, metales pesados y diversos contaminantes en el agua. Su superficie y estructura porosa ofrecen lugares de adsorción muy eficaces, facilitando de esta manera la efectiva remoción de impurezas del agua.[38]

Tabla 3. 3 Especificaciones técnicas de la zeolita

Parámetro	Unidad
Tamaño efectivo	0.45-0.60 mm
Arena	0.70-1.00 mm
Coefficiente de uniformidad	< 2.00
Solubilidad en HCL	< 5%

Solubilidad en NaOH	< 5%
Dureza	7
Peso Especifico	>=2.5
Densidad Aparente	1.35-1.45 g/ml
Contenido de SiO ₂	>80%
Tamaño A3, A2, A1	(2 – 3 mm), (1 -2 mm), (0.5-1 mm)

Fuente: ficha técnica de la zeolita [39]

3.2.15.4. Material PET

El PET se utiliza en la fabricación de materiales geo sintéticos, siendo fundido, filtrado y extruido para conseguir fibras de poliéster de superficie suave, con gran resistencia a la tensión y baja absorción de agua. Estas fibras son utilizadas en la elaboración de geotextiles no tejidos y geomallas de refuerzo. Además, el PET reciclado en fibras se emplea como elemento de mejora para concretos y asfaltos.[40]

3.2.16. Construcción del prototipo

Antes de la creación del prototipo del filtro de agua se realizaron pruebas usando envases reciclables de botellas para verificar la efectividad de los materiales fisicoquímicos del filtro, se usaron ocho botellas de plástico, las cuales servirán como contenedor para los distintos materiales filtrantes y en diferentes capas de cada material, el primer elemento filtrante es arena de sílice, seguido de este se colocará carbón activado, zeolita de arena, zeolita de piedra, mediana y cada material será separado con una membrana de 20 micras con el fin de detener de la mejor manera los sólidos en el agua contaminada. Se diseñó en AUTOCAD el prototipo con sus respectivas medidas y en donde se imprimió en 3D con el material PET mediante resultados eficientes en las pruebas de envases de botella se escogió uno de ellas con la eliminación de los coliformes totales para introducir los materiales en el ensamblaje del prototipo. Se simuló en el software ANSYS FLUENT para saber su comportamiento del fluido. Se realizaron pruebas donde el prototipo se filtra con estos materiales, para lograr una filtración eficiente, con el objetivo de conseguir agua adecuada para el consumo humano.[41]

3.2.17. Marco legal

Norma NTE INEN 1108 "Agua potable. "Requisitos" Esta normativa forma las condiciones que debe cumplir el agua potable para ser consumida por los seres humanos, aplicándose a los sistemas de suministro público y privado a través de redes de distribución y tanques [19]. El informe muestra diferentes parámetros tales como. El documento presenta diferentes parámetros como.

- Índices de calidad del agua y sus instrumentos de medición
- Cuadro de contaminantes presentes en el fluido y sus umbrales aceptables para el uso humano.

Criterios para la calidad de agua

- Técnicas para la determinación de contaminantes en el agua El agua se considera de consumo humano y uso doméstico cuando se emplea como:
 - Elaboración de alimentos y como bebida
 - Fabricación de alimentos
 - Se utiliza como higiene personal y para limpieza de materiales o utensilios

3.2.18. AutoCAD

AutoCAD (Dibujo Asistido por Computadora) es un software que facilita la creación de Dibujo Técnico con la ayuda de la computadora, reemplazando así el uso del tablero, lápiz y demás herramientas de dibujo manual.[42]

3.2.19. ANSYS

Este software es actualmente una de las plataformas más avanzadas a nivel mundial que proporciona resultados excelentes, ya que utiliza entornos tridimensionales, permitiendo así una visualización completa de los fenómenos físicos (ANSYS, 2010). La dinámica de fluidos computacionales se ha utilizado tanto en el contorno nacional como internacional en diversas áreas de la ingeniería, siendo la disciplina encargada de representar el flujo de fluidos, la transferencia de calor y fenómenos parecidos, de acuerdo con varias investigaciones vinculadas con CFD. El estudio fortalece la comprensión de los subprocesos fundamentales, lo que facilita un mayor desarrollo e investigación de innovaciones tecnológicas, así como la mejora de los sistemas actuales.[43]

4. METODOLOGÍA

Dentro de la metodología manejada se utilizó el método investigativo y experimental su función es realizar pruebas, comparaciones, simulaciones y evaluaciones con resultados diferentes. Con el objetivo de estudiar el comportamiento de diferentes materiales filtrantes eliminando coliformes totales y la construcción de ocho prototipos caseros y obtener el prototipo que tenga resultados certeros y con mayor eliminación presentes con muestras del rio Cutuchi ubicado en la ciudad de Latacunga y provincia de Cotopaxi.

Tabla 4: Diagrama de flujo

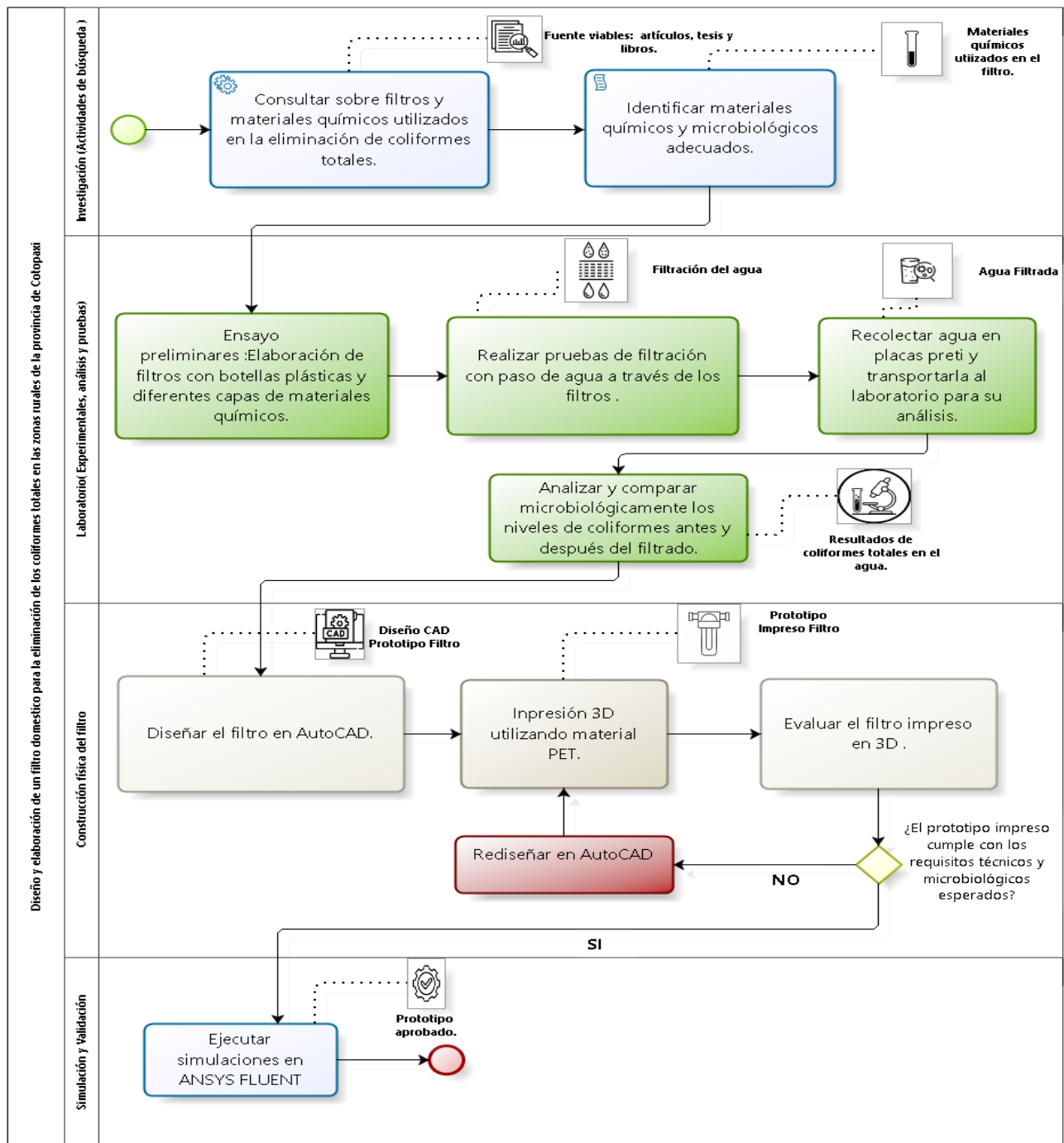


Figura 4. 1 Diagrama de flujo

Elaborado por: Erik Anatoa

4.1. Selección de materiales filtrantes

Esta metodología se aplicó la selección y análisis de información efectiva en documentos, libros, publicaciones científicas y revistas sobre el tema de estudio. Para reunir información requerida para la ejecución del experimento y para evaluar la eficiencia del prototipo con los materiales filtrantes con zeolita, arena de sílice, carbón activado, zeolita de piedra.

4.1.1. Análisis de materiales fisicoquímicos antes del filtrado

Análisis Carbón activado. El carbón activado ha demostrado eliminar bacterias como *Pseudomonas aeruginosa* y *E. coli* de sistemas de agua potable. A pesar de la repulsión electrostática entre microorganismos cargados negativamente y las superficies de carbono, los microorganismos se adhieren 20 a partículas de carbón activado a través de fuertes fuerzas de Van der Waals.[34], [44]

Análisis zeolita de piedra. Las zeolitas son minerales que se distinguen por su alta capacidad para el intercambio catiónico (CIC). Este análisis evaluó los potenciales impactos de las zeolitas en la optimización del proceso de compostaje, considerando la calidad física, química y microbiológica del compost y la productividad de la planta de ensayo, *Raphanus sativus*. Además, se observó una reducción del 96% en el contenido total de coliformes y *E. coli*, respectivamente.[45]

Análisis Zeolita de arena. La zeolita, por sus propiedades únicas de adsorción y cationización, se ha empleado en múltiples usos para el tratamiento de aguas. Estas aplicaciones abarcan la remoción de sustancias contaminantes, la reducción de dureza del agua y la eliminación de olores y sabores no deseados.[46]

De acuerdo a investigaciones llevadas a cabo por Sánchez-Monedero, una de las diligencias más destacadas de la zeolita en el tratamiento de aguas es su función como material adsorbente para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos. La zeolita, con su estructura porosa, facilita la captura efectiva de sustancias como pesticidas, herbicidas, metales pesados y amonio, lo que mejora la calidad del agua tratada.[47]

Análisis Sílice de arena Por parte de la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2149:2013 Primera revisión AGUA. (MEDIOS FILTRANTES GRANULARES UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.)

La grava de sílice debe estar compuesta por un unido grueso en el que una gran parte de las partículas son esféricas o tienen una forma similar en todas las dimensiones. Debe poseer la

resistencia y dureza necesarias para soportar la adulación durante su manejo y uso, estar mayormente libre de sustancias perjudiciales y superar el requisito mínimo de gravedad definida. Dimensiones de la partícula del gravado. Cantidad de partículas de grava. Cada rango de tamaño establecido requiere que un máximo del 8% (peso seco) sea más fino que el límite de tamaño inferior asignado y, al menos, el 92% (peso seco) sea más fino que el límite de tamaño superior asignado. Los diámetros más habituales de grano de grava en el tratamiento de aguas.[36]

4.1.2. Análisis del río cutuchi después del filtrado

Según [J. Aníbal Cajas] Tres de los cinco puntos de muestreo no efectuaron con los límites permisibles máximos acorde a TULSMA para los parámetros coliformes (3115,5 NMP/100 ml), en el río cutuchi donde se depositan todas las cargas orgánicas e inorgánicas de las actividades antropogénicas. Aquí con este resultado obtenido del río podemos analizar y comparar la retención de los prototipos de botellas de plásticos y comparar resultados en el laboratorio.

4.1.3. Análisis del agua con los materiales fisicoquímicos después del filtrado

Se elaboro ocho envases de botellas de plástico para verificar la efectividad de los materiales fisicoquímicos donde retendrán y eliminará a los coliformes totales, se realizó en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

1 prototipo con botella de platico

Tabla 4. 1-P1

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	150	Gr
Carbón Activado	69.21	Gr
Zeolita arena	152	Gr
Zeolita de piedra	18.04	Gr
Membrana	20	Micas

Elaborado: fuente propia

En la tabla 4.1. Se muestran los materiales fisicoquímicos y con sus respectivos pesos de cada uno se llevó el primer prototipo de botella de plástico, obtuvo una retención rápida con la filtración mezclada de carbón activado.

El primer prototipo de botella plástica tuvo un 30% (medido en laboratorio UTC CAREN) la eliminación de estos microorganismos analizado.

2 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 2 -P2

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	199.65	Gr
Carbón Activado	50.39	Gr
Zeolita arena	96.77	Gr
Zeolita de piedra	34.33	Gr
Membrana	20	Micas

Elaborado: fuente propia

En la tabla 4.2. Se indica los materiales con sus respectivos pesos para que sea filtrado, pero obtuvo una claridad media oscura en el agua analizando en el segundo prototipo de botella plástica tuvo un 50% (medido en laboratorio UTC CAREN) la eliminación de estos microorganismos analizados.

3 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 3 -P3

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	199.40	Gr
Zeolita arena	100	Gr
Carbón Activado	50	Gr
Zeolita de piedra	25	Gr

Membrana	20	Micas
----------	----	-------

Elaborado: fuente propia

En la tabla 4.3. Los materiales y sus respectivos pesos se indica diferentes órdenes de cada material con mayor sílice de arena y de zeolita de arena y se analizó una claridad en el agua con una retención lenta obteniendo la eliminación con el 60% (medido en laboratorio UTC CAREN). Con esto nos indica que ahí resultados eficientes para construir otros prototipos iguales al tercero teniendo en cuenta los materiales y sus pesos. Para así llevar los análisis en el laboratorio multianalityca ubicado en la ciudad de Quito.

4 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 4 P4

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	100	Gr
Zeolita de arena	150	Gr
Carbón Activado	60	Gr
Zeolita de piedra	17	Gr
Membrana	20	Micas

Elaborado: fuente propia

En la tabla 4.4. Se indica con diferentes órdenes de materiales con mayor zeolita de arena, pero en la retención de al ser filtrado se analizó muy rápidamente el flujo con el 10% de eliminación (medido en laboratorio UTC CAREN) de eliminación de microorganismos.

5 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 5 P5

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	100	Gr
Zeolita de arena	150	Gr
Carbón Activado	60	Gr

Zeolita de piedra	0	Gr
Membrana	20	Micas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.5. Se indica los diferentes órdenes de materiales y pesos con mayor zeolita de arena y con 0 % (medido en laboratorio UTC CAREN) en zeolita de piedra se analizó al ser filtrado tuvo una retención rápida y turbulenta en el flujo con una menor claridad de agua filtrada.



Figura 4. 2 Elaboración de los prototipos de botellas de plástico

Elaborado por: Erik Anatoa

4.1.4. Segundo análisis y selección con el prototipo 3 de botellas de plástico

Se realizó nuevamente tres prototipos de botellas que fueron construidas similarmente al prototipo 3 que obtuvo un 60% de eliminación de estos microorganismos en donde se realizó en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi se usó la misma metodología y la elaboración de los prototipos de botellas de plástico.

Al filtrar el agua contaminada se llevó hacer los análisis en frascos de muestras esterilizadas de 500 ml al laboratorio de la empresa multianalityca en la ciudad de Quito, Tomado la muestra del río Cutuchi que tiene este problema con los coliformes totales en todo su trayecto y se

obtuvo 4500 UFC/100 ml método de referencia Standard Methods ED.14,2023,9222 B/ filtración membrana y así tener mayor respaldo y eficiencia.

P3-1 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 6 P3-1

Material Físicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	200	Gr
Zeolita arena	80	Gr
Carbón Activado	50	Gr
Zeolita de piedra	20	Gr
Membrana	20	Micas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.6. El prototipo p3-1 se escogió muestras del río cutuchi de 500 ml en un envase esterilizado para que sea analizado en el laboratorio multianalityca de la ciudad de Quito, se obtuvo resultado de Coliformes Totales de 230 UFC/100 ml da un resultado de 94.88% de eliminación con el método de referencia Standard Methods Ed. 24, 2023, 9222 B/ Filtración membrana.

Al tener resultados con la mejor retención se procederá a realizar el ensamblaje referente al prototipo p3-1, donde se imprimirá el prototipo diseñado en 3D con el material PET para realizar las pruebas de filtración.

P3-2 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 7 P3-2

Material Físicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	200	Gr
Zeolita arena	110	Gr
Carbón Activado	70	Gr
Zeolita de piedra	30	Gr
Membrana	20	Micas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7. Este prototipo p3-2 se escogió muestras del rio cutuchi de 500 ml en un envase desinfectado para que sea analizado en el laboratorio multianalityca, se obtuvo resultado de Coliformes Totales de 400 UFC/100 ml da un resultado de 91.11% de eliminación con el método de referencia de Standard Methods Ed. 24, 2023, 9222 B/ Filtración membrana.

P3-3 prototipo con botella de plástico

Tabla 4. 8 P3-3

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	200	Gr
Zeolita arena	100	Gr
Carbón Activado	50	Gr
Zeolita de piedra	25	Gr
Membrana	20	Micas

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8. El P3-3 prototipo con materiales fisicoquímicos se escogió muestras del rio cutuchi de 500 ml en un envase desinfectado para que sea analizado en el laboratorio multianalityca, se obtuvo resultado de Coliformes Totales 600 UFC/100 ml da un resultado del 86.66% de eliminación con el método de referencia de Standard Methods Ed. 24, 2023, 9222 B/ Filtración membrana.



Figura 4. 3 Segundo análisis y selección con el prototipo 3 de botellas de plástico

Elaborado por: Erik Anatoa

4.2. Desarrollo del prototipo de filtro basado en resultados de filtros caseros.

4.2.1. Aspectos geométricos en el diseño del software AUTOCAD

En el diseño geométrico del filtro doméstico se elaboró en AutoCAD, utilizando modelado en 2D y 3D para definir con precisión que su geometría no tenga fallas en la filtración o porosidades. El filtro consta de un cuerpo cilíndrico vertical, con los materiales filtrantes dispuestos en capas superpuestas: grava silíceo, arena de sílice, carbón activado granular y zeolita natural. Las dimensiones fueron establecidas para obtener un filtro casero con entrada y salida tipo rosca de $\frac{1}{2}$ pulg son de uso común en domicilios.

El objetivo principal de la cubierta es proteger los componentes internos con sus respectivos materiales. El interior del filtro se diseñó con una transición de 10 mm a 39 mm de diámetro de sus lados inferiores. _ Los criterios hidráulicos y de tiempo de retención hidráulica, son considerando las pérdidas de cargas, el flujo sea uniforme y también disminuyendo la velocidad del flujo evitando las partículas como el carbón activado y arena de sílice sean arrastrados a la salida del filtro. Además, se diseñó al respecto del diámetro del filtro interno cuatro separados tipo rejilla o colador para cada material de diámetro diferente, al obtener sus dimensiones ya reales es llevado a impresión 3D y así sea ensamblado con los materiales del prototipo p3-1.

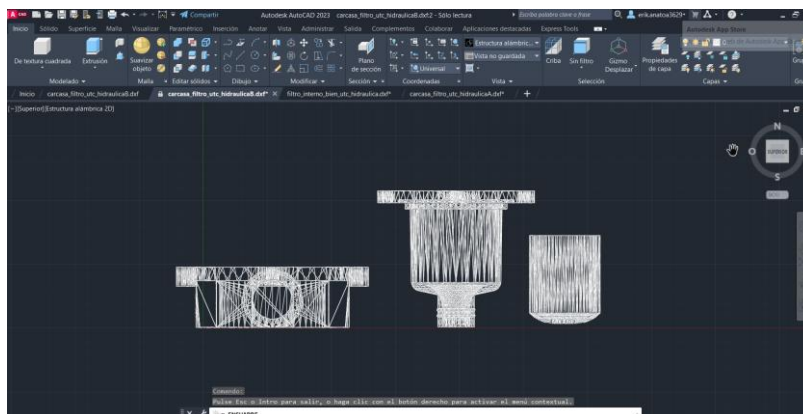


Figura 4. 4 Diseño del filtro domestico en AutoCAD

Elaborado por: Erik Anatoa

Características y medidas del diseño del filtro

En la tabla 4.9. Se muestran las características y medidas del diseño del filtro para introducir los materiales implicados para la impresión en 3D

Tabla 4. 9 Características de diseño del filtro

Características	Medidas
Medidas externas	102 mm ancho x 129 mm alto
Medidas internas	59 mm ancho x 71 mm alto
Medidas internas del filtro (entrada y salida de diámetro)	59 mm y 39 mm
Medidas separador tipo rejilla interno	59 mm

Fuente: Elaboración propia

Aspectos con material tereftalato de polietileno (PET)

Al obtener el diseño en 3D en AutoCAD se procedió a imprimir con el material PET, se eligió por su sostenibilidad ambiental y reutilización de botellas de plástico, además por su bajo costo económico, y fácil acceso al imprimir, alta resistencia, y una buena eficiencia de su material con resistencia química y física.

4.3. Pruebas del prototipo en ANSYS FLUENT

Al tener el diseño en AUTOCAD en 3D fue exportado en formato. STEP e importado a ANSYS SpaceClaim para su preparación en el entorno de simulación. Posteriormente, se desarrolló de forma hueca el diseño del filtro utilizando ANSYS Meshing, Las simulaciones realizadas tienen una metodología basada en cinco pasos principales: pre análisis, geometría, configuración del modelo, resultados, verificación y validación.

Al tener los resultados de la simulación en ANSYS FLUENT como son los datos hidráulicos: vectores de velocidad, contorno de presión (Pa) y la magnitud de velocidad (m/s) y la configuración de zonas de materiales y caudal de salida l/s.

Se realizó una simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) en ANSYS FLUENT para analizar el flujo de agua a través de un filtro multicapa compuesto de arena de sílice, zeolita y zeolita de piedra. Se introdujo un caudal de 0.5 l/min a en la entrada y se registró un caudal de salida de 0.12 l/min en la salida. La simulación revela una caída de presión a través de las capas porosas y las líneas de corriente, lo que confirma un comportamiento de flujo constante. Los gráficos de contorno generados muestran zonas de alta presión en la entrada, con una transición suave a través del flujo.

4.3.1. Análisis de muestras antes del filtrado

Esta etapa, fue fundamental en el proceso de investigación ya que consistió en la recolección minuciosa de muestras de agua, siguiendo estrictamente las pautas determinadas en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169 (CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS). Este documento normativo indica los Requisitos microbiológicos con los límites máximos permitidos en los coliformes totales y fecales por conservación.[48]

Para asegurar la representatividad de la muestra recolectada, se utilizaron criterios estrictos de selección teniendo en cuenta el establecimiento de los puntos de muestreo, así como la movilidad temporal y espacial del río. Asimismo, se puso especial énfasis en la técnica de recolección, garantizando que se minimicen posibles contaminaciones cruzadas y que se utilicen recipientes esterilizados y correctamente etiquetados.

Se seleccionó las muestras de agua contaminadas en el río de Cutuchi en la ciudad de Latacunga. Estas muestras se obtuvieron antes y después de la filtración de los prototipos, así como muestras de referencia tratadas con métodos supuestas.

Además, se recogió dos muestras en otros puntos críticos con el filtro impreso para que sea ya analizado la validez y efectividad se realizó los análisis en los laboratorios del agua potable de Latacunga provincia de Cotopaxi.

4.3.2. Análisis procedimiento después del filtrado en el laboratorio microbiológico

En este método ya después de ser filtrada el agua se hizo un kit de análisis Colilert en los laboratorios de agua potable de Latacunga donde se descubre juntamente los coliformes totales y E.coli en el agua. Se almacenó dos muestras de la junta de agua Santo Samana a temperatura de 4 grados Celsius alejado de la luz y con otros contactos que se pueda contaminar.

Se metaboliza el indicador MUG de nutrimentos de colilert, la muestra además fluoresce, además puede manifestar estas bacterias a una concentración de 1UFC/100 ml dentro de las 24 horas hasta la presencia de 2 millones de bacterias heterotróficas por cada 100 ml.

Procedimiento de Presencia/Ausencia (P/A)

- Ampliar el contenido de una dosis a una muestra de 100 ml en un recipiente estéril transparente no fluorescente
- Tapar y sacudir el recipiente
- Incubar a 35 – 0.5 grados Celsius durante 24 horas

En la numeración Quanti-Tray se añadió colilert en las muestras y se agitó y se vertió la mezcla de muestra reactivo en una Quanyty-tray se selló un IDEXX Quanyty-Tray dejamos a reposar por tres minutos donde se colocó la bandeja sellada en una incubadora a 35- 0.5 grados Celsius durante 24 horas al finalizar se analizó con los resultados de acuerdo con el cuadro de interpretación.

Contar el número de pocillos positivos y referirse al cuadro NMP proporcionado con las bandejas para adquirir el número más probable.

Interpretación de resultados

Tabla 4. 10 Interpretación de resultados

Interpretación de resultados aspecto	Resultados
Menos amarillo que el comparador	Negativo para Coliformes totales y E.coli
Amarillo igual o mayor que el del comparador	Positivo para Coliformes totales Positivo para E.coli

Amarillo y fluorescencia iguales o mayores
que los del comparador

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10. Indica cómo se deben entender los resultados microbiológicos identificando los colores y realizando la comparación según el cuadro de interpretaciones de efectos. Es posible contabilizar cuántos pocillos son positivos y consultar el cuadro NMP que se suministró junto con las bandejas para determinar el número más probable.



Figura 4. 5 kit de análisis Colilert

Elaborado por: Erik Anatoa

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Resultados fisicoquímicos de materiales para la eliminación de coliformes totales.

Los materiales fisicoquímicos para el prototipo del filtro son escogidos a base de investigaciones científicas donde fueron dispuestos a pruebas en el laboratorio, la elaboración de cinco botellas de plástico donde se obtuvo resultados eficientes y otras no, Se analizó con diferentes capas sucesivas según sus propiedades fisicoquímicas y en función dentro del proceso de filtración. La disposición final del sistema incluyó, de abajo hacia arriba, los siguientes materiales, se separó con cada membrana de 20 micras para así ayudar a retener los microorganismos, sedimentos y con resultados esperados con menor tiempo de retención con

la eficiencia en la filtración con estos materiales mencionados en las tablas de la metodología con sus respectivos pesos y orden.

Al tener resultados de laboratorio de cada prototipo de botella de plástico que tenga la eliminación y la eficiencia se llevó a cabo al filtro impreso y se ensambló para realizar pruebas microbiológicas para tener resultados eficientes.

En la tabla 5.1. La retención de coliformes totales con los materiales investigados y su eficiencia en la filtración con resultados obtenidos en laboratorio

Tabla 5. 1 Efectividad de materiales Fisicoquímicos

Materiales Fisicoquímicos	Efectividad estimada en la eliminación de coliformes totales	Observación
Carbón Activado	70% - 90	Debido a su gran superficie y alta capacidad de absorción.[34]
Zeolita de piedra	95%	Similar a la zeolita de arena, pero con mayor capacidad de adsorción y estructura micro poroso. [38], [49]
Zeolita de arena	70%-90%	Debido alta capacidad de absorción y cationización y estructura porosa. [23], [46], [47]
Arena de sílice	50%-70%	Retención su tamaño y partícula [50]
Membrana de 20 micas	90%	Filtración física altamente efectiva; las bacterias (>1 µm) quedan retenidas por tamaño.

Fuente: Elaboración propia

5.1.1. Configuración del sistema de filtración en prototipo experimental

La mejor retención de los 5 prototipos de botellas de plástico se obtuvo en el P 3 la eliminación con el 60% (medido en laboratorio UTC CAREN).

Con resultados obtenidos del P3 se hizo un segundo análisis con la misma metodología y la elaboración se obtuvo P3-1 donde se escogió muestras del rio cutuchi de 500 ml en un envase esterilizado para que sea analizado en el laboratorio multianalityca de la ciudad de Quito, se obtuvo resultado de Coliformes Totales de 230 UFC/100 donde a un resultado de 94.88% % de eliminación.

5.2. Resultados de la simulación del flujo del agua en el software ANSYS FUENT para el análisis del comportamiento del fluido.

Al tener resultados la simulación en ANSYS FLUENT datos hidráulicos: vectores de velocidad, contorno de presión (Pa) y la magnitud de velocidad (m/s) y la configuración de zonas de materiales y caudal de salida l/s.

Vectores de velocidad

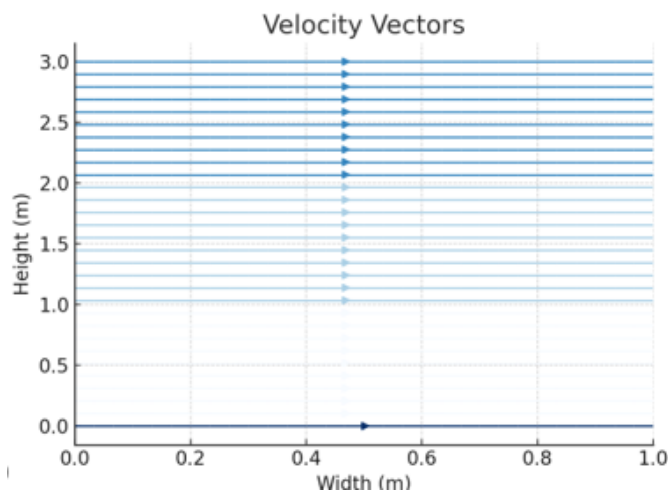


Figura 5. 1 Vectores de velocidad

Elaborado por: Erik Anatoa

Vectores de velocidad, representados por flechas azules que indican la dirección y la magnitud del flujo del fluido.

El eje x representa el ancho en metros, de 0 a 1, mientras que el eje y representa la altura en metros, de 0 a 3.

El gráfico revela un patrón de flujo constante a lo ancho, con los vectores de velocidad apuntando hacia la derecha.

Dirección: Flujo horizontal uniforme (\rightarrow), indicando que el agua fluye correctamente a través de las capas

Magnitud: Las flechas más largas = mayor velocidad; flechas más cortas = menor velocidad

Patrón: Flujo laminar ideal sin turbulencias

No hay bypass o canalizaciones preferenciales y distribución uniforme del flujo.

Contorno de Presión (Pa)

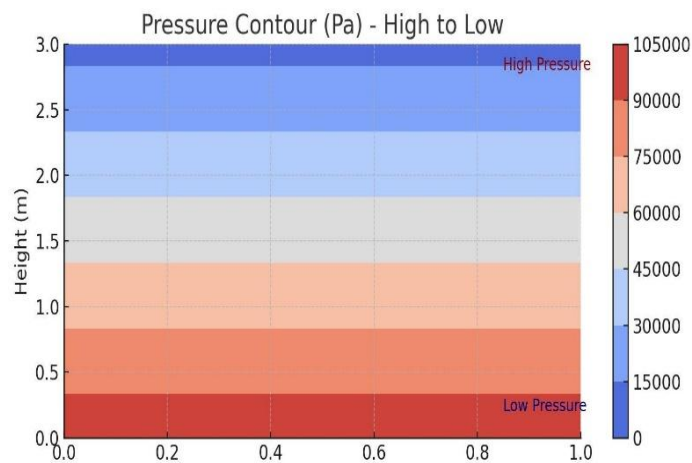


Figura 5. 2 Contorno de presión

Elaborado por: Erik Anatoa

El gráfico superior derecho ilustra el contorno de presión en pascales (Pa), con una escala de colores que va de 0 a 105 000 Pa. Esto indica que tiene una presión máxima de 15.228 Psi

El eje x representa el ancho en metros y el eje y la altura en metros.

El gráfico muestra un aumento gradual de la presión de arriba a abajo, con la presión más alta en la parte inferior.

La imagen presenta un gráfico de contorno de presión, que es una gráfica visual de la distribución de la presión a diferentes alturas. El gráfico se titula "Contorno de Presión (Pa) - De Mayor a Menor" y presenta una escala de colores a la derecha, que va de 0 a 105000 Pa.

Distribución de la Presión: El gráfico muestra una disminución gradual de la presión a medida que aumenta la altura, con la presión más alta en la parte inferior (aproximadamente 105000 Pa) y la más baja en la parte superior (aproximadamente 0 Pa).

Parte superior (3m): 0 Pa (presión atmosférica de referencia)

Parte media (1.5m): 52,500 Pa

Parte inferior (0m): 105,000 Pa

Magnitud de velocidad (m/s)

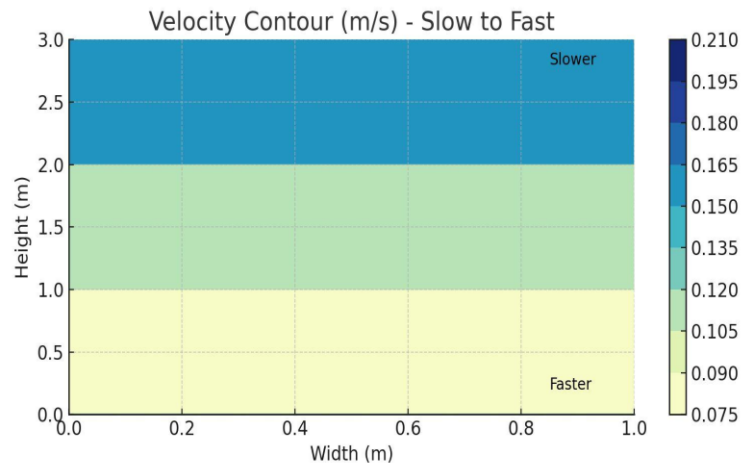


Figura 5. 3 Magnitud de velocidad

Elaborado por: Erik Anatoa

El gráfico inferior izquierdo representa la magnitud de la velocidad (m/s), con una escala codificada por colores que va de 0,075 a 0,210 m/s.

El eje x representa el ancho en metros y el, eje y representa la altura en metros. El gráfico indica una magnitud de velocidad relativamente uniforme en todo el ancho, con una ligera disminución hacia la parte inferior

Arena de sílice (0-1m): 0.075-0.105 m/s (velocidades bajas)

Zeolita (1-2m): 0.120-0.165 m/s (velocidades medias)

Carbón activado (2-3m): 0.180-0.210 m/s (velocidades altas)

La imagen presenta un gráfico de contorno de velocidad, que es una representación visual de la distribución de velocidades dentro de un área o sistema específico. El gráfico se titula "Contorno de Velocidad (m/s) - Lento a Rápido" y presenta una leyenda con código de colores en el lado derecho.

- El eje x representa el ancho en metros, de 0.0 a 1.0.

- El eje y representa la altura en metros, de 0.0 a 3.0.

- Filtración lenta: 0.1-0.3 m/s (cumple)

Leyenda con Código de Colores: La leyenda se divide en nueve colores distintos, cada uno correspondiente a un rango de velocidad específico en metros por segundo (m/s). Los rangos de velocidad son los siguientes:

- 0,075 m/s (amarillo claro)

- 0,090 m/s (amarillo pálido)

- 0,105 m/s (verde claro)

- 0,120 m/s (verde)

- 0,135 m/s (azul verdoso claro)

- 0,150 m/s (azul pálido)

- 0,165 m/s (azul)

- 0,180 m/s (azul oscuro)

- 0,195 m/s (azul oscuro)

- 0,210 m/s (azul oscuro)

El gráfico muestra una región rectangular de 1 metro de ancho y 3 metros de alto. Los contornos de velocidad se representan como bandas horizontales, con las velocidades más bajas (0,075-0,105 m/s) en la parte inferior (altura = 0-1 metro) y las más altas (0,195-0,210 m/s) en la parte superior (altura = 2-3 metros).

El gráfico indica que la velocidad aumenta con la altura, observándose las velocidades más rápidas en la parte superior y las más lentas en la inferior. La distribución de la velocidad es uniforme a lo ancho del gráfico, sin variación en la velocidad a lo largo del eje x.

Configuración de zonas de materiales

El gráfico muestra una clara estratificación de los materiales: el carbón activado en la parte superior, seguido de la zeolita y la arena de sílice en la parte inferior.

Carbón Activado (2-3m) Función: Porosidad alta: ~0.6-0.8 Tamaño de partícula: 0.5-4mm

Zeolita (1-2m) Función: Porosidad media: ~0.4-0.6 tamaño de partícula 0.45-0.60 mm

Arena de Sílice (0-1m) Función: Porosidad baja: ~0.3-0.5 Tamaño de partícula: 0.5-2mm

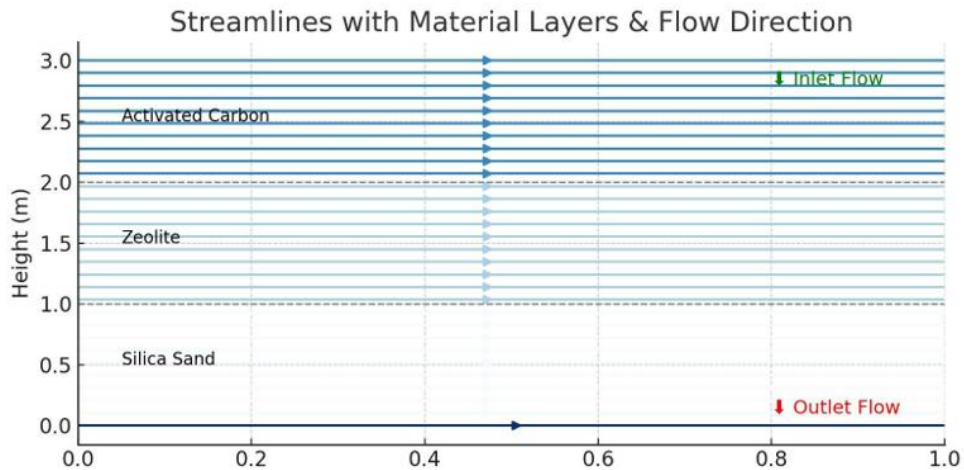


Figura 5. 4 Configuración de zonas de capas

Elaborado por: Erik Anatoa

La imagen presenta un gráfico titulado "Líneas de flujo a través de las capas de filtro", que ilustra el flujo de fluido a través de un sistema de filtración compuesto por múltiples capas. El eje y del gráfico representa la altura en metros, con un rango de 0 a 3, mientras que el eje x no está etiquetado, pero parece representar una cantidad normalizada o adimensional, con un rango de 0 a 1.

El gráfico muestra una serie de líneas horizontales que indican las líneas de flujo del fluido a través de las capas de filtro. Las líneas de flujo se representan en varios tonos de azul, cuya intensidad reduce a medida que aumenta la altura.

Arena de sílice: Ubicada en la parte inferior del gráfico, con una altura aproximada de 0 a 1 metro.

Zeolita: Ubicada sobre la capa de arena de sílice, con una altura aproximada de 1 a 2 metros. –

Carbón activado: Situado en la parte superior, cubriendo un rango de aproximadamente 2 a 3 metros de altura.

Caudal de salida

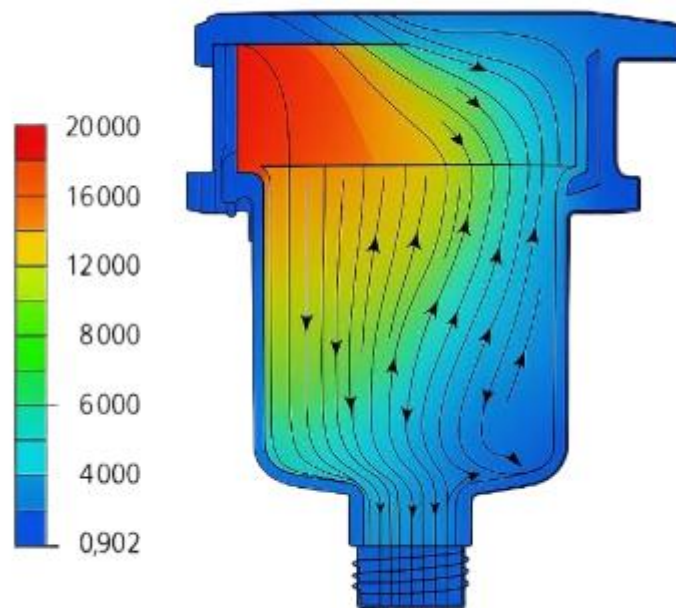


Figura 5. 5 Caudal de salida
Elaborado por: Erik Anatoa

El caudal de entrada: de 0.5 l/min esto es referente a un promedio por parte de senagua en la provincia de Cotopaxi caudales de las zonas rurales, es un dato principal para la simulación en donde el caudal de salida es de 0.12 l/min

Aquí está la vista previa final de la simulación estilo ANSYS, que muestra la distribución de la presión y las líneas de flujo de velocidad a través del filtro de agua de arena de Carbón activado, sílice y zeolita, además el agua entra por la parte superior y fluye a través de: Zona del Carbón activado, Zona de arena de sílice y Zona de zeolita

Alta presión en la entrada (zona superior roja)

Baja presión en la salida (zona inferior azul)

Las líneas de flujo muestran un flujo vertical suave

5.3. Diseño de filtro en AutoCAD

Se realizó el diseño del filtro en el software AutoCAD en 3D, considerando dimensiones optimizadas para permitir el flujo continuo de agua y garantizar el contacto suficiente con el medio filtrante de los materiales.

Estas medidas se consideraron para un filtro domestico para que sea optimo en el uso en las zonas rurales de la provincia de Cotopaxi.

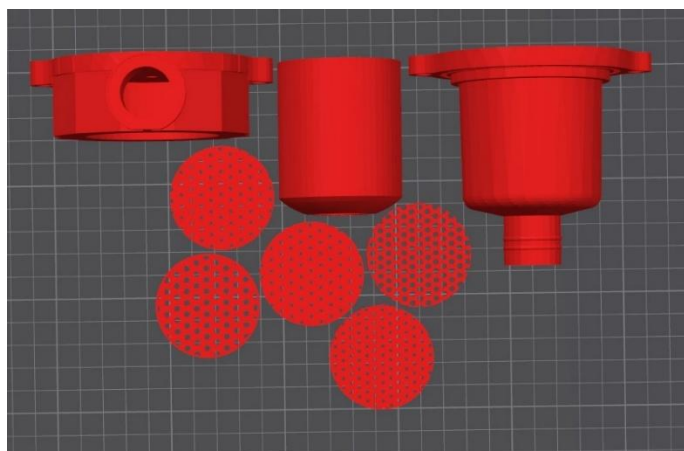


Figura 5. 6 Diseño en AUTOCAD 3D

Elaborado por: Erik Anatoa

Tabla 5. 2 Características de separadores tipo rejilla

Material filtrante	Forma/tamaño	Diámetro sugerido de rejilla (mm)
Zeolita (tipo grava)	Piedras pequeñas	2 mm
Carbón activado	Granular o triturado fino	1.5 mm
Arena/grava de sílice	Granos finos o medianos	Según granulometría, ~1.0–1.5 mm
Zeolita de piedra	Piedras medianas	1.5 mm

Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Ensamblaje del prototipo con materiales fisicoquímicos

En la tabla 5.3. Se ensambló el filtro impreso en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi con los resultados y la metodología de la elaboración del P3-1 y ensamblando con tornillos, rodajas y accesorios.

Tabla 5. 3 Ensamblaje del filtro impreso con material fisicoquímicos

Material Fisicoquímico	Peso	Unidad
Sílice de arena	50	Gr
Carbón Activado	31	Gr
Zeolita arena	13	Gr

Zeolita de piedra	7	Gr
Membrana	20	Micas

Fuente: Elaboración propia



Figura 5. 7 Ensambla del prototipo

Elaborado por: Erik Anatoa

Al tener ensamblado el prototipo se realizó pruebas en los laboratorios del agua potable de Latacunga para tener resultados en la filtración y la eliminación de los coliformes totales.

5.4. Validación de la efectividad del prototipo mediante muestras de agua.

Al obtener el ensamblaje del filtro impreso en 3D se seleccionó y recolectó muestras de agua junta de agua Santo Samana en las zonas rurales de la ciudad Latacunga, donde tienen problemas y antecedentes con estos problemas de contaminación de coliformes totales, En los laboratorios en el GAD de Latacunga se realizaron pruebas antes y después del paso por el filtro, determinando la presencia de coliformes totales, donde se realizó análisis microbiológicos en el agua.

Los resultados mostraron una disminución significativa en el contenido microbiológico, con una eficiencia promedio de eliminación de 98.93% y 95.87% de las dos muestras de agua en diferentes puntos lo cual valida la efectividad del prototipo diseñado. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en las diferentes muestras:

Tabla 5. 4 Muestras después y antes del filtrado

Muestra	Coliformes antes (UFC/100mL)	Coliformes después (UFC/100mL)	% Eliminación
1	2419.6	26	98.93%
2	125.9	5.2	95.56 %

Fuente: Elaboración Propia

Primero muestra antes de la filtración

Con la primera muestra del río tiene un aspecto amarillo de un 2419.6 de coliformes totales da a un 100% positivo esto se debe con la contaminación por el uso de la ganadería donde el río. Aporta a tres juntas de agua potable a los sectores cercanos.



Figura 5. 8 Pruebas de kit Colilert

Elaborado por: Erik Anatoa

Primera muestra después de la filtración

En la primera muestra filtrada por el filtro alcanzo una efectividad del 26 de coliformes totales a una eliminación de 98.93% de los coliformes totales un resultado menor no tan eficiente en la filtración del agua la eficiencia del prototipo puede estar influenciada por factores que obtuvo la contaminación por el transcurso del viaje al laboratorio o en el tiempo de operación del filtro o no teniendo en cuenta la limpieza del sistema, así tener en cuenta estos problemas para mejorar los análisis microbiológicos.



Figura 5. 9 Pruebas de kit Colilert

Elaborado por: Erik Anatoa

Segunda muestra antes de la filtración

En la segunda muestra en la captación de la junta de lomas pamba para el uso de agua potable tiene un aspecto amarillo de un 125.9 a un 95% positivo de coliformes totales esto se debe con la contaminación por la ganadería y mal uso del tratamiento del agua potable.



Figura 5. 10 Pruebas kit de Colilert

Elaborado por: Erik Anatoa

Segunda muestra después de la filtración

En la segunda muestra filtrada por el filtro alcanzo una efectividad 5.2 que es el 95.87% en la eliminación de coliformes totales lo que se obtuvo una alta capacidad de retención bacteriana por parte del filtro y de sus propiedades fisicoquímicos al tener cuidadosamente en la filtración y el llevado del transcurso del viaje al laboratorio.

Esto es un gran aporte para las comunidades o en las zonas rurales de la provincia de Cotopaxi donde se presencia de estos problemas por la ganadería y de mal uso de tratamiento de aguas residuales contaminado a los ríos, quebradas y vertientes naturales donde juntas o comunidades capta del agua para su uso doméstico o agua potable.



Figura 5. 11 Pruebas de kit Colilert

Elaborado por: Erik Anatoa

Especificaciones Técnicas del filtro

Tabla 5. 5 Especificaciones técnicas del filtro

Parámetro	Especificación
Material	Tereftalato de polietileno (PET)
Materiales Fisicoquímicos	sílice de arena 50%, Carbón Activado 31%, Zeolita de arena 13%, Zeolita de piedra 7% y 4 membranas de 20 micas

Medidas externas	102mm ancho x 129 mm alto
Medidas internas	59 mm ancho x 71 mm alto
Presión de funcionamiento	0-15.228 psi
Velocidades de funcionamiento	0,075 a 0,210 m/s.
Peso	266 gr
Función	Filtración hidráulica
Tamaño de puerto	½ pulg
Tipo de flujo	Laminar

Fuente: Elaboración propia

Discusión

De acuerdo con Taco Simbaña y Ushiña Tomalo [18], se estableció la calidad del agua en el río Cutuchi, donde se recolectaron dos muestras de agua de las comunidades vecinas: Se llevaron a cabo los análisis de laboratorio correspondientes en Tiobamba y San Rafael, donde se identificaron coliformes fecales en el río Cutuchi, lo que podría ocasionar graves afecciones en la salud humana, ya que este río se emplea para el riego y alimentación de animales. Se registró un promedio de 23 UFC/100ml a 23,67 UFC/100ml.

En las comunidades de Shuyo Chico y San Pablo, pertenecientes a la Parroquia Angamarca, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, el consumo de agua entubada ha sufrido problemas debido a condiciones desfavorables, con partículas y microorganismos. Entre los parámetros más relevantes se hallaron los colibacilos fecales, ya que estos muestran un resultado del 40% de coliformes fecales. Por esta razón, se ha decidido poner en marcha filtros de arena lento para eliminar.[16]

Con respecto al trabajo desarrollado en la junta de agua Santo Samana después del paso del agua contaminada por el filtro se obtuvo 26 y 6.3 UFC/100 ml de coliformes totales, correspondientes al agua del río Catequilla cercano a la captación y la captación.

En la Universidad Nacional de Desarrollo de Yogyakarta, Indonesia, estudiaron la filtración lenta con arena para la eliminación de coliformes totales y E. coli, El mejor rendimiento se logró con la columna de filtro F4 que consistió en arena de lava y tenía la configuración C2

($d_{10} = 0,07$ mm; $C_u = 4,2$). Esta columna de filtro logró una eliminación de 4,7 unidades logarítmicas de coliformes totales y 5,0 unidades logarítmicas de eliminación de E. coli. [51]

En el prototipo desarrollado mediante impresión 3D, utilizando material reciclado tipo PET. El diseño fue ensamblado con materiales filtrantes de origen físico-químico previamente seleccionados y evaluados por su capacidad para retener y eliminar coliformes totales. Este filtro casero es concedido para su aplicación en zonas rurales de la provincia de Cotopaxi, donde muchas comunidades carecen de acceso a agua potable seguro. Donde se obtuvo una eficiencia de 98.93% y 95.56 de eliminación. Además, el uso de materiales reciclables y el bajo costo del filtro lo convierten en una ayuda para las personas que presentan este problema en el acceso del agua potable así no contraigan enfermedades.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se elaboro cinco prototipos de botellas de plástico, en el que P3 obtuvo una eficiencia 60% de eliminación de coliformes totales,

Se integraron varios materiales como el uso de sílice de arena con el 50%, Carbón Activado con el 31%, Zeolita de arena con él 13%, Zeolita de piedra con el 7% y 4 membranas de 20 micas, y 266 gr un peso total, para la remoción de coliformes totales 98.93% y 95.56 de eliminación, turbiedad y dureza del agua.

Respecto al diseño hidráulico, El filtro presenta las siguientes propiedades: El flujo es laminar ideal sin turbulencias, con un rango de presión de 0-15.228 psi, rango de velocidad de 0.075 a 0.210 m/s con puertos de salida y entrada de ½ pulg.

6.2. RECOMENDACIONES

Dentro de futuros análisis se recomienda mejorar la altura del filtro debido a que en las fuentes hídricas de la provincia el porcentaje de coliformes totales es elevado y filtros de la dimensión creada no es óptimo para retener en su totalidad.

Posibles mejoras en el diseño para llevar el caudal de filtración en el domicilio debido a que el caudal de salida es 0.45 l/min lo cual puede ser limitante del uso del filtro.

La capacidad o el tiempo de uso es aproximadamente de 3meses, aunque el diseño del filtro está diseñado para cambiar cartucho de filtración.

Es necesario realizar más estudios sobre las propiedades de los materiales o mejorar los mismos con reacciones químicas catalíticas para mejorar su rendimiento.

7. REFERENCIAS

- [1] J. A. Cajas Sinchiguano, A. Córdova-Mosquera, y J. E. Chavarría Párraga, «Calidad de agua en río cutuchi mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos, Latacunga, Ecuador.», Latacunga, dic. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.512>
- [2] J. C. Naranjo Herrera, P. G. Buenaño Chagñay, y I. F. Benítez Obando, «Material interactivo para la concientización sobre el consumo de agua no potable como causa de la desnutrición infantil», Riobamba – Ecuador, sep. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cssn.esPOCH.edu.ec>
- [3] L. Xiao, Q. Zhang, C. Niu, y H. Wang, «Spatiotemporal patterns in river water quality and pollution source apportionment in the arid beichuan river basin of northwestern china using positive matrix factorization receptor modeling techniques», *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, n.º 14, pp. 1-15, jul. 2020, doi: 10.3390/ijerph17145015.
- [4] O. A. Gamarra Torres, M. A. Barrena Gurbillón, E. Barboza Castillo, J. Rascón Barrios, y F. Corroto, «Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú», *Arnaldoa*, vol. 25, n.º 1, pp. 179-194, abr. 2018, doi: 10.22497/arnaldoa.251.25111.
- [5] unicef, «Estrategia de Agua, Saneamiento e Higiene- unicef», Unicef, vol. 1, pp. 1-82, ene. 2016, Accedido: 6 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: ©UNICEF/UNI116083/Pagina
- [6] K. Mills et al., «Contaminación bacteriana del agua potable embotellada reutilizable en Ecuador», *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, vol. 8, n.º 1, pp. 81-89, mar. 2018, doi: 10.2166/washdev.2017.064.
- [7] Truque B. Paola Andrea, «Armonización de los Estándares de Agua Potable en las Américas.», Author(s) Truque B. Paola Andrea, pp. 1-73, 2000.
- [8] I. Ecuatoriano de Normalización, «Norma Técnica Ecuatoriana Agua Potable Requisitos NTE INEN 1 108:2011.», Quito, jun. 2011.

- [9] «Encuesta Nacional De Empleo, Desempleo y Subempleo».
- [10] A. Molina-Vera, M. Pozo, y J. C. Serrano, Agua, saneamiento e higiene: medición de los ODS en Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos y UNICEF (INEC-UNICEF)., h2ostudio ed. Quito - Ecuador: Molina, A., Pozo, M. & Serrano, J., 2018. [En línea]. Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec
- [11] Ministerio de Salud Pública, «Enfermedades Transmitidas por Agua y Alimentos otras intoxicaciones alimentarias Ecuador,SE 37/ 2021», Ecuador, 2021. Accedido: 21 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wpcontent/uploads/2021/10/Gaceta-General-SEM-37-ETAS.pdf>
- [12] J. Salas-Salvadó, F. Maraver, L. Rodríguez-Mañas, M. Sáenz de Pipaon, I. Vitoria, y L. A. Moreno, «Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual», *Nutr Hosp*, vol. 37, n.º 5, pp. 1072-1086, may 2020, doi: 10.20960/nh.03160.
- [13] J. Aníbal, C. Sinchiguano, A. Córdova-Mosquera, J. Enrique, y C. Párraga, «Información del artículo». [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.512>
- [14] E. Aguilar Sisalema Jennifer Victoria, E. Altamirano Cisneros Karen Analía, E. Jaramillo Mariño Vivian Arlette, E. Sánchez Aguiar Alex Vinicio, I. Mg Dolores Robalino, y W. Ricardo Calero Cáceres, «Tema: EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL CANAL LATA CUNGA-SALCEDO-AMBATO, AÑO 2023: FASE III Autores».
- [15] L. A. Chuqui Taco y F. X. Poveda Paredes, «Prevalencia de parasitosis intestinal en niños y niñas del Ecuador», *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, pp. 535-550, jul. 2023.
- [16] J. C. Criollo Chango, «Abastecimiento de agua potable y su incidencia en la condición sanitaria de los habitantes de la comunidad Shuyo chico y san pablo de la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.», Ambato - Ecuador, may 2015.
- [17] Organización Mundial de la Salud, Evaluación de métodos para el tratamiento doméstico del agua: metas sanitarias y especificaciones de eficiencia microbiológica. 2012. [En línea]. Disponible en: www.who.int
- [18] M. S. Taco Simbaña y B. D. Ushiña Tomalo, «Calidad microbiológica del agua en el río cutuchi de dos comunidades de área agrícola en la provincia de Cotopaxi y su posible implicación en la salud humana», Quito, feb. 2023.

- [19] S. Y. Del Pozo Panata y L. M. López Panchi, «Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Pumacunchi, provincia de Cotopaxi, periodo 2022.», Latacunga, ago. 2022.
- [20] Abigail Amparo Barrera Gallo y Jessica Gabriela Cepeda Guasgua, «Evaluación Espacio–Temporal de la Calidad del Agua del Río Cutuchi en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, período 2019-2020», Latacunga, feb. 2020.
- [21] D. F. Mayorga Pérez, I. E. Tapia Segarra, L. E. Paredes, y J. I. Caicedo Reyes, «Diseño y Construcción de un filtro de agua vegana», *Ciencia Digital*, vol. 3, n.º 3, pp. 337-355, jul. 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i3.649.
- [22] E. Yogafanny, S. Fuchs, U. Obst, y Ekha, «Estudio de la filtración lenta con arena para la eliminación de coliformes totales y E. coli», *Revista de ciencia y tecnología ambiental*, vol. 6, p. 13, jun. 2014.
- [23] M. Y. Celi Armijos y J. C. Yantalema Bajaña, «Experimentación de la Zeolita como medio filtrante en aguas clarificadas de una planta potabilizadora.», Guayaquil, mar. 2024.
- [24] R. Marín Galvín, «Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos», Córdoba, sep. 2018.
- [25] M. del P. Arcos Pulido, S. L. Ávila de Navia, S. M. Estupiñán Torres, y A. C. Gómez Prieto, «Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua.», Bogotá, Colombia, jul. 2005. [En línea]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx>
- [26] M. Robert Pullés, «Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba», Cuba, 2014.
- [27] L. C. Villavicencio Figueroa, J. P. Gomezcuello Samaniego, D. I. Bravo Crespo, y J. A. Baculima Suárez, «Coliformes totales y Escherichia coli en superficies inertes en contacto con el consumo de los alimentos de los patios de comida del mercado “25 de junio” Gualaceo – Ecuador», *Polo del conocimiento.*, vol. 8, n.º 85, sep. 2023.
- [28] M. S. Taco Simbaña y B. D. Ushiña Tomalo, «Calidad microbiológica del agua en el río cutuchi de dos comunidades de área agrícola en la provincia de Cotopaxi y su posible implicación en la salud humana.», Quito – Ecuador, feb. 2023.
- [29] M. C. Apella y P. Z. Araujo, «Microbiología de Agua. Conceptos Básicos», Buenos Aires, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://www.ine.es/normativa/leyes/incinor.htm>

- [30] World Health Organization, Guías para la calidad del agua de consumo humano, vol. 4. Ginebra, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://apps.who.int/>
- [31] J. Tacuri y O. Vintimilla, «Control microbiológico y físico-químico del agua potable del sistema de abastecimiento del cantón Santa Isabel», Universidad de Cuenca, nov. 2012.
- [32] UNICEF, «Filtros para el tratamiento de agua en el hogar Guía de Productos», dic. 2021.
- [33] D. F. Mayorga Pérez, I. E. Tapia Segarra, L. E. Paredes, y J. I. Caicedo Reyes, «Diseño y Construcción de un filtro de agua vegana», Ciencia Digital, vol. 3, n.º 3, pp. 337-355, jul. 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i3.649.
- [34] H. D. dos S. L. Rolim, S. M. Melo, J. V. Costa, J. R. dos Santos Júnior, y A. F. M. de Carvalho, «Desenvolvimento de dispositivo filtrante sustentável com carvão ativado da casca do coco babaçu (*attalea speciosa* mart.) Enriquecido com hidróxido de cálcio (CA(OH)₂)», Revista Contemporânea, vol. 4, n.º 12, p. e7098, dic. 2024, doi: 10.56083/RCV4N12-247.
- [35] «FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO CARBÓN ACTIVADO ZLC6-12». [En línea]. Disponible en: www.wascorpsa.com.
- [36] Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria, «Agua. Medios filtrantes granulados utilizados en el tratamiento de aguas. Requisitos», Instituto Ecuatoriano de Normalización, vol. 1, pp. 1-14, jun. 2013.
- [37] «FICHA TÉCNICA DEL PRODUCTO ARENA SILÍCICA». [En línea]. Disponible en: www.wascorpsa.com
- [38] T. R. Fabricio, L. S. W. Oscarlina, B. M. Eduardo, F. G. C. D. Eliana, M. L. Zoraidy, y M. P. N. João, «Evaluación física, química y microbiológica de un compost acondicionado con zeolitas», Afr J Agric Res, vol. 13, n.º 14, pp. 664-672, abr. 2018, doi: 10.5897/ajar2018.12969.
- [39] «FICHA TÉCNICA MEDIA DE HYPER FILTRACIÓN ZEOLITA certificación».
- [40] E. B. Jaramillo, L. Muñoz, A. Ossa, y M. P. Romo, «Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas Mechanical behavior of polyethylene terephthalate (PET) and geotechnical applications», México, ene. 2014.
- [41] D. F. Mayorga Pérez, I. E. Tapia Segarra, L. E. Paredes, y J. I. Caicedo Reyes, «Diseño y Construcción de un filtro de agua vegana», Ciencia Digital, vol. 3, n.º 3, pp. 337-355, sep. 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i3.649.

- [42] J. O. Pérez Silva, «Introducción al Autocad en tres dimensiones», Universidad Politécnica Salesiana, mar. 2016.
- [43] J. Gonzalez et al., «Modelación y simulación computacional de fluido del Piptocoma discolor (pigüe) para la optimización de la combustión en el Ecuador», Enfoque UTE, vol. 13, n.º 2, pp. 48-67, abr. 2022, doi: 10.29019/enfoqueute.795.
- [44] H. D. dos S. L. Rolim, S. M. Melo, J. V. Costa, J. R. dos Santos Júnior, y A. F. M. de Carvalho, «Desenvolvimento de dispositivo filtrante sustentável com carvão ativado da casca do coco babaçu (attalea speciosa mart.) enriquecido com hidróxido de cálcio (CA(OH)2)», Revista Contemporânea, vol. 4, n.º 12, p. e7098, dic. 2024, doi: 10.56083/rcv4n12-247.
- [45] T. R. Fabricio, L. S. W. Oscarlina, B. M. Eduardo, F. G. C. D. Eliana, M. L. Zoraidy, y M. P. N. João, «Evaluación física, química y microbiológica de un compost acondicionado con zeolitas», Afr J Agric Res, vol. 13, n.º 14, pp. 664-672, abr. 2018, doi: 10.5897/ajar2018.12969.
- [46] M. Y. Celi Armijos y J. C. Yantalema Bajaña, «Experimentación de la zeolita como medio filtrante en aguas clarificadas de una planta potabilizadora.», Guayaquil - Ecuador, mar. 2024.
- [47] Barndok Helen, «Procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con 1,4 dioxano», Madrid, 2017.
- [48] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 2169, «Agua. Calidad del agua. Muestro. Manejo y conservación de muestras.», vol. Primera Edición, 2013.
- [49] T. R. Fabricio, L. S. W. Oscarlina, B. M. Eduardo, F. G. C. D. Eliana, M. L. Zoraidy, y M. P. N. João, «Evaluación física, química y microbiológica de un compost acondicionado con zeolitas», Afr J Agric Res, vol. 13, n.º 14, pp. 664-672, abr. 2018, doi: 10.5897/ajar2018.12969.
- [50] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Normativa Técnica Ecuatoriana: Agua. Medios filtrantes granulares utilizados en el tratamiento de aguas. Requisitos», Instituto Ecuatoriano de Normalización, vol. 1, jun. 2013.
- [51] E. Yogafanny, S. Fuchs, y U. Obst, «Study of Slow Sand Filtration in Removing Total Coliforms and E.Coli», vol. 6, n.º 2, pp. 107-116, jun. 2014.

