



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR  
CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS  
CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingenieros Ambientales

**Autores:**

Páramo Maldonado Charly Eduardo  
Toapanta Valenzuela Sandra Marisol

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Febrero 2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Páramo Maldonado Charly Eduardo, con cédula de ciudadanía No. 1754244182 y Toapanta Valenzuela Sandra Marisol, con cédula de ciudadanía No. 1753059516, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación **“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**, siendo el Ingeniero M.Sc. José Luis Agreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 21 de febrero del 2024



Charly Eduardo Páramo Maldonado  
C.C: 1754244182  
**ESTUDIANTE**



Sandra Marisol Toapanta Valenzuela  
C.C: 1753059516  
**ESTUDIANTE**

## 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 **PÁRAMO MALDONADO CHARLY EDUARDO**, identificado con cédula de ciudadanía **1754244182** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL 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.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**, 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: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña, M.Sc.

Tema: **“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**

**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, **EL 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 **EL 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:

- a) 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.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) 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 EL 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 EL 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 EL 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 21 días del mes de febrero del 2024.



Charly Eduardo Páramo Maldonado  
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
LA CESIONARIA

## **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 **TOAPANTA VALENZUELA SANDRA MARISOL**, identificada con cédula de ciudadanía **1753059516** de estado civil soltera, 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 Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**, 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: Octubre 2019 – Marzo 2020

Finalización de la carrera: Abril 2023 – Agosto 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña, M.Sc.

Tema: **“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**

**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 21 días del mes de febrero del 2024.



Sandra Marisol Toapanta Valenzuela  
LA CEDENTE


Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
LA CESIONARIA

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**, de Páramo Maldonado Charly Eduardo y Toapanta Valenzuela Sandra Marisol, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 21 de febrero del 2024



Ing. José Luis Agreda Oña, M.Sc.  
C.C: 0401332101  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Páramo Maldonado Charly Eduardo y Toapanta Valenzuela Sandra Marisol, con el título de Proyecto de Investigación: **“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 21 de febrero del 2024



Ing. Ortiz Bustamante Vladimir, M.Sc.  
C.C: 0502188451  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Marco Antonio Rivera, M.Sc.  
C.C: 0501518955  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Lcdo. Jaime Rene Lema, M.Sc.  
C.C: 1713759932  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**



## **AGRADECIMIENTO**

*Este camino académico ha sido un recorrido lleno de desafíos, aprendizajes y crecimiento personal. En este viaje nunca estuve solo y quiero dedicar este espacio a expresar mi más sincero agradecimiento a quienes han contribuido de manera significativa a esta travesía.*

*Primero quiero agradecer a mis padres Marcelo Páramo y Nancy Maldonado por brindarme su amor incondicional y constante apoyo, han sido mi mayor inspiración a lo largo de toda mi vida. Gracias por creer en mis sueños y por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante.*

*Agradezco a Fernanda Majin y a Andrés Achina por su apoyo inquebrantable, sus consejos, su aliento y compañía han sido un faro que ha iluminado mi camino.*

*A mi hermano Jhonatan Maldonado, con quien he compartido llantos y alegrías. Tu papel como hermano, confidente y amigo no tiene precio, y te estoy agradecido por todos los momentos vividos.*

*A cada miembro de la familia, les agradezco por los sacrificios, los consejos sabios, y la paciencia infinita que han mostrado a lo largo de mi trayectoria.*

*A mis amigos, quienes han estado a mi lado en los momentos buenos y malos, les agradezco por su amistad leal y sincera. Espero seguir construyendo recuerdos y celebrando éxitos juntos en el futuro.*

**Charly Eduardo Páramo Maldonado**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco primeramente a Dios por ser mi guía en cada momento, a mis padres Eduardo y Marisol por ser quienes me apoyaron no solo económicamente sino también por levantarme y no dejarme rendirme en ningún momento, nunca me dejaron sola, a mis hermanas Paola y Marcela por cada palabra de aliento y por ser mi inspiración para llegar a ser una profesional como ellas, a mi cuñado Cristian y sobrinos Mikaela, Benjamín y Jeremy por siempre estar para mí y desearme suerte cada vez que salía de casa, a cada uno de los miembros de mi familia gracias por todo el esfuerzo que hicieron para poder culminar esta etapa.*

*A mis amigos, quienes han estado a mi lado en los momentos buenos y malos, les agradezco por su amistad leal y sincera. Espero seguir construyendo recuerdos y celebrando éxitos juntos en el futuro.*

***Sandra Marisol Toapanta Valenzuela***

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis está dedicada a mis queridos padres, quienes han sido mi fuente constante de amor, guía y apoyo a lo largo de mi vida. Su dedicación y sacrificio han allanado mi camino académico, y esta tesis es un testimonio de la profunda gratitud que siento hacia ustedes. Su inquebrantable aliento y creencia en mí han sido mi mayor motivación. A mi hermana y hermano por ser mis compañeros incondicionales y brindarme aliento en cada paso del, dedico este trabajo a mis amigos y seres queridos camino. También, cuya presencia ha iluminado mi trayectoria y ha hecho este logro aún más significativo.*

**Charly Eduardo Páramo Maldonado**

### **DEDICATORIA**

*Este proyecto de tesis está dedicado para mis padres quiénes son las personas más importantes en mi vida, gracias a ellos estoy culminando una de las metas y más grandes sueños que me propuse en la vida y principalmente dedico esta tesis a un ángel que me ve desde el cielo, quien fue mi inspiración para yo salir adelante y esforzarme mucho más, espero que se esté sintiendo muy orgulloso/a de mí, esto es para los dos.*

***Sandra Marisol Toapanta Valenzuela***

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”.**

**Autores:**

Páramo Maldonado Charly Eduardo  
Toapanta Valenzuela Sandra Marisol

**RESUMEN**

Las aguas residuales domésticas son el resultado del uso cotidiano del agua en actividades humanas, su descarga directa a fuentes hídricas puede generar impactos ambientales notables, además de representar un riesgo para la salud pública. Es por eso que, el presente proyecto se encuentra enfocado en diseñar un filtro de flujo ascendente de carbón activado (FAFA) como parte fundamental en el tratamiento de las aguas residuales encargadas de la remoción de la carga orgánica. Para el dimensionamiento del filtro se siguió una metodología precisa y detallada, respaldada por ciertos criterios de diseño establecidos en el RAS 2000 y el Manual para Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente de CONAGUA. Además, se realizó la caracterización del caudal y ciertos parámetros físico-químicos como DQO y DBO<sub>5</sub>, los cuales se presentan como una fase esencial en el proceso de diseño del filtro de flujo ascendente. Los resultados obtenidos en el dimensionamiento del FAFA muestran que el filtro tiene una altura total de 3,25 m y un volumen de 5 m<sup>3</sup> de contención, adecuado para el tipo de caudal que fue caracterizado. Cabe resaltar que el FAFA tiene una eficiencia de remoción del 65 %. Esta eficiencia significativa sugiere que el filtro es capaz de eliminar casi la mitad de los contaminantes orgánicos presentes en el agua por lo que puede ser considerado como un tratamiento adecuado para la eliminación de la carga orgánica. Por otro lado, los resultados de DQO y DBO<sub>5</sub> demuestran que las aguas residuales provenientes de las instalaciones de la Facultad de CAREN poseen una carga significativa de materia orgánica biodegradable. Por lo que es necesario generar un tratamiento adecuado para reducir su carga contaminante. Dicho esto, podemos resaltar la importancia de incorporar este tipo de filtro en la infraestructura de tratamiento de aguas del Campus CEASA. Esta medida no solo conlleva a una mejora sustancial en la eficiencia del sistema de tratamiento, sino que también optimiza el proceso al integrarse con otras etapas como la sedimentación secundaria o la filtración. Esta integración contribuirá a un tratamiento más completo, permitiendo la reducción más efectiva de contaminantes en el agua residual y una disminución más significativa de la carga orgánica.

**Palabras clave:** tratamiento de aguas residuales, DQO, DBO<sub>5</sub>, filtro anaerobio de flujo ascendente, proceso anaerobio, carbón activado

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES**

**TITLE: “DESIGN OF AN UPFLOW FILTER TO ELIMINATE ORGANIC LOAD  
FROM THE WASTEWATER OF THE CEASA CAMPUS AS A TREATMENT OF  
THE ANAEROBIC PLANT”**

**Authors:**

Páramo Maldonado Charly Eduardo  
Toapanta Valenzuela Sandra Marisol

**ABSTRACT**

Domestic wastewater is the result of the daily use of water in human activities, its direct discharge into water sources can generate notable environmental impacts, in addition to representing a risk to public health. That is why this project is focused on designing an activated carbon upflow filter (FAFA) as a fundamental part of the wastewater treatment responsible for removing the organic load. A precise and detailed methodology was followed for the sizing of the filter, supported by certain design criteria established in the RAS 2000 and the Manual for Anaerobic Upflow Filters of CONAGUA. In addition, the characterization of the flow rate and certain physical-chemical parameters such as DQO and DBO<sub>5</sub> were carried out, which are presented as an essential phase in the design process of the upflow filter. The results obtained in the sizing of the FAFA show that the filter has a total height of 3.25 m and a containment volume of 5 m<sup>3</sup>, suitable for the type of flow that was characterized. It should be noted that FAFA has a removal efficiency of 65%. This significant efficiency suggests that the filter is capable of removing almost half of the organic contaminants present in the water, so it can be considered an adequate treatment for the elimination of the organic load. On the other hand, the results of DQO and DBO<sub>5</sub> demonstrate that the wastewater from the facilities of the CAREN Faculty has a significant load of biodegradable organic matter. Therefore, it is necessary to generate an adequate treatment to reduce its polluting load. That said, we can highlight the importance of incorporating this type of filter into the water treatment infrastructure of the CEASA Campus. This measure not only leads to a substantial improvement in the efficiency of the treatment system, but also optimizes the process by integrating it with other stages such as secondary sedimentation or filtration. This integration will contribute to a more complete treatment, allowing the most effective reduction of contaminants in the wastewater and a more significant decrease in the organic load.

**Keywords:** wastewater treatment, DQO, DBO<sub>5</sub>, upflow anaerobic filter, anaerobic process, activated carbon

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
DEDICATORIA .....	xi
DEDICATORIA .....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xx
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	4
5. OBJETIVOS.....	5
5.1. General.....	5
5.2. Específicos .....	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
7.1. Aguas Residuales .....	7
7.1.1. Aguas Residuales Domésticas .....	7
7.1.2. Características de las Aguas Residuales Domésticas.....	7
7.1.3. Parámetros Físicos .....	7
7.2. Turbidez.....	8

7.2.2.	Parámetros Químicos .....	9
7.2.3.	Parámetros Biológicos .....	11
7.3.	Tratamiento de aguas residuales .....	11
7.3.1.	Pretratamientos .....	12
7.3.2.	Tratamientos Primarios .....	12
7.3.3.	Tratamientos Secundarios .....	12
7.3.4.	Tratamientos Terciarios .....	12
7.4.	Proceso Anaerobio .....	13
7.4.1.	Hidrólisis .....	13
7.4.2.	Acidogénesis .....	13
7.4.3.	Acetogénesis .....	13
7.4.4.	Metanogénesis .....	14
7.5.	Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente .....	14
7.5.1.	Material de Empaque .....	14
7.5.2.	Factores que afectan el proceso .....	15
7.5.3.	Criterios de Diseño .....	17
7.6.	Carbón Activado .....	18
7.6.1.	Características del carbón activado .....	18
7.6.2.	Etapas del proceso de filtración .....	19
8.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS .....	19
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	19
9.1.	Área de estudio .....	19
9.2.	Características del área de estudio .....	20
9.2.1.	Temperatura .....	20
9.2.2.	Precipitación .....	20
9.2.3.	Humedad Relativa .....	20
9.2.4.	Viento .....	21



9.2.5.	Hidrología .....	21
9.3.	Enfoque .....	21
9.3.1.	Enfoque Cualitativo .....	21
9.3.2.	Enfoque Cuantitativo .....	21
9.4.	Métodos .....	21
9.4.1.	Método bibliográfico .....	21
9.4.2.	Método de Observación directa .....	22
9.4.3.	Investigación experimental .....	22
9.5.	Técnicas .....	22
9.5.1.	Levantamiento de información .....	22
9.5.2.	Aforo del caudal.....	22
9.5.3.	Toma de muestras .....	23
9.5.4.	Etiquetado de las muestras.....	24
9.5.5.	Cálculo del caudal medio.....	24
9.5.6.	Fase de laboratorio.....	24
9.6.	Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	25
9.6.1.	Evaluación de parámetros y recomendaciones de Diseño .....	25
9.6.2.	Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente .....	26
9.6.3.	Cálculo del área del Filtro Anaerobio.....	28
9.6.4.	Cálculo del volumen falso del Filtro.....	28
9.6.5.	Cálculo del volumen del lecho filtrante .....	28
9.6.6.	Cálculo de la altura del lecho filtrante .....	29
9.6.7.	Cálculo de la altura total del Filtro .....	29
9.6.8.	Cálculo del volumen total del Filtro .....	29
9.6.9.	Cálculo de la eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio.....	29
9.6.10.	Cálculo de la Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera en el efluente .....	29

10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	29
10.1.	Levantamiento de información (caudal) .....	29
10.2.	Resultados del caudal medio .....	30
10.3.	Fase de laboratorio .....	34
10.3.1.	Resultados de la Turbidez.....	34
10.3.2.	Resultados de la Temperatura.....	35
10.3.3.	Resultados del Potencial de Hidrógeno .....	35
10.3.4.	Resultados de Sólidos Totales .....	35
10.3.5.	Resultados de Sólidos Suspendedos Totales .....	36
10.3.6.	Nitritos y Nitratos .....	36
10.3.7.	Coliformes Fecales .....	37
10.3.8.	Resultados Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	37
10.3.9.	Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	38
10.4.	Dimensionamiento del Filtro de Anaerobio de Flujo Ascendente .....	39
10.4.1.	Área superficial del Filtro .....	39
10.4.2.	Volumen del Filtro.....	40
10.4.3.	Volumen del lecho filtrante .....	40
10.4.4.	Altura del lecho filtrante .....	40
10.4.5.	Altura total del Filtro .....	41
10.4.6.	Volumen total del Filtro.....	41
10.4.7.	Eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio .....	41
10.4.8.	Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera en el efluente	41
10.5.	Análisis del diseño .....	42
10.6.	Evaluación de la eficiencia del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente .....	44
	Concentración de DBO que se espera en el efluente.....	45

10.7.	Análisis de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera en el efluente.....	45
10.8.	Importancia de implementar este tipo de filtros a la planta de tratamiento del Campus CEASA .....	46
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) .....	47
11.1.	Impacto social .....	47
11.2.	Impacto económico .....	47
11.3.	Impacto ambiental .....	48
12.	Validación de la Pregunta Científica .....	48
13.	Presupuesto del Proyecto de Investigación .....	48
14.	CONCLUSIONES.....	49
15.	RECOMENDACIONES .....	50
16.	BIBLIOGRAFÍA .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Beneficiarios del Proyecto de Investigación. ....	4
<b>Tabla 2.</b> Límites de descarga a cuerpos de Agua dulce. ....	11
<b>Tabla 3.</b> Fórmulas para el diseño del FAFA. ....	26
<b>Tabla 4.</b> Datos del tiempo que tarda en llenarse el recipiente. ....	30
<b>Tabla 5.</b> Resultados del caudal medio diario de los 5 días que se tomaron los datos. ....	31
<b>Tabla 6.</b> Caudal medio total. ....	34
<b>Tabla 7.</b> Resultados de Turbidez del Agua residual. ....	34
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la Temperatura de las Aguas Residuales. ....	35
<b>Tabla 9.</b> Resultados del pH de las Aguas Residuales. ....	35
<b>Tabla 10.</b> Resultados de los Sólidos Totales. ....	36
<b>Tabla 11.</b> Resultados de los Sólidos Suspendedos Totales. ....	36
<b>Tabla 12.</b> Resultados de Nitritos y Nitratos. ....	36
<b>Tabla 13.</b> Resultados de Coliformes Fecales. ....	37
<b>Tabla 14.</b> Resultados del Promedio Diario de DQO. ....	37
<b>Tabla 15.</b> Resultados de DBO5. ....	39
<b>Tabla 16.</b> Resultados de los cálculos para dimensionar el FAFA. ....	42
<b>Tabla 17.</b> Consideraciones de Diseño. ....	44
<b>Tabla 18.</b> Resultados de eficiencia y concentración esperada del Filtro. ....	45
<b>Tabla 19.</b> Presupuesto para la elaboración del Proyecto. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Dibujo Esquemático de un Filtro de Flujo Ascendente.</i> ....	14
<b>Figura 2.</b> <i>Mapa de Ubicación del Proyecto de Investigación.</i> ....	20
<b>Figura 3.</b> <i>Resultados de los promedios diarios de DQO.</i> ....	38
<b>Figura 4.</b> <i>Resultados del DBO5.</i> ....	39
<b>Figura 5.</b> <i>Plano del Diseño del Filtro Anaerobio.</i> ....	43
<b>Figura 6.</b> <i>Concentración de DBO esperado al terminar el proceso de tratamiento.</i> ....	45
<b>Figura 7.</b> <i>Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente en 3D.</i> ....	47

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto**

“DISEÑO DE UN FILTRO DE FLUJO ASCENDENTE PARA ELIMINAR CARGA ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA COMO TRATAMIENTO DE LA PLANTA ANAEROBIA”.

### **Fecha de inicio:**

7/11/2023

### **Fecha de finalización:**

20/02/2024

### **Lugar de ejecución:**

El presente proyecto de investigación se lo llevará a cabo dentro de las instalaciones del Campus CEASA perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Facultad que auspicia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Ambiental

### **Equipo de Trabajo:**

**Tutor:** Ing. José Luis Agreda Oña, Mg

**Autores:** Sr. Charly Eduardo Páramo Maldonado y Srta. Sandra Marisol Toapanta Valenzuela

**Lector 1:** Ing. Ortiz Bustamante Vladimir Marconi, Mg.

**Lector 2:** Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

**Lector 3:** Lcdo. Jaime René Lema Pillalaza, Mg.

### **Coordinador del Proyecto**

Nombre/s: Charly Eduardo Páramo Maldonado

Teléfono: 0990245856

Correo electrónico: charly.paramo4182@utc.edu.ec

Nombre/s: Sandra Marisol Toapanta Valenzuela

Teléfono: 0995827753

Correo electrónico: charly.paramo4182@utc.edu.ec

**Área de Conocimiento:**

Ciencias de la Naturaleza, Ingeniería (UNESCO)

**Línea de investigación:**

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Línea de vinculación de la carrera:**

Manejo y Conservación del Recurso Hídrico.

**2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Si bien el Ecuador posee gran potencial en cantidad de recursos hídricos no lo es en calidad, pues se han desarrollado varios estudios acerca de la calidad del agua de los ríos y estos han dado como resultado que más del 70% de estas fuentes hídricas están en su mayor parte contaminadas debido a la descarga de aguas residuales provenientes de las industrias o viviendas que se encuentran adyacentes a los ríos (LOZANO, 2019).

Es por eso que hoy en día obtener nuevas fuentes de agua limpias se va haciendo cada día más difícil y una forma de atender a esta necesidad la población ha optado por la construcción de plantas de tratamiento con la finalidad de tratar este tipo de aguas a través de un sistema de tratamiento, el cual puede incluir procesos físicos, químicos y biológicos encargados de eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales y hacer que esta mejore sus características y sea segura para su liberación a cuerpos de agua receptores (MÉNDEZ, 2019).

Cabe resaltar que dentro de estos sistemas de tratamiento los filtros de flujo ascendente tienen una gran importancia pues se destacan por su capacidad para eliminar eficientemente la carga orgánica antes de ingresar a los sistemas anaeróbicos o cualquier otra forma de tratamiento, además varias investigaciones recientes han demostrado la efectividad de estos filtros en el mejoramiento de los procesos de la planta de tratamiento y mejorando así la calidad del agua tratada. Este enfoque innovador representa un paso adelante en la optimización de los procesos de tratamiento pues al reducir la carga orgánica antes de ingresar a sistemas anaeróbicos o cualquier otra forma de tratamiento, estos filtros contribuyen directamente a la eficiencia operativa y al ahorro de recursos. contribuyen directamente a la eficiencia operativa y al ahorro de recursos (Carrillo et al., 2022).

Dentro del área de estudio se ha identificado que el Campus CEASA genera una considerable carga orgánica en sus aguas residuales, esta carga orgánica puede comprometer la calidad del agua y afectar negativamente a los cuerpos receptores cercanos. Es por eso que el diseño de filtros de flujo ascendente para la eliminación de carga orgánica en las aguas residuales del Campus CEASA se presenta como una iniciativa crucial para abordar los desafíos ambientales, pues estos filtros actuarán como un pretratamiento eficiente, reduciendo así la carga orgánica y mejorando la calidad del agua antes de su ingreso a la planta anaeróbica. Esta propuesta responde a varias necesidades y problemáticas identificadas en el entorno específico del campus, y su ejecución puede conllevar beneficios significativos tanto a nivel ambiental como operativo.

### **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

La tabla 1 muestra los beneficiarios de este proyecto de investigación. En primera instancia la población académica, separada por estudiantes, personal administrativo, docentes a nombramiento y docentes en la modalidad de contrato ocasional serían los beneficiarios directos. Cabe resaltar que los beneficiarios indirectos serán los pobladores aledaños a la universidad pues con el tratamiento de aguas residuales se puede reducir la carga contaminante de las mismas, haciendo que estas aguas al ser vertidas a las fuentes hídricas no generen impactos y sean óptimas para uso agrícola.

**Tabla 1.**  
*Beneficiarios del Proyecto de Investigación.*

<b>Beneficiarios Directos</b>	
Población académica de la	5,826
Facultad CAREN	

#### **4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Aproximadamente el 80% de la población de América Latina está ubicada dentro de las ciudades y con el aumento desmedido de las mismas, por lo que la provisión de agua cada día se hace más insuficiente, pues se estima que el 70% de las aguas residuales no tienen un tratamiento adecuado lo que representa una problemática ambiental pues su descarga directa a fuentes hídricas generan daños a los organismos acuáticos (Montero et al., 2020).

Las aguas residuales presentan una diversidad de elementos contaminantes, como materia orgánica, nutrientes y metales pesados, entre otros. Además, se observa con frecuencia la presencia de diversos microorganismos patógenos que pueden ocasionar diversas enfermedades a la población debido a la contaminación cruzada de los recursos hídricos. Esto tiene un impacto negativo en la salud pública (Córdova et al., 2021).

Unas de las alternativas que ha encontrado la población para dar solución a esta problemática es la construcción de plantas de tratamiento con filtros anaerobios de flujo ascendente ya que a través de este sistema el afluente sufre una serie de procesos microbiológicos que reducen la carga contaminante (ROSERO, 2018). Sin embargo, una mala planeación al momento de la construcción del filtro anaerobio puede tener consecuencias negativas, como retrasos en la construcción, costos adicionales, problemas de funcionamiento, déficit en su infraestructura y riesgos para la salud y el medio ambiente (HERRERA & QUISAGUANO, 2020).

Hoy en día se ha podido evidenciar que la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi ha estado inactiva durante varios años debido a una mala planificación en su diseño y construcción. Esta situación ha generado una problemática, ya que las aguas residuales no se recolectan ni se tratan adecuadamente, lo que ha provocado una contaminación del recurso hídrico. Las aguas provenientes de todo el Campus son descargadas directamente a cauces que cruzan adyacente por la Facultad CAREN. Cabe resaltar que esta planta de tratamiento no posee dentro de su infraestructura un sistema de



filtros anaerobios y su ausencia dentro del sistema de tratamiento puede provocar que no exista una adecuada remoción de contaminantes, ya que estos filtros son eficaces para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual. La falta de estos filtros puede hacer que la planta de tratamiento no sea tan efectiva al momento de dar el debido tratamiento, lo que puede resultar en una calidad de agua tratada deficiente o en la incapacidad de cumplir con los estándares y regulaciones ambientales.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

- Diseñar un Filtro de Flujo Ascendente de carbón activado como parte fundamental en el tratamiento de las aguas residuales encargadas de la remoción de carga orgánica.

### **5.2. Específicos**

- Caracterizar el caudal y los parámetros físico-químicos del agua residual para establecer la metodología adecuada del dimensionamiento del filtro.
- Dimensionar el Filtro de Flujo Ascendente a partir de la metodología determinada por “CONAGUA” y “RAS 2000” para establecer un protocolo básico de diseño.
- Evaluar de manera teórica la eficiencia del Filtro de Flujo Ascendente en la remoción de materia orgánica.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

OBJETIVO	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Caracterizar el caudal y parámetros físico-químicos para establecer la metodología adecuada del dimensionamiento de los filtros.	Toma de datos del caudal en la caja de revisión.  Toma de muestras para análisis de DQO y DBO <sub>5</sub>	Para la toma del caudal se utilizó el método volumétrico  Toma de muestras basado en la normativa (NTE INEN 2169:2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ caudal</li> <li>➤ análisis físico-químicos del agua</li> <li>➤ Insumo para diseños</li> </ul>
Dimensionar el Filtro de Flujo Ascendente a partir de la metodología determinada por “CONAGUA” y “RAS 2000” PARA para establecer un protocolo básico de diseño	Cálculo del dimensionamiento del FAFA con los datos de caudal y DBO <sub>5</sub> obtenidos.	Utilizar las ecuaciones establecidas en el RAS 2000 Y CONAGUA	Diseño del FAFA
Evaluar de manera teórica la eficiencia del Filtro de Flujo Ascendente en la remoción de materia orgánica.	Cálculo de la eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio  Cálculo de la concentración de DBO esperada en el efluente al terminar el proceso	Utilizar la ecuación de eficiencia de remoción establecida en CONAGUA.	Análisis de la eficiencia de remoción.

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1. Aguas Residuales**

Se denominan aguas residuales a aquellas aguas cuyas características químicas, físicas y biológicas han sufrido una alteración resultada de procesos de transformación, limpieza, uso agrícola, entre otros. Las aguas residuales comprenden todas las aguas que fluyen a través del sistema de alcantarillado, lo que incluye ocasionalmente las aguas pluviales y las infiltraciones del suelo (Castañeda & Flores, 2013).

#### **7.1.1. Aguas Residuales Domésticas**

Las aguas residuales domésticas son aguas que tienen origen en las actividades cotidianas en el hogar, como lavado de platos, duchas, baños, lavandería, entre otros, los cuales son descargados a través de los sistemas de alcantarillado o a la vez vertidos directamente a fuentes hídricas. La composición de estas aguas es muy variada pues contienen residuos orgánicos, químicos y otros contaminantes que alteran las características fisicoquímicas y biológicas, las cuales en su estado no son aptas para el consumo humano y otras actividades por lo que es necesario generar un tratamiento (Osorio et al., 2021)

#### **7.1.2. Características de las Aguas Residuales Domésticas**

La caracterización del agua residual es crucial para identificar los componentes químicos y biológicos presentes, suministrando la información esencial para planificar eficientemente una planta de tratamiento. En esencia, estas aguas están compuestas por agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión (Argandoña & Macías, 2013).

#### **7.1.3. Parámetros Físicos**

##### **7.1.3.1. Temperatura**

La temperatura tiene un impacto en la capacidad del agua para contener oxígeno, pues se considera que temperaturas más bajas, el agua puede transportar una mayor cantidad de oxígeno. Cabe resaltar que esta disponibilidad de oxígeno es esencial para la supervivencia de los organismos acuáticos (Escandón & Cáceres, 2022).

## **7.2. Turbidez**

La turbidez refleja el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua, por lo que puede ser indicio de contaminación influyendo en la claridad visual del líquido. Elevados niveles de turbidez pueden generar que los microorganismos no se vean afectados por la desinfección, además de estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro (Martínez et al., 2020).

### **7.2.1.1. Conductividad**

La conductividad eléctrica del agua se refiere a su capacidad para transportar la corriente eléctrica. Esta medida se expresa en siemens por metro (S/m) a una temperatura de 25°C. La conductividad del agua guarda relación con la concentración de sales en la disolución, ya que la disociación de estas sales genera iones capaces de llevar la corriente eléctrica (Castro et al., 2018).

### **7.2.1.2. Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos suspendidos hacen referencia a la cantidad de sólidos que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio, los cuales se secan a 103 - 105 °C hasta alcanzar un peso constante, y luego se miden en miligramos por litro (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

### **7.2.1.3. Sólidos disueltos totales**

Es un indicador de la concentración de sustancias disueltas en el agua, lo cual brinda una visión general de la calidad química de las aguas residuales (Gaibor, 2014).

### **7.2.1.4. Sólidos Sedimentables**

Son aquellos sólidos que se depositan o sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante un periodo de 1 hora. Su medición se realiza volumétricamente utilizando un cono Imhoff. Estos sólidos son una fuente importante de turbidez en el agua, ya que causan dispersión de la luz que atraviesa la muestra, afectando así la claridad del agua (CONAGUA, 2019b)

### **7.2.1.5. Sólidos Suspendidos Volátiles**

Estos se definen como la cantidad de materia orgánica que puede volatilizarse mediante el proceso de calcinación a una temperatura específica, que suele ser de 550 °C ± 50 °C, durante un tiempo de 15 a 20 minutos. La determinación de los SVT se realiza midiendo la diferencia

de peso antes y después del proceso de calcinación (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013).

## **7.2.2. Parámetros Químicos**

### **7.2.2.1. Potencial de Hidrogeno**

El pH es un parámetro de calidad del agua que mide la acidez o alcalinidad, este se expresa en una escala de 0 a 14, donde un pH de 7 es considerado neutro, mientras que valores por debajo de 7 indican acidez y valores por encima de 7 indican alcalinidad. En el contexto del agua, un rango de pH entre 6.5 y 8.5 generalmente se considera aceptable para la mayoría de los usos (Balarezo, 2021).

### **7.2.2.2. Materia Orgánica**

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99,9% de agua. El resto consiste en materia sólida, los cuales provienen de los reinos animal y vegetal, además de subproductos desechados en la vida cotidiana. La materia orgánica surge exclusivamente como resultado de la actividad humana y está compuesto de materia carbonosa, proteínas y grasas (Changoluisag & Naranjo, 2023).

### **7.2.2.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) hace referencia a la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponer la materia orgánica presente en un cuerpo de agua por parte de los microorganismos. Este indicador es crucial para evaluar la calidad del agua, ya que una alta DBO puede indicar una elevada carga de contaminantes orgánicos, afectando negativamente la disponibilidad de oxígeno en el medio acuático (Raffo & Ruiz, 2014)

Es importante destacar que, en condiciones estándar de laboratorio, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se mide a una temperatura de 20 °C durante un período de 5 días, expresándose en miligramos por litro de oxígeno (mg/l O<sub>2</sub>). Se conoce como DBO<sub>5</sub> y representa la cantidad total de oxígeno que es consumido por parte de los microorganismos durante los primeros cinco días del proceso de biodegradación (Raffo & Ruiz, 2014)

#### **7.2.2.4. Demanda Química De Oxígeno**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de oxidante, temperatura y tiempo. Los resultados de la DQO se expresan comúnmente en miligramos de oxígeno por litro (mg/L) de agua. La medición del DQO es importante para evaluar la calidad del agua y su capacidad para soportar la vida acuática, así como para identificar fuentes de contaminación orgánica en el agua (Gaibor, 2014).

#### **7.2.2.5. Nitrógeno**

El nitrógeno puede presentarse en forma amonio, nitrato y nitrito en las aguas residuales, provocando problemas ambientales como el aumento de la acidez, aumento de las concentraciones hasta niveles tóxicos y el desarrollo de la eutrofización (Cárdenas & Sánchez, 2013).

La eutrofización de los cuerpos de agua se refiere a un aumento excesivo de nutrientes que causa un crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas, lo que a su vez agota el oxígeno en el agua y afecta negativamente a la vida acuática (Cárdenas & Sánchez, 2013).

##### **7.2.2.5.1. Nitrito**

Se trata de una fase intermedia en el ciclo del nitrógeno, y puede encontrarse en el agua como resultado de la descomposición biológica de materiales proteicos. En el tratamiento de aguas residuales, se busca eliminar los nitritos a través de procesos biológicos, químicos o físicos (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013).

##### **7.2.2.5.2. Nitrato**

El nitrato se encuentra solo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas, sin embargo, en el diluyente de las plantas de tratamiento este puede estar presente en concentraciones de hasta 30 mg por litro. El nitrato es un nutriente esencial para el desarrollo de varios autótrofos fotosintéticos y en muchos de los casos ha sido determinante para el crecimiento de estos (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013).

### 7.2.3. Parámetros Biológicos

#### 7.2.3.1. Coliformes fecales

La evaluación del grado de eliminación de microorganismos patógenos se realiza a través de la presencia de coliformes fecales, ya que estos microorganismos sirven como indicadores de la calidad sanitaria del agua. La detección de la contaminación de aguas naturales con aguas residuales domésticas se evalúa mediante el contenido de coliformes fecales (Morillol et al., 2020).

**Tabla 2.**

*Límites de descarga a cuerpos de Agua dulce.*

Parámetros	Expresado	Unidad	Límite máximo Permisible
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Potencial de Hidrógeno	pH	-	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600

**Nota.** La tabla muestra los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua dulce, establecidos en la normativa ambiental vigente. Tomado de: (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015), Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma del libro VI del TULSMA. Elaborado por: Páramo y Toapanta, 2023.

### 7.3. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales tiene como principio básico proteger la salud y el bienestar de la sociedad. El uso directo o indirecto de las fuentes hídricas es cada día mayor, debido al crecimiento poblacional, esto hace que el retorno de aguas contaminadas a las fuentes hídricas sea en mayor cantidad, lo que conlleva a la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o recuperación que mitigue los impactos al ambiente y a la salud (Fúquene et al., 2019).

Dentro del tratamiento de las aguas residuales implica la construcción de plantas de tratamiento, estas deben estar estructuradas de manera que permitan que el proceso de depuración de agua se lleve de manera adecuada. Es importante destacar que, según el tipo de aguas residuales, ya sea industrial, doméstico o comercial, es necesario aplicar diferentes sistemas de tratamiento, como el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento anaerobio, lagunas de oxidación o estabilización, desinfección y manejo de lodos (Alfárez & Nieves, 2019).

### **7.3.1. Pretratamientos**

Se refiere al proceso de eliminación de componentes que podrían causar problemas en el funcionamiento y mantenimiento de los diversos procesos de tratamiento. Esto incluye la eliminación de contaminantes de gran y mediano tamaño, como ramas, piedras, animales muertos, arenas, grasas y aceites. Este proceso se efectúa por medio de cribas, desarenadores, desengrasadores (Noyola et al., 2013).

### **7.3.2. Tratamientos Primarios**

Estos tratamientos son considerados la primera etapa en el proceso de tratamiento de aguas residuales cuyo objetivo es eliminar todas las materias gruesas que lleva el agua residual, esto con la finalidad de evitar ciertos problemas y un deficiente funcionamiento de los procesos posteriores (Chávez, 2017).

### **7.3.3. Tratamientos Secundarios**

El tratamiento secundario es utilizado para eliminar los desechos y sustancias que no fueron removidas en tratamiento primario. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico como la aireación y la descomposición de materia orgánica por microorganismos. Estos procesos pueden incluir la utilización de reactores biológicos, como los reactores de lodos activados, estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación, que garantizan condiciones aerobias para crecimiento de los microorganismos (Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013)

### **7.3.4. Tratamientos Terciarios**

Los tratamientos terciarios son procesos de tratamiento de aguas residuales que se realizan después de los tratamientos primarios y secundarios, este tiene como objetivo eliminar la carga orgánica y los nutrientes presentes en las aguas residuales (Fúquene & Yate, 2018).



## **7.4. Proceso Anaerobio**

Este es un proceso de tratamiento de aguas residuales que ocurre en ausencia de oxígeno. Este proceso utiliza microorganismos anaerobios para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales convirtiéndolos en biogás (Fraga, 2021). La composición típica del biogás generado en procesos anaerobios suele contener principalmente metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Rodríguez et al., 2016).

El tratamiento anaerobio posee varias ventajas significativas, como la producción de bajas cantidades de lodos en comparación con las tecnologías aerobias, un menor costo de instalaciones y un menor requerimiento energético al no necesitar suministrar oxígeno. Este tratamiento se lo realiza a través de cuatro procesos: Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, metanogénesis (Crombet et al., 2016).

### **7.4.1. Hidrólisis**

El primer paso en el proceso de digestión anaerobia es la hidrólisis, la cual implica la descomposición biológica de polímeros orgánicos en moléculas más pequeñas, como monómeros y dímeros. En este proceso las enzimas hidrolasas, se encargan de solubilizar la materia orgánica, además de romper enlaces específicos con la ayuda de agua para que puedan ser utilizadas. (Corrales et al., 2015). La hidrólisis es crucial porque las moléculas orgánicas grandes no pueden ser absorbidas y utilizadas directamente por los microorganismos como fuente de alimento. Por lo tanto, ciertos microorganismos secretan enzimas extracelulares que parten las moléculas más grandes en pedazos más pequeños. Estos fragmentos más pequeños pueden ser introducidos en la célula y utilizados como fuente de energía y nutrición (Adekunle & Okolie, 2015).

### **7.4.2. Acidogénesis**

La acidogénesis es la segunda etapa de la digestión anaerobia durante este proceso, las bacterias transforman los aminoácidos, sacáridos y ácidos grasos en compuestos más simples como ácidos grasos volátiles (AGV), como acetato, butirato, propionato, o en otros ácidos orgánicos, como el lactato, o en alcoholes, es decir, etanol, butanol (Cazier et al., 2015).

### **7.4.3. Acetogénesis**

Durante la etapa de acetogénesis, los productos de la acidogénesis, como ácidos grasos volátiles (AGV) y alcoholes, se transforman en sustratos metanogénicos, como acetato, hidrógeno y dióxido de carbono (Adekunle & Okolie, 2015 como se citó en Parra, 2015)

#### 7.4.4. Metanogénesis

Es la última etapa de la digestión anaerobia, en ella los microorganismos se encargan de transformar el ácido acético en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Carlos et al., 2018).

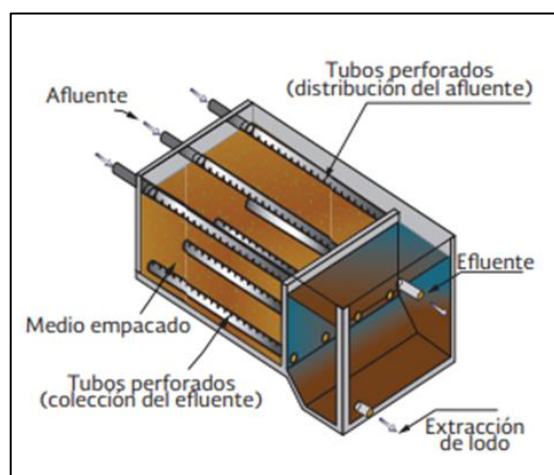
#### 7.5. Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente

El filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) puede definirse como un sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza bacterias anaeróbicas para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales en ausencia de oxígeno. El tratamiento de aguas residuales mediante los FAFA se debe a que las aguas residuales fluyen a través del filtro, donde se retienen las partículas y la materia orgánica, que luego son degradadas por la biomasa adherida al empaque del filtro. Estos filtros suelen tener forma de tanques cilíndricos o rectangulares, con diámetros que van de 2 a 8 metros y una altura de 3 a 13 metros (Carrillo et al., 2022)

El FAFA posee varias ventajas significativas entre las que destacan: sistema compacto con bajos requerimientos de terreno, Costos de construcción y de operación bajos, bajo consumo de energía, baja producción de lodos, se pueden alcanzar eficiencias de remoción de DQO y DBO de entre 65% y 75% (CONAGUA, 2019a).

#### Figura 1.

*Dibujo Esquemático de un Filtro de Flujo Ascendente.*



**Nota.** Esta figura fue tomada de ( Chernicharo, 2007, como se citó en Carrillo et al., 2022).

##### 7.5.1. Material de Empaque

Dentro de los Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente (FAFA) puede emplearse como medio filtrante diversos tipos de materiales incluyendo cuarzo, bloques de cerámica, piedra caliza,

anillos de plástico, cilindros huecos, granito, pelotas de polietileno, entre otros. Cabe resaltar que unas de las principales preocupaciones para el diseño de los FFAA es el estancamiento del medio de empaque. El propósito que tiene el medio de empaque es el de retener los sólidos dentro del reactor o debajo de este, también actúa como dispositivo para separar los sólidos de los gases, promueve un flujo uniforme en el reactor y permite la acumulación de biomasa, lo que resulta en un incremento del tiempo de retención de sólidos (CONAGUA, 2019a)

#### **7.5.1.1. Tipos de material de Empaque**

#### **7.5.2. Factores que afectan el proceso**

El desempeño adecuado de los procesos anaerobios podría ser influenciado por factores en el agua residual, tales como la presencia de compuestos tóxicos, la cantidad de materia orgánica, la temperatura, el pH, los nutrientes, entre otros

##### **7.5.2.1. Temperatura**

En las instalaciones de tratamiento, la fase anaerobia se desarrolla en un rango de temperaturas que va desde los 25 hasta los 40 °C, siendo la temperatura óptima alrededor de los 35 grados centígrados. Los cambios de temperaturas afectan la estabilidad del metabolismo y el índice de las especies microbiológicas, además de incidir en los diferentes parámetros físicos químicos (CONAGUA, 2019a).

##### **7.5.2.2. Potencial de Hidrógeno**

Según (Rittmann, 2011 como se citó en CONAGUA, 2019a) dentro de los procesos anaerobios, el pH deseado generalmente varía entre 6.6 y 7.6. Los valores fuera de este intervalo pueden afectar negativamente el proceso, es por eso que mantener el pH por encima de 6.6 puede ser un desafío, ya que los ácidos producidos durante el arranque, la sobrecarga u otros desequilibrios pueden causar una rápida caída del pH.

##### **7.5.2.3. Nutrientes**

En la fase anaerobia, los microorganismos muestran bajos requerimientos de nitrógeno y fósforo para su crecimiento, ya que la producción de lodos es reducida (CONAGUA, 2019a)

##### **7.5.2.4. Alcalinidad total**

La alcalinidad se emplea como indicador de la capacidad de amortiguación en un proceso, y en los procesos anaerobios, el pH se ve influenciado principalmente por los ácidos carbónicos y los ácidos volátiles. Es crucial destacar que la alcalinidad debe mantenerse en niveles

adecuados, generalmente entre 2000 y 5000 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, para contrarrestar el impacto de la producción de acidez en el reactor, causada por la concentración de ácidos grasos volátiles (CONAGUA, 2019a)

#### **7.5.2.5. Sólidos Totales y Volátiles**

Según (Dias et al., 2017) los filtros anaerobios son particularmente apropiados para el tratamiento de aguas residuales que contienen niveles significativos de materia orgánica soluble. Esto se debe a que la obstrucción del medio de soporte tiende a aumentar con la concentración de sólidos suspendidos en el flujo de entrada, haciendo que estos filtros sean considerados unidades especializadas en mejorar la calidad de los efluentes procedentes de otro sistema.

Es importante destacar que la presencia de un alto contenido de sólidos en la entrada del filtro puede generar la obstrucción del filtro como tal y aumentar la necesidad de intervenciones operativas para eliminar los sólidos acumulados en el empaque del filtro (Carrillo et al., 2022).

#### **7.5.2.6. Ácidos Grasos Volátiles**

En los procesos anaerobios destinados a la descomposición bioquímica de la materia orgánica, una diversidad de bacterias desempeña un papel crucial al hidrolizar y convertir compuestos complejos en compuestos de bajo peso molecular. Entre estos últimos, se destacan los ácidos grasos. Además, Son considerados como un indicador de inestabilidad del proceso de digestión anaerobia, lo que significa que si los AGV y los alcoholes se incrementan refleja que las condiciones de operación son inapropiadas ( Gujer & Zehnder, 1983, como se citó en Carrillo et al., 2022).

#### **7.5.2.7. Sulfuros**

El azufre también forma parte de la composición de los microorganismos productores de metano, sin embargo, la excesiva concentración de azufre especialmente en forma de sulfato o sulfuro puede inhibir la digestión anaerobia debido a que se produce una competencia entre las bacterias reductoras de sulfato y las bacterias metanogénicas, además la presencia de azufre hace que el medio sea tóxico ocasionando fallos en el proceso (Kwietniewska & Tys, 2014, como se citó en Carrillo et al., 2022)

#### **7.5.2.8. Nitrógeno Amoniacal**

En el proceso anaerobio, el nitrógeno amoniacal actúa como un nutriente esencial y un estímulo para el crecimiento bacteriano. Una concentración de amoníaco en el rango de 50 a 200

mg/Litro se encuentra dentro del intervalo óptimo que favorece el proceso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el amoníaco en concentraciones elevadas puede tener un efecto inhibitorio y resultar tóxico para el sistema (CONAGUA, 2019a)

### **7.5.2.9. Presencia de Metales**

La presencia de diferentes metales puede la producción de biogás, debido a que ciertos metales se usan como parte de la estructura de las enzimas de las bacterias no obstante, algunos metales pesados pueden tener un efecto tóxico en el digestor debido a la compleja estructura de los metales pesados ( Güngör et al., 2009, como se citó en Carrillo et al., 2022)

### **7.5.3. Criterios de Diseño**

#### **7.5.3.1. Tiempo de Residencia Hidráulica**

El tiempo de residencia hidráulica (TRH) se define como el promedio del tiempo que un líquido permanece dentro de un sistema o filtro. Este tiempo de retención Hidráulico no puede ser muy corto ni muy largo. Si es demasiado corto, los microorganismos dentro del tanque séptico no tendrán suficiente tiempo para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica. Por otro lado, si el tiempo de retención es demasiado largo, puede provocar una inundación de superficie o la suspensión de las partículas que ya se encontraban sedimentadas, lo que afectaría el rendimiento del proceso de tratamiento (Chacón, 2020).

#### **7.5.3.2. Carga Orgánica Volumétrica**

La carga orgánica volumétrica se refiere a la cantidad de materia orgánica que es aplicada por unidad de volumen en un filtro o medio empacado en un sistema de tratamiento de aguas. (Chernicharo, 2007, como se citó en CONAGUA, 2019a). La carga volumétrica normalmente está entre 0,3 y 2,0 kg DQO/m<sup>3</sup> este parámetro se utiliza más en filtros biológicos y reactores anaerobios (Orozco, 2014)

#### **7.5.3.3. Carga Hidráulica Superficial**

En sus siglas CHS es conocido como un parámetro crítico en el diseño y funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, a través del este parámetro se asegura una eficiente separación de sólidos y una depuración efectiva. Por lo tanto, el CHS puede definirse como la cantidad de agua residual que es aplicada diariamente por unidad de superficie del medio filtrante (Menéndez, 2022).

#### **7.5.3.4. Altura del medio de empaque**

Para el diseño de filtros empacados con piedra la altura recomendada debería estar entre 0.8 y 3 m, cabe resaltar que el valor más usado es aproximadamente 1.5 metros. Actualmente, se dispone de una gran cantidad de materiales para utilizarlos como medio de empaque como: trozos de bambú, pedacería de madera, entre otros (Chernicharo, 2007, como se citó en CONAGUA, 2019a)

#### **7.5.3.5. Dispositivos de entrada**

En los filtros anaerobios de flujo ascendente, la eficiencia está directamente vinculada a una distribución efectiva del flujo a lo largo del lecho filtrante. Esta distribución precisa está sujeta a un cálculo adecuado de los dispositivos de entrada y salida. La utilización de tubos de distribución del flujo es una práctica común y esencial para asegurar que el flujo de agua se distribuya uniformemente a través de todo el lecho filtrante (Chernicharo, 2007, como se citó en CONAGUA, 2019a).

#### **7.5.3.6. Salida del efluente tratado**

La práctica recomendada en los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) es colocar la estructura de salida a una distancia de 30 cm del medio empacado. Esto se hace con el objetivo de asegurar un funcionamiento uniforme en todo el material empacado dentro del filtro (CONAGUA, 2019a).

### **7.6. Carbón Activado**

El carbón activado es un material poroso que se ha tratado con oxígeno para abrir pequeños poros en su estructura, lo que le confiere una gran capacidad de absorción. Es por eso que en la actualidad este material es implementado en diversos campos de las industrias como (azucarera, química, farmacéutica, etc.) Además, su uso se está incrementado hasta llegar al tratamiento de aguas residuales y agua para consumo humano (Bonilla, 2017).

El carbón activado es considerado un material de gran eficacia al momento de realizar tratamientos de aguas residuales, debido a que tiene la capacidad de adsorción de diversas sustancias contaminantes, a esto se le suma la gran facilidad y rapidez de eliminación del medio tratado (Bonilla, 2017).

#### **7.6.1. Características del carbón activado**

El carbón activado presenta diversas características que se basan en la materia prima, el proceso de carbonización y la activación química. Este material posee una amplia área superficial, alta

porosidad, un buen volumen y diámetro de poros, lo que le brinda excelentes propiedades físicas. Por lo tanto, estas propiedades le facilitan el uso del material en una amplia variedad de aplicaciones (Moreno et al., 2021).

#### **7.6.1.1. Composición química**

El carbón activado posee una composición química de un 75-80% en carbono, 5–10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno (Universidad de Sevilla, 2011)

#### **7.6.1.2. Estructura física**

El carbón activo cuenta con una estructura microcristalina, la cual lo lleva a colocar una distribución de tamaño de poros bien establecida. Los tres tipos de poros que se pueden identificar van según su radio: macroporos con ( $r > 25$  nm), mesoporos con ( $25 > r > 1$  nm) y microporos con ( $r < 1$  nm) (Universidad de Sevilla, 2011).

#### **7.6.2. Etapas del proceso de filtración**

Las cuatro etapas en el proceso de filtración se pueden diferenciar de la siguiente manera. La primera etapa, conocida como maduración, implica un lavado y acondicionamiento interno del filtro. La segunda etapa, considerada la fase de máxima eficiencia, está marcada por valores críticos de turbiedad y representa el período en el cual el filtro opera con su capacidad óptima. La tercera etapa, denominada rotura, indica el agotamiento de la capacidad de remoción del filtro, iniciando un proceso de liberación de partículas en el efluente. La cuarta etapa, post rotura, sigue a la rotura y representa la fase en la que el filtro alcanza estabilidad después del desprendimiento de material particulado (Arana, 2016).

### **8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS**

¿El diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente como tratamiento es eficiente en la reducción de la carga orgánica presente en el afluente?

### **9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **9.1. Área de estudio**

El área de estudio del presente proyecto de investigación se encuentra ubicado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, exactamente en la facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN) a 1,9 km de la E35 en el barrio Salache bajo de la Parroquia Eloy Alfaro perteneciente a la provincia de Cotopaxi.

**Figura 2.**

*Mapa de Ubicación del Proyecto de Investigación.*



**Fuente.** Google earth

## **9.2. Características del área de estudio**

### **9.2.1. Temperatura**

De acuerdo con los datos recopilados de la estación RUMIPAMBA-SALCEDO M 004, la temperatura media máxima multianual en el área es de 14,1 °C. Se destaca que no se evidencia una variación significativa entre los promedios mensuales (Laverde, 2014)

### **9.2.2. Precipitación**

En la extensión del Centro Experimental Agropecuario Salache (CEASA), se registra una precipitación media anual de 621,3 mm, con un promedio mensual de 51,8 mm. Los meses comprendidos entre noviembre y mayo son considerados los más lluviosos, mientras que los de menor precipitación son de junio a octubre (Laverde, 2014).

### **9.2.3. Humedad Relativa**

La zona posee humedad relativa multianual del 76,4 %. La humedad relativa se define como la relación porcentual entre la humedad absoluta y la cantidad de vapor que contendría el metro cúbico de aire si estuviese saturado a cualquier temperatura (Laverde, 2014).



#### **9.2.4. Viento**

Según los datos recopilados de la estación RUMIPAMBA-SALCEDO M 004 durante el periodo analizado, se observa que en el área de influencia los vientos predominantes provienen del norte al sureste, mientras que otros vientos son irregulares. La velocidad media registrada durante el periodo de 2006 a 2010 es de 4,7 km/h (Laverde, 2014).

#### **9.2.5. Hidrología**

CEASA se ubica en la microcuenca del río Salache - Isinche, que forma parte del área de drenaje natural de la subcuenca del río Cutuchi. A su vez, esta subcuenca es parte de la cuenca alta del río Pastaza. La cuenca del río Pastaza es una región hidrográfica que contribuye a la cuenca del río Amazonas, que desemboca en el Océano Atlántico. La zona está influenciada por las corrientes aéreas típicas de la región amazónica a través de la brecha del río Agoyán. Adicionalmente, el predio de CEASA esta atravesado por el canal de riego Latacunga-Salcedo Ambato.

### **9.3. Enfoque**

Para la realización de esta investigación se utilizó un enfoque mixto

#### **9.3.1. Enfoque Cualitativo**

Esta investigación se basó en la recolección de datos mediante técnicas como la observación, análisis de documentos sin mantener una relación numérica en el diseño de los Filtros de Flujo Ascendente y en la toma de muestras del afluente contaminado.

#### **9.3.2. Enfoque Cuantitativo**

Se utilizó el análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio de las características físicas químicas del afluente contaminado permitiendo validar así la efectividad de los filtros.

### **9.4. Métodos**

#### **9.4.1. Método bibliográfico**

A través del método bibliográfico se revisaron artículos, libros, ensayos los cuales permitieron obtener un vasto conocimiento acerca del tema de investigación planteado, cabe resaltar que dicha información se la obtuvo de páginas verificadas como: Scielo, Dialnet, Google académico e incluso de ciertos repositorios universitarios.

#### 9.4.2. Método de Observación directa

Esta metodología se la realizó mediante visitas in situ al área de estudio, donde se pudo constatar ciertas irregularidades en la planta de tratamiento como la falta de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

#### 9.4.3. Investigación experimental

Se realizó pruebas de laboratorio para los parámetros físico-químicos: DQO, DBO<sub>5</sub>, pH, Turbidez, Temperatura, Coliformes Fecales, Nitritos y Nitratos de las muestras de agua residual tomadas de acuerdo a la normativa (NTE INEN 2169:2013).

### 9.5. Técnicas

#### 9.5.1. Levantamiento de información

Para el levantamiento de la información se realizó la recopilación de datos en campo, esto con la finalidad de tomar varias muestras para posteriormente ser llevadas al laboratorio de la Facultad CAREN.

#### 9.5.2. Aforo del caudal

El aforo de caudal se lo puede definir como aquel procedimiento técnico utilizado para medir el caudal de un determinado curso de agua, este se puede desarrollar de diferentes formas y su elección depende del objetivo del monitoreo, la facilidad de acceso o tiempo con que se cuente (Bachiller, 2018).

Una de las técnicas para realizar la medición de caudales de corrientes pequeñas como riachuelos es el método volumétrico, el cual consiste en utilizar un recipiente impermeable, colocarlo en los cauces de agua y contar el tiempo total en que se llena dicho recipiente. y de esta manera se obtiene el caudal mediante la siguiente ecuación (Alvarado, 2017).

$$Q = \frac{V}{T} \quad (1)$$

#### Donde:

Q = caudal expresado (m<sup>3</sup>/l)

V = volumen dado (m<sup>3</sup>)

T = Tiempo dado en segundo

Para la toma de datos del aforo del caudal se tomó en cuenta un punto clave donde se juntan todas las aguas residuales provenientes de las instalaciones del Campus CEASA, dicho punto

es la caja de revisión ubicada al ingreso de la facultad. Con ayuda del equipo de protección adecuado se hizo la toma de datos utilizando un recipiente impermeable de 5 L, el cual fue amarrado con una soga y maniobrado hasta ser colocado en la salida del afluente y con un cronómetro se tomó el tiempo que tarda en llenarse, cabe resaltar que este procedimiento se lo realizó durante una semana comenzando desde el día lunes 4 de diciembre hasta viernes 8 de diciembre en intervalos de una hora, dando un total de 12 datos de caudal medidos por día (Ver Anexo 1).

### **9.5.3. Toma de muestras**

La toma de muestras para analizar los parámetros físico-químicos del efluente se realizó en la caja de revisión mismo punto de donde se tomaron los datos para el aforo del caudal. Con ayuda del equipo de protección adecuado: guantes de látex, botas de caucho, mascarilla y un mandil de laboratorio, se procedió a recolectar las muestras basándose en la normativa (NTE INEN 2169:2013).

#### **9.5.3.1. Parámetros físicos-químicos**

Para el DQO la toma de muestras se lo realizó en intervalos de media hora, en un rango de 8:00 am a 15:30 pm esto durante una semana, para realizar el muestreo primero se llenó un recipiente de 5 L con el efluente, posteriormente se utilizó envases plásticos de 2,50 ml, estos envases se enjuagaron tres veces con el efluente y se procedió a llenarlos completamente y taparlos, de tal manera que no exista aire sobre las muestras (ver anexo 2).

Por otro lado, para los parámetros físico-químicos tales como: Temperatura, turbidez, Potencial de hidrógeno (pH), DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Nitritos, Nitratos y Coliformes Fecales se tomaron tres muestras del agua residual en distintos horarios de 9:00 am, 11:00 am y 13:00 pm. Esto con la finalidad de obtener una variación en los resultados.

- Para los parámetros: DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Nitritos, Nitratos y Coliformes Fecales, las muestras fueron conservadas en un cooler para posteriormente ser llevadas a laboratorio acreditado.
- Para el pH, Temperatura y Turbidez, las muestras fueron llevadas al laboratorio de la facultad CAREN para realizar su respectivo análisis.

#### **9.5.4. Etiquetado de las muestras**

Una vez tomada la muestra se realizó la rotulación con los siguientes datos: fecha que se tomó la muestra, la hora del muestreo y nombre del encargado del muestreo, tipo de análisis a realizarse, etc. Para finalmente ser colocados en el cooler en base a la NTE INEN 2169 (ver anexo 3).

#### **9.5.5. Cálculo del caudal medio**

Para el cálculo del caudal medio se dividió el volumen del recipiente impermeable para el tiempo que tarda en llenarse. Después se procedió a crear una tabla en Excel con los siguientes datos: hora, caudal  $m^3/h$ , volumen entregado y volumen acumulado (ver tabla 5). Para el cálculo del volumen entregado se suma el primer valor del caudal con el segundo y se divide para dos, esto tomado como valor inicial cero.

Por otro lado, para el cálculo del volumen acumulado se tomó como dato inicial cero y se sumó con el dato del caudal de las 7:00 am, así sucesivamente. Por último, se dividió el último valor de volumen acumulado para 24 horas, dando como resultado el caudal medio diario. Este procedimiento se lo realizó para los cinco días que se tomaron datos para el caudal.

Una vez calculado el caudal medio diario se procedió a sacar el promedio de los cinco caudales medios, dando como resultado el caudal medio que fue utilizado para los cálculos del dimensionamiento de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (ver anexo 4).

#### **9.5.6. Fase de laboratorio**

##### **9.5.6.1. Parámetros físicos**

Las muestras tomadas para el análisis de los parámetros físicos como: pH, Temperatura y Turbidez fueron llevadas al laboratorio de la facultad, donde fueron colocadas en distintos vasos de precipitación, posteriormente se utilizó el multiparámetro el cual fue sumergido en el agua residual para obtener los valores correspondientes.

##### **9.5.6.2. Parámetros químicos**

- **Demanda Química de Oxígeno**

Para el análisis de DQO se utilizó la metodología *Standard Method 5220-D*. Los equipos que se utilizaron en el laboratorio fueron el Reactor y el espectrofotómetro.

Primero se procedió añadir 2 ml de las muestras en los viales de DQO en un ángulo de 45 grados y tomándolo de la tapa se agitó suavemente, de igual manera se añadió en otro vial 2 ml de agua

destilada para hacer un blanco. Posteriormente los viales son colocados en el reactor durante 2 horas a una temperatura de 150 grados, una vez terminado este proceso se los dejo enfriar (ver anexo 5).

El espectrofotómetro se lo configuro al método de tubo en la categoría DQO 160, una vez enfriado los viales con ayuda de una toalla de cocina se limpió el vial en blanco y se lo colocó en el espectrofotómetro, luego se realizó el mismo procedimiento con los viales de las muestras y se calculó el DQO del efluente (ver anexo 6).

Las muestras para el análisis de los parámetros: DBO5, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Nitritos, Nitratos y Coliformes fecales fueron enviadas a laboratorios acreditados. A continuación, se muestran las metodologías utilizadas.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

El método utilizado es el de respirométrico

- **Sólidos Totales**

El método utilizado es el Standard Methods 9221-D, con la técnica de Gravimetría

- **Sólidos Suspendidos Totales**

El método utilizado es el Standard Methods 9221-D, con la técnica de Gravimetría

- **Nitritos**

El método utilizado es el HACH 8507, con la técnica de Espectrofotometría UV-VIS.

- **Nitratos**

El método utilizado es el HACH 8039, con la técnica de Espectrofotometría UV-VIS.

### **9.5.6.3. Parámetros Biológicos**

- **Coliformes Fecales**

El método utilizado es el Standard Methods 9221-C, con la técnica de Fermentación por tubos múltiples.

## **9.6. Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente**

### **9.6.1. Evaluación de parámetros y recomendaciones de Diseño**

Para el filtro se evaluaron ciertos parámetros de diseño, donde se tomó como referencia una forma rectangular del FAFA, además se cogió como material filtrante el carbón activado debido

a que es considerado como un material de alta porosidad, un requerimiento para evitar una posible obstrucción del filtro, además este tipo de material posee una gran eficacia en la eliminación de los contaminantes presentes en aguas residuales.

### 9.6.2. Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Para el dimensionamiento del FAFA se consideró la forma de un reactor rectangular y para ello se tomaron como referencia valores y ecuaciones establecidas en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 y del “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente”.

Con la ayuda de estos manuales se pudo acceder a ciertas ecuaciones que nos ayudaron a dimensionar el FAFA (ver tabla 3).

**Tabla 3.**

*Fórmulas para el diseño del FAFA.*

Concepto	Ecuaciones
Cálculo del área superficial del Filtro	$A = \frac{Q}{CHS}$ <p><b>Donde</b>  <i>CHS = La carga hidráulica, en m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>d)</i>  <i>Q = Caudal, en m<sup>3</sup>/d</i></p>
Volumen total del FAFA	$V_{tFAFA} = A_{FAFA} * h_{FAFA}$ <p><b>Donde</b>  <i>V<sub>tFAFA</sub> = Volumen total del FAFA en (m<sup>3</sup>)</i>  <i>A<sub>FAFA</sub> = Área del FAFA en (m<sup>2</sup>)</i>  <i>h<sub>FAFA</sub> = Altura del FAFA en (m)</i></p>

(4)

$$COV = \frac{Q * S_0}{V}$$

**Donde**

Cálculo de la Carga Orgánica Volumétrica  $COV = \text{Carga orgánica volumétrica Kg DBO/m}^3\text{d}$   
 $Q = \text{caudal m}^3/\text{d}$   
 $S_0 =$   
*concentración total de DBO en el afluente, en mg/l*  
 $V = \text{volumen ocupado por el medio empacado, en m}^3$

(5)

$$V = \frac{QS_0}{COV}$$

**Donde**

Cálculo del volumen del lecho filtrante  $V = \text{Volumen del lecho Filtrante en m}^3$   
 $S_0 = \text{DBO en el afluente, en kg de DBO/m}^3$   
 $COV = \text{Carga orgánica volumétrica, en kg de DBO/m}^3\text{d}$

(6)

$$Hm = \frac{V}{A}$$

**Donde**

Cálculo de la altura del lecho filtrante  $Hm = \text{altura del lecho filtrante en m}$   
 $v = \text{volumen del lecho filtrante en m}^3$   
 $A = \text{área del filtro m}^2$

(7)

$$H = hm + b + d$$

**Donde**

Cálculo de la altura total del Filtro  $H = \text{altura total del filtro}$   
 $hm = \text{altura del lecho filtrante}$   
 $b = \text{borde libre}$   
 $d = \text{altura de drenaje}$

(8)

$$Vt = A * H$$

**Donde**

Cálculo del volumen total del Filtro  $Vt = \text{Volumen total del filtro en m}^3$

---

$A = \text{área del filtro en } m^2$

$H = \text{altura total del filtro en } m$

---

(9)

$$E = 100 [1 - 0.87(\text{TRH}^{-0.5})]$$

Cálculo de la eficiencia de  
remoción que tiene el Filtro  
Anaerobio

**Donde** $E = \text{eficiencia de un filtro anaerobio, en por ciento}$  $\text{TRH} = \text{tiempo de residencia hidráulica, en horas.}$  $0.87 = \text{coeficiente del sistema}$  $0.50 = \text{coeficiente del medio filtrante}$ 


---

(10)

$$\text{DBO}_{ef} = S_0 - \frac{ES_0}{100}$$

Concentración de DBO  
esperada en el efluente al  
terminar el proceso

**Donde** $\text{DBO}_{ef} = \text{concentración total de DBO en el efluente, en}$  $mg/L$  $S_0 = \text{concentración total de DBO en el afluente, en } mg/L$  $E = \text{eficiencia de remoción, en } \%$ 


---

**Nota.** Tomadas del “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente” (CONAGUA, 2019a)

### 9.6.3. Cálculo del área del Filtro Anaerobio

Para el cálculo del área del Filtro Anaerobio se consideró la ecuación 2 (ver tabla 3), además para la Carga Hidráulica (CHS) se tomó el valor de  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$  esto según lo establecido en el (Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico – RAS, 2000).

### 9.6.4. Cálculo del volumen falso del Filtro

Para el volumen falso del filtro se utilizó la ecuación 3, cabe resaltar que para la altura del Filtro se tomó un valor de 2 metros, esto tomando como referencia valores predeterminados en el (Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico – RAS, 2000).

### 9.6.5. Cálculo del volumen del lecho filtrante

Para determinar el valor del volumen del lecho filtrante primero se calculó el valor de la Carga Orgánica Volumétrica (COV) con la ecuación 4 (ver tabla 3).



Una vez obtenido el valor de COV se procedió a utilizar la ecuación 5 para determinar el valor de Volumen del lecho filtrante.

Es importante destacar que los Filtros Anaerobios, especialmente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, pueden tolerar cargas orgánicas elevadas, aunque generalmente no superan los 12 kg DBO/m<sup>3</sup>d. (Rojas, 2004 como se citó en Rendón, 2021).

#### **9.6.6. Cálculo de la altura del lecho filtrante**

Para el cálculo de la altura del medio filtrante (carbón activado) se utilizó la ecuación 6. Este hace referencia a la relación entre el volumen del lecho filtrante y el área del Filtro.

#### **9.6.7. Cálculo de la altura total del Filtro**

Para este cálculo se utilizó la ecuación 7, dentro del cual se tomó como valores predeterminados: altura del bordo libre con un valor de 0,50 m y  $d$  = altura del bajo drenaje con un valor de 0,60 m.

#### **9.6.8. Cálculo del volumen total del Filtro**

Para el volumen total del Filtro se utilizó la ecuación 8, donde se multiplicó el área del FAFA para la altura total.

#### **9.6.9. Cálculo de la eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio**

Para evaluar la eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio se utilizó la ecuación 9 (ver tabla 3), dentro de este cálculo se encontraron ciertos valores predeterminados del sistema como el 0.87 el cual es un coeficiente predeterminado que tiene el sistema y 0.50 coeficiente del medio filtrante. Cabe resaltar que se tomó para TRH el valor de 6 horas esto según lo establecido es el RAS 2000.

#### **9.6.10. Cálculo de la Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera en el efluente**

La concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera al terminar el proceso de tratamiento anaerobio se calculó a través de la ecuación 10 (ver tabla 3).

### **10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **10.1. Levantamiento de información (caudal)**

Según varios autores el método volumétrico es usado para corrientes pequeñas, siendo este considerado como el método más exacto para medir el aforo del caudal (León et al., 2023).

Cabe resaltar que se utilizó la ecuación (1) para determinar el caudal, los resultados se muestran a continuación:

**Tabla 4.**

*Datos del tiempo que tarda en llenarse el recipiente.*

<b>Hora</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>	<b>(s)</b>
7:00	15,94	15,78	17,2	17,3	26,37
8:00	18,6	14,65	16,86	23,3	23,03
9:00	15,85	13,42	20,77	14,34	16,92
10:00	13,16	9,48	15,47	17,88	10,18
11:00	8,3	8,85	10,18	10,03	6,72
12:00	11,91	9,18	8,29	10,63	10,11
13:00	17,47	7,68	6,79	7,9	10,51
14:00	26,27	17,3	7,28	18,79	9,54
15:00	25,56	8,96	9,55	10,31	12,58
16:00	15,41	11,63	9,58	12,23	14,69
17:00	22,64	11,29	15,86	17,12	13,96
18:00	22,33	11,63	17,72	20,39	24,37
19:00	27,47	21,76	19,34	16,03	26,54

## **10.2. Resultados del caudal medio**

En la tabla 5 se puede observar los resultados del caudal medio diario que se obtuvieron en los cinco días que se realizó la toma de muestras mediante el método volumétrico. En el análisis de estos resultados, se destaca que el lunes 4 de diciembre exhibió el mayor flujo de caudal a las 11 de la mañana, mientras que el menor flujo se registró a las 19:00 pm. Este valor más bajo podría atribuirse a una menor presencia de estudiantes en las instalaciones académicas en ese horario, reflejando un caudal medio diario de 0,57 m<sup>3</sup>/h.

El martes 5 de diciembre mostró el mayor flujo de caudal a la 13:00 pm, posiblemente relacionado con la salida al almuerzo de los estudiantes y un mayor uso de los servicios sanitarios para lavado de manos. El menor flujo siguió registrándose a las 19:00 pm, con un caudal medio de 0,84 m<sup>3</sup>/h.

Los resultados del día miércoles 6 de diciembre demuestran que el mayor flujo de caudal estuvo entre la 13:00 y 14:00 pm. Mientras que el menor flujo de caudal estuvo a las 9:00 de la mañana.

En ese día el menor flujo de caudal no estaba en el horario de la noche, esto puede deberse a que hubo un menor uso de los servicios sanitarios en comparación con el horario de la mañana. Además, en este día se presentó un caudal medio diario de 0,82 m<sup>3</sup>/h.

Por otro lado, el jueves 7 de diciembre el mayor flujo de caudal se presentó a la 13:00 de la tarde mientras que el menor flujo se dio a las 8 de la mañana. En este día el caudal medio diario fue de 0,69 m<sup>3</sup>/h.

El viernes 8 de diciembre presentó un mayor flujo de caudal a las 11 de la mañana, mientras que los intervalos de 16:00 a 17:00 pm los valores no variaron con mucha diferencia, esto podría deberse a que el día viernes la mayoría de estudiantes regresan a sus provincias. En este día se presenta un caudal medio diario de 0,72 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 5.**

*Resultados del caudal medio diario de los 5 días que se tomaron los datos.*

<b>Lunes</b>				
	<b>Hora</b>	<b>caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>volumen entregado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>volumen acumulado (m<sup>3</sup>)</b>
0	6:00	0		
1	7:00	1,13	0,56	0,56
2	8:00	0,97	1,05	1,61
3	9:00	1,14	1,05	2,66
4	10:00	1,37	1,25	3,92
5	11:00	2,17	1,77	5,68
6	12:00	1,51	1,84	7,52
7	13:00	1,03	1,27	8,8
8	14:00	0,69	0,86	9,65
9	15:00	0,7	0,69	10,35
10	16:00	1,17	0,94	11,28
11	17:00	0,8	0,98	12,27
12	18:00	0,81	0,8	13,07
13	19:00	0,66	0,73	13,8
			<b>Qmd</b>	
			<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	0,57
<b>Martes</b>				

0	6	0		
1	7:00	1,14	0,57	0,57
2	8:00	1,23	1,18	1,76
3	9:00	1,34	1,28	3,04
4	10:00	1,9	1,62	4,66
5	11:00	2,03	1,97	6,63
6	12:00	1,96	2	8,62
7	13:00	2,34	2,15	10,78
8	14:00	1,04	1,69	12,47
9	15:00	2,01	1,52	13,99
10	16:00	1,55	1,78	15,77
11	17:00	1,59	1,57	17,34
12	18:00	1,55	1,57	18,91
13	19:00	0,83	1,19	20,1
			<b>Qmd</b>	
			<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	0,84
<b>Miércoles</b>				
0	6	0		
1	7:00	1,05	0,52	0,52
2	8:00	1,07	1,06	1,58
3	9:00	0,87	0,97	2,55
4	10:00	1,16	1,02	3,56
5	11:00	1,77	1,47	5,03
6	12:00	2,17	1,97	7
7	13:00	2,65	2,41	9,41
8	14:00	2,47	2,56	11,97
9	15:00	1,88	2,18	14,15
10	16:00	1,88	1,88	16,03
11	17:00	1,13	1,51	17,54
12	18:00	1,02	1,08	18,61
13	19:00	0,93	0,97	19,59
			<b>Qmd</b>	
			<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	0,82

**Jueves**

0	6	0		
1	7:00	1,04	0,52	0,52
2	8:00	0,77	0,91	1,43
3	9:00	1,26	1,01	2,44
4	10:00	1,01	1,13	3,57
5	11:00	1,79	1,4	4,97
6	12:00	1,69	1,74	6,72
7	13:00	2,28	1,99	8,7
8	14:00	0,96	1,62	10,32
9	15:00	1,75	1,35	11,67
10	16:00	1,47	1,61	13,28
11	17:00	1,05	1,26	14,54
12	18:00	0,88	0,97	15,51
13	19:00	1,12	1	16,51
			<b>Qmd</b>	
			<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	0,69

**Viernes**

0	6	0		
1	7:00	0,68	0,34	0,34
2	8:00	0,78	0,73	1,07
3	9:00	1,06	0,92	2
4	10:00	1,77	1,42	3,41
5	11:00	2,68	2,22	5,64
6	12:00	1,78	2,23	7,86
7	13:00	1,71	1,75	9,61
8	14:00	1,89	1,8	11,41
9	15:00	1,43	1,66	13,07
10	16:00	1,23	1,33	14,4
11	17:00	1,29	1,26	15,66
12	18:00	0,74	1,01	16,67
13	19:00	0,68	0,71	17,38

**Qmd**  
**(m<sup>3</sup>/h)**                      0,72

**Nota.** Tabla con los resultados de caudal medio diario de los cinco días que fue muestreado el caudal. Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

En la tabla 6 se muestra el caudal medio total, obtenido a través del cálculo de los promedios de los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes. Este valor será utilizado para realizar los cálculos del dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

**Tabla 6.**

*Caudal medio total.*

<b>Dia</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>
Lunes	0,57
Martes	0,84
Miércoles	0,82
Jueves	0,69
Viernes	0,72
<b>Qm (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>0,73</b>

### 10.3. Fase de laboratorio

#### 10.3.1. Resultados de la Turbidez

Los resultados obtenidos de la turbidez (ver tabla 7), muestran que el agua residual del Campus CEASA posee una turbidez considerablemente baja en comparación con aguas residuales de origen distinto.

**Tabla 7.**

*Resultados de Turbidez del Agua residual.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Unidad</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	38	
muestra 2	9:30 a 11:00	68	UNT
muestra 3	11:30 a 13:00	49	
	<b>Promedio</b>	<b>51,67</b>	

### 10.3.2. Resultados de la Temperatura

Como se observa en la tabla 8 la temperatura no presenta una variación significativa en las 3 muestras que fueron analizadas, cabe resaltar que en la normativa para descarga a cuerpo de agua dulce no se contempla este parámetro.

**Tabla 8.**

*Resultados de la Temperatura de las Aguas Residuales.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Unidad</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	21,52	
muestra 2	9:30 a 11:00	21,84	C
muestra 3	11:30 a 13:00	21,45	
<b>Promedio</b>		<b>21,60</b>	

### 10.3.3. Resultados del Potencial de Hidrógeno

El pH según lo establecido en el acuerdo ministerial 097-A para la descarga a fuentes de agua dulce debería tener un valor 6 a 9. Los resultados obtenidos muestran que las aguas residuales del Campus CEASA poseen un pH de 8,91 cumpliendo de esta manera con la normativa vigente (ver tabla 9).

**Tabla 9.**

*Resultados del pH de las Aguas Residuales.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Limite MP</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	8,81	
muestra 2	9:30 a 11:00	9,12	6-9
muestra 3	11:30 a 13:00	8,79	
<b>Promedio</b>		<b>8,91</b>	

### 10.3.4. Resultados de Sólidos Totales

En la tabla 10 se puede observar los resultados obtenidos para Sólidos Totales, los cuales dieron un valor de 2394,67 mg/l demostrando que el agua residual del Campus CEASA no cumple con los límites máximos permisibles para la descarga a cuerpos de agua dulce, pues el valor permitido según el acuerdo ministerial 097-A es de 1600 mg/l.

**Tabla 10.***Resultados de los Sólidos Totales.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>ST</b>	<b>Limite MP</b>	<b>Unidades</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	2419		
muestra 2	9:30 a 11:00	2528	1600	mg/l
muestra 3	11:30 a 13:00	2237		
<b>Promedio</b>		<b>2394,67</b>		

**10.3.5. Resultados de Sólidos Suspendidos Totales**

Los resultados de las muestras de agua residual analizadas para SST (ver tabla 11) se mantuvieron por encima de los 130 mg/l valor establecido en el acuerdo ministerial 097-A.

**Tabla 11.***Resultados de los Sólidos Suspendidos Totales.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>SST</b>	<b>Limite MP</b>	<b>Unidades</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	915		
muestra 2	9:30 a 11:00	1146	130	mg/l
muestra 3	11:30 a 13:00	1043		
<b>Promedio</b>		<b>1034,67</b>		

**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

**10.3.6. Nitritos y Nitratos**

En la tabla 12, se puede observar los resultados obtenidos de Nitritos y Nitratos presentes en el agua residual, estos resultados demuestran que la mayor cantidad de Nitritos y Nitratos se presentó en la muestra 2 en el horario de 9:30 a 11:00. Cabe resaltar que estos parámetros no se encuentran contemplados dentro la tabla 9 del acuerdo ministerial 0,97-A para límites de descarga a cuerpos de agua dulce.

**Tabla 12.***Resultados de Nitritos y Nitratos.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>Nitritos</b>	<b>Nitratos</b>	<b>Unidad</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	0,135	17,1	
muestra 2	9:30 a 11:00	0,189	26,4	mg/l
muestra 3	11:30 a 13:00	0.119	22,3	
<b>Promedio</b>		<b>0,15</b>	<b>21,93</b>	



### 10.3.7. Coliformes Fecales

Los resultados para Coliformes Fecales dieron un valor promedio de 2958,33 NMP/100ml (ver tabla 13). Este valor demuestra que las aguas residuales del Campus CEASA presentan valores elevados de Coliformes Fecales por lo no cumple con la normativa vigente para descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Tabla 13.**

*Resultados de Coliformes Fecales.*

<b>Muestras</b>	<b>Hora</b>	<b>NMP</b>	<b>Limite MP</b>	<b>Unidades</b>
muestra 1	7:00 a 9:00	2874		
muestra 2	9:30 a 11:00	3061	2000	NMP/100ml
muestra 3	11:30 a 13:00	2940		
<b>Promedio</b>		<b>2958,33</b>		

**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

### 10.3.8. Resultados Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En la tabla 14 se presentan los promedios diarios que se obtuvieron del Análisis de DQO, el cual hace referencia a la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica mediante procesos químicos (Sánchez et al., 2017). Estos resultados indican que el agua residual procedente de las instalaciones del Campus CEASA presenta niveles elevados de DQO con un valor de 615 mg/l. Haciendo referencia a que dichas aguas no cumplen con los límites máximos permisibles para la descarga a un cuerpo de agua dulce, ya que el valor máximo permitido es de 200 mg/l de DQO, según lo establecido en la tabla 9 del acuerdo ministerial 097-A. Por lo tanto, se requiere un tratamiento eficiente para reducir la carga orgánica antes de su descarga directa a fuentes hídricas.

**Tabla 14.**

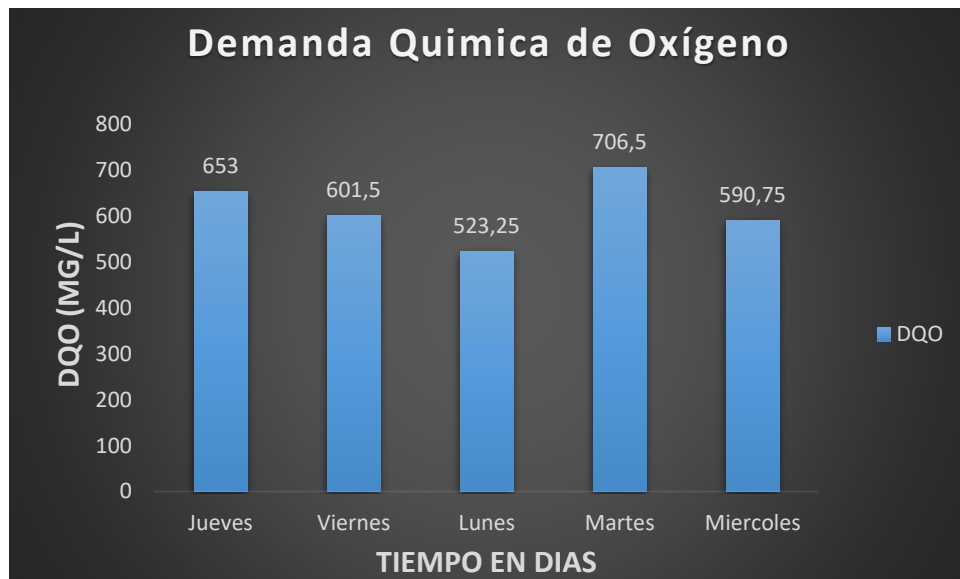
*Resultados del Promedio Diario de DQO.*

<b>Días</b>	<b>DQO</b>	<b>limite MP</b>	<b>Unidades</b>
Jueves	653		mg/l
Viernes	601,5		mg/l
Lunes	523,25	200	mg/l
Martes	706,5		mg/l
Miércoles	590,75		mg/l
<b>Promedio</b>	<b>615</b>		mg/l

En la figura 3 se puede observar cómo se encuentran distribuidos los resultados promedios diarios de DQO en días. Estos resultados demuestran que existe descensos y ascensos en los niveles de DQO, pues el mayor DQO se encuentra en el día martes con 706,5 mg/l, haciendo referencia a que en este día hubo mayor cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales. Por otro lado, el menor índice de DQO se presentó el día lunes con un valor de 523,25 mg/l muy distante de los valores anteriormente mencionados, este descenso brusco DQO puede deberse a que el día lunes 11 de diciembre no hubo cantidad considerable de alumnos dentro de las instalaciones de la Facultad CAREN por lo que hubo una reducción en la concentración de compuestos orgánicos oxidables en el agua.

**Figura 3.**

*Resultados de los promedios diarios de DQO.*



**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024

**10.3.9. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno.**

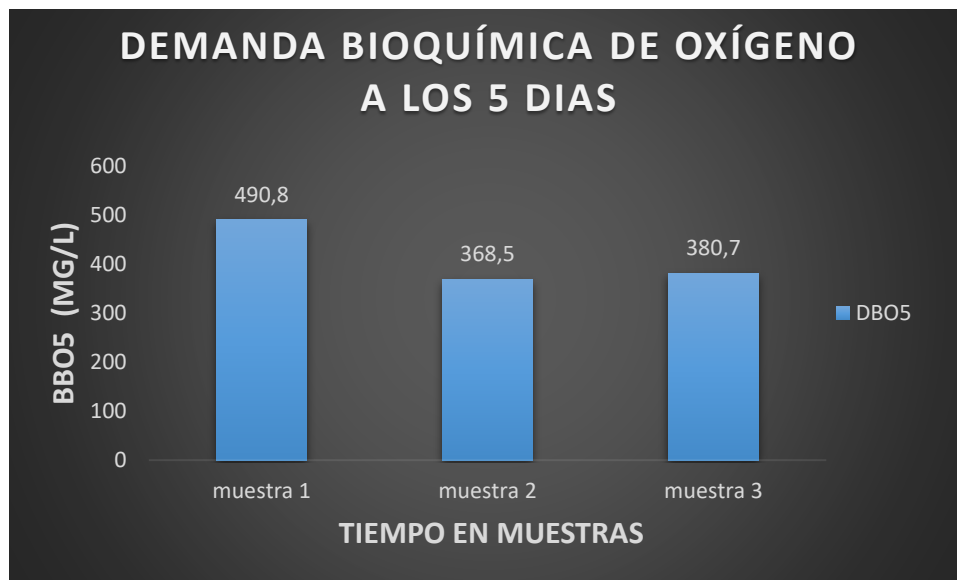
En la tabla 15 se muestran los resultados de DBO<sub>5</sub>, el cual hace referencia a la cantidad de oxígeno que es consumido por los microorganismos durante un período de 5 días para la descomposición de la materia orgánica (Pillapa et al., 2022). Estos resultados indican que las aguas residuales presentan un elevado DBO<sub>5</sub>, en comparación con los límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales a fuentes de agua dulce, establecidos en el acuerdo ministerial 097-A, el cual establece un límite máximo de 100 mg/l de DBO<sub>5</sub>. Es importante destacar que los valores elevados de DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales del CEASA pueden deberse a la presencia de una carga significativa de materia orgánica biodegradable concentrada en el agua residual.

**Tabla 15.***Resultados de DBO5.*

Muestras	Hora	DBO5	Limite MP	Unidades
muestra 1	7:00 a 9:00	490,8		mg/l
muestra 2	9:30 a 11:00	368,5	100	mg/l
muestra 3	11:30 a 13:00	380,7		mg/l
<b>Promedio</b>		<b>413,33</b>		<b>mg/l</b>

**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

En la figura 4 se muestran los resultados del DBO<sub>5</sub>. Estos valores determinan que la mayor cantidad de DBO<sub>5</sub> se encuentra en la muestra 1 perteneciente al horario de 7:00 a 9:00 am con un valor de 490,8 mg de DBO/l, esto puede deberse a que en ese horario existe un mayor flujo constante de personas que utilizan servicios sanitarios, a esto se le suma las descargas del comedor universitario y del personal administrativo por lo que existe una mayor cantidad de materia orgánica en las aguas residuales en comparación con la muestra 2 y 3 los cuales presentan valores casi similares con una diferencia de 12,2 mg de DBO/l.

**Figura 4.***Resultados del DBO5.*

**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024

#### 10.4. Dimensionamiento del Filtro de Anaerobio de Flujo Ascendente

##### 10.4.1. Área superficial del Filtro

En aplicación de la ecuación (2)

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

$$A = \frac{17,52 \text{ m}^3/\text{d}}{10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}}$$

$$A = 1,75 \text{ m}^2$$

#### 10.4.2. Volumen del Filtro

En aplicación de la ecuación (3)

$$V_{tFAFA} = A_{FAFA} * h_{FAFA}$$

$$V_{tFAFA} = 1,75 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V_{tFAFA} = 3,5 \text{ m}^3$$

#### 10.4.3. Volumen del lecho filtrante

En aplicación de la ecuación (4)

$$COV = \frac{Q * S_0}{V}$$

$$COV = \frac{17,52 \text{ m}^3/\text{d} * 0,41333 \text{ Kg}/\text{m}^3 \text{ DBO}}{3,5 \text{ m}^3}$$

$$COV = 2,07 \text{ Kg DBO}/\text{m}^3\text{d}$$

Posteriormente se calculó el volumen del lecho filtrante con la ecuación 5 de la tabla 2.

$$V = \frac{QS_0}{COV}$$

$$V = \frac{17,52 \text{ m}^3/\text{d} * 0,41333 \text{ KgDBO}/\text{m}^3}{2,07 \text{ kg DBO}/\text{m}^3\text{d}}$$

$$V = 3,5 \text{ m}^3$$

#### 10.4.4. Altura del lecho filtrante

En aplicación de la ecuación (6)

$$Hm = \frac{V}{A}$$

$$Hm = \frac{3,5 \text{ m}^3}{1,75 \text{ m}^2}$$

$$Hm = 2 \text{ m}$$

#### 10.4.5. Altura total del Filtro

En aplicación de la ecuación (7)

$$H = hm + b + d$$

$$H = 2m + 0,5m + 0,75m$$

$$H = 3,25 m$$

#### 10.4.6. Volumen total del Filtro

En aplicación de la ecuación (8)

$$Vt = A * H$$

$$Vt = 1,75m^2 * 3,25m$$

$$Vt = 5 m^3$$

#### 10.4.7. Eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio

En aplicación de la ecuación (9)

$$E = 100 [1 - 0,87(TRH^{-0,5})]$$

$$E = 100 [1 - 0,87(6 h^{-0,5})]$$

$$E = 100 [1 - 0,87(0,4)]$$

$$E = 100 [0,65]$$

$$E = 65\%$$

#### 10.4.8. Concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera en el efluente

En aplicación de la ecuación (10)

$$DBO_{ef} = S_0 - \frac{ES_0}{100}$$

$$DBO_{ef} = 413,33 mg/l - \frac{65 * 413,33 mg/l}{100}$$

$$DBO_{ef} = 144,67 mg DBO/l$$

### 10.5. Análisis del diseño

Los resultados obtenidos para el dimensionamiento del FAFA (ver tabla 16) muestran que el Filtro tiene un volumen total de contención de  $5 \text{ m}^3$  adecuado para el flujo de caudal de las aguas residuales provenientes del Campus CEASA. Adicionalmente, el filtro cumple con ciertas características de diseño establecidas en el RAS 2000, tal es el caso de la base y ancho del filtro, donde se establece que estos deben tener valores de  $\text{base} \leq \text{largo} \leq 3$ , los resultados obtenidos a través de los cálculos proporcionan valores de 1,32 m, cumpliendo de esta manera con lo establecido. En cuanto a la altura del medio filtrante, los resultados dieron un valor de 2 m y según las recomendaciones de CONAGUA, esta debe situarse en el rango de 0,8 a 3 m, o alternativamente, puede ser del 50%, 75% o 100% de la altura total del Filtro Anaerobio, cumpliendo de esta manera con la altura requerida.

Cabe resaltar que el material filtrante utilizado será el carbón activado debido a que este tiene una gran capacidad de remoción el cual se ve influenciado su elevado grado de porosidad (Hernández et al., 2017).

**Tabla 16.**

*Resultados de los cálculos para dimensionar el FAFA.*

<b>Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)</b>	
<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Valor</b>
Caudal	17,52 m <sup>3</sup> /d
<b>Dimensión del FAFA</b>	
Área del filtro	1,75 m <sup>2</sup>
Altura total del filtro	3,25 m
Volumen total del filtro	5 m <sup>3</sup>
<b>Medio filtrante</b>	
Altura del lecho filtrante	2 m
Volumen del lecho filtrante	3,5 m <sup>3</sup>
<b>Bordes</b>	
Borde libre	0,5 m
Altura de drenaje	0,75 m
<b>Factor</b>	
Tiempo de Residencia Hidráulica	6 h

**Nota.** La presente tabla muestra los valores obtenidos en los cálculos del dimensionamiento del FAFA. Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

En la figura 3 se presenta el diseño y dimensionamiento del FAFA. En este diseño, el Filtro tiene una altura total de 3,25 m y está dividido en tres secciones: el borde libre (b), el medio filtrante (md) y la altura de drenaje (d).

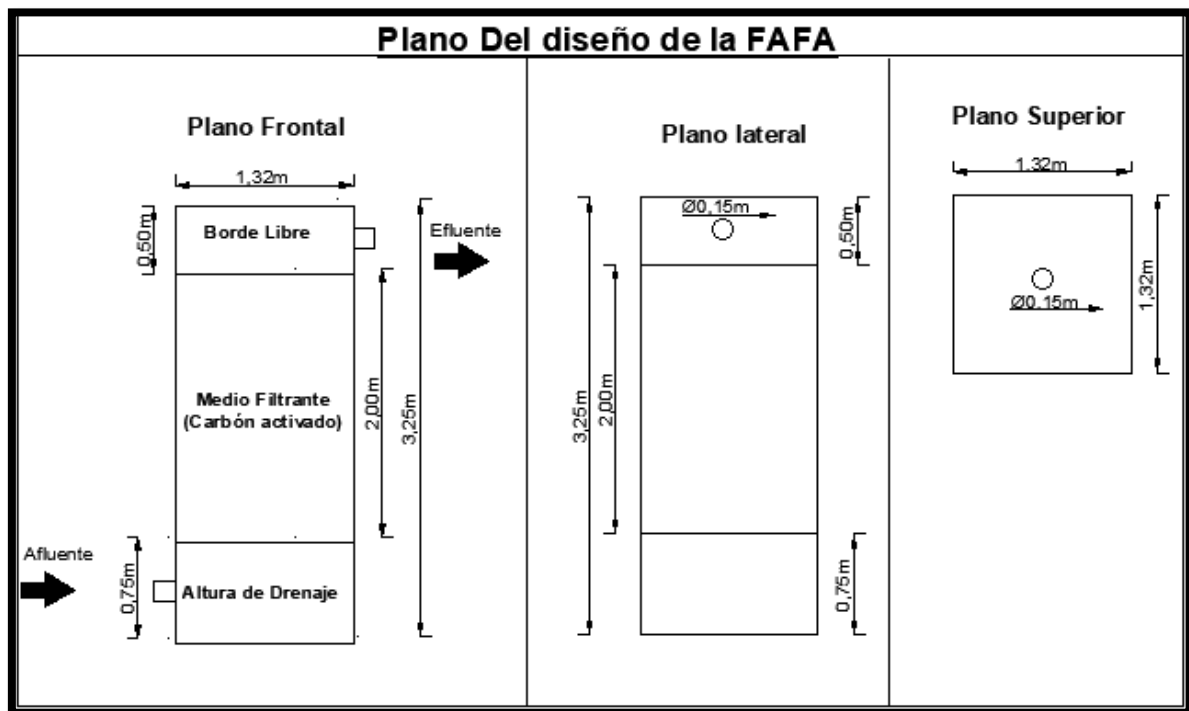
Los valores para el borde libre según lo establecido en CONAGUA deberían situarse entre 0 y 0,5 m tomando este último como el valor utilizado para el dimensionamiento del FAFA. La altura del medio filtrante tiene un valor de 2 m, cumpliendo con las pautas establecidas en RAS 2000. Por otro lado, para altura de drenaje los valores predeterminados están de 0 a 1 m, por lo que para el diseño se tomó el valor de 0,75 m, permitiendo que el efluente entre al sistema de manera uniforme.

Para la entrada y salida del afluente se utiliza tubos PVC con un diámetro de 6 pulgadas. La tubería de entrada debe estar perforada para asegurar que el flujo de agua se distribuya uniformemente a través de todo el lecho filtrante.

La recolección de lodos se lo realiza mediante una bomba de succión, por lo que se añade una tubería para su recolección la cual deberá tener un diámetro de 4 a 8 pulgadas.

**Figura 5.**

*Plano del Diseño del Filtro Anaerobio.*



**Nota.** El presente gráfico muestra un plano de diseño base para el dimensionamiento de la FAFA. Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

En la tabla 17 se puede observar consideraciones de materiales para el diseño del FAFA, para la entrada y salida del afluente lo más común es utilizar tubos PVC. Para el filtro como tal se utiliza concreto para su revestimiento y como material filtrante por lo general se utiliza bloques de cerámica, anillos de plástico, cilindros huecos, granito, pelotas de polietileno, etc.

**Tabla 17.**

*Consideraciones de Diseño.*

<b>Diseño</b>	<b>Material</b>	<b>Valor</b>
Entrada y salida del afluente	Tubos PVC	6 in
Recolección de lodos	Tubos PVC	4 a 8 in
Revestimiento del filtro	Concreto	-
Material filtrante	Carbón activado, bloques de cerámica, piedra, etc.	-

**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

### **10.6. Evaluación de la eficiencia del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente**

En la Tabla 18 se muestra los resultados de la eficiencia de remoción que tiene el FAFA. Estos resultados indican que el Filtro de carbón activado logra una eficiencia del 65%, lo que indica que actúa como un tratamiento efectivo al ser capaz de eliminar una cantidad significativa de materia orgánica presente en las aguas residuales. Es importante señalar que el porcentaje de eficiencia se ve directamente influenciado por el Tiempo de Retención hidráulica, pues varios autores mencionan que a mayor retención hidráulica mayor remoción de materia orgánica.

Los autores (Moncayo & Grijalba, 2017), en su proyecto de investigación diseñaron un FAFA destinado para el tratamiento de aguas residuales de origen pecuario, las cuales requieren tratamientos altamente eficientes, debido a que estos efluentes presentan altas cargas contaminantes. Los resultados obtenidos por dichos autores en la eficiencia de remoción que tiene el filtro sobrepasan el 65%, esto utilizando un TRH de 4 a 10 horas. Demostrando de esta manera que los FAFA son un tratamiento adecuado para reducir la carga contaminante de las aguas residuales.

De igual manera (Achuri & Bustos, 2021) en su proyecto de investigación utilizaron un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con carbón activado y obtuvieron resultados de eficiencia de remoción de DBO en un 60%, por lo que se demuestra que el carbón activado como material filtrante es óptimo para este tipo de tratamiento debido a que este es altamente poroso con una gran área superficial que puede absorber materia orgánica.



**Tabla 18.**

*Resultados de eficiencia y concentración esperada del Filtro.*

Parámetro	Valor
Eficiencia de remoción que tiene el Filtro Anaerobio	65%
Concentración de DBO que se espera en el efluente	144,67 mg DBO/l

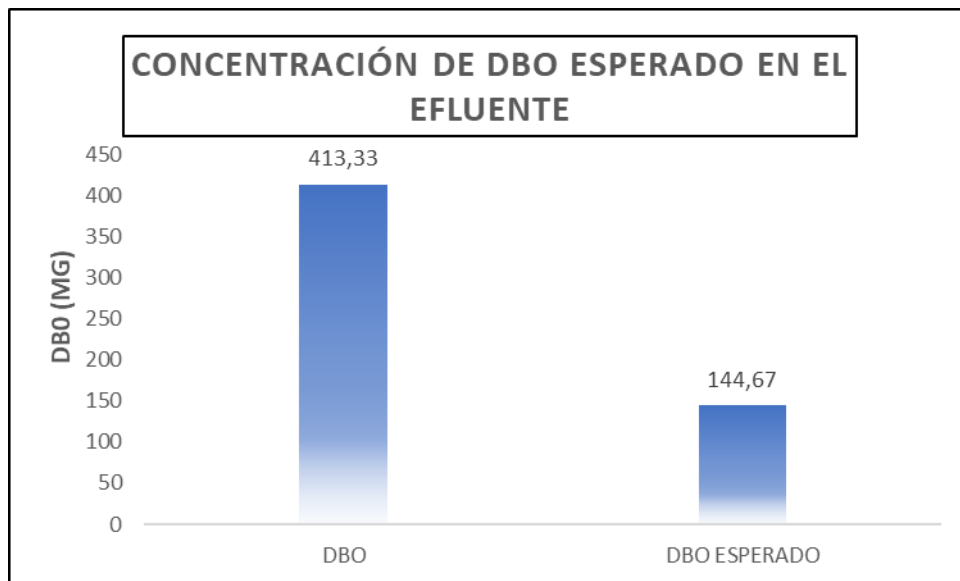
**Nota.** Se muestra el porcentaje de eficiencia de remoción que tiene el FAFA. Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

### 10.7. Análisis de la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que se espera en el efluente

En los resultados de la concentración de DBO esperada en el efluente (ver figura 6), se obtuvo un valor de 144,67 mg/l. Este resultado evidencia que el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) cumple con su objetivo de reducir la concentración de carga orgánica presente en las aguas residuales del Campus CEASA. Inicialmente, el DBO que ingresa al sistema se sitúa en un rango de 413,33 mg DBO/l, y la cantidad de remoción que logra el Filtro está relacionado con el 65% de eficiencia que tiene el FAFA.

**Figura 6.**

*Concentración de DBO esperado al terminar el proceso de tratamiento.*



**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

### **10.8. Importancia de implementar este tipo de filtros a la planta de tratamiento del Campus CEASA**

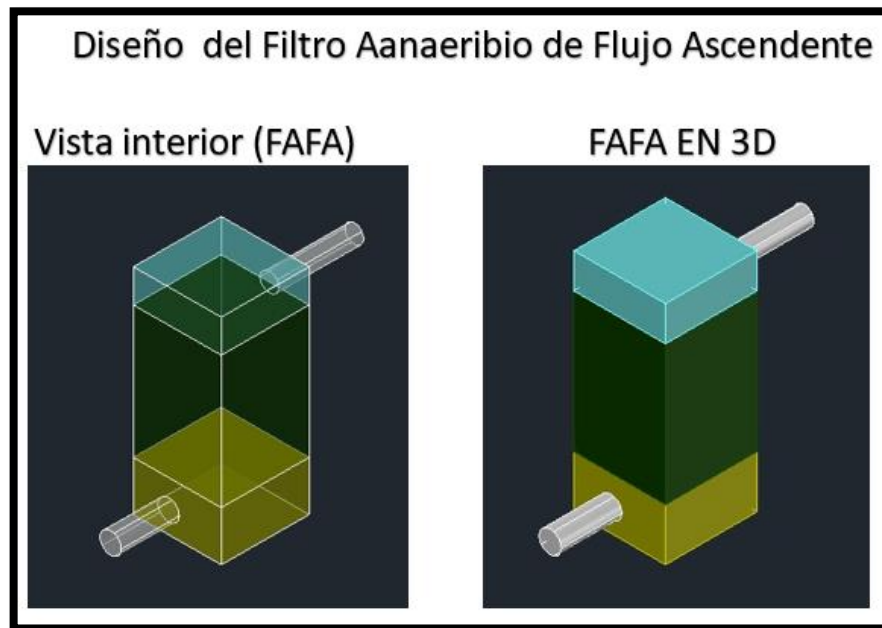
La implementación de este tipo de Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente dentro de la planta de tratamiento del Campus CEASA es importante debido a que estos son particularmente útiles en plantas con sistemas de tratamiento semi centralizados, donde se combinan con otras tecnologías. Esto se debe a que los FAFA tienen varias ventajas que los hacen complementarios a otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Una de las ventajas es la elevada eficiencia de remoción que tiene el filtro reduciendo significativamente la cantidad de carga orgánica que puede ser derivada a otras etapas de tratamiento ayudando de esta manera a mejorar la eficacia y la vida útil de otros procesos de tratamiento. Por otro lado, se genera la producción de biogás como resultado del proceso de descomposición anaeróbica, dicho biogás puede ser aprovechado como fuente de energía para la planta de tratamiento, lo que puede reducir sus costos operativos volviéndola más sostenible desde el punto de vista ambiental. Además, los FAFA pueden ser combinados con otros procesos de tratamiento, como la sedimentación secundaria o la filtración, para mejorar aún más la remoción de Sólidos Suspendidos Totales.

Los autores (Carrera & Florian, 2013) a través de su proyecto de investigación hacen referencia a las ventajas que tiene la implementación de este tipo de Filtros dentro de un sistema de tratamiento. Ellos describen que las aguas grises provenientes de la vivienda pasan inicialmente por una trampa de grasas que cumple la función de remover aceites y detergentes, luego ingresan a un sedimentador y se mezclan con el efluente de la trampa de grasas, el cual tiene como objetivo principal la remoción de los sólidos suspendidos (SS). Finalmente, el efluente del sedimentador pasa a un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) el cual tiene en la superficie una capa de lentejas de agua, aumentando de esta manera la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y adicionalmente removiendo Nitrógeno, fósforo y coliformes fecales.

**Figura 7.**

*Diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente en 3D.*



**Nota.** El presente gráfico muestra el diseño del FAFA en 3D. Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

## 11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

### 11.1. Impacto social

La implementación de este proyecto podría generar beneficios directos a la población, pues este tratamiento reduciría la concentración de materia orgánica presente en las aguas residuales, haciendo que el agua que es descargada a fuentes hídricas directamente no genere un impacto ambiental, además de ser óptimas para su utilización en la agricultura y recreación por parte de la comunidad. Dentro del ámbito académico la implementación de este proyecto podría fomentar la participación estudiantil a través de la utilización de toda la información que aborda este proyecto por parte de los estudiantes para futuras investigaciones. Por otro lado, la comunidad del Campus CEASA, al involucrarse en el proceso y comprender los beneficios de importancia que genera el tratamiento de aguas residuales puede generar una mayor participación en iniciativas de conservación de fuentes hídricas.

### 11.2. Impacto económico

Existen varios impactos económicos que generaría la implementación de este proyecto, uno de ellos son los costos para su diseño y construcción. Sin embargo, a largo plazo, este tipo de tratamiento podría generar ahorros en costos de operación y mantenimiento en comparación

con otros métodos de tratamiento de aguas residuales. Además, este tipo de tratamientos podría generar beneficios económicos indirectos, como la reducción de costos asociados con la eliminación de lodos y la generación de biogás, que podría ser utilizado como fuente de energía.

### 11.3. Impacto ambiental

El diseño de filtros de flujo ascendente tiene un impacto ambiental significativo al minimizar la huella de contaminación orgánica en las aguas residuales. Al eliminar eficientemente los compuestos orgánicos antes de que ingresen a la planta anaerobia, se reduce la carga de contaminantes que podrían afectar adversamente a los cuerpos de agua receptores. Esto contribuye a la preservación de la calidad del agua y la salud de las fuentes hídricas locales.

### 12. Validación de la Pregunta Científica

¿El diseño del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente como tratamiento es eficiente en la reducción de la carga orgánica presente en el afluente?

A través de los resultados obtenidos en la eficiencia de remoción que tiene el filtro de carbón activado con un 49% se pudo comprobar que este es un tratamiento adecuado para reducir la carga orgánica presente en las aguas residuales del Campus CEASA.

### 13. Presupuesto del Proyecto de Investigación

En la tabla 19, se detallan los costos que involucra el estudio, como gastos en recursos humanos, tecnológicos y materiales de escritorio; además, se ha tomado en cuenta un valor en caso de presentarse imprevistos, este valor es el 10% del total de los gastos antes mencionados.

**Tabla 19.**

*Presupuesto para la elaboración del Proyecto.*

Recursos	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
<b>Humano</b>	Personas	-	2	-	-
	Internet	Mes	6	18	108
<b>Tecnológico</b>	Instalación de Software	unidad	1	40	40
	Vasos recolectores	unidad	22	0,22	4,84
	Jarra	unidad	1	1,42	1,42

<b>Materiales para recolección</b>	Botellas plásticas	unidad	3	4,5	13,5
	Cooler	unidad	2	4,42	8,84
	Gorros quirúrgicos	unidad	6	0,5	3
	Gel refrigerante	unidad	5	2,77	13,85
<b>Materiales de escritorio</b>	Libreta	unidad	1	1	1
	Cinta adhesiva	unidad	1	2	2
	Marcadores	unidad	2	1	2
<b>Análisis de muestras</b>	Reactivos para 25 tests de DQO 0-150 mg	unidad	1	75,26	75,26
	DBO5	unidad	3	25	75
	Turbiedad	unidad	3	8,36	25,08
	Sólidos suspendidos totales	unidad	3	13,04	39,12
	Coliformes Fecales	unidad	3	17,11	51,33
	Nitritos	unidad	3	8,65	25,95
	Nitratos	unidad	3	8,68	26,04
	<b>Otros</b>	Transporte	mes	6	15
Alimentación		mes	6	15	90
<b>Sub total</b>					\$696,23
<b>10% de imprevistos</b>					69,623
<b>total</b>					\$765,85

**Nota.** Elaborado por Páramo y Toapanta, 2024.

#### 14. CONCLUSIONES

Para el dimensionamiento del filtro se utilizó el parámetro de DBO<sub>5</sub> esto según la metodología proporcionada por CONAGUA. Además, los resultados obtenidos en el análisis de los parámetros físicos-químicos y biológicos demuestran que las aguas residuales del Campus

CEASA no cumplen con límites máximos permisibles para la descarga a cuerpos de agua dulce. Pues los valores de DBO<sub>5</sub> son de 413,33 mg/l, para DQO 615 mg/l, para ST 2394,67 mg/l, para Coliformes Fecales 2958,33 UNF/ 100 ml valores que están por encima de los requeridos, por lo que es necesario generar un tratamiento adecuado antes de su descarga.

Los resultados obtenidos en el dimensionamiento demuestran que el filtro cumple con ciertos criterios de diseño, tal es el caso de la base y ancho del filtro, donde se establece que estos deben tener valores de base  $\leq$  largo  $\leq$  3, los resultados obtenidos a través de los cálculos proporcionan valores de 1,32 m, cumpliendo de esta manera con lo establecido, de igual manera para la altura del medio filtrante (carbón activado) los resultados dieron una altura de 2 m y los valores recomendados están entre 0.8 y 3 m por lo que el filtro tiene una altura adecuada del medio filtrante.

La eficiencia de remoción del FAFA es del 65%, lo que indica que este sistema de tratamiento tiene una notable capacidad para reducir la carga orgánica presente en las aguas residuales. Estos resultados no solo respaldan la elección de esta tecnología para abordar la carga de contaminantes orgánicos en el Campus CEASA, sino que también establecen un precedente positivo para la posible implementación futura de estos sistemas en aplicaciones más amplias de tratamiento de aguas residuales.

## **15. RECOMENDACIONES**

Es recomendable para futuras investigaciones se realice el análisis de la eficiencia que tiene este tipo de filtro en la remoción de otro parámetro físico-químico.

Se recomienda también utilizar otro tipo de material filtrante con el objetivo de evaluar cuál material filtrante es el más eficiente en la remoción de la carga orgánica presente en las aguas residuales.

Se recomienda ajustar los valores de la retención hidráulica, esto con la finalidad de mejorar la eficiencia de remoción, pues la eficiencia que tiene el Filtro Anaerobio está dada en relación con el tiempo de retención hidráulica, ya que a mayor TRH se produce una mayor remoción de carga orgánica.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

- Achuri, S., & Bustos, S. (2021). *PROPUESTA DE UN DISEÑO DE UN SISTEMA INDIVIDUAL DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA PARA UNA UNIDAD HABITACIONAL DE LA ZONA RURAL EN COLOMBIA* [FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA].  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8438/4/6161876-2021-1-IQ.pdf>
- Adekunle, F., & Okolie, J. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 6.  
<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=55061>
- Alfárez, L., & Nieves, N. (2019). PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR): IMPACTO AMBIENTAL ESPERADO E IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.  
<file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-PlantasDeTratamientoDeAguasResidualesPTAR-9104802.pdf>
- Alvarado, E. (2017). Manual de medición de caudales. *Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- Arana, J. (2016). *EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR EN LA FILTRACIÓN DEL AGUA CLARIFICADA DEL RÍO CAUCA* [UNIVERSIDAD DEL VALLE].  
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/54999dbf-f714-4979-b039-004d458632b7/content>
- Argandoña, L., & Macías, R. (2013). “*DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES, SUSPENDIDOS, SEDIMENTADOS Y VOLÁTILES, EN EL EFLUENTE DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN SITUADAS EN LA PARROQUIA COLÓN, CANTÓN PORTOVIEJO, PROVINCIA DE MANABÍ, DURANTE EL PERÍODO DE MARZO A SEPTIEMBRE 2013*” [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ].  
<http://repositorio.utm.edu.ec:3000/server/api/core/bitstreams/90e55861-834e-49a7-9ae5-0e3a0304a5af/content>
- Bachiller, L. (2018). *CAUDALES, AFOROS Y CÁLCULOS DE LAS PERSISTENCIAS* [UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI].  
[https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/581/José\\_trabajo-suficiencia\\_titulo\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/581/José_trabajo-suficiencia_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Balarezo, J. (2021). “*SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICOS DEL AGUA Y CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AIREADORES DE LA EP-EMAPAR.*” [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32716/1/t1805ec.pdf>
- Bonilla, L. (2017). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TEXTILERA UTILIZANDO CARBÓN ACTIVADO. *Grupo CompÁS*.  
[http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/79/1/LIBRO\\_agua\\_residual\\_corregido.pdf](http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/79/1/LIBRO_agua_residual_corregido.pdf)
- Cárdenas, G., & Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *REVISTA UNIVERSIDAD Y SALUD*, 15.  
<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2017/07/692066/v15n1a07.pdf>
- Carlos, M., Bryan, R., & García, S. (2018). DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DEL CAFÉ INSTANTÁNEO. *ESPAMCIENCIA*, 9.  
 file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-DigestionAnaerobiaDeLasAguasResidualesDeLaIndustri-7020070 (2).pdf
- Carrera, S., & Florian, A. (2013). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS TIPO FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA) CON LENTEJA DE AGUA* [UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA].  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38330734/TRABAJO\\_DE\\_GRADO\\_FAFA\\_con\\_LENTEJA\\_DE\\_AGUA\\_-2013-libre.pdf?1438224616=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO\\_DE\\_UNA\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_A.pdf&Expires=1706855519&Signature=CdCyXUC4N6~huM](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38330734/TRABAJO_DE_GRADO_FAFA_con_LENTEJA_DE_AGUA_-2013-libre.pdf?1438224616=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDISENO_DE_UNA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_A.pdf&Expires=1706855519&Signature=CdCyXUC4N6~huM)
- Carrillo, B., Vera, J., & Loor, J. (2022). DISEÑO DE UN FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. *INGENIAR*, 5.  
 file:///C:/Users/User/Downloads/101-Texto del artículo-396-1-10-20221208 (6).pdf
- Castañeda, A., & Flores, H. (2013). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Paakat*, 5.  
 file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesDomesticasMediantePlan-5815442.pdf
- Castro, Y., Zúñiga, L., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31.  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=s0379-39822018000100035&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=s0379-39822018000100035&script=sci_arttext)



- Cazier, E., Trably, E., Steyer, J., & Escudie, R. (2015). Biomass hydrolysis inhibition at high hydrogen partial pressure in solid-state anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 190. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415005623?via%3Dihub>
- Chacón, E. (2020). *COMPARACIÓN DE EFICIENCIAS EN FILTROS TIPO FAFA EN TANQUE SÉPTICO MEJORADO UTILIZANDO MATERIAL DE RÍO CONTRA MATERIAL DE TAJO DISPONIBLE EN EL MERCADO NACIONAL [UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA]*. [https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/225/1/TFG\\_Ulatina\\_Esteban\\_Eduardo\\_Chacón\\_Gomez.pdf](https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/225/1/TFG_Ulatina_Esteban_Eduardo_Chacón_Gomez.pdf)
- Changoluisag, M., & Naranjo, T. (2023). “*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA EL CAMPUS SALACHE*” [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11452/1/PC-003097.pdf>
- Chávez, I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *DOMINGO DE LAS CIENCIAS*, 3. [file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-DisenioImplementacionDeUnSistemaDeTratamientoDeAgu-6134928 \(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-DisenioImplementacionDeUnSistemaDeTratamientoDeAgu-6134928%20(2).pdf)
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco. (2013). Operación y Mantenimiento de Platas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. *Comisión Estatal Del Agua de Jalisco*. [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/03/OperacionMantenimientoPTAR\\_LodosActivados\\_CEAJalisco\\_T1.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/03/OperacionMantenimientoPTAR_LodosActivados_CEAJalisco_T1.pdf)
- CONAGUA. (2019a). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro29.pdf>
- CONAGUA. (2019b). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. In *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- Córdova, P., Barrios, T., Córdova, I., & Navarrete, R. (2021). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. *Alfa Revista de Investigación En Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2664-09022021000200237](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-09022021000200237)
- Corrales, L., Antolinez, D., Bohórquez, J., & Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias:

- procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *NOVA*, 13. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>
- Crombet, S., Abalos, A., Rodríguez, S., & Pérez, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 8. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77645907005.pdf>
- Dias, I., Ribeiro, A., Guedes, A., Alves, L., & Mendes, M. (2017). PÓS-TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE REATOR UASB EM ESCALA REAL. *IV Congreso Nacional Educacao CONEDU*. [file:///C:/Users/User/Downloads/TRABALHO\\_EV073\\_MD4\\_SA14\\_ID6459\\_08092017231826.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/TRABALHO_EV073_MD4_SA14_ID6459_08092017231826.pdf)
- Escandón, C., & Cáceres, M. (2022). “ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS, PRESENTES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO SAN FRANCISCOGUALACEO” [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21649/1/UPS-CT009509.pdf>
- Fraga, I. (2021). *EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA CIUDAD DE CUENCA EMPLEANDO EL REACTOR UASB CONSTRUIDO A ESCALA DE LABORATORIO* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/server/api/core/bitstreams/bf881b8d-d3d5-4dfa-913c-668ffe0b72f6/content>
- Fúquene, D., & Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos De Trabajo ECAPMA*, 2. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771>
- Fúquene, D., Yate, A., Pérez, D., Duque, C., Chiriví, J., Valderrama, C., & Forero, V. (2019). Tratamiento de aguas residuales. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD • Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Del Medio Ambiente*. [https://www.researchgate.net/publication/336180063\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.researchgate.net/publication/336180063_Tratamiento_de_aguas_residuales)
- Gaibor, J. (2014). CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN LA PLANTA DE LÁCTEOS EL SALINERITO – PARROQUIA SALINAS – CANTÓN GUARANDA PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO. *Revista de Investigación TALENTOS*, 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551331>
- Hernández, M., Otero, A., Falcón, J., & Yperman, Y. (2017). Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO<sub>3</sub>. *Revista Cubana de Química*,

29. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443550986003.pdf>
- HERRERA, V., & QUISAGUANO, A. (2020). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, EN LA POBLACIÓN DE MULALÓ PARA SU DIMENSIONAMIENTO* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19173/1/UPS - TTS113.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.* <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE INEN 2169 - AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.pdf>
- Laverde, P. (2014). *Determinación de la huella de carbono organizacional en el Ceasa para elaborar una propuesta de manejo en el período 2013 - 2014* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI]. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2733>
- León, J., Godoy, S., & Miguez, R. (2023). Evaluación de la calidad de las aguas residuales hospitalarias y diseño de una planta de tratamiento para un Hospital General. *Imaginario Social*, 6. [file:///C:/Users/User/Downloads/Evaluacion\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_las\\_aguas\\_residuales\\_h.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Evaluacion_de_la_calidad_de_las_aguas_residuales_h.pdf)
- LOZANO, M. (2019). “*DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO GUANGANZA CHICO DE LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO*” [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/10594/1/236T0425.pdf>
- MAATE. (2015). *Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21287/1/UPS - TTS535.pdf>
- Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., & Zafra, C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19. <file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaTurbiedadComoParametroIndicadorDelTr-7152687.pdf>
- MÉNDEZ, M. (2019). *PROPUESTA DE MEJORA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ARBELAEZ A PARTIR DEL SISTEMA DE DEER ISLAND WASTEWATER TREATMENT PLANT* [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA].

- <https://core.ac.uk/download/pdf/223029751.pdf>
- Menéndez, C. (2022). La sedimentación secundaria en los tratamientos biológicos de aguas residuales. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 43. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v43n3/1680-0338-riha-43-03-24.pdf>
- Moncayo, M., & Grijalba, D. (2017). *EFICIENCIA DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN AGUAS RESIDUALES DE LA GRANJA EXPERIMENTAL BOTANA [UNIVERSIDAD DE NARIÑO]*. [https://sired.udenar.edu.co/5448/1/EFICIENCIA DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN AGU.pdf](https://sired.udenar.edu.co/5448/1/EFICIENCIA_DE_FILTROS_ANAEROBIOS_DE_FLUJO_ASCENDENTE_EN_AGU.pdf)
- Montero, F., Molina, C., Sarduy, L., Diéguez, K., & Pillco, B. (2020). EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. CASO RÍO PINDO CHICO, PUYO, PASTAZA, ECUADOR. El crecimiento de la población, la industrialización, las prácticas agrícolas y la urbanización aument. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3. <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cienacli/article/view/1803/2332>
- Moreno, A., Ríos, J., & Flores, S. (2021). Carbón activado: generalidades y aplicaciones. *CienciaAcierta*.
- Morillol, L., Naranjo, D., Pérez, J., Villacis, W., Vargas, P., & Muñoz, F. (2020). REMOCIÓN DE TENSOACTIVOS Y COLIFORMES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE PROCESOS FENTON. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000400931&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000400931&script=sci_arttext)
- Noyola, A., Morgan, J., & Güereca, L. (2013). *SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES GUÍA DE APOYO PARA CUIDADES PEQUEÑAS Y MEDIANAS*. [https://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia\\_Aguas\\_Residuales.pdf](https://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf)
- Orozco, Á. (2014). *BIOINGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES TEORÍA Y DISEÑO* (2 ed). ACODAL. [file:///C:/Users/User/Downloads/toaz.info-alvaro-orozco-jaramillo-bioningenieria-de-aguas-residuales-acodal-2014pdf-pr\\_39c410c74a749736974f209f3246f6b0.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/toaz.info-alvaro-orozco-jaramillo-bioningenieria-de-aguas-residuales-acodal-2014pdf-pr_39c410c74a749736974f209f3246f6b0.pdf)
- Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., Loor, X., & Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo Del Conocimiento*, 6. [file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-LaCalidadDeLasAguasResidualesDomesticas-7926905\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-LaCalidadDeLasAguasResidualesDomesticas-7926905(1).pdf)
- Parra, R. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas

- residuales y su aplicación en la industria alimentaria\*. *Producción + Limpia*, 10. file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-DigestionAnaerobica-5746937.pdf
- Pillapa, Y., Córdova, M., & Cabrera, D. (2022). Estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas residuales de las empresas de jeans de la ciudad de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales. *ConcienciaDigital*, 5. file:///C:/Users/User/Downloads/2320-Texto del artículo-10128-1-10-20220920.pdf
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*. file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-  
CaracterizacionDeLasAguasResidualesYLaDemandaBioqu-8635432.pdf
- Reglamento Técnico de Agua y Saneamiento Básico – RAS. (2000). *Título E - TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*.
- Rendón, A. (2021). *EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES* [Universidad de Antioquia]. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/21524/4/RendonJonathan\\_2021\\_EvaluacionFiltrosAnaerobios.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/21524/4/RendonJonathan_2021_EvaluacionFiltrosAnaerobios.pdf)
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2016). tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. *Dirección General de Universidades e Investigación*. [https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2\\_Tratamientos\\_avanzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](https://www.madrimasd.org/sites/default/files/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
- ROSERO, E. (2018). *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE COMO MEDIOS DE SOPORTE BIOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES* [UNIVERSIDAD DE MANIZALES]. file:///C:/Users/User/Downloads/Rosero\_Carvajal\_James\_2018.pdf
- Sánchez, J., Ribes, J., Ferrer, J., & García, F. (2017). Obtención de los principales parámetros del agua residual urbana empleados en los modelos matemáticos de fangos activados a partir de una caracterización analítica simple. *Ingeniería y Región*, 17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6662298>
- Universidad de Sevilla. (2011). *MANUAL DEL CARBÓN ACTIVO*. Aguapedia. <http://www.elaguapotable.com/Manual del carbón activo.pdf>