



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA
EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS
CEASA”**

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

Autores:

Calo Chicaiza Leonidas Andrés
Fuentes Quilligana Domenica Stefania

Tutor:

Ágreda Oña José Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Calo Chicaiza Leonidas Andrés, con cédula de ciudadanía No. 1725972325 y Fuentes Quilligana Domenica Stefania con cédula de ciudadanía No. 1753885951, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”**, siendo el Ingeniero Mg. 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



Leonidas Andrés Calo Chicaiza
C.C: 1725972325
ESTUDIANTE



Domenica Stefania Fuentes Quilligana
C.C: 1753885951
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 **CALO CHICAIZA LEONIDAS ANDRÉS**, identificado con cédula de ciudadanía **1725972325** 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 Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”**, 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 Ágreda Oña Mg.

Tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”**

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.



Leonidas Andrés Calo Chicaiza

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 **FUENTES QUILLIGANA DOMENICA STEFANIA**, identificada con cédula de ciudadanía **1753885951** 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 SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”**, 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 Ágreda Oña Mg.

Tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”**

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.



Domenica Stefania Fuentes Quilligana

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

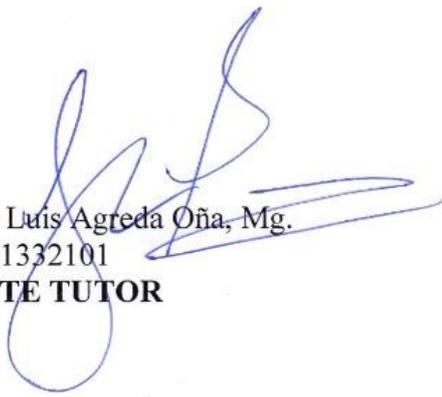
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”, de Calo Chicaiza Leonidas Andrés y Fuentes Quilligana Domenica Stefania, 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, Mg.

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: Calo Chicaiza Leonidas Andrés y Fuentes Quilligana Domenica Stefania, con el título de Proyecto de Investigación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”**, 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. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.
C.C: 0502188451
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
C.C: 0502205164
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. José Antonio Andrade Valencia, Ph.D.
C.C: 0502524481
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y la capacidad intelectual que me han permitido alcanzar este objetivo, así como por todas las bendiciones que he recibido. A mis padres, José Calo y María Chicaiza, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios innumerables que hicieron posible mi educación y este logro. Su ejemplo de sacrificio y entrega ha sido mi mayor inspiración en este viaje. Agradezco también a mis hermanos por su aliento y motivación. A mi querida amiga Domenica, gracias por tu paciencia y esfuerzo compartido en alcanzar este objetivo. A mis amigos, por su amistad, alegría y momentos compartidos que hicieron más gratificante esta travesía académica. A mis profesores, por su guía, enseñanzas y sabiduría que han enriquecido mi formación. A todos quienes contribuyeron en este proceso, ¡gracias! Este logro es también de ustedes.

Leonidas Andrés Calo Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Este proyecto de tesis y el resultado de mi formación, se lo agradezco principalmente a Dios por darme la sabiduría y las fuerzas necesarias para enfrentar cada obstáculo, quien, con su amor y bendición me ha permitido llegar hasta aquí. Quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional durante todo este proceso, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por la oportunidad que me otorgó de estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental, además de todas las buenas experiencias y anécdotas dentro de mi vida universitaria. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi compañero de tesis, Andrés Calo, por su inquebrantable colaboración y dedicación a lo largo de todo este proceso de investigación. Su compromiso, apoyo y trabajo en equipo han sido fundamentales para alcanzar nuestros objetivos comunes. Le doy gracias a Dios por su vida, amistad, comprensión, ánimo ya que sus palabras de aliento y su presencia han sido un motor para mantenerme enfocada y motivada, sin duda es una bendición; y, por todas las cosas buenas que me permitieron sonreír y las malas que indudablemente me ayudaron a crecer.

Domenica Stefania Fuentes Quilligana

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico de todo corazón a mi amada familia, porque ustedes han sido y seguirán siendo mi motivo para superarme. En especial a mi madre, quien fue mi impulso y mi inspiración constante, y a mi padre, cuya voz de aliento siempre estuvo presente. A mis amigos por ser mi segunda familia, por compartir risas, alegrías y momentos inolvidables. Su amistad ha sido un regalo preciado que atesoro profundamente en mi corazón. A mis profesores, por su dedicación, guía y sabiduría que han enriquecido mi formación académica y personal. Gracias por inspirarme, desafiarme y brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas y seguir creciendo como persona y profesional.

Leonidas Andrés Calo Chicaiza

DEDICATORIA

A mi Dios que es mi soporte, compañía y alegría en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis padres Delia Quilligana y Julio Fuentes por su amor, paciencia, esfuerzo que hacen cada día en ayudarme a cumplir mis sueños y enseñarme que todo esfuerzo trae su recompensa.

A toda mi familia y amigos por sus oraciones, consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona y que siempre están presentes en mis sueños y metas.

Domenica Stefania Fuentes Quilligana

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”.

Autores:

Calo Chicaiza Leonidas Andrés
Fuentes Quilligana Domenica Stefania

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como finalidad diseñar un sistema secundario biológico para el fortalecimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica del Campus CEASA. El estudio se desarrolló en tres etapas: en primer lugar, se determinó el caudal y la carga contaminante del efluente residual procedente del centro universitario; en segundo lugar, se establecieron las medidas adecuadas para el diseño de los elementos que conforman el sistema secundario biológico; y, en tercer lugar, se evaluó la eficiencia del diseño propuesto mediante la elaboración y funcionamiento de un sistema piloto. Se empleó un enfoque cualitativo mediante una observación directa e investigación bibliográfica, además de un enfoque cuantitativo que incluyó la aplicación del método volumétrico para obtener mediciones de caudal, así como el análisis de datos sobre parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales pre y post tratamiento. El levantamiento de información determinó un caudal promedio de 1,34 m³/día de agua residual, destacando una mayor generación de efluente entre las 10:00 y las 14:00 horas de los días martes y miércoles. Los datos recolectados fueron la base para el dimensionamiento del sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario. Con los resultados de los cálculos se realizó la construcción de la planta piloto a escala 1:10, la cual demostró una eficiencia notable en la reducción de parámetros fisicoquímicos y biológicos medidos como: coliformes fecales, pH, temperatura, sólidos totales y sólidos suspendidos totales, además se alcanzó una remoción de carga orgánica del 76,18 % para DBO₅ y del 68,4 % para DQO, en comparación con los datos iniciales, mejorando la calidad del agua y cumpliendo con los límites establecidos en la Tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097 A. Estos resultados confirman la viabilidad técnica del sistema secundario biológico para fortalecer el tratamiento de las aguas residuales en el campus CEASA.

Palabras clave: Caudal, DBO₅, DQO, eficiencia, filtro percolador.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES FACULTY

**TOPIC: "A SECONDARY BIOLOGICAL SYSTEM DESIGN FOR THE
STRENGTHENING FROM ANAEROBIC WASTEWATER TREATMENT PLANT
FROM CEASA CAMPUS".**

Authors:

Calo Chicaiza Leonidas Andres
Fuentes Quilligana Domenica Stefania

ABSTRACT

The current research project had as purpose to design a secondary biological system for strengthening the anaerobic wastewater treatment plant from CEASA Campus. The study was developed in three stages: first, it was determined the residual effluent flow rate and contaminant load from the university center; secondly, it was established the appropriate measures for the elements design, what make up the secondary biological system; and, thirdly, it was assessed the proposed design efficiency, through the development and operation a pilot system. It was used a qualitative approach, through direct observation and bibliographic research, further to a quantitative approach, what included the volumetric method application to get flow measurements, as well as the data analysis on physical, chemical and biological parameters from pre- and post-treatment. The information gathering determined an average flow 1.34 m³/day from wastewater, by highlighting an effluent greater generation between 10:00 and 14:00 on Tuesdays and Wednesday's days. The collected data were the basis for the primary settler sizing, trickling filter and secondary settler. With the calculations results, it was made the pilot plant construction at a 1:10 scale, which demonstrated physicochemical and biological parameters notable efficiency in the reduction measured, such as: fecal coliforms, pH, temperature, total solids and total suspended solids. Further, it was achieved an organic load removal 76.18% for DBO₅ and 68.4% for DQO, in comparison to the initial data, improving water quality and complying with the limits established in Table 9 from Ministerial Agreement. 097 A. These results confirm the technical feasibility from secondary biological system to strengthen wastewater treatment on the CEASA campus.

Keywords: Flow rate, DBO₅, DQO, efficiency, trickling filter.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DEL TUTOR EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxi
ÍNDICE DE FIGURAS	xxii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	3
3.1. Beneficiarios Directos.....	3
3.2. Beneficiarios Indirectos	3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1. Objetivo General.....	4
5.2. Objetivo Específico.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7

7.1.	Contaminación del Agua.....	7
7.2.	Aguas Residuales.....	7
7.3.	Agua Residual Doméstica.....	8
7.4.	Caracterización Fisicoquímica y Biológica de las Aguas Residuales.....	8
7.4.1.	Características Físicas	8
7.4.2.	Características Químicas	8
7.4.3.	Características Biológicas	8
7.5.	Materia Orgánica	9
7.6.	Demanda Química de Oxígeno.....	9
7.7.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	9
7.8.	Toma de Muestras	10
7.8.1.	Técnica de Muestra Compuesta.....	10
7.8.2.	Manejo y Conservación.....	10
7.8.3.	Tipos de Recipientes.....	10
7.8.4.	Muestreo	10
7.8.5.	Etiquetado de la Muestra	11
7.8.6.	Refrigeración y Congelación de las Muestras	11
7.8.7.	Transporte de las Muestras	11
7.9.	Caudal	11
7.9.1.	Método Volumétrico para la Medición del Caudal.....	11
7.10.	Análisis de la Calidad del Agua	12
7.11.	Método para Determinar el DQO.....	12
7.11.1.	Termoreactor de DQO.....	12
7.11.2.	Espectrofotómetro.....	12
7.12.	Relación entre la DQO y la DBO5	13
7.12.1.	Criterios de Biodegradabilidad según la Relación DQO/DBO5	13
7.13.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	14

7.13.1.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Anaerobias	14
7.13.2.	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aerobias	14
7.14.	Tratamiento de Aguas Residuales	15
7.15.	Tratamiento Primario de Aguas Residuales	15
7.16.	Sedimentador Primario.....	15
7.17.	Tratamientos Secundarios de Aguas Residuales	16
7.18.	Filtros Percoladores.....	16
7.18.1.	Funcionamiento.....	17
7.18.2.	Aplicación.....	18
7.18.3.	Beneficios de un Filtro Percolador	19
7.18.4.	Criterios de Diseño para Filtros Percoladores	19
7.19.	Microorganismos comunes en las aguas residuales	20
7.19.1.	Bacterias.....	20
7.19.2.	Hongos	20
7.19.3.	Protozoos	21
7.19.4.	Rotíferos.....	21
7.20.	Microorganismos que conforman la biopelícula.....	21
7.21.	Sedimentador Secundario.....	22
7.22.	SketchUp	23
7.23.	Normativa Legal.....	23
8.	PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	24
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	24
9.1.	Área de Estudio.....	24
9.2.	Enfoque.....	24
9.2.1.	Enfoque Cualitativo.....	25
9.2.2.	Enfoque Cuantitativo.....	25
9.3.	Técnicas	25

9.3.1.	Observación Directa	25
9.3.2.	Investigación Bibliográfica.....	25
9.3.3.	Análisis de Datos	25
9.3.4.	Técnica del Prototipado	25
9.4.	Equipos y Materiales	25
9.4.1.	Equipos	26
9.4.2.	Materiales	26
9.4.3.	Herramientas.....	26
9.5.	Selección del Punto de Muestreo	26
9.6.	Determinación del Caudal de las Aguas Residuales	27
9.7.	Caracterización Física, Química y Biológica de las Aguas Residuales	27
9.7.1.	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	27
9.7.2.	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en el Laboratorio.....	28
9.7.3.	Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	28
9.7.4.	Determinación de Coliformes Fecales, Solidos Totales, Solidos Suspendidos Totales, pH, Temperatura, Turbidez Oxígeno Disuelto, Nitritos y Nitratos	29
9.8.	Diseño del Sistema Secundario Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales 29	
9.8.1.	Determinación de la Biodegradabilidad de las Aguas Residuales.....	30
9.8.2.	Determinación del Origen de las Aguas Residuales.....	30
9.8.3.	Caudal Medio	30
9.8.4.	Caudal Máximo Horario.....	31
9.8.5.	Sedimentador Primario	31
9.8.6.	Filtro Percolador	34
9.8.7.	Sedimentador Secundario	36
9.8.8.	Diseño Gráfico en 3D del Sistema de Tratamiento Secundario Biológico	39
9.9.	Construcción del Sistema Secundario Biológico, Piloto a Escala 1:10	40

9.10.	Construcción del Medio Filtrante.....	40
9.11.	Cálculo del Área Total del Medio Filtrante.....	41
9.11.1.	Área Superficial Lateral Exterior del Tubo:.....	41
9.11.2.	Área Superficial Lateral Interior del Tubo:.....	41
9.11.3.	Área Lateral Superficial Externo e Interno del Tubo:.....	41
9.11.4.	Área de la Corona Circular o Perfil del Tubo:	41
9.11.5.	Área de los Orificios del Medio Filtrante:	41
9.11.6.	Área Total del Medio Filtrante:.....	42
9.12.	Desarrollo de la Biopelícula en el Medio Filtrante	42
9.13.	Análisis en el Laboratorio del Agua Residual Filtrada	43
9.14.	Comparación de los Resultados con la Normativa Ambiental Vigente	43
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
10.1.	Zona de Implementación del Sistema Secundario Biológico	43
10.2.	Registro de Caudales	44
10.3.	Registro de Datos de la Demanda Química de Oxígeno	45
10.4.	Datos Registrados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	46
10.5.	Datos Registrados de los parámetros físicos, químicos y biológicos.....	47
10.6.	Diseño del Sistema Secundario Biológico para el Tratamiento de Aguas Residuales	48
10.6.1.	Biodegradabilidad y Origen de las Aguas Residuales	48
10.6.2.	Caudal Máximo Horario	49
10.6.3.	Tanque Sedimentador Primario.....	49
10.6.4.	Filtro Percolador	51
10.6.5.	Tanque Sedimentador Secundario.....	54
10.7.	Planta de Tratamiento Secundario Biológico de Aguas Residuales.....	56
10.8.	Construcción del Sistema Secundario Biológico Piloto.....	58
10.8.1.	Tanque Sedimentador Primario.....	58

10.8.2.	Filtro Percolador	59
10.8.3.	Tanque Sedimentador Secundario.....	60
10.9.	Medio Filtrante.....	61
10.10.	Desarrollo de la Biopelícula en el Medio Filtrante	61
10.11.	Eficiencia del Sistema Secundario Biológico Piloto y Comparación de los Resultados con los Límites Permisibles Establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A	62
11.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA	65
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	66
12.1.	Impactos Sociales.....	66
12.2.	Impactos Económicos	66
12.3.	Impactos Ambientales	67
13.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	67
14.	CONCLUSIONES.....	67
15.	RECOMENDACIONES	68
16.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
17.	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Actividad y conjunto de acciones alineadas con los objetivos establecidos.....	5
Tabla 2 Criterios de biodegradabilidad.....	13
Tabla 3 Naturaleza de los vertidos.....	13
Tabla 4 Parámetros para el diseño de sedimentadores primarios.	15
Tabla 5 Criterios de diseño para Filtros Percoladores.	19
Tabla 6 Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios.....	22
Tabla 7 Límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	23
Tabla 8 Coordenadas del punto de muestreo (UTM).....	27
Tabla 9 Materias primas para la preparación del agua residual sintética.....	42
Tabla 10 Datos de caudales registrados.	44
Tabla 11 Niveles de DQO por cada muestra compuesta.....	45
Tabla 12 Niveles de DBO5 por cada muestra compuesta.	46
Tabla 13 Parámetros físicos, químicos y biológicos por cada muestra compuesta.	47
Tabla 14 Nivel de Biodegradabilidad y origen del efluente contaminado.....	48
Tabla 15 Dimensiones y Características del Tanque Sedimentador Primario.	49
Tabla 16 Dimensiones y Características del Filtro Percolador.	52
Tabla 17 Dimensiones y Características del Tanque Sedimentador Secundario.	54
Tabla 18 Dimensiones a escala 1:10 del Tanque Sedimentador Primario.	58
Tabla 19 Dimensiones a escala 1:10 del Filtro Percolador.	59
Tabla 20 Dimensiones a escala 1:10 del Tanque Sedimentador Secundario.	60
Tabla 21 Área para el desarrollo de la biopelícula.....	61
Tabla 22 Proceso evolutivo de la biopelícula.	61
Tabla 23 Resultados de los parámetros post tratamiento.....	63
Tabla 24 Resultados de los parámetros post tratamiento.....	63
Tabla 25 Resumen de los costos estimados para la realización del proyecto.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del área de estudio.....	24
Figura 2 Esquema de un sistema secundario biológico para el tratamiento de aguas residuales.	30
Figura 3 Carpeta de trabajo para SketchUp.....	39
Figura 4 Área de implementación del sistema secundario biológico propuesto.	44
Figura 5 Representación tridimensional del Tanque Sedimentador Primario.	50
Figura 6 Representación tridimensional del Filtro Percolador.	53
Figura 7 Representación tridimensional del Tanque Sedimentador Secundario.	55
Figura 8 Representación gráfica del Sistema de Tratamiento Secundario Biológico.	57

ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PROYECTO DE TITULACIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Diseño de un sistema secundario biológico para el fortalecimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica del campus CEASA”

Fecha de Inicio: Octubre del 2023

Fecha de Finalización: Enero del 2024

Lugar de Ejecución:

Parroquia Salache, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que Auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que Auspicia:

Carrera de Ingeniería Ambiental.

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. José Luis Ágredda Oña, Mg.

LECTOR 1: Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Mg.

LECTOR 2: Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.

LECTOR 3: Ing. José Antonio Andrade Valencia, PhD.

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Leonidas Andrés Calo Chicaiza

Teléfono: 0983655492

Correo Electrónico: leonidas.calo2325@utc.edu.ec

Nombre: Domenica Stefania Fuentes Quilligana

Teléfono: 0982645174

Correo Electrónico: domenica.fuentes5951@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

Ingeniería, industria y construcción/Ingeniería y Profesiones Afines/Tecnología de protección del medio ambiente.

Línea de Investigación:

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

Sub-línea de Investigación de la Carrera:

Manejo y Conservación del Recurso Hídrico.

Línea de Vinculación de la Facultad CAREN:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La necesidad de diseñar un sistema de tratamiento secundario biológico para repotenciar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Campus CEASA, responde directamente a las limitaciones existentes de la infraestructura actual. En este escenario, se plantea un desafío ambiental crítico, ya que la PTAR, al no operar al máximo rendimiento, su eficacia es inadecuada, contribuyendo directamente a la contaminación de ríos y cuerpos de agua locales. Este deterioro ambiental compromete la biodiversidad acuática, ya que causa daños a los ecosistemas cercanos y, de manera alarmante, amenaza la calidad del agua disponible.

Ante este escenario, la repotenciación de la PTAR mediante la integración de un sistema secundario biológico emerge como una solución esencial para mitigar la contaminación y promover la sostenibilidad ambiental a nivel local. A pesar de la funcionalidad previa de la planta anaeróbica, la implementación del sistema secundario biológico, busca elevar la eficiencia del tratamiento a un nivel superior. Este enfoque se orienta a maximizar la eliminación de contaminantes, mejorar la calidad del efluente tratado y ajustarse de manera dinámica a las variaciones en la carga contaminante, asegurando así un tratamiento más efectivo y sostenible. Además de mejorar la calidad del efluente, la implementación de un sistema secundario biológico busca reducir la carga de patógenos y contaminantes en las aguas residuales tratadas, contribuyendo directamente a la protección de la salud pública, ya que un agua más limpia previene la propagación de enfermedades transmitidas por la misma, beneficiando a la comunidad local. Otro beneficio de un efluente tratado correctamente, es la reutilización segura de esta agua para diversos fines, como riego o procesos industriales. Esto contribuye al uso más eficiente de los recursos hídricos y reduce la presión sobre fuentes de agua fresca. Por último, la adopción de tecnologías innovadoras, como el sistema de tratamiento secundario biológico, no solo atiende las necesidades prácticas actuales, sino que también impulsa la investigación y desarrollo en la gestión sostenible de aguas residuales. Esto puede posicionar en un futuro al campus como un ejemplo en esta área, generando impactos positivos a largo plazo en el entorno, la salud pública y la reputación institucional.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se detalla la cantidad de personas beneficiadas del presente proyecto de investigación, los cuales se subdividen en grupos directos e indirectos.

3.1. Beneficiarios Directos

Aquellas personas directamente beneficiadas comprenden a todos los miembros de la facultad CAREN de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se estima una cantidad de 2400 personas, lo que incluye tanto a docentes con nombramiento como a docentes contratados, además de los estudiantes matriculados en la Universidad Técnica de Cotopaxi y adicional los estudiantes matriculados en nivelación.

3.2. Beneficiarios Indirectos

En este grupo de personas comprenden aquellas que se encuentran alrededor del campus CEASA, que pertenecen al sector de Salache donde se incluyen a las comunidades locales que dependen del río Isinche como fuente de agua para el riego de sus cultivos. Al reducir la contaminación del río, estas comunidades se verían beneficiadas al contar con un suministro de agua con mayor calidad y seguro para sus actividades agrícolas. Esto no solo mejoraría la calidad de vida de los agricultores locales, sino que también contribuiría a aumentar la productividad de sus cultivos y, en última instancia, a fortalecer la seguridad alimentaria en el sector.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la Universidad Técnica de Cotopaxi, Campus CEASA de la Facultad CAREN, se identificó la necesidad de fortalecer con un sistema secundario biológico aerobio, a la actual planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica. Una PTAR es una instalación donde son removidos los contaminantes de las aguas residuales, con el fin de que esta agua no perjudique al medio ambiente o a la salud de las personas, al descargarla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reúso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (Bendezu & Martínez, 2017). Así bien una PTAR representa una solución al problema actual de contaminación hídrica generado por las actividades diarias en cualquiera lugar. Es importante mencionar que la PTAR anaeróbica del campus CEASA, actualmente no se encuentra en funcionamiento debido a la falta de propuestas técnicas y viables para el tratamiento de aguas residuales, lo que ha llevado a la contaminación de fuentes hídricas como el río Isinche que atraviesa la zona. Se han realizado estudios sobre la contaminación de estas aguas, identificándose enfermedades como consecuencia directa de esta situación. Según la UADER (2019), se produce mayor cantidad de muertes al consumir agua contaminada que en la guerra o actos de violencia. Es por eso que se reconoce la necesidad de aportar con un filtro

percolador al proceso de tratamiento de aguas residuales, esto se debe a la ausencia actual de un tratamiento secundario aerobio que asegure, en su mayoría, la eliminación de la carga contaminante en las aguas residuales producidas en el campus. La implementación de este filtro percolador busca mejorar la eficiencia y efectividad global del tratamiento, abordando así las limitaciones identificadas en la planta existente.

Este filtro percolador es aeróbico y funcionan con aspersores para distribuir de forma uniforme el afluente sobre todo el relleno de limo biológico por el cual se percola el agua residual logrando un menor arrastre de la biomasa, este proceso resulta eficiente, ya que reduce los malos olores y se obtiene una biopelícula adecuada (León, 2017).

En los últimos años el Ministerio de Ambiente y Agua pretende que el GAD puedan desarrollar programas para utilizar racionalmente el agua y a su vez que se le pueda dar un adecuado tratamiento a los desechos sólidos y a las descargas de aguas residuales (MAATE, 2017).

Por tal motivo el presente trabajo de investigación pretende diseñar un sistema secundario biológico aerobio, con el fin de mejorar la eficiencia de la actual PTAR anaeróbica para disminuir el problema de contaminación al agua, al ambiente y a la salud pública del Campus CEASA y de sus alrededores. Además, permitirá cumplir con la normativa ambiental del país y contribuir al manejo sostenible de los recursos hídricos. La repotenciación puede asegurar que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales cumpla con los estándares y regulaciones vigentes.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema secundario biológico para el fortalecimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica del Campus CEASA.

5.2. Objetivo Específico

- Determinar el caudal y la carga contaminante de las aguas residuales generadas en el campus CEASA, con el propósito de fundamentar el diseño de un sistema secundario biológico.
- Establecer las medidas adecuadas para el diseño del filtro percolador del sistema secundario biológico mediante cálculos para obtener una estructura que cumpla con los parámetros técnicos apropiados.
- Evaluar la eficiencia del diseño propuesto mediante la construcción de una planta piloto a escala de 1:10, con el fin de comprobar la viabilidad del sistema de tratamiento secundario biológico.

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

Tabla 1

Actividad y conjunto de acciones alineadas con los objetivos establecidos.

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
Objetivo Específico N.º 1			
Determinar el caudal y la carga contaminante de las aguas residuales generadas en el campus CEASA, con el propósito de fundamentar el diseño de un sistema secundario biológico.	Se realizó varias tomas de muestras de aguas residuales en el punto de muestreo para determinar el caudal. Se calculó el caudal (Q), el caudal medio (Qm) y el caudal máximo horario (QMH). Se realizó varias tomas de muestras de aguas residuales para determinar los parámetros fisicoquímicos y biológicos. Se analizaron las muestras en el laboratorio. Se determinó la carga contaminante.	Realización de las tomas de muestras de aguas residuales, por el método volumétrico en un recipiente de 5 L. Aplicación la fórmula $Q=V/t$ para calcular el caudal. Para obtener el caudal diario, se sumó todos los datos de los caudales recopilados y se dividió para el total de muestras, a su vez estos se sumaron y se dividieron para los días de estudio, obteniendo el Qm, y, por último, se multiplicó por el factor 3 para obtener el QMH. Recolección y transporte de muestras según la NTE INEN 2169 (2013). Aplicación de cálculos para determinar la carga contaminante.	Caudal medio diario y caudal máximo horario. Concentración promedio de DBO ₅ . Concentración promedio de DQO. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos como coliformes fecales, temperatura, pH, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos totales, nitritos y nitratos.
Objetivo Específico N.º 2			

Establecer las medidas adecuadas para el diseño del filtro percolador del sistema secundario biológico mediante cálculos para obtener una estructura que cumpla con los parámetros técnicos apropiados.	Se analizó los requisitos técnicos correctos para el diseño del filtro percolador, sedimentador primario y secundario. Se calculó las medidas necesarias para dimensionar el filtro percolador, sedimentador primario y secundario, en base a los criterios de diseño propuestos por diferentes autores. Se diseñó gráficamente el sistema secundario biológico.	Mediante una investigación y revisión bibliográfica se obtuvo información relevante sobre el diseño de filtros percoladores, sedimentadores primarios y secundarios. Se aplicó diferentes cálculos con base en los criterios de diseño propuestos por Lozano Rivas y Ortega. Diseño del sistema secundario biológico mediante la utilización de software de modelación SketchUp.	Dimensiones y características del sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario. Diseño 3D, del sistema secundario biológico y sus elementos.
---	--	--	--

Objetivo Específico N.º 3

Evaluar la eficiencia del diseño propuesto mediante la construcción de una planta piloto a escala de 1:10, con el fin de comprobar la viabilidad del sistema de	Se realizó la construcción del sistema secundario biológico de acuerdo al diseño establecido en una escala de 1:10. Se puso en funcionamiento el	Estructuración del filtro percolador y sus componentes siguiendo el diseño establecido a una escala reducida. Operación del filtro percolador a escala, con la liberación del agua residual a través de los medios filtrantes.	Prototipo de sistema secundario biológico a escala 1:10. Nivel de eficiencia del sistema secundario biológico piloto.
---	--	--	---

tratamiento secundario biológico.	prototipo construido. Se realizó un análisis de laboratorio del efluente posterior al tratamiento realizado por el prototipo del sistema secundario biológico y se analizó su factibilidad.	Análisis en el laboratorio de la muestra post tomada del sistema secundario biológico y comparación de su efectividad de acuerdo a los valores iniciales y al Acuerdo Ministerial 097-A.
---	---	--

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Contaminación del Agua

En la actualidad existe un deterioro continuo del medio ambiente, causado principalmente por la acción irresponsable de los seres humanos en el manejo de los recursos naturales. Este comportamiento ha generado impactos negativos significativos, especialmente en uno de los recursos vitales para la vida: el agua. La contaminación de los recursos hídricos está en constante aumento, afectando no solo la salud humana, sino también la biodiversidad y los ecosistemas, ya que muchos de ellos dependen de este recurso esencial para su supervivencia. La contaminación hídrica se refiere a la introducción de sustancias que alteran la calidad y composición del agua.

Para cumplir con uno de los objetivos del Desarrollo Sostenible, que busca garantizar la calidad del agua para promover la sostenibilidad y proporcionar acceso al agua potable y servicios de saneamiento básico a aquellos que carecen de ellos, es crucial implementar estrategias sostenibles, así como adoptar tecnologías y programas que fomenten la conciencia ambiental sobre el uso adecuado, la gestión eficiente y la conservación de los recursos naturales (Guerrero, 2023).

7.2. Aguas Residuales

Según Reynolds (2002), las aguas residuales son aquellas que están constituidas de un efluente líquido y un sólido (lodo). Además, por cualquier motivo son aguas que han sufrido alteraciones

en su calidad original y que provienen de diferentes actividades ya sea por uso doméstico, industrial, agrícola, comercial, pecuario, entre otras.

7.3. Agua Residual Doméstica

Según Carrillo (2014), este tipo de agua se da por una acción directa o indirecta en la cual el ser humano introduce materiales contaminados al agua, produciendo una mezcla de desechos tanto líquidos como sólidos, alterando la calidad y provocando que no sea apta para otros usos o funciones.

7.4. Caracterización Físicoquímica y Biológica de las Aguas Residuales

Según Lozano-Rivas (2012), al caracterizar las aguas residuales ya sean de origen doméstico, industrial o urbana, se debe conocer que estas poseen las siguientes características:

7.4.1. Características Físicas

Las características físicas principales a considerar en las aguas residuales es su concentración de sólidos totales, los cuales generalmente se dividen en tres categorías: suspendidos, disueltos y sedimentables. Además, algunas más relevantes incluyen: el caudal que se asocia con el flujo volumétrico, es decir, la cantidad de volumen que atraviesa un área dada en una unidad de tiempo; la temperatura que se produce debido a la absorción de radiación en las capas más superficiales del líquido. Los cambios en la temperatura influyen en la capacidad de disolución de sales y gases en el agua; el pH que es un logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno, que determina la acidez o basicidad de una sustancia (Bendezu & Martínez, 2017).

7.4.2. Características Químicas

Entre las características químicas más relevantes de las aguas residuales incluyen la presencia de materia orgánica e inorgánica, así como la presencia de gases disueltos en ella y a su vez hay que tener en cuenta ciertos parámetros como: DBO_5 que se usa para medir la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, debido a la acción de la oxidación aeróbica y DQO que mide la cantidad de materia orgánica presente en el agua, que se oxida con un agente oxidante (Bendezu & Martínez, 2017).

7.4.3. Características Biológicas

Para comprender la relevancia de una caracterización biológica en el agua residual, es esencial tener conocimiento sobre los grupos primarios de microorganismos responsables de estas características. Estos grupos incluyen: las bacterias que son microorganismos procariotas en diferentes formas y en tamaños de micrómetros; las coliformes fecales que son un tipo de bacterias gramnegativas en forma de bastón que tienen su origen en el tracto intestinal de los animales de sangre caliente (León, 2017).

7.5. Materia Orgánica

La contaminación del agua se da en parte por la materia orgánica, ya que consume el oxígeno disuelto en lagos, ríos, lagunas, etc., y además se compone de carbono, hidrógeno, oxígeno, y en ocasiones nitrógeno. Además, puede contener compuestos como fósforo, azufre, hierro, entre otros (Ormaza & Ortiz, 2020).

Según Ormaza & Ortiz (2020), la materia orgánica se clasifica en varios grupos de compuestos como proteínas, carbonatos, surfactantes, aceites y grasas, cada uno con distintas características según su composición.

De acuerdo a Carrillo (2014), los compuestos disueltos en las aguas residuales tienen los siguientes porcentajes: Proteínas (40-60 %), Carbohidratos (25-50 %), Grasas y aceites (10 %).

7.6. Demanda Química de Oxígeno

La *DQO* es una técnica que posibilita la medición del material orgánico y algunos compuestos inorgánicos en aguas residuales, los cuales pueden ser químicamente oxidados en una solución de dicromato en medio ácido (Carrillo, 2014).

Además, mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Las sustancias orgánicas e inorgánicas oxidables en la muestra se oxidan en un sistema de reflujo cerrado, utilizando una solución fuertemente ácida (H_2SO_4) con exceso de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Se añade sulfato de plata (Ag_2SO_4) como catalizador y sulfato mercúrico (Hg_2SO_4) para eliminar interferencias de cloruros. Después de la digestión, el $K_2Cr_2O_7$ no consumido se valora con sulfato ferroso amoniacal para calcular la cantidad de $K_2Cr_2O_7$ consumido. La materia orgánica se expresa en términos de oxígeno equivalente (Changoluisa & Naranjo, 2023).

7.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

La DBO_5 representa la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en el agua (Cevallos & Piloso, 2022). Esta evaluación se lleva a cabo durante un período de 5 días a una temperatura de 20 °C, por lo cual su nombre es DBO_5 . La variación entre el contenido de oxígeno en las dos muestras, antes y después del periodo de incubación, proporciona el valor de la DBO_5 , expresado en partes por millón (ppm) de O_2 (Carrillo, 2014).

7.8. Toma de Muestras

El propósito de la toma de muestras es realizar el análisis de la calidad del agua, y además las muestras tienen que ser recogidas por personas que conozcan el proceso de muestreo (Reutelshöfer & Guzmán, 2015).

Realizar un proceso de muestreo ayuda a tener resultados en diferentes actividades mencionadas a continuación:

- La fundación para el diseño y funcionamiento de instalaciones de tratamiento de agua potable y aguas residuales.
- Brinda información de entrada para modelos matemáticos que imitan el comportamiento de las corrientes y el sistema de distribución de agua.
- Se utilizan para desarrollar y analizar propuestas de proyectos relacionados con la recuperación, mantenimiento, entre otros, de recursos hídricos.

7.8.1. Técnica de Muestra Compuesta

Según Reutelshöfer & Guzmán (2015), se utiliza la técnica de muestra compuesta que se refiere a la combinación de múltiples muestras simples recolectadas a lo largo de un período específico, para obtener una visión promedio de las condiciones del agua, con el propósito de monitorear la eficacia de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). En esencia, las muestras compuestas son útiles para representar el promedio de las fluctuaciones en la contaminación del agua y presenta una mayor complejidad en comparación con la toma de muestras simples, ya que requiere una inversión adicional de tiempo y equipamiento. Este tipo de muestra ayuda a determinar parámetros como DBO_5 , DQO, amoníaco, amónico, nitrato y nitrito.

7.8.2. Manejo y Conservación

De acuerdo a la NTE INEN 2169 (2013), existen ciertos parámetros que se deben cumplir para manejar y conservar la muestra.

7.8.3. Tipos de Recipientes

La elección del material del recipiente depende del parámetro que se va a medir. Por ejemplo, para los parámetros comúnmente analizados para evaluar el rendimiento de la PTAR (DBO_5 , DQO, $\text{NH}_4 - \text{N}$ y sólidos suspendidos), se deben utilizar frascos de vidrio o plástico, ya que los resultados no se verán afectados.

7.8.4. Muestreo

Para realizar un muestreo adecuado, es fundamental considerar aspectos como determinar el nivel máximo de llenado del recipiente. Según la NTE INEN 2169 (2013), las muestras destinadas a la determinación de parámetros fisicoquímicos, deben ser llenadas completamente

en los envases y cerradas herméticamente para evitar la presencia de aire en la muestra. Este enfoque reduce la posibilidad de interacciones con la fase gaseosa y minimiza la agitación durante el transporte. De este modo, se previene la alteración del contenido de dióxido de carbono, se mantiene estable el valor del pH, se evita la conversión de bicarbonatos a carbonatos precipitables, y se reduce la oxidación del hierro, limitando las variaciones en el color, entre otros aspectos.

7.8.5. *Etiquetado de la Muestra*

Según la NTE INEN (2013), en la etiqueta es necesario registrar, al momento del muestreo, todos los detalles que faciliten una interpretación adecuada de los resultados, tales como la fecha y hora del muestreo, el nombre de la persona encargada del muestreo, la naturaleza y cantidad de los conservantes añadidos, el tipo de análisis que se llevará a cabo, entre otros.

7.8.6. *Refrigeración y Congelación de las Muestras*

En muchos casos, el enfriamiento básico (ya sea en un baño de hielo o en un refrigerador con temperaturas entre 2 °C y 5 °C) y el almacenamiento en un lugar oscuro son métodos suficientes para preservar la muestra durante su transporte al laboratorio y por un breve periodo antes del análisis. Sin embargo, es importante señalar que el enfriamiento no debe considerarse como un método de almacenamiento a largo plazo, especialmente en el contexto de aguas residuales domésticas e industriales (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

7.8.7. *Transporte de las Muestras*

Durante el transporte, es necesario almacenar las muestras en un entorno fresco y resguardarlas de la luz. Si es factible, cada muestra debería ser colocada en un recipiente individual que sea impermeable (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

7.9. Caudal

El caudal se refiere a la medida hidráulica más frecuente, destaca como el parámetro principal para describir la dinámica de un río o canal. Por consiguiente, obtener una medición precisa de la velocidad se convierte en un aspecto crucial en los procesos hidrológicos (Changoluisa & Naranjo, 2023).

7.9.1. *Método Volumétrico para la Medición del Caudal*

El método volumétrico se utiliza para medir flujos en corrientes pequeñas, como manantiales o riachuelos, y es el método más preciso siempre que el depósito sea lo suficientemente grande y su capacidad pueda medirse con precisión. El procedimiento implica dirigir el flujo hacia un depósito impermeable de volumen conocido y registrar el tiempo total que tarda en llenarse. En consecuencia, este método resulta práctico cuando se trata de medir caudales pequeños, en

investigaciones experimentales o para obtener rápidamente una estimación del flujo proporcionado por un determinado riachuelo (Changoluisa & Naranjo, 2023).

7.10. Análisis de la Calidad del Agua

Se sugiere llevar a cabo el análisis de laboratorio con el fin de examinar la calidad del agua residual. En el contexto de caracterizar el agua residual, es esencial realizar un análisis fisicoquímico para identificar las propiedades físicas y químicas que posee, los resultados deben compararse con las pautas establecidas en el TULSMA 2015 para asegurar el cumplimiento de la normativa correspondiente (Secretaría del Agua et al., 2016).

7.11. Método para Determinar el DQO

Para la determinación de DQO se aplicó el método estandarizado llamado reflujó cerrado, ya que es muy utilizado en el proceso de preparación y cuantificación de la muestra, para luego realizar la determinación fotométrica por medio del espectrofotómetro.

7.11.1. Termoreactor de DQO

El reactor de HI 839800 es un calentador de uso fácil en el cual se calientan tubos de ensayo. Según Changoluisa & Naranjo (2023), este reactor está equipado con dos ajustes de temperatura predefinidos: 150 °C y 105 °C. El DQO y las digestiones de fósforo total se llevan a cabo a 150 °C, las digestiones totales de nitrógeno a 105 °C. Además, cuenta con un temporizador de cuenta regresiva que permite manejar eventos programados. Al llegar al final del tiempo establecido, se activará una señal sonora y se desconectará la fuente de calor.

7.11.2. Espectrofotómetro

El espectrofotómetro es un dispositivo, capaz de proyectar un haz de luz a través de una muestra y luego cuantificar la cantidad de luz absorbida por la muestra (absorbancia) o la cantidad de luz que pasa a través de ella (transmitancia), siendo esta última el inverso de la absorbancia. La intensidad de absorción o transmisión de luz a una longitud de onda específica está directamente relacionada con la concentración del material presente en la muestra. En casos donde el material en cuestión no posee capacidad de absorber luz por sí mismo, es posible mezclarlo con otros reactivos para generar una solución capaz de absorber luz mediante una reacción química específica (Changoluisa & Naranjo, 2023).

Para realizar el análisis mediante la técnica de espectrofotometría, es necesario utilizar el espectrofotómetro mencionado anteriormente. Una vez encendido, el dispositivo debe ser calibrado para acceder al menú de Métodos. A continuación, se debe seleccionar la opción “Tests MN” y luego “Tests en tubos”, seguido por la elección de la opción “DQO 160”. En esta etapa, se procede a medir la muestra utilizando los tubos de ensayo previamente calentados en el Termoreactor. Comenzando con una limpieza preliminar del tubo utilizando papel de cocina

y evitando agitarlo, se inicia midiendo el blanco, que representa un estándar a seguir para la medición de DQO. Al medir el blanco, se debe seleccionar la opción “cero” y esperar a que se complete la medición. Posteriormente, se retira el blanco y se introduce el tubo con la muestra a analizar, se realiza la medición y finalmente se obtiene el valor de DQO. Este valor se registra y se repite el mismo proceso para cada una de las muestras que se desean analizar.

7.12. Relación entre la DQO y la DBO₅

De acuerdo a Cisterna & Peña (2017), para diseñar un sistema de tratamiento secundario biológico de manera efectiva, es importante tener conocimiento de la cantidad de materia orgánica biodegradable que está presente en el efluente de aguas residuales. Por ende, es necesario determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Sin embargo, también se aconseja medir simultáneamente la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para obtener información adicional sobre la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos en el efluente. Además, una vez que se establece la relación entre la DQO y la DBO₅, esta proporción se utiliza para monitorear y operar la planta de tratamiento.

7.12.1. Criterios de Biodegradabilidad según la Relación DQO/DBO₅

La siguiente Tabla 2 muestra la calificación de la biodegradabilidad en diferentes rangos según el valor de K (o su inverso).

Tabla 2

Criterios de biodegradabilidad.

K = DQO/DBO₅	Clasificación
< 2, 5	Muy biodegradable
0, 5 – 1, 25	Poco biodegradable
< 0, 5	No biodegradable

Fuente: (Calero, 2020)

También según Calero (2020), estos valores sirven para conocer el tipo de aguas residuales, las cuales pueden ser domésticas, comerciales, industriales, etc., es decir, permite tener una idea sobre la naturaleza de los vertidos, según se indica en la Tabla 3.

Tabla 3

Naturaleza de los vertidos.

Fórmula	Naturaleza de los vertidos
$\frac{DBO_5}{DQO} < 0, 5$	Vertidos de naturaleza Industrial

$$\frac{DBO_5}{DQO} < 0,2$$

Vertidos de naturaleza
Industrial poco biodegradables

$$\frac{DBO_5}{DQO} > 0,5$$

Vertidos de naturaleza urbana
biodegradable

Fuente: (Calero, 2020)

7.13. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son instalaciones que utilizan una combinación de procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos para mejorar la calidad del agua contaminada, lo hacen reduciendo los niveles de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos presentes en el agua. El objetivo fundamental de la construcción y el funcionamiento de estas plantas es garantizar que, cuando el agua tratada se descarga en un medio receptor, no cause daños al medio ambiente ni suponga un riesgo para la salud de las personas que puedan entrar en contacto con ella (León, 2017).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales funcionan según un proceso biológico que implica la eliminación de contaminantes mediante la actividad biológica. Esta actividad biológica elimina las sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas presentes en las aguas residuales, para ello, se transforman en gases que se liberan a la atmósfera, produciendo una biomasa que puede separarse mediante el proceso de sedimentación (León, 2017).

La estabilización de la materia orgánica y de los sólidos coloidales no sedimentables se logra a través de procesos biológicos, en los cuales los microorganismos, especialmente las bacterias, desempeñan un papel predominante. Estos microorganismos utilizan la materia orgánica para sintetizar tejido celular. El tratamiento biológico en la PTAR puede realizarse mediante organismos aerobios y anaerobios (León, 2017).

7.13.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Anaerobias

Las bacterias obtienen su nutrición sin la presencia de oxígeno, es decir, que descomponen la materia biodegradable, convirtiéndola en metano y dióxido de carbono (León, 2017).

Según Solorzano (2019), los procesos anaerobios que se aplican en los efluentes son considerados los más adecuados en destilerías de alcohol.

7.13.2. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Aerobias

Los organismos llevan a cabo el proceso de asimilación de nutrientes en presencia de oxígeno, es decir, que descomponen los materiales biodegradables no deseados en el agua, formando flóculos de sustancias orgánicas que se sedimentan en la parte inferior del recipiente (León, 2017).

7.14. Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso necesario donde todas las aguas residuales pasan por diferentes tratamientos como el preliminar, primario, secundario y avanzado para garantizar la eficiencia del mismo y la prevención de la contaminación ambiental y del agua (Carrillo, 2014).

7.15. Tratamiento Primario de Aguas Residuales

En esta parte del proceso se eliminan los sólidos orgánicos e inorgánicos de mayor tamaño que pueden sedimentarse, con el fin de reducir la carga durante el tratamiento biológico en el siguiente proceso. Los sólidos eliminados en esta etapa deben ser tratados antes de su eliminación definitiva. Los sólidos suspendidos eliminados, que consisten principalmente en materia orgánica, provocan una disminución significativa en la concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) en el efluente (Vargas, 2018).

7.16. Sedimentador Primario

El sedimentador primario suele tener un gran tamaño, que es necesario debido a los prolongados tiempos de retención hidráulica que requiere. Tras el proceso de decantación, se obtiene como resultado agua residual clarificada y un lodo primario. En circunstancias excepcionales, la sedimentación primaria puede ser el único método de tratamiento aplicado al agua, siempre y cuando la normativa lo permita y el efluente cumpla con los estándares de eliminación establecidos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la calidad del efluente podría tener un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos. Por esta razón, el tratamiento primario suele ser solo el primer paso en un proceso más extenso, generalmente complementado por tratamientos biológicos adicionales para reducir los niveles de contaminación (Vargas, 2018).

Tabla 4

Parámetros para el diseño de sedimentadores primarios.

Parámetro	Valor o rango
Tiempo de retención hidráulica	2 a 3 horas (sin tratamiento secundario posterior) 1 a 2 horas (con tratamiento biológico posterior)
Altura	2.5 a 4.0 m
Longitud	Relación 1:4 con respecto al ancho
Carga hidráulica	1 a 3 (m/h)
Velocidad horizontal máxima	> la Velocidad horizontal
Pendiente	2 a 10 %
Profundidad de la pantalla difusora	1,5 a 2,5 (m)

Distancia hacia la pantalla difusora	0,7 a 1 (m)
Profundidad del vertedero	1,5 a 2 (m)
Longitud del vertedero	0,7 a 1 (m)

Fuente: (Lozano-Rivas, 2012) y (Ortega, 2018)

7.17. Tratamientos Secundarios de Aguas Residuales

Los tratamientos secundarios, que son el enfoque de nuestra investigación, se centran en disminuir la demanda biológica de oxígeno (DBO_5). Este enfoque implica la reducción de nutrientes y contaminantes disueltos en el agua con el objetivo de facilitar la reutilización del agua y su eventual vertido en cuerpos de agua (Ormaza & Ortiz, 2020).

De acuerdo a (León, 2017), este tipo de tratamiento consiste en la eliminación de la materia orgánica disuelta y en estado coloidal a través del proceso de degradación biológica aerobia, seguido de la sedimentación. Los microorganismos proliferan en el medio filtrante, como piedra volcánica, medio plástico, gravas, entre otros. Estos microorganismos se nutren de los sólidos en suspensión y coloidales, generando biomasa que se deposita en el estanque secundario. Esta unidad de tratamiento elimina parámetros fisicoquímicos del agua residual. Las estructuras empleadas para el tratamiento secundario incluyen filtros percoladores, filtros rotatorios, estanques de lodos activados, humedales, lagunas de estabilización u oxidación, entre otras.

7.18. Filtros Percoladores

Los filtros percoladores son sistemas biológicos que emplean un biofilm, impregnada a un medio de filtración, para llevar a cabo la eliminación aerobia de la materia orgánica en aguas residuales. Estos filtros han sido empleados durante un extenso período para la depuración biológica de aguas residuales, ya sea de origen doméstico o industrial (Ramalho, 2017).

Para llenar los filtros percoladores se utiliza material permeable como piedra volcánica, plástico, etc., que facilite la formación de una película biológica en su superficie. Además, se introduce el agua residual desde la parte superior de la estructura y se distribuye de manera uniforme en el lecho filtrante, recogiendo en la parte inferior a través de un canal de unificación (Romero, 2010).

Los parámetros principales en el diseño de los filtros percoladores son la carga orgánica y la carga hidráulica:

Carga orgánica: se refiere a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) aplicada de manera diaria a una unidad de volumen de medio filtrante. Su expresión es en $kg\ DBO_5/m^3/día$ o en $mg\ DBO_5/m^3/día$, y afecta la velocidad de metabolismo en la capa biológica (León, 2017).

Carga hidráulica: se refiere al flujo diario que puede ser procesado por la superficie del medio filtrante, es decir, la carga por unidad de área, y se indica en $m^3/m^2/día$, generando las velocidades de desplazamiento de la biomasa (León, 2017).

7.18.1. Funcionamiento

El filtro percolador suele ser un recipiente que por lo general tiene una forma cilíndrica, no tiende a retener el agua, sino que posee en su interior materiales inertes que favorecen el crecimiento de microorganismos, los cuales se encargan de degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales. El tiempo para que se dé el crecimiento biológico dentro de este filtro según Mendoza & Roca (2021), es alrededor de 10 días, además se puede acelerar su crecimiento mediante la aplicación de una mezcla de agua residual sintética, que aporta nutrientes, más el agua residual a tratar, lo que permite el desarrollo de microorganismos que se adaptan al entorno. Este proceso se conoce como un biorreactor de película fija o aeróbico, el cual generalmente se basa en el flujo de aire natural para proporcionar oxígeno, a diferencia del tratamiento con lodo activado, que es un sistema de crecimiento suspendido que requiere aeración mecánica.

Según Díaz & Martínez (2018), antes los filtros percoladores empleaban rocas como medio de soporte para la biopelícula fija de limo biológico. Ahora los modernos filtros percoladores industriales, hacen uso de materiales de plástico de ingeniería, el cual debe constar de una alta relación entre área superficial y volumen, así como grandes volúmenes de espacio vacío, con el objetivo de prevenir obstrucciones y alcanzar tasas de carga elevadas (Yang et al., 2018). El afluente es distribuido sobre la parte superior de estos medios y luego se filtran hacia abajo formando una delgada película sobre la superficie del medio plástico. Aquí, el oxígeno y los compuestos orgánicos solubles recorren a través de la capa de limo y son aprovechados por la biomasa y producen desechos, como CO_2 , H_2S y nuevas bacterias o células, tal como se menciona en el estudio realizado por Torres et al. (2016).

Una biopelícula de limo se desarrolla en el medio y los microorganismos con el fin de crecer y reproducirse aprovechan la materia orgánica disuelta mientras las aguas residuales descienden al azar a través de los espacios entre los medios. Según señala Zhang et al. (2015), la población microbiana compleja es mayormente aeróbica. De acuerdo con Liu et al. (2019), el grosor inicial de la biopelícula es de aproximadamente 0,1 mm y aumenta en proporción a la carga hidráulica y orgánica, hasta que la capa externa absorbe toda la materia orgánica, lo que lleva a un crecimiento endógeno en la capa interna. Eventualmente, el crecimiento se detiene cuando las células microbianas utilizan su propio protoplasma como fuente de nutrientes en lugar de depender de fuentes externas, y pierden su capacidad de adherirse a los medios,

desprendiéndose. El material que se desprende es arrastrado por el efluente como sólidos suspendidos.

Según una revisión realizada por Stefanakis et al. (2015), las aguas residuales que van a ser tratadas mediante un filtro percolador deben recibir un tratamiento preliminar antes de ser continuadas por esta tecnología, ya que de lo contrario los sólidos podrían obstruir el filtro. Para ello, deben pasar por una criba mecánica o por clarificadores primarios, donde se disminuyen la mayor cantidad de sólidos sedimentables y flotantes. El efluente que sale del filtro percolador siempre se dirige hacia un clarificador secundario o filtro de arena, en esta parte del proceso se retienen los sólidos que se generan durante el tratamiento del agua residual. Los lodos obtenidos del clarificador final deben ser recirculados nuevamente al clarificador primario o a una unidad de espesamiento para un tratamiento adicional. En los filtros percoladores, los contaminantes son eliminados a través de procesos biológicos en un ambiente aeróbico, más no se lleva a cabo una filtración física (Mendoza & Roca, 2021).

Las bacterias se reproducen y proliferan, lo que conduce a un aumento en el espesor de la capa de material filtrante, especialmente en la parte superior del filtro biológico. Frecuentemente, los microorganismos se desprenden de las superficies de los medios de filtración y son arrastrados por el agua residual tratada (Mendoza & Roca, 2021).

7.18.2. Aplicación

Los filtros percoladores posibilitan que los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales sean absorbidos por una diversa población de microorganismos, estos pueden ser aerobios, anaerobios, bacterias facultativas, hongos, algas y protozoos, los cuales se adhieren al medio en forma de bioflim, con un grosor aproximado que va de 0,1 a 2 mm. Tan pronto como que el agua residual pasa sobre el medio, los microorganismos presentes en el agua se incorporan poco a poco a la superficie de la roca, escoria o plástico, formando una capa biológica. Posteriormente, el material orgánico es degradado por los microorganismos aeróbicos ubicados en la parte exterior de esta capa de limo (Muñoz, 2018).

Conforme la capa de limo se engrosa debido al crecimiento microbiano, la cantidad de oxígeno que pasa a través del medio se ve limitada, ya que no puede pasar y se generan organismos anaerobios. Conforme la película biológica sigue creciendo, los microorganismos que se encuentran cerca de la superficie pierden la capacidad de adherencia al medio, por lo que parte de la capa de limo del filtro resulta caerse, esta parte del proceso se llama desprendimiento. Los sólidos desprendidos son recolectados por el sistema de drenaje y dirigidos hacia un clarificador para su posterior eliminación del agua residual (Quispe & García, 2016).

7.18.3. Beneficios de un Filtro Percolador

Según Chan et al. (2015), los principales beneficios de la biofiltración incluyen la sencillez en su operación y mantenimiento, su capacidad de adaptación a variaciones en la carga, su bajo costo de construcción, diseño simple, eficiencia energética, así como su economía y la necesidad de un espacio reducido para su instalación. Sin embargo, los filtros percoladores pueden presentar algunos inconvenientes, ya que requieren un mantenimiento regular, que incluye limpieza, inspección y en ocasiones el reemplazo de medios filtrantes. Además, suelen depender de energía eléctrica para el funcionamiento de bombas o aireadores, lo que aumenta los costos operativos del sistema. Con el tiempo, existe el riesgo de obstrucción debido a la acumulación de sólidos, lo que afectaría la eficiencia del sistema si no se maneja adecuadamente. Esto podría tener un gran impacto ambiental, contaminando suelos y aguas subterráneas con efluentes derramados, lo que requeriría acciones correctivas inmediatas.

7.18.4. Criterios de Diseño para Filtros Percoladores

De acuerdo a Lozano-Rivas (2012), se menciona a continuación los criterios de diseño para filtro percoladores, según el tipo de operación y medio de contacto.

Tabla 5

Criterios de diseño para Filtros Percoladores.

ELEMENTO	CARGA BAJA	CARGA ALTA	CARGA ALTA
Medio filtrante	Piedra	Piedra	Plástico
Tamaño (cm)	2,5 a 13	2,5 a 13	Varía
Superficie específica (m^2/m^3)	60 a 70	60 a 70	80 a 200
Constante “n” del material	1,5 a 3,5	1,5 a 3,5	0,4 a 0,6 (según fabricante)
Constante de tratabilidad “K”	Agua residual doméstica sedimentada = $2,21 (m * d)^{-0,5}$ Agua residual industrial = $0,25 a 2,51 (m * d)^{-0,5}$		
Espacio vacío (%)	40 a 60	40 a 60	94 a 97
Peso específico (kg/m^3)	800 a 1450	800 a 1450	30 a 100
Carga Hidráulica ($m^3/m^2 * h$)	0,05 a 0,15	0,4 a 1,6	0,4 a 3,0
Carga orgánica ($kg DBO_5/m^3 * d$)	0,1 a 0,4	0,5 a 0,6	0,3 a 1,8

Carga orgánica para nitrificación ($kg\ DBO_5/m^3 * d$)	0,1 a 0,16	0,1 a 0,25	0,16 – 0,4
Profundidad (m)	2,0 a 2,5	2,0 a 2,5	3 a 10
Relación de recirculación	0	0,5 a 2,0	0,5 a 4,0
Arrastre de sólidos	Intermitente	Continuo	Continuo
Eficiencia de remoción de DBO_5 (%)	80 a 85	50 a 70	50 a 85
Moscas en el filtro	Muchas	Pocas	Muy pocas

Fuente: (Lozano-Rivas, 2012).

7.19. Microorganismos comunes en las aguas residuales

A continuación, se detalla cada uno de los tipos de microorganismos, los cuales son bacterias, hongos, protozoos y rotíferos.

7.19.1. Bacterias

Las bacterias son fundamentales en el proceso de tratamiento de aguas residuales, ya que representan el grupo predominante de microorganismos. Estas bacterias pueden ser heterótrofas o autótrofas, y pueden vivir en condiciones aeróbicas, anaeróbicas o facultativas, utilizando diferentes sustratos en solución. Es importante destacar que incluso 1 cm de agua residual puede albergar miles de millones de bacterias. Las bacterias prosperan mejor en un pH de 6.5 a 7.5 y no suelen tolerar extremos por encima de 9.5 o por debajo de 4.0. Además, su tasa de crecimiento se duplica aproximadamente por cada aumento de 10°C hasta alcanzar la temperatura óptima. Según Bejarano Novoa & Escobar Carvajal (2015), las bacterias representan el componente principal de los flóculos biológicos, ya que oxidan la materia orgánica y generan polisacáridos y otros polímeros extracelulares que promueven la floculación. Entre los géneros bacterianos más destacados se encuentran Zooglea, Pseudomonas, Flavobacterium, Alcaligenes, Bacillus, Achromobacter, Corynebacterium y Acinetobacter, también formas filamentosas como Beggiatoa.

7.19.2. Hongos

Los hongos son organismos multicelulares eucariotas, no fotosintéticos y heterótrofos que se alimentan de materia orgánica muerta. A diferencia de las bacterias, pueden vivir en ambientes de baja humedad y pH ácido, y requieren menos nitrógeno. Son esenciales para descomponer

residuos ácidos y con baja concentración de nitrógeno. Prefieren ambientes aerobios con un pH óptimo de alrededor de 5,6. Aparte de las bacterias, las aguas residuales incluyen una variedad de hongos, especialmente en aguas con altos niveles de materia orgánica como las aguas residuales. Por lo general, las aguas residuales domésticas contienen numerosas esporas e hifas de hongos, entre las especies comunes en estas aguas se encuentran *Leptomitium lacteus* y *Fusarium* (Bejarano Novoa & Escobar Carvajal, 2015).

7.19.3. Protozoos

Los protozoos son unicelulares, mayormente aerobios y heterótrofos, que tienen una estructura similar a un flagelo o cola, que la usan para moverse. Su tamaño varía entre 10 micras y 4 milímetros, pudiendo existir de forma individual o en colonias.

Según Bejarano Novoa & Escobar Carvajal (2015), los protozoos son esenciales en la depuración de aguas residuales, al controlar las poblaciones bacterianas y promover la formación de flóculos sedimentables. Su presencia mejora la calidad del agua al reducir la DBO₅, la turbidez y la cantidad de bacterias. Los tipos más comunes son los ciliados, flagelados y rizópodos.

7.19.4. Rotíferos

Son metazoos entre 100 y 500 μm de tamaño, estos organismos se adhieren al flóculo y desempeñan dos funciones clave en él: primero, eliminan las bacterias sueltas que no se han unido al flóculo, y segundo, contribuyen a su formación al producir materia fecal recubierta de capas de mucus (Bejarano Novoa & Escobar Carvajal, 2015).

7.20. Microorganismos que conforman la biopelícula

Según Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco (2009), la capa microbiana se divide en una sección aerobia que interactúa con el agua residual, donde ocurre la descomposición de materia orgánica y consumo de oxígeno, constituyendo el proceso de purificación. La porción de la biopelícula que toca la superficie del soporte es anaerobia. En esta zona, los microorganismos pasan a un estado de metabolismo interno debido a la falta de sustrato externo cuando la biopelícula es densa, generando gases; esto provoca la separación de la biopelícula del soporte. Este fenómeno, conocido como desprendimiento, está relacionado con las cargas orgánicas (L) que influye en el crecimiento tanto de los microorganismos como de la biopelícula en su totalidad e hidráulicas (Q) que afecta la velocidad de corte de la película.

Además de eliminar materia orgánica, los filtros percoladores pueden inducir la nitrificación; bajo condiciones adecuadas, las bacterias nitrificantes pueden desarrollarse en la biopelícula. Estas bacterias oxidan el amoníaco nitrogenado y lo transforman en nitratos. La nitrificación y la eliminación de DQO pueden ocurrir simultáneamente porque las bacterias nitrificantes y

heterotróficas (responsables de la eliminación de materia orgánica) operan con el mismo tiempo de residencia de lodos. Sin embargo, las condiciones de operación de un filtro percolador pueden favorecer la nitrificación o la eliminación de DQO (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2009).

La cantidad de bacterias presentes varía según la disponibilidad de nutrientes; cuando hay una carga alta de materia orgánica, es más probable que las bacterias heterotróficas se multipliquen en mayor medida, limitando el espacio para las nitrificadoras. La nitrificación se ve favorecida por bajas cargas hidráulicas, temperaturas elevadas, largos tiempos de retención celular y bajos niveles de DBO. La eliminación del nitrógeno amoniacal es crucial para reducir el impacto ambiental de las aguas tratadas. La comunidad biológica presente en las biopelículas de los filtros percoladores está principalmente compuesta por organismos del reino protista, incluyendo bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, hongos, algas y protozoos. Entre estos microorganismos, las bacterias facultativas son las más abundantes y desempeñan un papel crucial en la descomposición de la materia orgánica en el agua residual. La capacidad de adaptación de estas bacterias a diversos entornos ha permitido el desarrollo de filtros percoladores para eliminar compuestos orgánicos específicos de efluentes líquidos y gaseosos de procesos industriales, ya sea aprovechando las poblaciones naturales presentes o introduciendo cepas específicas (Reyes-Lara & Reyes-Mazzoco, 2009).

7.21. Sedimentador Secundario

El sedimentador secundario es un tanque en el cual el efluente se caracteriza por tener movimientos muy suaves, lo que facilita que las partículas de lodo se depositen en el fondo, dejando el líquido clarificado en la parte superior. Este proceso de separación de sólidos es importante antes de la descarga final, garantizando la producción de un efluente estable, clarificado y con niveles bajos de DBO₅, DQO y sólidos totales (Changoluisa & Naranjo, 2023).

Tabla 6

Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios.

Variable	Valor
Tiempo de retención hidráulica	3 a 5 horas
Altura	3 a 6 m
Longitud	Relación 1:4 con respecto al ancho
Carga hidráulica	0,8 a 2,5 (m/h)
Velocidad horizontal máxima	> la Velocidad horizontal
Pendiente	8 a 10 %

Profundidad de la pantalla difusora	1,5 a 3 (m)
Distancia hacia la pantalla difusora	0,7 a 1 (m)
Profundidad del vertedero	1,5 a 2,5 (m)
Longitud del vertedero	0,7 a 1 (m)

Fuente: (Lozano-Rivas, 2012) y (Ortega, 2018)

7.22. SketchUp

El software SketchUp es una herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza en una amplia gama de industrias, incluyendo la arquitectura, la ingeniería y el diseño industrial. Este software permite a los usuarios crear modelos 2D y 3D de objetos y estructuras (Martínez García et al., 2023).

7.23. Normativa Legal

Esta norma técnica facilita la identificación de límites aceptables, restricciones y reglas para realizar descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado. Proporciona una tabla con valores específicos que deben tenerse en cuenta para los criterios de calidad del agua según sus distintos usos. Además, detalla los procedimientos necesarios para detectar la presencia de contaminantes en los cuerpos de agua (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015).

A continuación, se mencionan los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, de acuerdo al Acuerdo Ministerial 097-A (2015), presentadas en el LIBRO VI - ANEXO 1 del TULSMA.

Tabla 7

Límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos Totales	ST	mg/l	1600
Temperatura	°C		Condición natural ± 3

Fuente: (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015)

8. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

¿El diseño y construcción de un sistema secundario biológico puede mejorar significativamente la eficiencia y la capacidad de tratamiento de la planta de aguas residuales anaeróbica en el Campus CEASA, contribuyendo a una gestión más efectiva y sostenible de los efluentes?

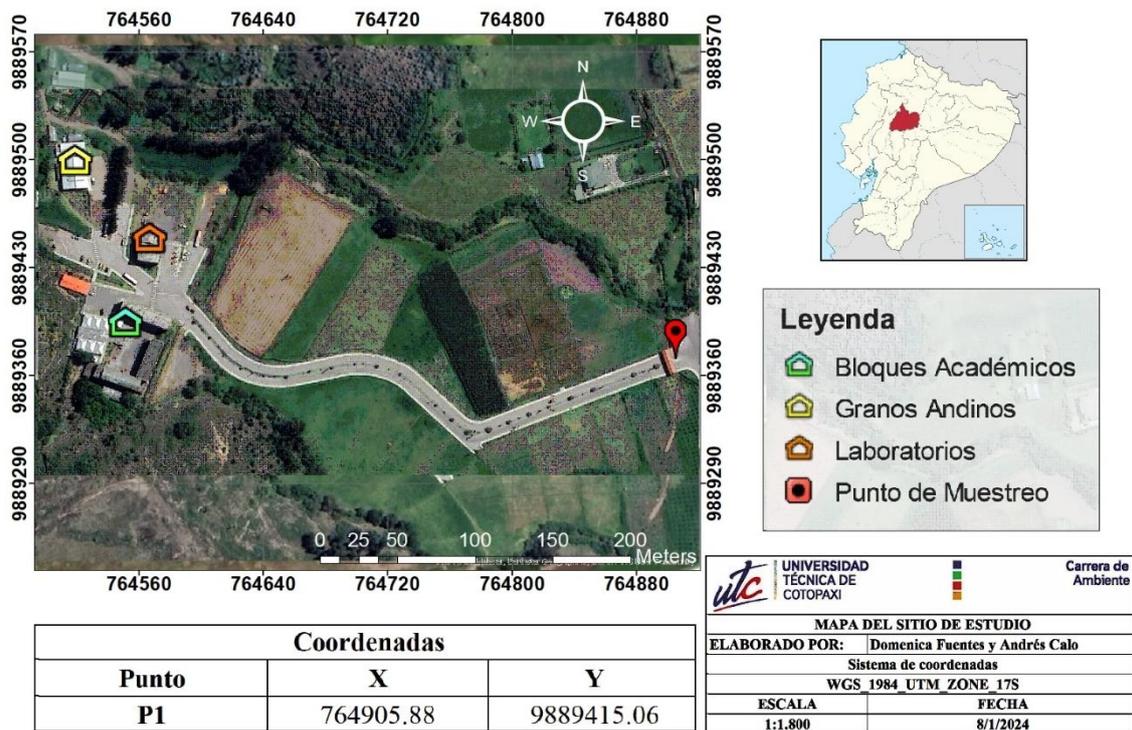
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1. Área de Estudio

El proyecto de investigación tuvo lugar en el Centro Experimental Académico Salache (CEASA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi, ubicado en la comunidad de Salache, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, con unas coordenadas UTM de (17M 764906.60 m E 9889415.10 m).

Figura 1

Mapa del área de estudio.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

9.2. Enfoque

En este estudio, se utilizó un enfoque de investigación mixta al combinar tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Esta combinación permitió obtener una comprensión más amplia y profunda del proyecto de investigación, abordando tanto sus aspectos cualitativos como cuantitativos y obteniendo resultados más completos.

9.2.1. Enfoque Cualitativo

El enfoque cualitativo en esta investigación se fundamentó en la importancia de explorar y comprender aspectos cualitativos que no se capturan adecuadamente mediante mediciones numéricas (Sánchez, 2019). En este sentido, la investigación cualitativa se centró en la comprensión detallada de las características observadas en el afluente, permitiendo la identificación de elementos subjetivos, como cambios visuales, olores, y cualquier otra manifestación sensorial que indicó la presencia de contaminantes. Este enfoque fue esencial para una evaluación más integral de la calidad del agua, ya que algunas dimensiones de la contaminación pudieron ser mejor comprendidas mediante descripciones cualitativas que no se limitaron a datos cuantitativos.

9.2.2. Enfoque Cuantitativo

La inclusión de un enfoque cuantitativo en esta investigación, se fundamentó en la recolección y análisis de datos numéricos sobre variables específicas, que después fue examinado sus características y fenómenos de manera cuantitativa (Sánchez, 2019). En esta investigación fue esencial para proporcionar mediciones precisas y objetivas de diferentes parámetros de calidad, medibles en campo y laboratorio, además permitió evaluar el rendimiento y eficiencia del sistema secundario biológico propuesto.

9.3. Técnicas

Para el desarrollo de esta investigación se aplicaron las siguientes técnicas:

9.3.1. Observación Directa

La aplicación de esta técnica permitió obtener un diagnóstico preciso del problema de estudio en su contexto natural, además de la ubicación principal para el levantamiento de información.

9.3.2. Investigación Bibliográfica

Esta técnica permitió examinar diferentes fuentes de información académica, científica y legal, obteniendo información relevante y de calidad relacionada al tema de investigación.

9.3.3. Análisis de Datos

Mediante el análisis de datos en el laboratorio de las muestras recopiladas, se establecieron las medidas óptimas para el diseño del sistema secundario biológico. Además, permitió evaluar la eficiencia del diseño, y su cumplimiento con base en la normativa ambiental vigente.

9.3.4. Técnica del Prototipado

Esta técnica permitió la construcción del sistema secundario biológico a una escala 1:10, con base en las dimensiones y características determinadas.

9.4. Equipos y Materiales

En la presente investigación, se emplearon los siguientes equipos, materiales y herramientas.

9.4.1. Equipos

- Smartphone (cámara, cronómetro y GPS)
- Computador
- Termoreactor
- Espectrofotómetro

9.4.2. Materiales

- Equipo de protección personal (mandil, guantes, gafas, mascarilla, cofia y botas)
- Botellas plásticas de 250 mL y 2000 mL
- Recipientes esterilizados de 100 mL
- Recipiente de 5 L
- Cuerda
- Marcador indeleble
- Etiquetas de información
- Cooler
- Gel refrigerante
- Reactivos de DQO
- Un vaso de precipitación de 500 ml.
- Tubería PVC reciclado
- Acoples multifunción PVC
- Soportes de madera
- Acrílico
- Bombas de agua
- Máquina de aireación

9.4.3. Herramientas

- Llaves de ajuste hidráulico
- Taladro
- Sierra de corte

9.5. Selección del Punto de Muestreo

El punto de muestreo se estableció en la caja de revisión principal, ya que es el punto de convergencia para todas las aguas residuales procedentes de las aulas, laboratorios y oficinas de la universidad. Se encuentra ubicado en el ingreso de la universidad, con unas coordenadas UTM según se indica en la Tabla 8.

Tabla 8*Coordenadas del punto de muestreo (UTM).*

Punto	X	Y
P-1	764905.88	9889415.06

Elaborado por: *Calo A. & Fuentes D. (2024).***9.6. Determinación del Caudal de las Aguas Residuales**

La medición del caudal de las aguas residuales del campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se realizó durante una semana, del lunes 04 al viernes 08 de diciembre del 2023, en intervalos de 1 hora, con horario de 07:00 a 19:00. La selección de este período se basó en el desarrollo de las actividades del centro universitario.

Para la determinación del caudal se empleó el método volumétrico. Para llevar a cabo este procedimiento, en primer lugar, se utilizó el equipo de protección personal adecuado (Ver anexo 4), después se accedió al interior de la caja de revisión con la ayuda de una escalera. Una vez en el lugar, se posicionó un recipiente de 250 mL en la salida de la tubería de descarga, y se registró con la ayuda de un cronómetro el tiempo total de llenado (Ver anexo 5). Con el volumen y tiempo medidos, se procedió a calcular el caudal mediante la siguiente fórmula:

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

9.7. Caracterización Física, Química y Biológica de las Aguas Residuales**9.7.1. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno**

La determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se llevó a cabo durante 5 días laborables, del jueves 07 al miércoles 13 de diciembre de 2023, en un horario de 08:00 a 15:30. La selección de la misma se basó en las actividades donde mayor flujo de caudal existe en el centro universitario. Se recolectaron diariamente 4 muestras compuestas, cada una formada por 4 muestras simples, recopiladas en intervalos de 30 minutos. Este proceso se fundamentó en la (NTE INEN 2169, 2013).

Para el procedimiento se accedió al interior de la caja de revisión. Una vez en el lugar, se recolectó el efluente en un balde de 5 litros. Después, se enjuagó un recipiente plástico de 250 mL con el agua residual. Posteriormente se sumergió el envase hasta que se llene sin dejar vacíos de aire, se tapó y rótulo de manera clara y permanente con los datos correspondientes, para luego ser ubicados dentro de un cooler con gel refrigerante para mantener una temperatura constante de -5 °C (Ver anexo 6).

Para obtener la muestra compuesta, se recolectaron 4 muestras simples mediante el proceso anterior. A continuación, se procedió a homogeneizarlas en un recipiente. Posteriormente, se sumergió un frasco esterilizado con capacidad de 100 ml hasta su llenado total, evitando dejar vacíos de aire (Ver anexo 7). Por último, se etiquetó la muestra y se introdujo en el cooler.

Durante este proceso se generaron un total de 80 muestras simples y de estas conformaron 20 muestras compuestas. Estas fueron trasladadas al laboratorio de Ingeniería Ambiental en el campus CEASA para llevar a cabo el análisis de los niveles de DQO.

9.7.2. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en el Laboratorio

Para la determinación del DQO, se siguió la metodología de espectrofotometría estándar según indicaba HANNA (2017). Con el equipo de protección personal (EPP) colocado correctamente, y los viales de determinación de DQO que contenían (Ácido sulfúrico, Sulfato de Mercurio II, Dicromato de Potasio y Sulfato de plata) (Ver anexo 8), se procedió a tomar 2 mL de cada muestra compuesta y se colocó en cada vial de DQO (Ver anexo 9).

Una vez colocado las muestras de 2 ml en los 4 viales correspondientes, se procedió a ubicar estos en el termoreactor de DQO calentador de probetas. Además, se dispuso de un vial adicional denominado "blanco", que se utilizará para comparar los resultados obtenidos. Los viales se expusieron a una temperatura de 150 °C durante un tiempo de duración de aproximadamente 2 horas. (Ver anexo 10).

Transcurrido el tiempo se procedió a retirar los viales del termoreactor para permitir su enfriamiento hasta alcanzar una temperatura ambiente. A continuación, se procedió a colocar las muestras en el espectrofotómetro para su medición. Es importante señalar que por cada medición se procedió a calibrar el espectrofotómetro con el vial en blanco, para luego ubicar el vial con la muestra y así obtener un resultado preciso, además se necesitó que los viales estén limpios para una correcta lectura por parte del equipo. (Ver anexo 11). Para la medición de los niveles de DQO se utilizó el test 0261 en una unidad de medida (mg/L O_2).

Este procedimiento se realizó durante 5 días, donde en cada una de ellas se midieron 4 muestras compuestas, para un total de 20 muestras compuestas en la semana de estudio.

9.7.3. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para la determinación del DBO_5 , se realizó la toma de muestras el día jueves 5 de enero de 2024, en horario de 07:30 a 13:00. La selección del horario se basó en las actividades académicas donde mayor flujo de aguas residuales produce el campus. Se recolectaron 3 muestras compuestas, cada uno conformado por 4 muestras simples en intervalos de 30 minutos cada una.

El procedimiento para la recolección y transporte de muestras fue similar al detallado para la determinación del *DQO*, con la diferencia que el tamaño de los recipientes empleados fue de 2L. Estos fueron sugeridos por el Centro de Investigación y Control Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional (CICAM), ya que dicho laboratorio fue el responsable de realizar el análisis del *DBO*₅. Durante este proceso se generaron un total de 12 muestras simples, de las cuales se conformaron 3 muestras compuestas.

El método utilizado por el laboratorio para determinar la *DBO*₅, fue el respirométrico.

9.7.4. Determinación de Coliformes Fecales, Sólidos Totales, Sólidos Suspendedos Totales, pH, Temperatura, Turbidez Oxígeno Disuelto, Nitritos y Nitratos

Para la determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos mencionados anteriormente, se llevó a cabo la toma de muestras el lunes 19, en horario de 07:30 a 13:00 horas. La elección de este horario se fundamentó en las actividades académicas que generan el mayor flujo de aguas residuales en el campus. Se recolectaron tres muestras compuestas, cada una conformada por cuatro muestras simples tomadas en intervalos de 30 minutos cada una.

El procedimiento para la recolección y transporte de muestras fue similar al descrito para la determinación del *DQO*, con la única diferencia de que se utilizaron recipientes de 2 litros, sugeridos por la Empresa Municipal de Agua Potable de Ambato (EMAPA), responsable del análisis de seis parámetros (coliformes fecales, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, nitritos y nitratos). En cuanto a la determinación del pH, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Ingeniería Ambiental en el campus CEASA, donde con la ayuda de un multiparámetro se determinaron dichos valores, excepto la turbidez (Ver anexo 12). Para este último, se empleó el método de espectrofotometría, en el cual la muestra fue introducida en un tubo de ensayo y colocada en el espectrofotómetro que previamente fue calibrada con agua destilada (Ver anexo 13)

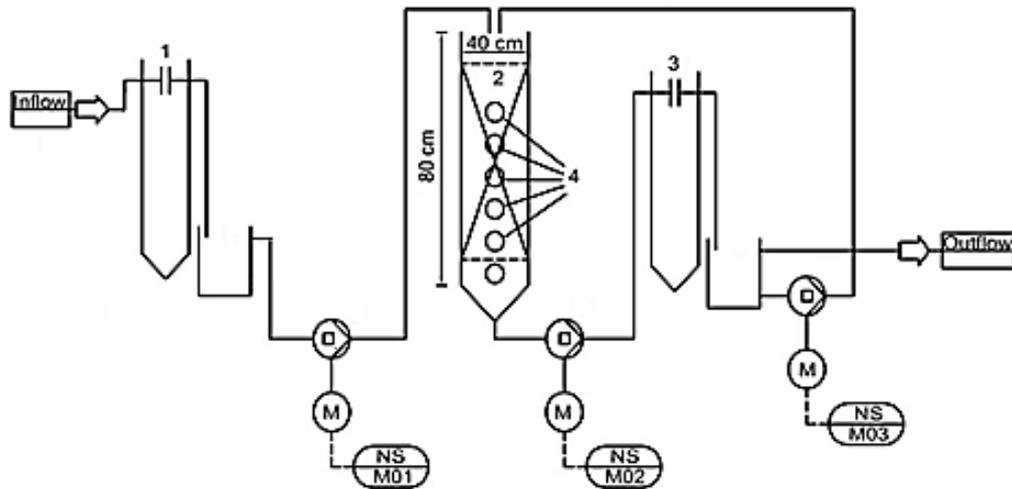
9.8. Diseño del Sistema Secundario Biológico para el Tratamiento de Aguas

Residuales

Para el diseño del sistema secundario biológico se siguió el esquema aplicado por Lemji y Eckstädt (2013), el cual consta de 3 elementos: un sedimentador primario (1), un filtro percolador (2) y un sedimentador secundario (3), según se indica en la Figura 2.

Figura 2

Esquema de un sistema secundario biológico para el tratamiento de aguas residuales.



Fuente: Lemji & Eckstädt (2013)

Para respaldar la viabilidad de implementar un sistema de tratamiento secundario biológico, fue necesario conocer el origen de las aguas residuales y su biodegradabilidad, para ello se realizó una relación entre el DQO/DBO_5 , el cual determinó la idoneidad de implementar dicho sistema de tratamiento biológico.

9.8.1. Determinación de la Biodegradabilidad de las Aguas Residuales

Para determinar la biodegradabilidad de las aguas residuales domésticas del campus CEASA, se dividió el DQO para el DBO_5 dicho resultado según la Tabla 2 determinó la viabilidad de un tratamiento secundario biológico para este tipo de aguas residuales.

$$\frac{DQO}{DBO_5} < 2,5 \quad (2)$$

9.8.2. Determinación del Origen de las Aguas Residuales

Para determinar el origen de las aguas residuales domésticas del campus CEASA, se dividió el DBO_5 para el DQO , dicho resultado según la Tabla 3 determinó el origen de las aguas residuales.

$$\frac{DBO_5}{DQO} < 0,5 \quad (3)$$

Después de analizar la viabilidad del proyecto, se procedió a realizar los cálculos para dimensionar los distintos componentes del sistema secundario biológico.

9.8.3. Caudal Medio

Para determinar el caudal medio, en primer lugar, se calculó el volumen total diario (VTD). Este valor representó, la suma total del volumen de aguas residuales en el día. Posteriormente se dividió el VTD para el número de muestras tomadas durante el día que fueron 13. Finalmente, se calculó el promedio del caudal medio (Q_m) de los cinco días muestreados.

$$Q_m = \frac{VTD}{13h} \quad (4)$$

9.8.4. Caudal Máximo Horario

Para este diseño, se empleó el caudal máximo horario (QMH). Esta elección garantizó un dimensionamiento adecuado para las condiciones de máxima demanda, además proporcionó un margen de seguridad frente a variaciones, eventos inesperados, y optimizó la eficiencia operativa al prevenir posibles sobrecargas.

Para obtener el caudal máximo horario (QMH), se multiplicó el caudal medio (Qm) por el coeficiente 3, según se recomienda en el RAS 0330 (2017).

$$QMH = Q_m * 3 \quad (5)$$

9.8.5. Sedimentador Primario

Para el dimensionamiento del Tanque Sedimentador Primario se calcularon los siguientes parámetros, con base en las ecuaciones y criterios de diseño establecidos por Lozano-Rivas (2012) y Ortega (2018) según se indica en la Tabla 4.

9.8.5.1. Velocidad de Sedimentación:

$$V_s = \frac{g \times \emptyset_{particula}^2 \times (\rho_{sólido} - \rho_{fluido})}{18 \times \mu_{fluido}} \quad (6)$$

Donde:

V_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

g : Gravedad (m/s²)

$\emptyset_{particula}$: Diámetro de la partícula (0.00001 m)

$\rho_{sólido}$: Densidad del sólido (2500 kg/m³)

ρ_{fluido} : Densidad del fluido, agua (1000 kg/m³)

μ_{fluido} : Viscosidad, agua a 21,6 °C (0.0009 $\frac{kg}{m*s}$)

Se consideró un diámetro de partícula de 0.00001 m y una densidad del sólido de 2500 kg/m³, además se estableció una temperatura de 21,6 °C para las aguas residuales. Este factor fue necesario para determinar la viscosidad del fluido. Todos estos valores se basaron en Chávez (2017).

9.8.5.2. Volumen del Tanque Sedimentador Primario:

$$V_{TS} = QMH \times TRH \quad (7)$$

Donde:

V_{TS} : Volumen del tanque sedimentador primario (m³)

QMH : Caudal máximo horario (m³/h)

TRH: Tiempo de retención hidráulica (*h*)

Se consideró un tiempo de retención hidráulica de 2 horas, de acuerdo a los criterios de diseño propuestos por Lozano-Rivas (2012).

9.8.5.3. Área Superficial:

$$A_s = \frac{V_{TS}}{h} \quad (8)$$

Donde:

A_s: Área superficial (*m*²)

V_{TS}: Volumen del tanque sedimentador primario (*m*³)

h: Altura (*m*)

Se consideró una altura de 2.5 metros con base en los criterios de diseño propuestos por Lozano-Rivas (2012).

9.8.5.4. Ancho del Tanque Sedimentador Primario:

$$B = \frac{A_s}{L} \quad (9)$$

Donde:

B: Ancho del tanque sedimentador (*m*)

A_s: Área superficial (*m*²)

L: Longitud del tanque sedimentador (*m*)

Se consideró una longitud de 4 metros, ya que según los criterios de diseño de Ortega (2018), se debe mantener una relación de largo/ancho de 4:1.

9.8.5.5. Carga Hidráulica:

$$q = \frac{Q_{MH}}{A_s} \quad (10)$$

Donde:

q: Carga hidráulica (*m/h*)

Q_{MH}: Caudal máximo horario (*m*³/*h*)

A_s: Área superficial (*m*²)

9.8.5.6. Velocidad Horizontal:

$$V_h = \frac{Q_{MH}}{B \times h} \quad (11)$$

Donde:

V_h: Velocidad horizontal (*m/h*)

Q_{MH}: Caudal máximo horario (*m*³/*h*)

B: Ancho del tanque sedimentador (*m*)

h : Altura (m)

9.8.5.7. Velocidad Horizontal Máxima:

$$V_{h\ max} = 20 \times V_S \quad (12)$$

Donde:

$V_{h\ max}$: Velocidad horizontal máxima (m/h)

V_S : Velocidad de sedimentación (m/h)

9.8.5.8. Verificación de Suspensión de Partículas:

$$V_{h\ max} > V_h \quad (13)$$

Según Lozano-Rivas (2012), es necesario que la velocidad horizontal máxima sea mayor que la velocidad horizontal, para que no exista suspensión de las partículas en el tanque.

9.8.5.9. Pendiente de la Zona de Depósito y Eliminación de los Sólidos

Sedimentados:

El fondo del tanque está formado por una tolva con una pendiente del 10%, conforme a los criterios de diseño propuestos por Ortega (2018), esta inclinación facilita el desplazamiento de los sólidos hacia el conducto destinado a la limpieza de los sedimentos acumulados.

9.8.5.10. Pantalla Difusora:

La pantalla difusora fue fijada a una distancia de 0.7 m desde la pared de entrada, en base a los criterios de diseño propuestos por Ortega (2018).

9.8.5.11. Profundidad de la Pantalla Difusora:

$$P_{pd} = h - \frac{2}{5}(h) \quad (14)$$

Donde:

P_{pd} : Profundidad de la pantalla difusora (m)

h : Altura (m)

9.8.5.12. Vertedero de Salida:

La longitud del vertedero de salida se consideró en 0.7 metros, desde la pared de salida hacia el exterior del tanque. Además, la altura de la cresta del vertedero se fijó en 2 metros con relación a la altura total del tanque, conforme a los criterios de diseño establecidos por Ortega (2018).

9.8.5.13. Profundidad del Vertedero:

$$p_{vertedero} = h - \frac{2}{5}(h) \quad (15)$$

Donde:

$p_{vertedero}$: Profundidad del vertedero de salida (m)

h : Altura (m)

9.8.6. Filtro Percolador

Para el dimensionamiento del Filtro Percolador, se calcularon los siguientes parámetros, en base a las ecuaciones y criterios de diseño establecidos por Lozano-Rivas (2012), según se indica en la Tabla 4.

9.8.6.1. Carga Másica:

$$Cm = QMH \times C_{contaminante} \quad (16)$$

Donde:

Cm : Carga másica ($kg/día$)

QMH : Caudal máximo horario ($m^3/día$)

$C_{contaminante}$: Carga contaminante del DBO_5 (Kg/m^3)

Para determinar este valor, se calculó el promedio de los valores obtenidos durante la fase de laboratorio de la DBO_5 .

9.8.6.2. Volumen del Soporte del Filtro Percolador:

$$V_{soporte} = \frac{Cm}{C_{orgánica}} \quad (17)$$

Donde:

$V_{soporte}$: Volumen del soporte (m^3)

Cm : Carga másica ($kg/día$)

$C_{orgánica}$: Carga orgánica de trabajo ($\frac{kg}{m^3 \cdot día}$)

Se fijó la carga orgánica de trabajo en $1,3 \left(\frac{kg}{m^3 \cdot día}\right)$, según los criterios de diseño propuestos por la Lozano-Rivas (2012).

9.8.6.3. Área Superficial:

$$A_s = \frac{V_{soporte}}{h} \quad (18)$$

Donde:

A_s : Área superficial (m^2)

$V_{soporte}$: Volumen del soporte (m^3)

h : Se estableció una altura de 4.5 m, según los criterios de diseño propuestos por Lozano-Rivas (2012).

9.8.6.4. Radio del Filtro Percolador:

$$r = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}} \quad (19)$$

Donde:

r : Radio del filtro percolador (m)

A_S : Área superficial (m^2)

9.8.6.5. Carga Hidráulica:

$$q = \frac{QMH}{A_S} \quad (20)$$

Donde:

q : Carga hidráulica ($\frac{m^3}{m^2 * día}$)

QMH : Caudal máximo horario ($m^3/día$)

A_S : Área superficial (m^2)

9.8.6.6. DBO_5 del Efluente:

$$S = S_o \times e^{\frac{-k*h}{q^n}} \quad (21)$$

Donde:

S : DBO_5 del efluente (mg/L)

S_o : DBO_5 del afluente de entrada (mg/L)

e : Valor de Euler

k : Constante de tratabilidad ($m \times día$)^{-0.5}

h : Altura del filtro percolador (m)

q : Carga hidráulica ($\frac{m^3}{m^2 * día}$)

n : 0.5

Se consideró una constante de material de 0.5 (plástico PVC). En cuanto a la constante de tratabilidad de aguas residuales domésticas, se aplicó el valor de $2.21 (m^3 \times día)^{-5}$, de acuerdo a los criterios de diseño según Lozano-Rivas (2012).

9.8.6.7. DBO_5 del Efluente, Tomando en Cuenta la Recirculación:

$$S_r = \frac{S_o + (R \times S)}{1 + R} \times e^{\frac{-k*h}{q^n}} \quad (22)$$

Donde:

S_r : DBO_5 del efluente de salida con recirculación (mg/L)

S_o : DBO_5 del afluente de entrada (mg/L)

S : DBO_5 del efluente (mg/L)

R : Coeficiente de recirculación (1)

Se consideró un valor de 1, según los criterios de diseño propuesto por Lozano-Rivas (2012), ya que una parte del agua residual, retornara nuevamente al filtro percolador una vez pasado por el sedimentador secundario.

9.8.6.8. Eficiencia:

$$E = \left(1 - \frac{S_r}{S}\right) \times 100 \quad (23)$$

Donde:

E : Eficiencia del filtro percolador (%)

S_r : DBO_5 del efluente de salida con recirculación (mg/L)

S : DBO_5 del efluente (mg/L)

9.8.7. Sedimentador Secundario

Para el dimensionamiento del Tanque Sedimentador Primario se calcularon los siguientes parámetros, en base a las ecuaciones y criterios de diseño establecidos por Lozano-Rivas (2012) y Ortega (2018) según se indica en la Tabla 6.

9.8.7.1. Velocidad de Sedimentación:

$$V_s = \frac{g \times \phi_{particula}^2 \times (\rho_{sólido} - \rho_{fluido})}{18 \times \mu_{fluido}} \quad (24)$$

Donde:

V_s : Velocidad de sedimentación (m/s)

g : Gravedad (m/s^2)

$\phi_{particula}$: Diámetro de la partícula ($0.000001m$)

$\rho_{sólido}$: Densidad del sólido ($1800 kg/m^3$)

ρ_{fluido} : Densidad del fluido, agua ($1000 kg/m^3$)

μ_{fluido} : Viscosidad, agua a $21,6^\circ C$ ($0.0009 \frac{kg}{m*s}$)

Se consideró un diámetro de partícula de $0.000001 m$ y una densidad del sólido de $1800 kg/m^3$, para aguas residuales domésticas, según indica Osorio et al. (2021), ya que en esta etapa del tratamiento, estos parámetros son de menor tamaño y densidad en comparación con los del primer sedimentador.

Se estableció una temperatura de $21,6^\circ C$ para las aguas residuales, de acuerdo a Chávez (2017). Este factor fue necesario para determinar la viscosidad del fluido.

9.8.7.2. Volumen del Tanque Sedimentador Secundario:

$$V_{TS} = QMH \times TRH \quad (25)$$

Donde:

V_{TS} : Volumen del tanque sedimentador secundario (m^3)

QMH : Caudal máximo horario (m^3/h)

TRH : Tiempo de retención hidráulica (h)

Se consideró un tiempo de retención hidráulica de 3 horas, de acuerdo a los criterios de diseño propuestos por Lozano-Rivas (2012).

9.8.7.3. Área superficial:

$$A_s = \frac{V_{TS}}{h} \quad (26)$$

Donde:

A_s : Área superficial (m^2)

V_{TS} : Volumen del tanque sedimentador secundario (m^3)

h : Altura (m)

Se consideró una altura de 3 metros en base a los criterios de diseño propuestos por Ortega (2018).

9.8.7.4. Ancho del Tanque Sedimentador Primario:

$$B = \frac{A_s}{L} \quad (27)$$

Donde:

B : Ancho del tanque sedimentador (m)

A_s : Área superficial (m^2)

L : Longitud del tanque sedimentador (m)

Se consideró una longitud de 4 metros, ya que según los criterios de diseño de Ortega (2018), se debe mantener una relación de largo/ancho de 4:1.

9.8.7.5. Carga Hidráulica:

$$q = \frac{QMH}{A_s} \quad (28)$$

Donde:

q : Carga hidráulica (m/h)

QMH : Caudal máximo horario (m^3/h)

A_s : Área superficial (m^2)

9.8.7.6. Velocidad Horizontal:

$$V_h = \frac{QMH}{B \times h} \quad (29)$$

Donde:

V_h : Velocidad horizontal (m/h)

QMH : Caudal máximo horario (m^3/h)

B : Ancho del tanque sedimentador (m)

h : Altura (m)

9.8.7.7. Velocidad Horizontal Máxima:

$$V_{h\ max} = 20 \times V_S \quad (30)$$

Donde:

$V_{h\ max}$: Velocidad horizontal máxima (m/h)

V_S : Velocidad de sedimentación (m/h)

9.8.7.8. Verificación de Suspensión de Partículas:

$$V_{h\ max} > V_h \quad (31)$$

Según Lozano-Rivas (2012), es necesario que la velocidad horizontal máxima sea mayor que la velocidad horizontal, para que no exista suspensión de las partículas en el tanque.

9.8.7.9. Pendiente de la Zona de Depósito y Eliminación de los Sólidos**Sedimentados:**

El fondo del tanque está formado por una tolva con una pendiente del 10%, conforme a los criterios de diseño propuestos por Ortega (2018), esta inclinación facilita el desplazamiento de los sólidos hacia el conducto destinado a la limpieza de los sedimentos acumulados.

9.8.7.10. Pantalla Difusora:

La pantalla difusora fue fijada a una distancia de 0.7 m desde la pared de entrada, en base a los criterios de diseño propuestos por Ortega (2018).

9.8.7.11. Profundidad de la Pantalla Difusora:

$$P_{pd} = h - \frac{2}{5}(h) \quad (32)$$

Donde:

P_{pd} : Profundidad de la pantalla difusora (m)

h : Altura (m)

9.8.7.12. Vertedero de Salida:

La longitud del vertedero de salida se consideró en 0.7 metros, desde la pared de salida hacia el exterior del tanque. Además, la altura de la cresta del vertedero se fijó en 2.5 metros con relación a la altura total del tanque, conforme a los criterios de diseño establecidos por Ortega (2018).

9.8.7.13. Profundidad del Vertedero:

$$p_{vertedero} = h - \frac{2}{5}(h) \quad (33)$$

Donde:

$p_{vertedero}$: Profundidad del vertedero de salida (m)

h : Altura (m)

9.8.8. *Diseño Gráfico en 3D del Sistema de Tratamiento Secundario Biológico*

Para el diseño gráfico del sistema secundario biológico propuesto y sus elementos, se empleó el Software SketchUp, un programa de modelamiento 3D. Se realizó una investigación sobre el uso de este software mediante la revisión de videos, páginas web, etc., con el fin de obtener información y conocer el proceso interactivo de diseño en 3D.

9.8.8.1. **Modelamiento Gráfico del Sedimentador Primario, Filtro Percolador y Sedimentador Secundario**

Una vez obtenido las dimensiones para cada elemento del sistema secundario biológico, se procedió al uso del software SketchUp, mediante el siguiente proceso: primero, en la ventana de herramientas se seleccionó *Cámara*, luego la opción de *Proyección paralela* y con ello se empleó las herramientas como: *línea*, *medir* y *rectángulo*, para dibujar los sedimentadores tanto primario y secundario; las herramientas *medir*, *círculo* y *línea*, para dibujar el cilindro del filtro percolador, según las dimensiones de cada uno. Posteriormente se seleccionó nuevamente *Cámara* y luego la opción *Perspectiva*, en esta parte se utilizó la herramienta *empujar/tirar* para darles un modelado 3D.

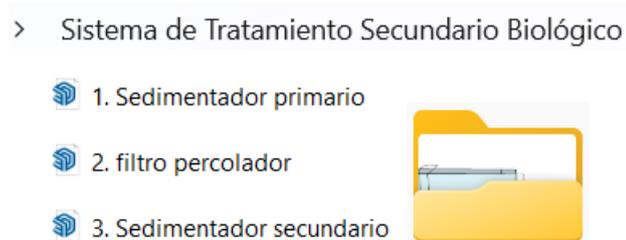
Finalmente se empleó la función acotación, esta herramienta ayudó a colocar las medidas, a partir del diseño tanto del sedimentador primario, del filtro percolador y del sedimentador secundario, permitiendo que se cumpla los parámetros diseñados anteriormente.

Se creó una carpeta con el nombre “Sistema de Tratamiento Secundario Biológico” como se muestra en la Figura 3, en donde se colocó cada modelo previamente diseñado en formato 3D y las carpetas del programa.

El proceso de modelamiento en 3D, fue el mismo tanto para el diseño del sistema completo, así como cada uno de sus elementos.

Figura 3

Carpeta de trabajo para SketchUp.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

9.9. Construcción del Sistema Secundario Biológico, Piloto a Escala 1:10

Para la construcción del sistema de tratamiento secundario biológico, se siguió el diseño aplicado por Lemji y Eckstädt (2013), como se observa en la Figura 2. Este sistema consta de 3 componentes ubicados a un mismo nivel. La escala que se utilizó para la construcción de la planta piloto fue de 1:10.

Primero, se construyó el tanque sedimentador primario, el cual fue el encargado de captar las aguas residuales y sedimentar los sólidos de mayor diámetro y densidad que se presenten en esta etapa. A continuación, se instaló una conexión mediante una tubería y acoples multifunción de ½ pulgada para que, con la ayuda de una bomba de agua, el fluido pase al siguiente proceso. Segundo, en el filtro percolador se implementó un distribuidor de flujo fijo, para que la salida del fluido sea uniforme al momento de salir y pasar por el medio filtrante de plástico (PVC) y así dirigirse a la siguiente etapa por medio de una conexión de tubería y una segunda bomba de agua.

Por último, se construyó un segundo tanque sedimentador, el cual fue el encargado de sedimentar los sólidos que aún estaban presentes en el efluente, logrando una clarificación del fluido en tratamiento. En este último tanque se implementó dos conductos de salida por donde, una porción del agua clarificada es dirigida nuevamente al filtro percolador para cumplir con la recirculación establecida, mientras que el otro conducto fue destinado para la salida del agua tratada hacia la zona de descarga, según las especificaciones del sistema secundario biológico diseñado (Ver anexo 14).

En este proceso fue necesario el uso de herramientas como: la sierra, para el corte de los tubos y la llave hidráulica para el ajuste de los mismos. Además, se implementaron 2 soportes de madera para asegurar la estabilidad de los tanques sedimentadores.

9.10. Construcción del Medio Filtrante

El medio filtrante implementado en la planta piloto, fue de plástico PVC (policloruro de vinilo) pues según Lozano-Rivas (2012), es recomendable usar este tipo de material porque posee una eficiencia mayor que materiales como roca y piedra. Además, es compatible con procesos biológicos, fácil de mantener y económico, siendo un medio eficiente y rentable para el tratamiento de aguas.

Para fomentar la reutilización de materiales, el filtro fue elaborado utilizando tubería de PVC reciclado, el cual se adquirió en cuatro diferentes medidas de diámetro, (51, 40, 25 y 10)mm. Estos fueron cortados en longitudes de 30 mm y perforados con diámetros de 3 mm (Ver anexo 15), donde se obtuvo 200 piezas de cada tipo de diámetro, a excepción del tubo de 10 mm del cual solo se obtuvieron 100 piezas, sumando un total de 700 piezas.

Cada filtro fue formado por 3 segmentos de tubos, de diámetros de 51 mm, 40 mm y 25mm respectivamente. Estos tubos fueron insertados de manera concéntrica cruzada, desde el diámetro más pequeño hasta el más grande, logrando un ajuste firme (Ver anexo 16).

Después del ensamblaje, se obtuvieron 200 piezas que fueron colocadas dentro del filtro percolador. Los segmentos del tubo restantes con un diámetro de 10 mm, fueron ubicados en las zonas más reducidas del filtro percolador evitando dejar grandes espacios vacíos (Ver anexo 17).

9.11. Cálculo del Área Total del Medio Filtrante

Para conocer el área de superficie total del medio filtrante, se aplicaron las siguientes fórmulas geométricas, según Mántica y Götte (2022).

9.11.1. Área Superficial Lateral Exterior del Tubo:

$$Al_{externo} = (2 \times \pi \times r \times h) \quad (34)$$

Dónde:

Al : Área lateral del cilindro (m^2)

r : Radio del cilindro (m)

h : Altura del cilindro (m)

9.11.2. Área Superficial Lateral Interior del Tubo:

Para determinar el área interior lateral del tubo se aplicó la anterior fórmula, teniendo en cuenta su ancho de perfil, puesto que este es de menor radio.

$$Al_{interno} = (2 \times \pi \times r \times h) \quad (35)$$

9.11.3. Área Lateral Superficial Externo e Interno del Tubo:

$$Al_T = Al_{externo} + Al_{interno} \quad (36)$$

9.11.4. Área de la Corona Circular o Perfil del Tubo:

$$Ac = (\pi \times (r_{mayor}^2 - r_{menor}^2)) \times 2 \quad (37)$$

Dónde:

Ac : Área del perfil del tubo (m^2)

r_{mayor} : Radio exterior del perfil del tubo (m)

r_{menor} : Radio interior del perfil del tubo (m)

Se multiplico por 2, puesto que el área del perfil superior fue el mismo que del perfil inferior.

9.11.5. Área de los Orificios del Medio Filtrante:

$$Ao = (\pi \times r^2) \times \# \text{ de orificios} \quad (38)$$

Donde:

Ao : Área total de los orificios en el tubo (m^2)

r : Radio del orificio (m)

de orificios: Número de orificios que se encuentran en cada tubo.

9.11.6. Área Total del Medio Filtrante:

$$A_T = Al_T + Ac - Ao \quad (39)$$

Donde:

A_T : Área total del medio filtrante (m^2)

Al_T : Área lateral interno y externo (m^2)

Ac : Área del perfil del tubo (m^2)

Ao : Área total de los orificios en el tubo (m^2)

9.12. Desarrollo de la Biopelícula en el Medio Filtrante

Para el crecimiento de los microorganismos, en el medio filtrante dentro del filtro percolador se siguió el siguiente proceso:

En el primer día, se añadió en el filtro percolador una mezcla de agua residual sintética (Ver anexo 18), en proporciones que se observa en la Tabla 9, siguiendo las indicaciones de Cedeño (2016). Además con el propósito de optimizar el desarrollo de los microorganismos, se dejó reposar el agua residual sintética por un período de 24 horas de acuerdo a lo establecido por Li et al. (2016). Este tiempo permitió que los microorganismos se adhirieran al material filtrante y se adaptaran al medio.

A partir del segundo día se fue añadiendo una nueva mezcla de agua sintética durante 12 días, con el objetivo de mejorar la velocidad de formación. Además, se acoplo un sistema de aireación y recirculación para proporcionar oxígeno, logrando estimular el crecimiento de microorganismos.

A partir del quinto día, se comenzaron a evidenciar signos de presencia de microorganismos en áreas específicas del material filtrante, manifestándose con una apariencia blanquecina y viscosa (Ver anexo 19). La biopelícula progresivamente cubrió la extensión del material filtrante, alcanzando un grosor de 1 mm en gran parte del área total del plástico PVC. Estos indicadores señalaron que el sistema estaba preparado y listo para su funcionamiento.

Tabla 9

Materias primas para la preparación del agua residual sintética.

Materia Prima	Cantidad	Unidad
Agua	20	L
Sacarosa	21,9	g
Fosfato de Amonio	0,1	g

Sulfato de Amonio	0,5	g
Lisina	0,5	g

Elaborado por: *Calo A. & Fuentes D. (2024).*

9.13. Análisis en el Laboratorio del Agua Residual Filtrada

Para comprobar la eficiencia del Sistema Secundario Biológico, se recolecto 1 muestra del agua residual tratada en el día 5, contando a partir del funcionamiento del sistema (Ver anexo 20). Estas muestras fueron sometidas a un análisis de laboratorio, donde se utilizó el método respirométrico para determinar el valor de DBO_5 y el método de espectrofotometría para determinar el valor de DQO .

Adicionalmente se recolecto una nueva muestra del agua residual tratada en el día 15. Esta fue enviada al laboratorio para el análisis de diferentes parámetros físicos químicos y biológicos (coliformes fecales, solidos totales, solidos suspendidos totales, nitritos y nitratos). En cuanto para la determinación del Potencial de hidrógeno, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto, esta muestra fue transportada al laboratorio de la universidad para su determinación de acuerdo a la metodología ya detallada para la caracterización de las aguas residuales. El proceso de muestreo y transporte se fundamentó en la NTE INEN 2169 (2013).

9.14. Comparación de los Resultados con la Normativa Ambiental Vigente

Se realizó una comparación de los resultados post tratamiento del agua residual, con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce, establecidos en la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097-A (2015).

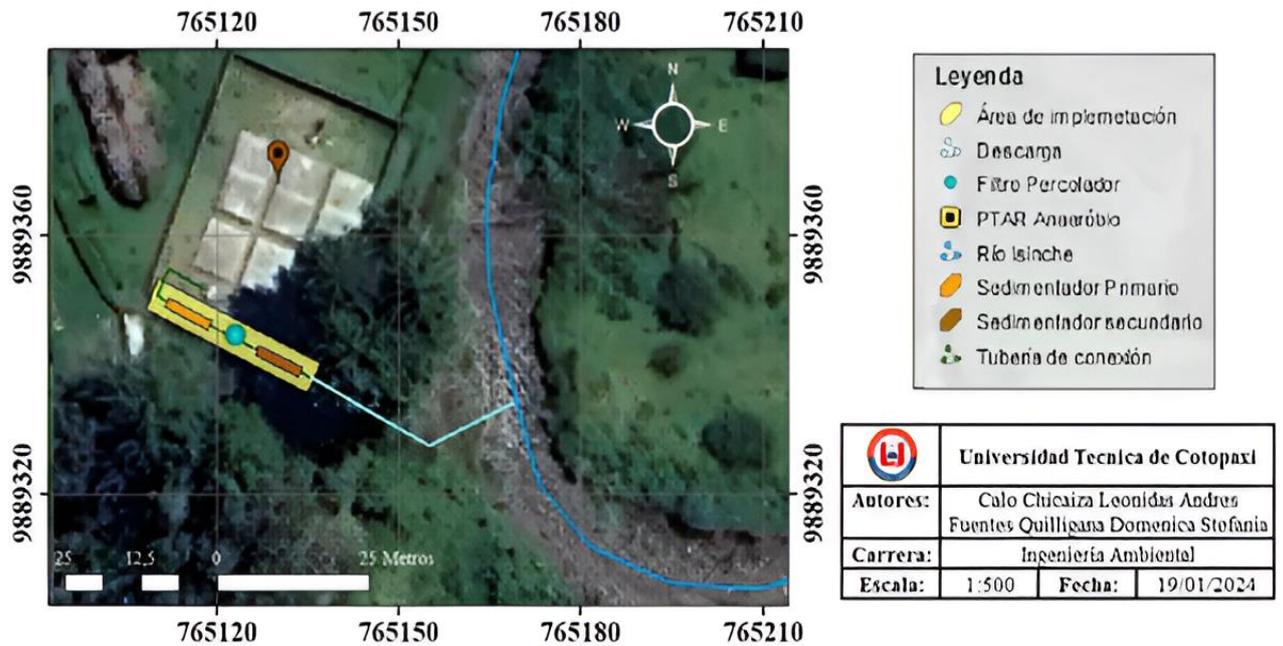
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1. Zona de Implementación del Sistema Secundario Biológico

El sitio para la implementación del sistema secundario biológico, se ubica en el área contigua a la planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia, como se indica en la Figura 4. La finalidad de esta ubicación es que se integre el sistema propuesto a la PTAR ya existente, con el objetivo de elevar la eficacia del tratamiento de las aguas residuales, asegurando el cumplimiento de los límites permisibles, para su descarga en el río Isinche.

Figura 4

Área de implementación del sistema secundario biológico propuesto.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

10.2. Registro de Caudales

A continuación, se presenta en la Tabla 10, los caudales registrados durante la fase de campo, y una vez aplicado las fórmulas (1) y (4), se obtuvo los siguientes valores.

Tabla 10

Datos de caudales registrados.

Fecha de muestreo	Volumen total diario (m ³)	Caudal medio diario (m ³ /h)
Lunes 04/12/2023	13,80	1,06
Martes 05/12/2023	20,10	1,55
Miércoles 06/12/2023	19,59	1,51
Jueves 07/12/2023	16,40	1,26
Viernes 08/12/2023	17,38	1,34
Caudal medio total (Qm)		1,34

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Según los datos registrados en la Tabla 10, se evidencia que los días con mayor caudal de aguas residuales en el campus, son el martes (1,55 m³/h) y miércoles (1,51 m³/h). Mientras a nivel horario se identificó, un intervalo de tiempo entre las 10:00 y las 14:00 horas, durante el cual los niveles de caudal son significativamente más altos en comparación con otros momentos del día, con valores que oscilan entre 1,03 m³/h hasta 2,68 m³/h (Ver anexo 21), dando un caudal

medio diario de $1,34 \text{ m}^3/\text{h}$. Estos valores indican que durante estos períodos existe una mayor actividad en el campus, causando un mayor uso del recurso hídrico, por ende, las descargas de aguas contaminadas son mayores. Estos resultados muestran un aumento con respecto a los obtenidos por Changoluisa & Naranjo (2023), donde los niveles de caudal más altos oscilaban entre $1,01 \text{ m}^3/\text{h}$ a $1,61 \text{ m}^3/\text{h}$. Además, el intervalo de horario en el que se registraban estos valores fue entre las 11:00 a 14:00 horas, finalmente el caudal medio diario calculado por aquellos autores fue de $1,04 \text{ m}^3/\text{h}$. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, se evidencia un aumento del 30% en la generación de aguas residuales en el campus CEASA con respecto al estudio del año 2023, además el horario de mayor flujo se ha extendido una hora más.

10.3. Registro de Datos de la Demanda Química de Oxígeno

Una vez realizado el procedimiento en campo y laboratorio, se obtuvieron los siguientes datos de DQO que se detalla en la Tabla 11, donde se observa el promedio diario y el promedio total.

Tabla 11

Niveles de DQO por cada muestra compuesta.

Fecha de muestreo	Promedio DQO diario (mg/L O ₂)
Jueves 07/12/2023	653
Viernes 08/12/2023	601,5
Lunes 09/12/2023	523,3
Martes 10/12/2023	706,5
Miércoles 11/12/2023	590,8
Promedio total DQO (mg/L O₂)	615

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a los datos registrados en la Tabla 11, se observa que los días con mayor cantidad de materia orgánica oxidable generada, fue los lunes ($1,51 \text{ mg/L O}_2$) y los viernes ($1,55 \text{ mg/L O}_2$). Unos valores más detallados, revelo que durante el intervalo de 11:30 a 13:30 horas, los niveles de DQO mostraron un aumento significativo en comparación con otros momentos del día, con cantidades que variaban entre 460 mg/L O_2 hasta alcanzar los 763 mg/L O_2 (Ver anexo 22), obteniendo un promedio total diario de 615 mg/L O_2 . Estos resultados indicaron que durante estos períodos existe una mayor generación de material orgánico contaminante, debido a las actividades antropogénicas que se generan en el campus. Estos hallazgos muestran un ligero aumento en comparación con los resultados obtenidos por Changoluisa & Naranjo (2023), En su investigación, los niveles de DQO oscilaron entre 500 mg/L O_2 hasta 1003 mg/L

O₂, siendo este último valor un caso puntual, además el promedio diario de DQO calculado según los autores fue de 605 mg/L O₂. Por consiguiente, al considerar lo mencionado anteriormente y al analizar estos hallazgos, se demuestra un crecimiento leve en la generación de materia orgánica oxidable, con un aumento del apenas 2% en comparación al estudio realizado en el año 2023. Otro aspecto donde se evidencio una variación fue en el horario de mayor generación de DQO, ya que en el presente proyecto el pico de producción de materia orgánica debido a actividades humanas se presentó al mediodía y no en la mañana como mencionan dichos autores.

10.4. Datos Registrados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Una vez realizado el procedimiento en campo y enviado al laboratorio certificado “CICAM” (Ver anexos 23, 24, 25), se obtuvieron los siguientes datos de DBO₅, como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12

Niveles de DBO₅ por cada muestra compuesta.

Jueves 04/01/24		
N.º	Hora	DBO₅ (mg/L O₂)
1	9:00	490,8
2	11:00	368,5
3	13:00	380,7
Promedio		413,33

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Según la Tabla 12, se observa que el promedio diario de DBO₅ generado en el campus CEASA, fue de 413,33 mg/L O₂. Este valor indica una elevada producción y presencia de materia orgánica biodegradable en las aguas residuales producidas en el campus. Al comparar estos resultados con los hallazgos encontrados por Guerrero (2023), donde el promedio total de DBO₅ registrado en su investigación fue de 370,06 mg/L de O₂, se evidencia un aumento del 11% en la generación de materia orgánica biodegradable en comparación con el estudio del año 2023. Este incremento en los valores de caudal, DQO y DBO₅, se debe al aumento de estudiantes en el campus, ya que, con la incorporación de nuevas carreras, la población estudiantil creció con respecto a años anteriores, por ende, la demanda sobre el recurso hídrico es mayor aumentando su nivel de contaminación en el centro universitario.

10.5. Datos Registrados de los parámetros físicos, químicos y biológicos

Una vez realizado el procedimiento en campo y enviado al laboratorio certificado “EMAPA” (Ver anexos 26, 27 y 28), excepto parámetros como el pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto que fueron analizados en el laboratorio de la facultad CAREN, se obtuvieron los siguientes datos, como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13

Parámetros físicos, químicos y biológicos por cada muestra compuesta.

Parámetros	M1 (9:00)	M2 (11:00)	M3 (13:00)	Promedio	Unidad
Coliformes Fecales	2374,03	2861	1840,14	2258,33	NMP/100ml
pH	8,81	9,12	8,79	8,91	-----
Temperatura	21,52	21,84	21,45	21,60	°C
Solidos Totales	2419	2528	2237	2394,67	mg/L
Solidos Suspendidos	915	1146,15	1043,26	1034,67	mg/L
Totales					
Turbidez	38	68	49	51,67	UNT
Oxígeno Disuelto	88,7	90,1	94,4	91,07	%
Nitritos	0,135	0,189	0,119	0,15	mg/L
Nitratos	17,1	26,4	22,3	21,93	mg/L

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Según la Tabla 13, se observa que la presencia de estos parámetros es superior, en el horario de 09:00 a 11:00 horas, con respecto al resto de día. Sin embargo, no muestran una diferencia significativa con respecto a los demás datos, lo que indica una regularidad de cantidades en la generación y presencia de estos parámetros y contaminantes. Los valores promedio de todas las variables medidas, están por encima de los límites permisibles estipulados en la ley, a excepción del pH, cuyo valor promedio es de 8,91 unidades, ajustándose a los estándares para aguas residuales destinadas a la descarga de agua dulce. En el caso de los coliformes fecales su valor promedio es de 2258,33 NMP/100ml, esto indica una contaminación microbiológica en las aguas residuales por desechos de humanos y animales, según menciona León (2017). El valor de temperatura promedio de las aguas residuales fue de 21,60 °C, indicando que no existen fluctuaciones significativas en este parámetro, resultando favorable para el proceso de tratamiento biológico. La turbidez, con un promedio de 51,67 UNT, indica una alta cantidad de partículas en suspensión en el agua, lo que puede dificultar su tratamiento, según indican Bendezu & Martínez (2017). Por lo tanto, es necesario implementar medidas para reducir la

turbidez y mejorar la calidad visual del agua previo al tratamiento biológico. En cuanto al oxígeno disuelto, su valor promedio fue de 91,07% de saturación, lo que indica un buen nivel de oxigenación, esto es positivo para el desarrollo de los microorganismos en el filtro percolador. En los nitritos y nitratos, los valores promedio fueron de 0,15 mg/l y 21,93 mg/l respectivamente, lo que demuestra que existe un valor mínimo en el caso de los nitritos, sin embargo, en los nitratos los niveles son más elevados demostrando que existe una generación de residuos de alimentos y laboratorio. Por último, los sólidos suspendidos totales y sólidos totales tienen un valor promedio de 2394,67 mg/l y 1034,67 mg/l respectivamente, indicando una alta generación de material fecal y alimentos no digeridos. Al comparar algunos parámetros con los hallazgos encontrados por Guerrero (2023), se evidencia un incremento en la generación de efluente residual con sólidos suspendidos totales y sólidos totales, lo que indica que en la universidad existe un crecimiento en la generación de material fecal, alimentos no digeridos, y restos de productos de higiene personal y limpieza, que son los principales contribuyentes a la cantidad de sólidos suspendidos totales y sólidos totales, según indica Muñoz (2018). Además, en otro sentido, la caracterización del agua y sus contaminantes confirma la viabilidad de implementar un sistema secundario biológico, ya que la mayoría de los parámetros son beneficiosos para lograr una degradación eficiente de los contaminantes.

10.6. Diseño del Sistema Secundario Biológico para el Tratamiento de Aguas

Residuales

El diseño del sistema consto de varios procedimientos, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados correspondientes a cada fase del proceso.

10.6.1. Biodegradabilidad y Origen de las Aguas Residuales

Una vez aplicado las fórmulas (2), (3) y considerando los criterios de la Tabla 2 y 3, se determinó el nivel de biodegradabilidad del efluente contaminado, además de su origen, según se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14

Nivel de Biodegradabilidad y origen del efluente contaminado.

Parámetros	Valor	Descripción
Biodegradabilidad	$1,49 < 2,5$	Muy biodegradable
Origen	$0,67 > 0,5$	Vertidos de naturaleza urbana biodegradables

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Los resultados que se observan en la Tabla 14, indican un valor de biodegradabilidad de 1,49 y 0,67 para la determinación de la naturaleza del vertido. Estas cantidades demuestran que las aguas residuales producidas en el campus CEASA, son muy biodegradables, es decir los componentes orgánicos presentes en el efluente, pueden descomponerse a través de diferentes procesos biológicos. En cuanto al origen del agua residual producida en el campus, según la misma tabla indica que son de naturaleza urbana biodegradable, lo que señala que en las instalaciones de la Universidad no se produce vertidos que se puedan considerar industriales, pues este tipo de efluente necesitaría un tratamiento más avanzado para eliminar sus contaminantes, y no se podría descomponerse mediante algún tipo de tratamiento biológico. Estos resultados son respaldados por Calero (2020), quien refiere que para considerar que el material orgánico presente en las aguas residuales son biodegradables, estos deben encontrarse en un rango entre 1,25 a 2,50. Así mismo para que los vestidos se consideren de naturaleza urbana biodegradable, el valor debe ser mayor que 0,5. De igual forma estos resultados son similares a los calculados por Guerrero (2023), quien al aplicar la relación DQO/DBO_5 y viceversa, obtuvo un valor de 1,32 y 0,54 con respecto a la biodegradabilidad y naturaleza del vertido, encontrándose estos en el rango para afirmar que el efluente generado es de naturaleza urbana y altamente biodegradable. Estas estimaciones fueron corroboradas por el autor mediante análisis de laboratorio.

10.6.2. Caudal Máximo Horario

Para el diseño de los elementos que constituyen el Sistema Secundario Biológico, se trabajó con un caudal máximo horario (QMH), que se calculó con la fórmula (5), dando como resultado $4,03 \text{ m}^3/\text{h}$.

10.6.3. Tanque Sedimentador Primario

Después de llevar a cabo los cálculos correspondientes de las ecuaciones (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14) y (15), se obtuvieron las siguientes dimensiones y características de construcción para el tanque sedimentador primario, que se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15

Dimensiones y Características del Tanque Sedimentador Primario.

Variable	Simbología	Valor
Caudal máximo horario	QMH	$4,03 \text{ (m}^3/\text{h)}$
Velocidad de sedimentación	V_s	$0,000052 \text{ (m/s)}$
Gravedad	g	$9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$
Diámetro de la partícula	$\phi_{partícula}$	$0,00001 \text{ (m)}$

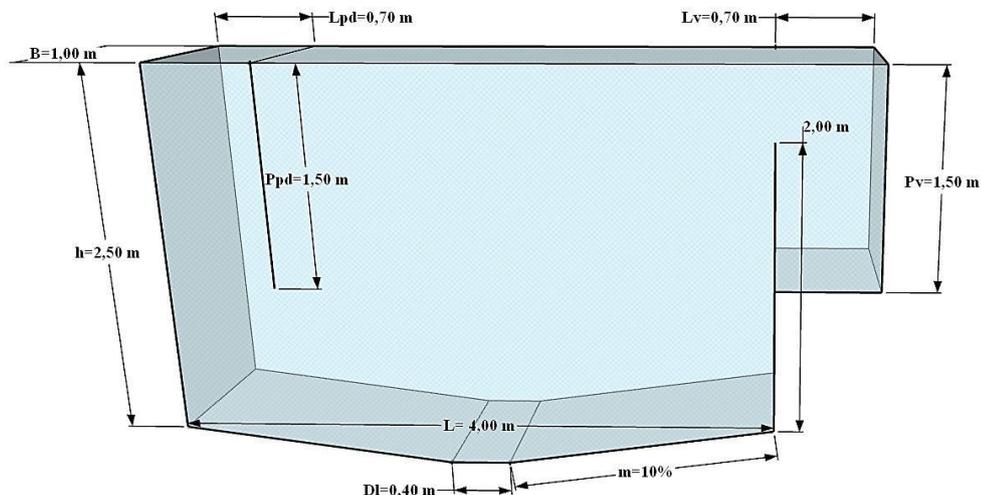
Densidad del sólido	$\rho_{sólido}$	2500 (kg/m^3)
Densidad del fluido, agua	ρ_{fluido}	1000 (kg/m^3)
Viscosidad, agua a 4°C	μ_{fluido}	0,00156 ($kg/(m * s)$)
Volumen del tanque sedimentador	V_{TS}	8,06 (m^3)
Tiempo de retención hidráulica	TRH	2 (h)
Área superficial	A_s	3,22 (m^2)
Altura	h	2,5 (m)
Ancho	B	1 (m)
Longitud	L	4 (m)
Carga hidráulica	q	1,25 (m^3/h)
Velocidad horizontal	V_h	0,000556 (m/s)
Velocidad horizontal máxima	$V_{h\ max}$	0,00104 (m/s)
Pendiente	m	10 %
Profundidad de la pantalla difusora	P_{pd}	1,5 (m)
Distancia hacia la pantalla difusora		0,7 (m)
Profundidad del vertedero	$p_{vertedero}$	1,5 (m)
Longitud del vertedero	$L_{vertedero}$	0,7 (m)

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a las especificaciones de la Tabla 15, y con el software SketchUp se generó la Figura 5, que representa la forma del tanque sedimentador primario en una perspectiva tridimensional, con sus respectivas dimensiones.

Figura 5

Representación tridimensional del Tanque Sedimentador Primario.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Los resultados que se indica en la Tabla 15, muestran las dimensiones y características de diseño para el tanque sedimentador primario, como se observa en la Figura 5. Todos estos valores cumplen con los criterios de diseño establecido por Lozano-Rivas (2012) lo cual se confirma al compararlos con los datos de la Tabla 4. Uno de los aspectos calculados más importantes en el diseño, fue la determinación de la velocidad horizontal máxima ($0,00104 \text{ m/s}$), pues esta al ser mayor que la velocidad horizontal ($0,000556 \text{ m/s}$) favorece una sedimentación más efectiva, pues las partículas tendrán más tiempo para asentarse en el fondo. También este resultado garantiza que no se genere remolinos asegurando que las partículas sigan una trayectoria descendente más directa. En cuanto a las dimensiones, el tanque posee una altura de 2,5 m, longitud de 4m y un ancho de 1 m, garantizando que los dos últimos cumplan con una relación de 4:1 que se recomienda en los criterios de diseño. Esta proporción brinda un mayor tiempo para que las partículas descendan al fondo. Además, el ancho mínimo contribuye a evitar la formación de zonas muertas donde las partículas se acumulen y su sedimentación sea nula. En relación a la altura este es menor que la del sedimentador secundario, ya que fue necesario reducir el volumen para cumplir con el rango establecido para la retención hidráulica. Esto debido a que, después del sedimentador primario, el agua pasa a un sistema de tratamiento biológico. Por lo tanto, es importante que el agua fluya continuamente para que, en el proceso posterior, el agua residual permanezca en contacto constante con los microorganismos y estos no pierdan eficacia debido a la falta de alimento o condiciones adecuadas que proporciona el flujo. Este análisis son corroborados por Borja & Hernández (2015), quienes mencionan la importancia que el agua tenga un flujo constante desde el sedimentador primario hacia el filtro percolador. Esto según los autores, garantiza que los microorganismos presentes en el filtro percolador estén siempre activos y en contacto con el agua residual, lo que favorece a la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales. En tal sentido según el análisis anterior, se evidencia que el diseño del tanque sedimentador primario garantiza un funcionamiento óptimo, contribuyendo a que la eficiencia del sistema secundario biológico sea el correcto.

10.6.4. Filtro Percolador

Después de llevar a cabo los cálculos correspondientes de las ecuaciones (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22), y (23), se lograron obtener las siguientes dimensiones y características de construcción, que se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16*Dimensiones y Características del Filtro Percolador.*

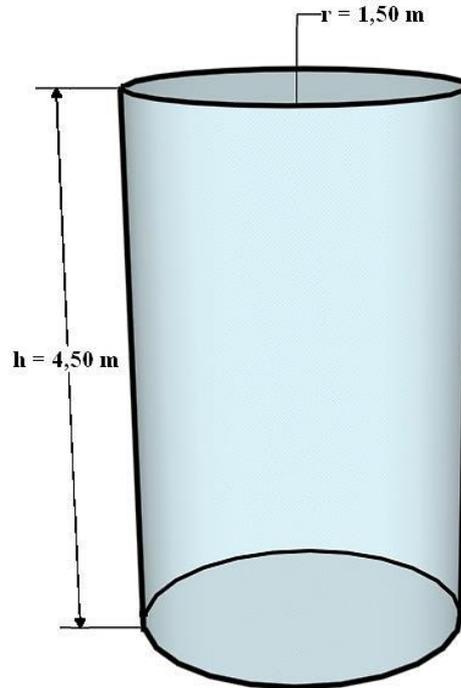
Variable	Simbología	Valor
Caudal máximo horario	Q_{MH}	4,03 (m^3/h)
Carga másica	C_m	39,95 (Kg/d)
Carga contaminante del DBO_5	$C_{contaminante}$	413,33 (mg/L)
Volumen del soporte	$V_{soporte}$	30,73 (m^3)
Carga orgánica de trabajo	$C_{orgánica}$	1,3 ($kg/(m^3 * d)$)
Área superficial	A_s	6,83 (m^2)
Radio del filtro percolador	r	1,50 (m)
Altura	h	4,5 (m)
Carga hidráulica	q	14,15 (m^3/d)
DBO_5 del afluente	S_o	413,33 (mg/L)
DBO_5 del efluente	S	29,39 (mg/L)
Constante de tratabilidad	k	2,21 ($m * día$) ⁻⁵
Constante del material	n	0,5
DBO_5 del efluente con recirculación	S_r	15,74 (mg/L)
Valor de recirculación	R	1
Eficiencia	E	92,19 %

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a las especificaciones de la Tabla 16, y con el software SketchUp se generó la Figura 6, que representa la forma del filtro percolador en una perspectiva tridimensional, con sus respectivas medidas.

Figura 6

Representación tridimensional del Filtro Percolador.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

La Tabla 16, muestran las dimensiones y características del filtro percolador previamente calculados. Estos valores cumplen con los criterios de diseño establecido por Lozano-Rivas (2012) lo cual se confirma al compararlos con los datos de la Tabla 5, a excepción de la eficiencia (92,19 %), pues este valor sobrepasa ligeramente el rango establecido en dichas directrices. Los factores que intervinieron para obtener una alta eficiencia fue la altura del filtro, pues al ser mayor que el diámetro en una proporción de casi 2:1, según los cálculos brinda un mayor tiempo de contacto entre el agua residual y los microorganismos presentes. Otro aspecto que contribuyó a una alta eficiencia fue la incorporación de un valor de recirculación (1), sin embargo, si no se hubiera añadido dicho valor, la remoción de material contaminante aun sería alta pues removería hasta en un 83 %, cumpliendo así con el rango establecido. Estos resultados son respaldados por Espinoza (2021), quien en su diseño de filtro percolador considero una relación de 2:1 entre la altura y el diámetro. Esto resulto en un mayor tiempo de contacto entre el agua residual con los microorganismos, lo que según sus cálculos significó una mayor degradación de materia orgánica. Además, el autor incorporó una recirculación de 1, aumentando significativamente la eficiencia en su diseño. Por tanto, según lo mencionado anteriormente, se garantiza que el filtro percolador propuesto para el sistema secundario de

tratamiento biológico, posea una robustez en su capacidad para mantener altos niveles de eficiencia en diversas condiciones operativas.

10.6.5. Tanque Sedimentador Secundario

Después de llevar a cabo los cálculos correspondientes de las ecuaciones (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32) y (33), se lograron obtener las siguientes dimensiones y características de construcción, que se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17

Dimensiones y Características del Tanque Sedimentador Secundario.

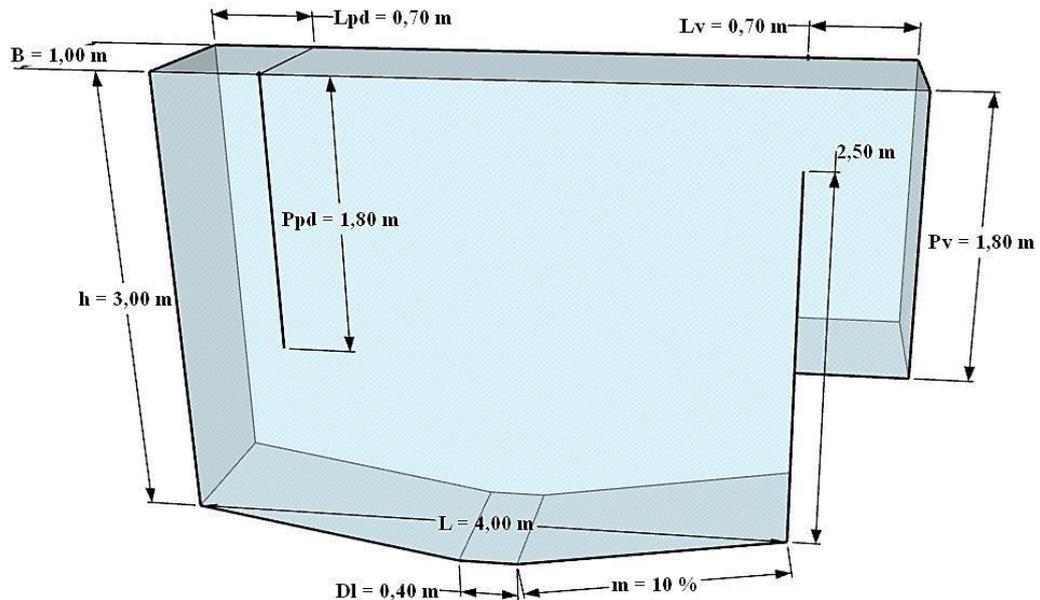
Variable	Simbología	Valor
Caudal máximo horario	Q_{MH}	4,03 (m^3/h)
Velocidad de sedimentación	V_s	0,000027 (m/s)
Gravedad	g	9,8 (m/s^2)
Diámetro de la partícula	$\Phi_{particula}$	0,00001 (m)
Densidad del sólido	$\rho_{sólido}$	1800 (kg/m^3)
Densidad del fluido, agua	ρ_{fluido}	1000 (kg/m^3)
Viscosidad, agua a 4°C	μ_{fluido}	0,00156 ($kg/(m * s)$)
Volumen del tanque sedimentador	V_{TS}	12,09 (m^3)
Tiempo de retención hidráulica	TRH	3 (h)
Área superficial	As	4,03 (m^2)
Altura	h	3 (m)
Ancho	B	1 (m)
Longitud	L	4 (m)
Carga hidráulica	q	1 (m^3/h)
Velocidad horizontal	V_h	0,00037 (m/s)
Velocidad horizontal máxima	$V_{h\ max}$	0,00056 (m/s)
Pendiente	m	10 %
Profundidad de la pantalla difusora	P_{pd}	1,8 (m)
Distancia hacia la pantalla difusora		0,7 (m)
Profundidad del vertedero	$p_{vertedero}$	1,8 (m)
Longitud del vertedero	$L_{vertedero}$	0,7 (m)

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a las especificaciones de la Tabla 17, y con el software SketchUp se generó la Figura 7, que representa la forma del tanque sedimentador secundario en una perspectiva tridimensional, con sus respectivas medidas.

Figura 7

Representación tridimensional del Tanque Sedimentador Secundario.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Los resultados que se presentan en la Tabla 17 muestran las dimensiones y características de diseño del tanque sedimentador secundario, tal como se representa en la Figura 7. Todos estos valores cumplen con los criterios de diseño establecido por Lozano-Rivas (2012), lo cual se verifica al contrastarlos con los datos proporcionados en la Tabla 6. Al igual que en el sedimentador primario, en este fue importante que la velocidad horizontal máxima ($0,00056 \text{ m/s}$), fuera mayor que la velocidad horizontal ($0,00037 \text{ m/s}$) favoreciendo una sedimentación más efectiva. Debido a esto, las partículas tienen una mayor oportunidad de depositarse en el fondo. Además, este resultado asegura que no se formen remolinos, lo que garantiza que las partículas sigan una trayectoria descendente más directa. En cuanto a las dimensiones, la longitud y el ancho, no presentan ninguna variación, cumpliendo con la relación 4:1 que se recomendó en los criterios de diseño. Esta proporción brinda un mayor tiempo, para que las partículas se asienten en el fondo. Además, el ancho mínimo ayuda a prevenir la formación de áreas inactivas donde las partículas podrían acumularse sin sedimentarse. Sin embargo, la altura del tanque, si presentó una variación, ya que fue mayor a la del sedimentador primario, pues en este posee una altitud de 3 m. Esto se debe a varios factores que se presentan en esta etapa del sistema secundario biológico, pues la demanda en capacidad hidráulica es

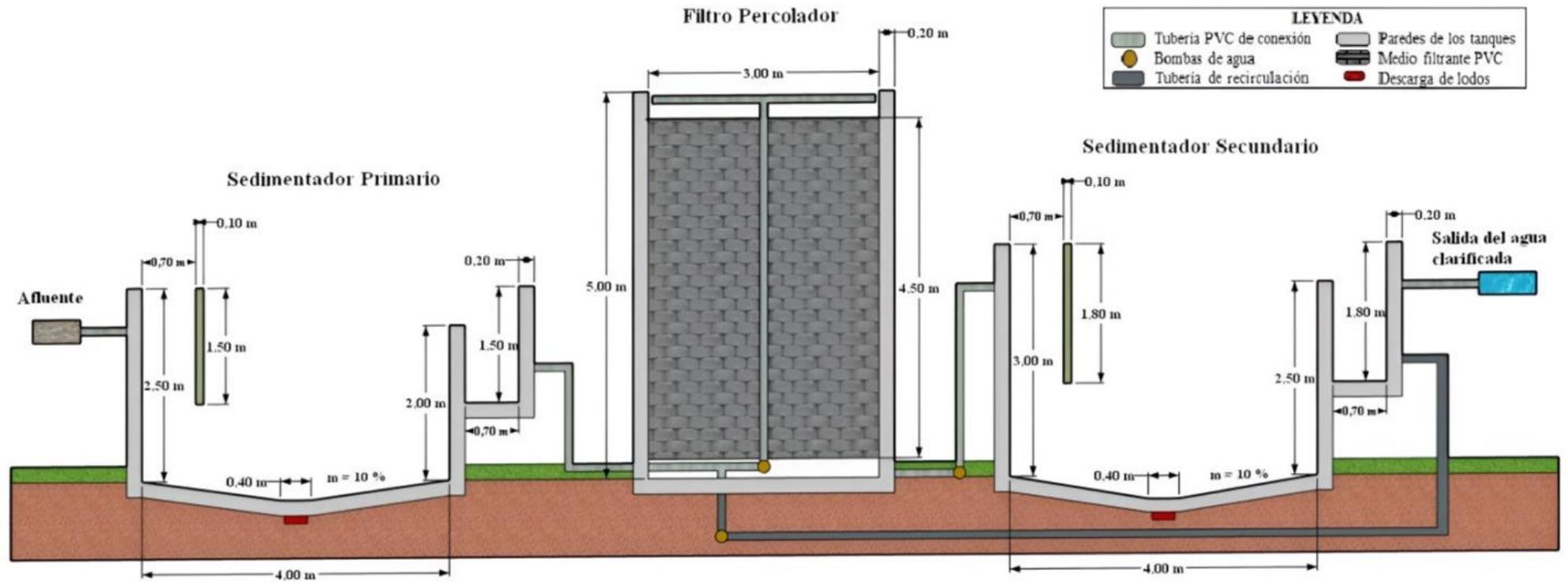
mayor, debido a que el agua clarificada es dirigida nuevamente al filtro percolador para cumplir con la recirculación establecida en el sistema, lo que ocasiona que el fluido llegue nuevamente a este sedimentador. Otro factor que experimenta un aumento es el tiempo de retención hidráulica, ya que en este tanque las partículas que llegan poseen un menor diámetro y densidad, lo que requiere más tiempo para que se asienten en comparación con el sedimentador primario. Este análisis es respaldado por Borja & Hernández (2015), quienes mencionan que un mayor volumen del sedimentador secundario garantiza un tratamiento adecuado del agua residual al proporcionar la capacidad hidráulica y el tiempo de retención necesarios para una sedimentación efectiva de las partículas, pues estas poseen menos diámetro y densidad con respecto a los del sedimentador primario, además asegura la estabilidad operativa del sistema ante variaciones en el flujo de agua. Por consiguiente, basándonos en el análisis anterior, se garantiza que el diseño del tanque sedimentador secundario opere de manera óptima, contribuyendo que la eficiencia del sistema biológico secundario sea la estimada.

10.7. Planta de Tratamiento Secundario Biológico de Aguas Residuales

A continuación, en la Figura 8, se presenta un boceto final del sistema secundario biológico con sus respectivas dimensiones y orden de construcción.

Figura 8

Representación gráfica del Sistema de Tratamiento Secundario Biológico.



Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a la Figura 8, se observa el diseño del sistema secundario biológico propuesto para el campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi, este modelo presenta los tres elementos ubicados en línea horizontal, que se calcularon previamente, con las respectivas conexiones entre los tanques del sistema, bombas de agua y la zona por donde ingresa el efluente contaminado, así como la salida del agua clarificada después del tratamiento. Además, los dos tanques sedimentadores cuentan con una salida para eliminar los sólidos sedimentados en el fondo del mismo, por ello es necesario que se incluya una tubería para su descarga.

Este modelo de construcción, está respaldado por Hernández et al. (2017), quien destaca que el diseño de su planta de tratamiento de aguas residuales en línea recta, facilito el flujo continuo del agua, resultando en una mayor eficiencia de tratamiento y recursos, además de facilitar su mantenimiento y monitoreo.

10.8. Construcción del Sistema Secundario Biológico Piloto

Para evaluar la eficiencia del sistema secundario biológico propuesto, se edificó un modelo donde las dimensiones de los componentes que constituyen el sistema se redujeron a una escala de 1:10 (Ver anexo 29), según se indica en las tablas 18, 19 y 20, manteniendo la relación con la escala real. La construcción de estos elementos a una escala reducida, no solo proporcionó flexibilidad en el proceso de construcción, sino que también permitió la optimización de recursos. Este enfoque está respaldado por Torres Cobo & Delgado (2020), quien destaca la importancia de mantener la proporcionalidad entre las medidas a escala y las dimensiones reales, para garantizar la validez de los resultados obtenidos en modelos reducidos.

10.8.1. Tanque Sedimentador Primario

Tabla 18

Dimensiones a escala 1:10 del Tanque Sedimentador Primario.

Variable	Simbología	Escala real	Escala 1:10
Caudal máximo horario	Q_{MH}	4,03 (m^3/h)	0,40 (m^3/h)
Volumen del tanque sedimentador	V_{TS}	8,06 (m^3)	0,8 (m^3)
Tiempo de retención hidráulica	TRH	2 (h)	0,2 (h)
Área superficial	A_s	3,22 (m^2)	0,32 (m^2)
Altura	h	2,5 (m)	0,25 (m)
Ancho	B	1 (m)	0,1 (m)
Longitud	L	4 (m)	0,4 (m)
Profundidad de la pantalla difusora	P_{pd}	1,5 (m)	0,15 (m)
Distancia hacia la pantalla difusora		0,7 (m)	0,07 (m)

Profundidad del vertedero	$p_{\text{vertedero}}$	1,5 (m)	0,15 (m)
Longitud del vertedero	$L_{\text{vertedero}}$	0,7 (m)	0,07 (m)

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

En la Tabla 18, se muestra los valores a escala 1:10 de las dimensiones y características del tanque sedimentador primario, las cuales fueron utilizadas para la construcción del prototipo (Ver anexo 30). Este permitió determinar que las dimensiones calculadas previamente resultaron ser óptimas para el funcionamiento correcto del tanque, en el sistema secundario biológico. Se pudo verificar que la capacidad de volumen fue la adecuada, pues no presento peligro de desbordamientos en ningún momento. Por otra parte, se comprobó que la pared difusora implementada en el tanque sedimentador, redujo considerablemente la turbulencia, ayudando a distribuir uniformemente el flujo de entrada. Esto permitió que los sólidos se asienten en el fondo y no estén en suspensión, clarificando el agua en la parte superior, para pasar al vertedero por donde se dirigió a la siguiente etapa. En cuanto a las dimensiones del tanque se pudo observar que la longitud establecida facilito que el agua fluya a velocidades bajas, permitiendo una acción gravitacional más efectiva. Por otro lado, el ancho mínimo establecido ayudo a que no existan zonas muertas donde las partículas se acumulen y su sedimentación sea nula.

10.8.2. Filtro Percolador

Tabla 19

Dimensiones a escala 1:10 del Filtro Percolador.

Variable	Simbología	Escala real	Escala 1:10
Caudal máximo horario	Q_{MH}	4,03 (m^3/h)	0,40 (m^3/h)
Volumen del soporte	V_{soporte}	30,73 (m^3)	3,07 (m^3)
Área superficial	A_S	6,83 (m^2)	0,68 (m^2)
Radio del filtro percolador	r	1,50 (m)	0,15 (m)
Altura	h	4,5 (m)	0,45 (m)
Carga hidráulica	q	14,15 (m/d)	1,41 (m/d)

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

En la Tabla 19, se muestra los valores a escala 1:10 de las dimensiones y características del filtro percolador, las cuales fueron utilizadas para la construcción del prototipo (Ver anexo 31). Este permitió determinar que las dimensiones calculadas previamente resultaron ser óptimas para el funcionamiento del filtro percolador. La implementación de un distribuidor de flujo uniforme permitió distribuir de manera homogénea el flujo de agua residual a través del medio

filtrante, asegurando una eficiencia constante en todo el sistema. Por otra parte, el cilindro soportó el volumen estimado anteriormente, ya que no presentó peligros de sobrecarga durante el funcionamiento de todo el sistema secundario biológico.

10.8.3. Tanque Sedimentador Secundario

Tabla 20

Dimensiones a escala 1:10 del Tanque Sedimentador Secundario.

Variable	Simbología	Escala real	Escala 1:10
Caudal máximo horario	Q_{MH}	4,03 (m^3/h)	0,40 (m^3/h)
Volumen del tanque sedimentador	V_{TS}	12,09 (m^3)	1,20 (m^3)
Tiempo de retención hidráulica	TRH	3 (h)	0,3 (h)
Área superficial	A_s	4,03 (m^2)	0,40 (m^2)
Altura	h	3 (m)	0,3 (m)
Ancho	B	1 (m)	0,1 (m)
Longitud	L	4 (m)	0,4 (m)
Profundidad de la pantalla difusora	P_{pd}	1,8 (m)	0,18 (m)
Distancia hacia la pantalla difusora		0,7 (m)	0,07 (m)
Profundidad del vertedero	$p_{vertedero}$	1,8 (m)	0,18 (m)
Longitud del vertedero	$L_{vertedero}$	0,7 (m)	0,07 (m)

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

En la Tabla 20, se muestra los valores a escala 1:10 de las dimensiones y características del tanque sedimentador secundario, las cuales fueron utilizadas para la construcción del prototipo (Ver anexo 32). Este permitió determinar que las dimensiones calculadas previamente resultaron ser óptimas para el funcionamiento correcto del tanque, en el sistema secundario biológico. Al igual que en el primer tanque sedimentador, en este se verificó que una funcionalidad correcta en la capacidad de volumen, pues no presento en ningún momento un peligro de desbordamiento. Por otra parte, se visualizó una reducción considerable de turbulencia en el flujo de entrada, ayudando a distribuir uniformemente el fluido en el resto del tanque. Esto permitió que los sólidos se asienten en el fondo y no estén en suspensión, logrando la clarificación del agua en la parte superior. En lo que respecta a las dimensiones del tanque, se notó que la longitud definida favoreció un flujo de agua a velocidades bajas, lo que permitió una sedimentación gravitacional más eficiente. Asimismo, el ancho mínimo establecido contribuyó a evitar la formación de áreas inactivas donde las partículas pudieran acumularse sin sedimentarse.

Los resultados de funcionamiento del sistema secundario biológico, compuesto por el sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario fueron similares a los obtenidos por Mendoza & Roca, (2021), quienes mediante la aplicación de ecuaciones y criterios de diseño similares a los del presente estudio, lograron obtener un funcionamiento correcto del sistema de tratamiento de aguas residuales, pues durante la operación de la misma, no se presentaron ningún tipo de inconveniente como: sobrecargas, desbordamientos, estancamientos, etc. que pudieran afectar el correcto funcionamiento de la planta piloto. Por lo tanto, se considera que las ecuaciones y criterios de diseño establecidos por Lozano-Rivas, (2012) y Ortega, (2018) que se utilizaron para el diseño del sistema secundario biológico, proporcionan un dimensionamiento preciso y eficaz.

10.9. Medio Filtrante

Se elaboraron 200 unidades de material PVC reciclado, que funcionaron como medio filtrante. El área donde se desarrolló la biopelícula se calculó usando las siguientes fórmulas (34), (35), (36), (37), (38) y (39), según se indica en la Tabla 21. Esta detalla el área individual, así como el área total de todas las unidades filtrantes.

Tabla 21

Área para el desarrollo de la biopelícula.

N.º de unidades de medios filtrantes	Área
Uno (1)	0.021 m ²
Dos cientos (200)	4.268 m ²

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Según los datos de la Tabla 21, indica que se obtuvo un área total 4.268 m², para el desarrollo de los microorganismos. Este valor es de suma importancia, pues permitió manejar volúmenes mayores y una carga orgánica más elevada.

10.10. Desarrollo de la Biopelícula en el Medio Filtrante

El proceso evolutivo de la biopelícula en el filtro percolador, se detalla en la Tabla 22.

Tabla 22

Proceso evolutivo de la biopelícula.

Día	Estado de formación	Espesor (mm)
1	Sin presencia	0 mm
2	Sin presencia	0 mm
3	Sin presencia	0 mm
4	Sin presencia	0 mm

5	Visible	0,1 mm
6	Visible	0,2 mm
7	Visible	0,4 mm
8	Visible	0,6 mm
9	Visible	0,7 mm
10	Visible	0,8 mm
11	Visible	0,9 mm
12	Visible	1 mm

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a los datos de la Tabla 22, la biopelícula se empezó a visualizar a partir del quinto día con un espesor aproximado de 0,1 mm. A partir del sexto día el espesor tuvo un crecimiento proporcional hasta el día 12, donde llegó a alcanzar un espesor de 1 mm. Sin embargo, el biofilm no cubrió por completo el área destinada para su desarrollo, pues se observó que, en la mayoría de las unidades filtrantes, este solo cubrió aproximadamente el 75 %. Este inconveniente se debió a los cambios repentinos de temperatura, que oscilaron entre 8 a 19 °C, experimentados en el entorno donde se desarrollaba la biopelícula, pues según ****, este parámetro debe encontrarse entre 10°C a 28°C, para que la mayoría de los microorganismos que conforman la biopelícula obtengan un adecuado desarrollo. Este problema de crecimiento se asocia a lo argumentado por Mendoza & Roca (2021) quienes en su investigación, los microorganismos solo cubrieron un 80 % del área total del medio filtrante, esto debido a condiciones ambientales adversas, pues durante el desarrollo del biofilm según los autores, se presentaron varios cambios bruscos de temperatura, donde las temperaturas llegaban hasta los 8°C, provocando la muerte de algunos microorganismos, lo que significó la reducción de su densidad y afectación de la capacidad para colonizar y expandirse en el medio filtrante. Sin embargo este problema fue abordado con éxito por Ormaza & Ortiz (2020), quienes en su estudio desarrollaron con éxito la biopelícula, en el medio filtrante, pues con la ayuda de una temperatura estable y la inclusión de una preparación de agua sintética formada por gelatina, almidón leche en polvo, azúcar y sal, fue suficiente para que el biofilm cubra hasta un 96%, el área total destinado al desarrollo de estos microorganismos. En tal sentido se atribuye que la formación incompleta de la biopelícula en el medio filtrante es causada por la inestabilidad pronunciada de la temperatura.

10.11. Eficiencia del Sistema Secundario Biológico Piloto y Comparación de los Resultados con los Límites Permisibles Establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A

Para comprobar el nivel de eficiencia del sistema de tratamiento secundario biológico, se realizó un análisis de laboratorio de varios parámetros después de un post tratamiento a las aguas

residuales del campus, obteniendo los siguientes resultados (Ver anexo 33 y 34), según se indica en la Tabla 23.

Tabla 23

Resultados de los parámetros post tratamiento.

Parámetro	Unidad	Resultado pre tratamiento	Resultado post tratamiento	Porcentaje de remoción
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/l	413,33	98,45	76,18 %
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	615	194,34	68,40%
Coliformes Fecales	NMP/100mL	2258,33	1547,26	31,49 %
Potencial de Hidrogeno	-----	8,91	8,04	9,73 %
Temperatura	°C	21,60	17,4	19,46 %
Solidos Totales	mg/l	2394,67	1371,36	42,75 %
Solidos Suspendidos				
Totales	mg/l	1034,67	127,42	87,68 %
Turbidez	UNT	51,67	24	53,55 %
Oxígeno Disuelto	%	91,07	98,58	-----
Nitritos	mg/l	0,15	0,11	25,51 %
Nitratos	mg/l	21,93	14,5	33,89 %

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

Además, se realizó una comparación de los resultados post tratamiento de la Tabla 23, con los límites permisibles, conforme a las directrices establecidas en el Acuerdo Ministerial 097-A (2015), según se observa en la Tabla 24.

Tabla 24

Resultados de los parámetros post tratamiento.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límites permisibles	Nivel de cumplimiento
DBO ₅	(mg/L O ₂)	98,45	100	Cumple
DQO	(mg/L O ₂)	194,34	200	Cumple
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1547	2000	Cumple
Potencial de Hidrogeno	-----	8,04	6-9	Cumple
Temperatura	°C	17,4	Cond. Nat. ±3	Cumple

Sólidos Totales	mg/l	1371	1600	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	127,42	130	Cumple
Turbidez	UNT	24	N/A	N/A
Oxígeno Disuelto	%	98,58	N/A	N/A
Nitritos	mg/l	0,11	N/A	N/A
Nitratos	mg/l	14,5	N/A	N/A

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

De acuerdo a los datos de la Tabla 23, se puede observar una reducción significativa en los niveles de materia orgánica presentes en el agua residual, después de haber sido tratada por el sistema secundario biológico piloto. La DBO₅ disminuyó de 413,33 mg/l a 98,45 mg/l, lo que represento una remoción del 76,18 %. Asimismo, la DQO se redujo de 615 mg/L a 194,34 mg/l, obteniendo una remoción del 68,4 %. En cuanto a los parámetros físicos, químicos y biológicos, la turbidez y los sólidos totales registraron los mayores porcentajes de eficiencia, alcanzando el 55,55% y el 42,75% respectivamente. Por el contrario, el pH mostró el menor nivel de eficacia con solo un 9,73%. Los sólidos totales disminuyeron en un 42,75%, los coliformes fecales se redujeron en un 31,49%, y tanto los nitritos como los nitratos mostraron reducciones del 25,51% y 33,89% respectivamente. En cuanto a parámetros sensoriales, se evidencio que la presencia de olor desagradable en las aguas residuales ha disminuido considerablemente, además El agua residual presento una apariencia más clara y limpia. Estos resultados se complementan con los presentados en la Tabla 24, donde se evidencia que dichos porcentajes de reducción en los parámetros analizados, fueron suficientes para que cumpla con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A (2015). No obstante, la eficiencia obtenida, principalmente en el caso del DBO₅ y DQO, no fue la estimada en un principio, pues según los resultados de la Tabla 16, se esperaba un 92,19 % de remoción de material orgánico contaminante. Esta disminución en la eficiencia se le atribuye principalmente a la formación incompleta de la biopelícula en el filtro percolador, lo que limito su capacidad de remoción. Este inconveniente tiene relación a lo encontrado por Lemji, H., & Eckstädt, H. (2013), quienes con un modelo similar obtuvieron una eficiencia promedio de (78,7±5) % en los parámetros DBO₅ y DQO. Sin embargo, al igual que en la presente investigación, la eficiencia no fue la estimada, otorgando este problema a la formación incompleta del biofilm en el medio filtrante. El factor que determinaron los autores para que este problema se haya presentado, fue las condiciones ambientales donde se desarrolló la biopelícula, pues estuvo expuesto a descensos de temperaturas, además que los nutrientes

proporcionados no fueron suficientes para fortalecer a los microorganismos. Este problema también se asocia a lo descrito por Nacimba (2020), quien indicó que un filtro percolador, con un medio filtrante inestable, reduce la capacidad de remoción de material orgánico. No obstante, este problema fue abordado con éxito por Álvarez et al. (2018), quienes en su estudio lograron obtener un desarrollo completo de los microorganismos, mencionando la importancia de que el crecimiento y la adaptación ocurran en épocas del año con condiciones ambientales estables y sin descensos de temperatura al menos hasta la formación completa de la biopelícula. Otros autores como Ormaza & Ortiz (2020) destacan la importancia de suministrar nutrientes adicionales durante la etapa de desarrollo y adaptación de los microorganismos al medio filtrante, pues dichos autores añadieron nutrientes extras en su planta piloto como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales presentes en alimentos caseros, además incluyeron gelatina sin sabor, el cual proporcionó un agente aglutinante que ayudó a unir los microorganismos al medio filtrante formando una matriz tridimensional que favoreció al fortalecimiento de la biopelícula, haciendo que su sistema de tratamiento, obtenga una eficiencia similar a la estipulada mediante cálculos. Analizando estos resultados y bajo a lo referido anteriormente, se atribuye el problema de la disminución en la eficiencia con respecto al estimado mediante cálculos, a la formación limitada de la biopelícula en el medio filtrante, a causa de los cambios bruscos de temperatura que se dio durante el desarrollo de la misma.

11. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿El diseño y construcción de un sistema secundario biológico puede mejorar significativamente la eficiencia y la capacidad de tratamiento de la planta de aguas residuales anaeróbica en el Campus CEASA, contribuyendo a una gestión más efectiva y sostenible de los efluentes?

Sí, la integración de un sistema secundario biológico a la planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbica existente en el campus CEASA, puede proporcionar una remoción adicional de contaminantes que no se eliminan por completo en el proceso anaeróbico. Esto incluye la eliminación de materia orgánica residual, además de otros contaminantes disueltos, mejorando así la calidad del efluente tratado para cumplir con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, para que la descarga al río Isinche sea segura. Esta implementación, además de mejorar la eficiencia operativa de la planta de tratamiento, puede fomentar la sostenibilidad ambiental, reduciendo los impactos ambientales ocasionados por un mal tratamiento de aguas residuales.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

La implementación de un Sistema Secundario Biológico para repotenciar la PTAR en el campus CEASA, podría tener diversos impactos positivos y negativos, siendo estos sociales, económicos y ambientales.

12.1. Impactos Sociales

La implementación de un tratamiento adecuado para las aguas residuales del campus CEASA no solo mejorará su calidad, sino que también generará una serie de beneficios adicionales para la comunidad académica, ya que garantizará un entorno más saludable y seguro para estudiantes, profesores y personal, además podría fomentar la investigación y la educación en temas de conservación del medio ambiente y uso sostenible de los recursos hídricos. Asimismo, al promover prácticas responsables de gestión del agua, se crearía una cultura de conciencia ambiental entre los miembros de la comunidad académica, fomentando su compromiso con la sostenibilidad y el cuidado del entorno local, puesto que también proporcionará beneficios significativos para los residentes locales. Al mejorar la calidad del agua del río Isinche, se garantizará un suministro más seguro y confiable para el riego de los cultivos, lo que podría aumentar la productividad agrícola y mejorar los ingresos de los agricultores locales. Además, al reducir la contaminación del agua, se preservará la salud pública y se minimizarán los riesgos de enfermedades relacionadas con el agua para todos los habitantes de la zona. Esta mejora en la calidad del agua también podría abrir oportunidades para actividades recreativas y turísticas, impulsando así el desarrollo económico local y mejorando la calidad de vida en general para los residentes de la comunidad.

12.2. Impactos Económicos

La implementación del sistema propuesto en el campus implica una inversión económica inicial, lo cual podría percibirse como un desafío. Sin embargo, los beneficios a largo plazo superan en gran cantidad esta inversión inicial, ya que, al fortalecer la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, se evitarían posibles sanciones y multas económicas por incumplimiento de normativas ambientales, lo que no solo garantizaría el cumplimiento de la ley, sino que también contribuiría a preservar el medio ambiente local y la salud pública. Además, una PTAR eficiente podría aumentar la eficiencia en el uso del agua y reducir los costos operativos a lo largo del tiempo. También, al mejorar la calidad del agua, se podrían abrir oportunidades para el desarrollo de proyectos de educación ambiental y turismo ecológico, generando beneficios económicos adicionales y fortaleciendo el vínculo entre la universidad y la comunidad local.

12.3. Impactos Ambientales

Un sistema eficiente para el tratamiento de aguas residuales, genera múltiples impactos positivos en el medio ambiente, en la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad. Al mejorar la calidad del recurso hídrico, se reducen los niveles de contaminación y se minimizan los riesgos para la vida acuática, esto ayuda a conservar los hábitats naturales y a proteger las especies vegetales y animales que dependen del agua para su supervivencia. Además, al prevenir la contaminación de cuerpos de agua como ríos, arroyos y lagos, se preserva la belleza natural de la región y por lo tanto se beneficia tanto al medio ambiente como a las personas al promover la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad a largo plazo.

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

A continuación, en la Tabla 24, se presenta el presupuesto para ejecución del proyecto de investigación.

Tabla 25

Resumen de los costos estimados para la realización del proyecto.

Componente	Costo (\$)
Análisis de Agua Residual	
Análisis de DQO	30
Análisis de DBO5	40
Materiales de construcción	
Tubería PVC	15
Tubería PVC reciclada	6
Acoplamientos Multifunción PVC	30
2 bombas de agua	60
Máquina de aireación	10
5 llaves de paso	20
Soportes de madera	5
Recursos Humanos	
Mano de obra	170
Costo Total	386

Elaborado por: Calo A. & Fuentes D. (2024).

14. CONCLUSIONES

A partir del levantamiento de información para la caracterización del efluente residual procedente del campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se determinó un caudal

medio diario de $1,34 \text{ m}^3/\text{h}$, una concentración promedio de 615 mg/L para el DQO y $413,33 \text{ mg/L}$ para la DBO_5 . Además, se identificaron valores de $2258,33 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$ para coliformes fecales, $8,91$ para el pH, $21,6 \text{ }^\circ\text{C}$ para la temperatura, 2394 mg/l para sólidos totales, $1034,67 \text{ mg/l}$ para sólidos suspendidos totales, $51,67 \text{ UNT}$ para la turbidez, y finalmente $0,15 \text{ mg/l}$ y $21,93 \text{ mg/l}$ para niveles de nitritos y nitratos respectivamente. Estos hallazgos respaldaron la necesidad de implementar un sistema secundario biológico en el campus CEASA para tratar eficazmente las aguas residuales.

Una vez realizado la relación DBO_5/DQO y viceversa, se pudo determinar que los vertidos son de naturaleza urbana altamente biodegradables, concluyendo que el tipo de tratamiento adecuado para este efluente generado es biológico. El dimensionamiento se dio a partir del caudal máximo horario con un valor de $4,03 \text{ m}^3/\text{h}$ y una concentración promedio de $413,33 \text{ mg/L}$ en el DBO_5 , los cuales a través de ecuaciones matemáticas y en base a los criterios de diseño propuestos por autores como: Lozano Rivas y Ortega, se obtuvo un diseño con una eficiencia de remoción de material orgánico de hasta el $92,19 \%$, Esto demuestra la viabilidad de integrar este sistema a la planta de tratamiento de aguas residuales ya existente.

Mediante la construcción y operación de un sistema secundario biológico a escala 1:10, se determinó que el diseño posee una eficiencia en la remoción de DBO_5 del $76,18 \%$, de DQO, una remoción del $68,40 \%$, En relación a otros parámetros físicos, químicos y biológicos, la planta piloto redujo los coliformes fecales en $31,49 \%$, los sólidos suspendidos totales en $87,68 \%$, los sólidos totales en $42,75 \%$, el pH en $9,73 \%$, la temperatura en $19,46 \%$, la turbidez en $53,55 \%$, y por último los nitritos y nitratos se redujeron en un $25,51 \%$ y $33,89 \%$ respectivamente. Sin embargo, en el caso de DBO_5 y DQO, la eficiencia no alcanzó el nivel estimado inicialmente mediante cálculos. Este problema se atribuye a los inconvenientes experimentados durante el crecimiento y adaptación de la biopelícula al medio filtrante, debido a los cambios bruscos en la temperatura del entorno donde se desarrollaban los microorganismos. Por lo tanto, es fundamental que en futuras investigaciones se asegure de que el desarrollo del biofilm tenga lugar durante épocas del año en las cuales las condiciones de temperatura sean estables y no experimenten descensos abruptos.

15. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el diseño del tratamiento secundario biológico propuesto en este proyecto de investigación, pues a pesar de no cumplir la eficiencia estimada, si se desarrolla en condiciones adecuadas, el diseño puede garantizar un adecuado tratamiento de las aguas residuales en el Campus CEASA.

Se sugiere desarrollar el crecimiento de la biopelícula durante épocas del año con condiciones de temperatura estables y suministrar nutrientes adecuados a los microorganismos para que estos tengan un fortalecimiento en caso de presentarse condiciones adversas.

Se recomienda realizar una limpieza de los tanques sedimentadores y filtro percolador, cada 6 meses para mantener su eficiencia y evitar obstrucciones.

Se sugiere monitorear regularmente el estado de la biopelícula, ya que su deterioro y falta de mantenimiento puede afectar la remoción de material orgánico que se estimó en el presente proyecto.

Se recomienda realizar investigaciones adicionales en el prototipo construido en este estudio, utilizando otro tipo de medio filtrante para comparar su eficiencia.

16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. Acuerdo Ministerial contiene Anexos del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente en los recursos: Agua, Suelo, Aire, Emisiones y Ruido. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- Borja, V. L. R., & Hernández, J. A. A. (2015). ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SEDIMENTADORES INSTALADOS PARA LA OCUPACIÓN E INTERVENCIÓN DE CAUCES EN LA CUENCA DEL RIO CASANARE DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL OLEODUCTO ARAGUANEY Y BANADÍA, ENTRE LOS AÑOS 2011 A 2013.
- Bejarano Novoa, M. E., & Escobar Carvajal, M. (2015). *Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/299
- Bendezu, R., & Martínez, A. (2017). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores-lodos anaeróbicos ecológicos para el distrito de Huancayo, provincia de Huancayo - Junín* [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. <https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/242/Bendezu%20Montero%20Rocio%20Del%20Carmen--%20Martinez%20Maravi%20Alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calero, A. (2020). *“Caracterización de la relación DQO (Demanda Química de Oxígeno) /DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en los efluentes líquidos residuales de*

- industrias localizadas en Montevideo como método de 'screening' rápido para determinar la eficiencia en el tratamiento de los mismos.*” [Universidad de la República - UDELAR]. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/39096/1/TG_Calero.pdf
- Carrillo, Y. (2014). *Diseño y construcción de un prototipo a escala de laboratorio que simule los procesos de digestión aeróbica y anaeróbica* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/795/1/UNACH-EC-IMB-2014-0004.pdf>
- Cedeño Sánchez, I. N. (2016). El tiempo de retención hidráulico de un lecho bacteriano aerobio relleno con caña guadua y la nitrificación en un residual sintético [bachelorThesis, Calceta: Espam]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/295>
- Cevallos, A., & Piloso, A. (2022). *Evaluación de pasivos ambientales puntuales sobre el recurso agua ocasionados por extractoras de aceite en el río cucaracha, cantón la Concordia* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1779/1/TIC_IA05D.pdf
- Chan, C. C. V, Neufeld, K., Cusworth, D., Gavrilovic, S., & Ngai, T. (2015). Investigation of the Effect of Grain Size, Flow Rate and Diffuser Design on the CAWST Biosand Filter Performance. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 10(1), 1–23.
- Changoluisa, M., & Naranjo, T. (2023). *Diseño y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para el campus Salache* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11452/1/PC-003097.pdf>
- Cisterna, P., & Peña, D. (2017). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región.* [Tesis, Universidad Tec. Fed. Sta María]. <https://docplayer.es/20765727-Determinacion-de-la-relacion-dqo-dbo-5-en-aguas-residuales-de-comunas-con-poblacion-menor-a-25-000-habitantes-en-la-viii-region.html>
- Díaz, H., & Martínez, E. (2018). *Diseño y medición de las características de estructura y operación para los prototipos de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical y filtro percolador para remoción de materia orgánica* [Tesis de grado, Universidad católica de manizales facultad de ingeniería y arquitectura programa de ingeniería ambiental]. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2123/1/Heber%20Brandon%20Diaz.pdf>
- Espinoza, V. (2021). Propuesta de diseño de una PTAR incorporando filtro percolador de PRFV y medio filtrante de plástico en Santa Rita, Arequipa- Arequipa. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/77516>

- Guerrero, M. (2023). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Planta Agroindustrial del campus Salache, Universidad Técnica de Cotopaxi* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/10460/1/MUTC-001497.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%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- León, R. (2017). *Evaluación técnica y propuesta de mejora de los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar* [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. <http://186.151.197.48/tesiseortiz/2017/02/09/De-Leon-Ricardo.pdf>
- Lemji, H., & Eckstädt, H. (2013). A pilot scale trickling filter with pebble gravel as media and its performance to remove chemical oxygen demand from synthetic brewery wastewater. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 14(10), 924-933. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1300057>
- Li, W., Loloya, C., Crowley, D., & Ahmad, Z. (2016). Performance of a two-phase biotrickling filter packed with biochar chips for treatment of wastewater containing high nitrogen and phosphorus concentrations. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 150-158.
- Liu, D., Li, C., Guo, H., Kong, X., Lan, L., Xu, H., Zhu, S., & Ye, Z. (2019). Start-up evaluations and biocarriers transfer from a trickling filter to a moving bed bioreactor for synthetic mariculture wastewater treatment. *Chemosphere*, 218, 696-704. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.11.166>
- Lozano-Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. <https://www.researchgate.net/publication/298354134>
- NTE INEN 2169—AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.pdf. (2013). Recuperado 4 de febrero de 2024, de <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACION%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- MAATE. (2017). *Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*.

- <https://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/>
- Mántica, A. M., & Götte, M. (2022). Geometría en 3D. Universidad Nacional del Litoral. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/6378>
- Martínez García, V. M., Díaz Romero, Y., Tostado Ramírez, M. I., & Bernal Camacho, J. M. (2023). Usos del software AutoCAD y SketchUp en los actos creativos de piezas sustentables enfocados a la investigación acción de cambio y mejora. *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, 7(1), 167–173. <https://doi.org/10.61530/redtis.vol7.n1.2023.160.167-173>
- Mendoza, K., & Roca, J. (2021). *Evaluación de filtro percolador a escala piloto para la remoción de carga orgánica del efluente residual del centro de faenamiento, calceta-Bolívar* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/1441/TTMA29D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz, A. (2018). *Diseño y construcción de un modelo experimental de la fase de tratamiento biológico de aguas residuales* [Tesis, Udl]. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8988/1/UDLA-EC-TIAM-2018-09.pdf>
- Ormaza, C., & Ortiz, M. (2020). *Elaboración del modelo físico y guía metodológica para la práctica de tratamiento de aguas residuales mediante un filtro percolador de la asignatura de hidrosanitaria de la Universidad del Azuay* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10295/1/15924.pdf>
- Osorio Rivera, M. A., Carrillo Barahona, W. E., Negrete Costales, J. H., Loor Lalvay, X. A., & Riera Guachichullca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 228-245.
- Ortega, J. L. (2018). *Diseño Y Construcción A Escala Piloto De Un Prototipo De Sedimentador Rectangular*. <https://www.fict.espol.edu.ec/sites/fict.espol.edu.ec/files/Documentos/DISE%20Y%20CONSTRUCCI%20N%20A%20ESCALA%20PILOTO%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20SEDIMENTADOR%20RECTANGULAR.pdf>
- Quispe, A., & Garcia, J. (2016). *Optimización de los parámetros de calidad para recubrimientos en filtros percoladores y su aplicación como inhibidor de corrosión* [Tesis, Universidad Nacional San Agustín].

- <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1b06df7d-3103-4b8f-9269-8b789124209b/content>
- Ramalho, R. S. (2017). *Filtros Percoladores*. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/FILTROS_PERCOLADORES.pdf
- Reutelshöfer, T., & Guzmán, L. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual* (PERIAGUA, Ed.; Primera). Mad River Pr Inc. https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf
- Resolución 0330. (2017). <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>
- Reyes-Lara, S., & Reyes-Mazzoco, R. (2009). Efecto de las cargas hidráulica y orgánica sobre la remoción másica de un empaque estructurado en un filtro percolador. In *Revista Mexicana de Ingeniería Química* (Vol. 8, Issue 1). www.amidiq.org
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema. *Agua Latinoamérica*, 4. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/documentos_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf
- Romero, J. (2010). *Filtros biológicos* (Escuela Colombiana de Ingeniería, Ed.; Tercera). https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Secretaría del Agua, Agencia de Regulación y Control del Agua, Ministerio del Ambiente, & Ministerio de salud pública. (2016). *Estrategia nacional de Calidad de Agua*. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf
- Solorzano, F. (2019). *Evaluación de carga orgánica para efluentes residuales en la destilería de alcohol con el filtro percolador aeróbico utilizando pumita* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Felix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1001/1/TTMA47.pdf>
- Stefanakis, A. I., Bardiau, M., Trajano, D. G. S., Couceiro, F., Williams, J., Caplin, J., & Taylor, H. (2015). *Removal of indicator bacteria and bacteriophages in a full-scale trickling filter-aerated constructed wetland wastewater treatment plant*. <https://www.researchgate.net/publication/283017089>

- Torres Cobo, L. E., & Delgado Delgado, D. O. (2020). PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS A ESCALA PILOTO EN LA UNEMI [bachelorThesis]. En Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro. <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5124>
- Torres, P., Rodríguez, V., Suárez, M., Duque, B., & Enríquez, L. (2016). Análisis del funcionamiento de la configuración del reactor anaerobio de flujo ascendente – filtro percolador para el tratamiento a escala real de aguas residuales domésticas. *Afinidad*, 73(576). <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/318447/408607>
- TULSMA. (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- UADER. (2019). El Agua Contaminada Produce más Muertes que la Guerra. *Facultad de Ciencia y Tecnología*. <https://fcyt.uader.edu.ar/node/581#:~:text=EL%20AGUA%20CONTAMINADA%20PRODUCE%20M%C3%81S%20MUERTES%20QUE%20LA%20GUERRA,-Las%20consecuencias%20relacionadas&text=En%20total%2C%20se%20estima%20que,vida%20de%20menores%20y%20mujeres.>
- Vargas, D. (2018). *Propuesta de un sistema de tratamiento primario de aguas residuales mediante un reactor anaeróbico de flujo ascendente, Yungay 2017* [Tesis, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26322/Vargas_RDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yang, Z., Liu, J., Zhang, Y., Qin, Y., Deng, W., & Li, J. (2018, June). Effective Removal of N-Butyl Methacrylate in Bio-Trickling Filter Packed With Activated Carbon Fibers. *Proceedings of the 2nd International Conference of Recent Trends in Environmental Science and Engineering (RTESE'18)*. <https://doi.org/10.11159/rtese18.105>
- Zhang, Y., Cheng, Y., Yang, C., Luo, W., Zeng, G., & Lu, L. (2015). Performance of system consisting of vertical flow trickling filter and horizontal flow multi-soil-layering reactor for treatment of rural wastewater. *Bioresource Technology*, 193, 424–432. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.140>

17. ANEXOS

Anexo No. 1. Datos Informativos del Docente Tutor de Titulación



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Dirección de
Investigación

CURRICULUM VITAE ÁGREDA OÑA JOSE LUIS

- **Información personal**

APELLIDOS: Ágreda Oña
NOMBRES: José Luis
CÉDULA DE CIUDADANÍA: 0401332101
TELÉFONO CELULAR: 0986003679
EMAIL INSTITUCIONAL: jose.agreda2101@utc.edu.ec
FACULTAD: CAREN
CARRERA: Ingeniería Ambiental

- **Formación académica**

NIVEL	TITULO OBTENIDO	FECHA DE REGISTR O	CÓDIGO DEL REGISTRO CONESUP O SENESCYT
CUART O	MAGISTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL	2018-02-07	1079-2018-1930244
TERCER	INGENIERO EN PETROLEOS	2014-01-03	1001-14-1257655

- **Otra experiencia (capacitación relativa a la propuesta) – Solo los relevantes para esta aplicación.**

GIS -Manejo de Recursos Hídricos- CAREN- Universidad Técnica de Cotopaxi

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 2. Datos Informativos del Estudiante

DATOS PERSONALES

APELLIDOS: Calo Chicaiza

NOMBRE: Leonidas Andrés

ESTADO CIVIL: Soltero

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 1725972325

LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO: Sigchos, 26 de Noviembre de 1996

DIRECCIÓN DOMICILIARIA: Pichincha – Cantón Quito – Parroquia Turubamba/ Barrio Victoria Baja/ calle novena y S64B.

TELEFONO CELULAR: 0983655492

CORREO ELECTRONICO: Leonidas.calo2325@utc.edu.ec

FORMACIÓN ACADÉMICA.

Estudios Primarios: Unidad Educativa Fiscal “5 de Junio”

Estudios Secundarios: Instituto Superior Técnico “Sucre”

Estudios Universitarios: Ingeniería Ambiental, en proceso. Universidad Técnica de Cotopaxi

CURSOS REALIZADOS

- I Congreso Internacional Difusión de Metodologías de Investigación y Vinculación CAREN 2022.
- Creando Mapas con datos ambientales, evento participativo en el marco del Open Data Day 2022 y el proyecto Más Datos Más Transparencia.



Leonidas Andrés Calo Chicaiza

C.C. 1725972325

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).



Anexo No. 3. Datos Informativos del Estudiante

DATOS PERSONALES

APELLIDOS: Fuentes Quilligana

NOMBRE: Domenica Stefania

ESTADO CIVIL: Soltero

CÉDULA DE CIUDADANIA: 1753885951

LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO: Quito, 27 de mayo del 2001

DIRECCIÓN DOMICILIARIA: Pichincha – Cantón Quito – Parroquia Guamani/ Barrio Balcones del Sur/ Av. Pedro Vicente Maldonado, Calle 7 Paquisha.

TELEFONO CELULAR: 0982645174

CORREO ELECTRONICO: domenica.fuentes5951@utc.edu.ec

FORMACIÓN ACADEMICA.

Estudios Primarios: Unidad Educativa Fiscal Mixta “Riobamba”

Estudios Secundarios: Unidad Educativa Municipal “Oswaldo Lombeyda”

Estudios Universitarios: Ingeniería Ambiental, en proceso. Universidad Técnica de Cotopaxi.

CURSOS REALIZADOS

- I Congreso Internacional Difusión de Metodologías de Investigación y Vinculación CAREN 2022.
- Creando Mapas con datos ambientales, evento participativo en el marco del Open Data Day 2022 y el proyecto Más Datos Más Transparencia.



Domenica Stefania Fuentes Quilligana

C.C. 1753885951

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).



Anexo No. 4. Equipo de Protección personal EPP



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 5. Registro de caudal



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 6. Muestras Rotuladas



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 7. Homogenización para obtener una muestra compuesta



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 8. Reactivos para el análisis de DQO



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 9. Incorporación de muestras de agua residual a viales DQO



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 10. Termoreactor con los viales DQO



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 11. Medición de valores DQO, con el espectrofotómetro



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 12. Medición de pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto con el Multiparámetro



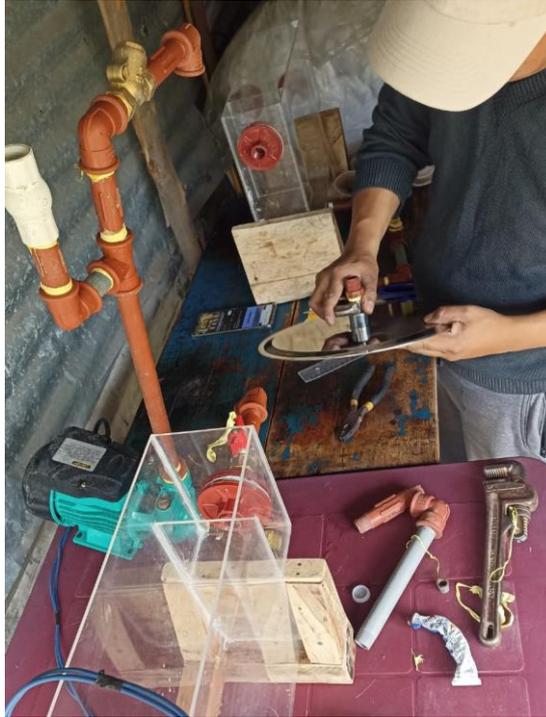
Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 13. Medición de la Turbidez con el Espectrofotómetro



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 14. Construcción del Sistema Secundario Biológico



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 15. Perforación de los Tubos PVC, para Elaborar el Medio Filtrante



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 16. Medio Filtrante Elaborado con Material PVC, Reciclado



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 17. Ubicación del Medio Filtrante en el Filtro Percolador Provisional



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 18. Incorporación de Agua Residual Sintética al Medio Filtrante



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 19. Biopelícula de Microorganismos Formada en una Parte del Medio Filtrante



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 20. Toma de Muestra de Agua Tratada por el Sistema Secundario Biológico Piloto



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 21. Registro de Caudales Recolectados en Campo

Lunes 04/12/23								
N.º	Hora	Tiempo (s)	Volumen (L)	Caudal (L/s)	Caudal (m/h)	(m3)	VTD (m3)	
0	0:00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
1	7:00	15,94	5	0,31	1,13	0,56	0,56	
2	8:00	18,6	5	0,27	0,97	1,05	1,61	
3	9:00	15,85	5	0,32	1,14	1,05	2,66	
4	10:00	13,16	5	0,38	1,37	1,25	3,92	
5	11:00	8,3	5	0,60	2,17	1,77	5,68	
6	12:00	11,91	5	0,42	1,51	1,84	7,52	
7	13:00	17,47	5	0,29	1,03	1,27	8,80	
8	14:00	26,27	5	0,19	0,69	0,86	9,65	
9	15:00	25,56	5	0,20	0,70	0,69	10,35	
10	16:00	15,41	5	0,32	1,17	0,94	11,28	
11	17:00	22,64	5	0,22	0,80	0,98	12,27	
12	18:00	22,33	5	0,22	0,81	0,80	13,07	
13	19:00	27,4	5	0,18	0,66	0,73	13,80	
Caudal medio diario (Qmd)							1,06	

Martes 05/12/23							
	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
14	7:00	15,78	5	0,32	1,14	0,57	0,57
15	8:00	14,65	5	0,34	1,23	1,18	1,76
16	9:00	13,42	5	0,37	1,34	1,28	3,04
17	10:00	9,48	5	0,53	1,90	1,62	4,66
18	11:00	8,85	5	0,56	2,03	1,97	6,63
19	12:00	9,18	5	0,54	1,96	2,00	8,62
20	13:00	7,68	5	0,65	2,34	2,15	10,78
21	14:00	17,30	5	0,29	1,04	1,69	12,47
22	15:00	8,96	5	0,56	2,01	1,52	13,99
23	16:00	11,63	5	0,43	1,55	1,78	15,77
24	17:00	11,29	5	0,44	1,59	1,57	17,34
25	18:00	11,63	5	0,43	1,55	1,57	18,91
26	19:00	21,76	5	0,23	0,83	1,19	20,10
Caudal medio diario (Qmd)							1,55
Miércoles 06/12/23							
	0:00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
27	7:00	17,20	5	0,29	1,05	0,52	0,52
28	8:00	16,86	5	0,30	1,07	1,06	1,58
29	9:00	20,77	5	0,24	0,87	0,97	2,55
30	10:00	15,47	5	0,32	1,16	1,02	3,56
31	11:00	10,18	5	0,49	1,77	1,47	5,03
32	12:00	8,29	5	0,60	2,17	1,97	7,00
33	13:00	6,79	5	0,74	2,65	2,41	9,41
34	14:00	7,28	5	0,69	2,47	2,56	11,97
35	15:00	9,55	5	0,52	1,88	2,18	14,15
36	16:00	9,58	5	0,52	1,88	1,88	16,03
37	17:00	15,86	5	0,32	1,13	1,51	17,54
38	18:00	17,72	5	0,28	1,02	1,08	18,61
39	19:00	19,34	5	0,26	0,93	0,97	19,59
Caudal medio diario (Qmd)							1,51
Jueves 07/12/23							

	0:00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
40	7:00	17,30	5	0,29	1,04	0,52	0,52
41	8:00	23,30	5	0,21	0,77	0,91	1,43
42	9:00	14,34	5	0,35	1,26	1,01	2,44
43	10:00	17,88	5	0,28	1,01	1,13	3,57
44	11:00	10,03	5	0,50	1,79	1,40	4,97
45	12:00	10,63	5	0,47	1,69	1,74	6,72
46	13:00	7,90	5	0,63	2,28	1,99	8,70
47	14:00	18,79	5	0,27	0,96	1,62	10,32
48	15:00	10,31	5	0,48	1,75	1,35	11,67
49	16:00	13,23	5	0,38	1,36	1,55	13,23
50	17:00	17,12	5	0,29	1,05	1,21	14,43
51	18:00	20,39	5	0,25	0,88	0,97	15,40
52	19:00	16,02	5	0,31	1,12	1,00	16,40
Caudal medio diario (Qmd)							1,26
Viernes 08/12/23							
	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00
53	7:00	26,37	5	0,19	0,68	0,34	0,34
54	8:00	23,03	5	0,22	0,78	0,73	1,07
55	9:00	16,92	5	0,30	1,06	0,92	2,00
56	10:00	10,18	5	0,49	1,77	1,42	3,41
57	11:00	6,72	5	0,74	2,68	2,22	5,64
58	12:00	10,11	5	0,49	1,78	2,23	7,86
59	13:00	10,51	5	0,48	1,71	1,75	9,61
60	14:00	9,54	5	0,52	1,89	1,80	11,41
61	15:00	12,58	5	0,40	1,43	1,66	13,07
62	16:00	14,69	5	0,34	1,23	1,33	14,40
63	17:00	13,96	5	0,36	1,29	1,26	15,66
64	18:00	24,37	5	0,21	0,74	1,01	16,67
65	19:00	26,54	5	0,19	0,68	0,71	17,38
Caudal medio diario (Qmd)							1,34
Caudal medio total (Qm)							1,34

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 22. Registro de DQO Recolectados en Campo y Analizados en el Laboratorio

Jueves 07/12/23			
N°	Hora	Abs	DQO 436mm (mg/L O₂)
1	9:30	0,861A	560
2	11:30	0,706A	755
3	13:30	0,723A	702
4	15:30	0,703A	595
Promedio diario			653
Viernes 08/12/23			
5	9:30	0,542A	519
6	11:30	0,712A	757
7	13:30	0,740A	670
8	15:30	0,742A	460
Promedio diario			601,5
Lunes 11/12/23			
N°	Hora	Abs	DQO 436mm (mg/L O₂)
9	9:30	0,701A	554
10	11:30	0,621A	637
11	13:30	0,743A	460
12	15:30	0,647A	442
Promedio diario			523,25
Martes 12/12/23			
N°	Hora	Abs	DQO 436mm (mg/L O₂)
13	9:30	0,711A	656
14	11:30	0,719A	758
15	13:30	0,708A	763
16	15:30	0,711A	649
Promedio diario			706,5
Miércoles 13/12/23			
N°	Hora	Abs	DQO 436mm (mg/L O₂)
17	9:30	0,672A	648
18	11:30	0,573A	726
19	13:30	0,592A	530

20 15:30 0,635A 459

Promedio diario 590,75

Promedio Total 615

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo 23.

Resultados del Laboratorio CICAM del análisis de DBO_5 (Muestra 1)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 22 de enero de 2024

No.IRS-24-038

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente: Leonidas Andrés Calo Chicaiza
Nombre del Representante Legal: -
RUC: 1725972325
Dirección: La victoria baja
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: 0983655492 /0982645174
Correo electrónico: leonidas.calo2325@utc.edu.ec

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2024-01-04
No. Oferta de Servicio: OF24-03
No. Solicitud de trabajo: ST-24-003
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-24- 038
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: Del 5 al 19 de enero de 2024
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,0°C

DATOS DE LA MUESTRA: SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

Nombre del Proyecto: -
Fecha de muestreo: -
Rotulación de la muestra: MUESTRA 1
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Residual
Lugar de muestreo: -
Origen de la muestra: Efluentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi
Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Plástico	1	No

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
⁽⁶⁾ Demanda bioquímica de oxígeno DBO_2	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	394,3
⁽⁶⁾ Demanda bioquímica de oxígeno DBO_5	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	490,8
⁽⁶⁾ Demanda bioquímica de oxígeno DBO_8	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	560,2
⁽⁶⁾ Demanda bioquímica de oxígeno DBO_{14}	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	583,9
⁽⁶⁾ Demanda química de oxígeno, DQO	PE-V-01 SM Ed.23, 2017. Método 5220D Espectrofotometría VIS	mg/L	860

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Accreditaciones:

⁽⁶⁾ Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación. www.acreditacion.gob.ec

⁽⁶⁾ Parámetro no acreditado

⁽⁶⁾ Parámetro medido en campo

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe



Revisado por: MSc. Luis Montenegro
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE CALIDAD

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 24. Resultados del Laboratorio CICAM del Análisis de DBO₅ (Muestra 2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 22 de enero de 2024

No.IRS-24-039

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente: Leonidas Andrés Calo Chicaiza
Nombre del Representante Legal: -
RUC: 1725972325
Dirección: La victoria baja
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: 0983655492 / 0982645174
Correo electrónico: leonidas.calo2325@utc.edu.ec

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2024-01-04
No. Oferta de Servicio: OF24-03
No. Solicitud de trabajo: ST-24-003
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-24-039
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: Del 5 al 19 de enero de 2024
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,0°C

DATOS DE LA MUESTRA: SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

Nombre del Proyecto: -
Fecha de muestreo: -
Rotulación de la muestra: MUESTRA 2
Tipo de muestreo: Puntual
Tipo de muestra: Agua Residual
Lugar de muestreo: -
Origen de la muestra: Efluentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi
Responsable de muestreo: Cliente

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₂	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	366,8
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	368,5
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₈	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	371,9
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₁₄	PE-V-06 SM Ed.23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	387,2
^(a) Demanda química de oxígeno, DQO	PE-V-01 SM Ed.23, 2017. Método 5220D. Espectrofotometría VIS	mg/L	490

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(a) Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación: www.acreditacion.gob.ec

^(c) Parámetro no acreditado

^(a) Parámetro medido en campo

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe



Revisado por: MSc. Luis Montenegro
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE CALIDAD

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 25. Resultados del Laboratorio CICAM del Análisis de DBO₅ (Muestra 3)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 22 de enero de 2024

No.IRS-24-040

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente: Leonidas Andrés Calo Chicaiza
Nombre del Representante Legal: -
RUC: 1725972325
Dirección: La victoria baja
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: 0983655492 /0982645174
Correo electrónico: leonidas.calo2325@utc.edu.ec

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2024-01-04
No. Oferta de Servicio: OF24-03
No. Solicitud de trabajo: ST-24-003
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-24-040
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: Del 5 al 19 de enero de 2024
Temperatura de ingreso al laboratorio: 10,0°C

DATOS DE LA MUESTRA: SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

Nombre del Proyecto:	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
-	Plástico	1	No
Fecha de muestreo: -			
Rotulación de la muestra: MUESTRA 3			
Tipo de muestreo: Puntual			
Tipo de muestra: Agua Residual			
Lugar de muestreo: -			
Origen de la muestra: Efluentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi			
Responsable de muestreo: Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₂	PE-V-06 SM Ed 23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	379.6
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	PE-V-06 SM Ed 23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	380.7
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₈	PE-V-06 SM Ed 23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	382.1
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₁₄	PE-V-06 SM Ed 23, 2017. Método 5210D Respirométrico	mg/L	391.3
^(a) Demanda química de oxígeno, DQO	PE-V-01 SM Ed 23, 2017. Método 5220D. Espectrofotometría VIS	mg/L	495

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(a) Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación: www.acreditacion.gob.ec

^(c) Parámetro no acreditado

^(a) Parámetro medido en campo

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe



Revisado por: MSc. Luis Montenegro
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE CALIDAD

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 26. Resultados del Laboratorio EMAPA del Análisis Físico, Químico y Biológico (Muestra 1)

		INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS		
		17025-RG-CC-71-11		
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD				
DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES		
CLIENTE: LEONIDAS ANDRES CALO CHICAIZA DIRECCIÓN: COTOPAXI-LATACUNGA - CABECERA CANTONAL Y CAPITAL PROVINCIAL-LATACUNGA PERSONA DE CONTACTO: LEONIDAS CALO TELÉFONO DE CONTACTO: 0983655492 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: LATACUNGA, UTC LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA: CAJA DE REVISIÓN FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: 2024-02-19:09h00min TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta) PUNTUAL TIPO DE MUESTRA (MATRIZ): AGUA RESIDUAL RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA: LEONIDAS CALO	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: 25100071 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2024-02-19:14h00min FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 2024-02-19 FECHA DE FIN DE ANÁLISIS: 2024-02-23 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 2024-02-23 CONDICIONES AMBIENTALES: Humedad (%): 55 Temperatura (°C): 6,4 Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)			
ANÁLISIS REALIZADOS				
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015) **	RESULTADOS
COLIFORMES FECALES*	NMP/100mL	Standard Methods 9221-C	2000	2374,03
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-D	130	915
SOLIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-B	1600	2419
NITRATOS *	mg/L	HACH 8039	-	17,10
NITRITOS *	mg/L	HACH 8507	-	0,135

* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.
 ** Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GA 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACION ESCRITA DEL LABORATORIO.

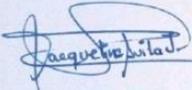
OBSERVACIONES: NINGUNA

PROFESIONALES RESPONSABLES:




Firmado electrónicamente por:
LORENA CAROLINA VARGAS VELÁSTEGUI

Ing. Lorena C. Vargas V.
ANALISTA DE LABORATORIO




Firmado electrónicamente por:
JACQUELINE DEL ROSARIO ÁVILA JACOME

Ing. Jacqueline Ávila J.
RESPONSABLE TÉCNICO

PAG 1 DE 1

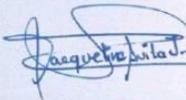


www.emapa.gob.ec

Laboratorio de Control de Calidad, EP-EMAPA-
 Hermenegildo Noboa y Manuelita Sáenz - Ambato
Tel.: 032 585 991 - **Ext.** 101
E-mail: labcalidad@emapa.gob.ec

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 27. Resultados del Laboratorio EMAPA del Análisis Físico, Químico y Biológico (Muestra 2)

		INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS		
		17025-RG-CC-71-11		
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD				
DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES		
CLIENTE: LEONIDAS ANDRES CALO CHICAIZA DIRECCIÓN: COTOPAXI-LATACUNGA- CABECERA CANTONAL Y CAPITAL PROVINCIAL-LATACUNGA PERSONA DE CONTACTO: LEONIDAS CALO TELÉFONO DE CONTACTO: 0983655492 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: LATACUNGA, UTC LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA: CAJA DE REVISIÓN FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: 2024-02-19; 11h00min TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta) PUNTUAL TIPO DE MUESTRA (MATRIZ): AGUA RESIDUAL RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA: LEONIDAS CALO	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: 25100072 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2024-02-19; 14h00min FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 2024-02-19 FECHA DE FIN DE ANÁLISIS: 2024-02-23 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 2024-02-23 CONDICIONES AMBIENTALES: Humedad (%): 55 Temperatura (°C): 6.4 Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)			
ANÁLISIS REALIZADOS				
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)	RESULTADOS
COLIFORMES FECALES*	NMP/100mL	Standard Methods 9221-C	2000	2861
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-D	130	1146,15
SOLIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-B	1600	2528
NITRATOS *	mg/L	HACH 8039	-	26,40
NITRITOS *	mg/L	HACH 8507	-	0,189
* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE. ** Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.				
NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ, NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GA 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO.				
OBSERVACIONES: NINGUNA				
PROFESIONALES RESPONSABLES:				
		 Firmado electrónicamente por: LORENA CAROLINA VARGAS VELASTEGUI		
Ing. Lorena C. Vargas V. ANALISTA DE LABORATORIO				
		 Firmado electrónicamente por: JACQUELINE DEL ROCÍO ÁVILA JACOME		
		Ing. Jacqueline Ávila J. RESPONSABLE TÉCNICO		
PAG 1 DE 1				
Acreditación ISO ISO/IEC 17025:2018  www.emapa.gob.ec		Laboratorio de Control de Calidad, EP-EMAPA, Hermenegildo Noboa y Manuelito Sáenz - Ambato Telf.: 032 585 991 - Ext. 101 E-mail: labcalidad@emapa.gob.ec		

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 28. Resultados del Laboratorio EMAPA del Análisis Físico, Químico y Biológico (Muestra 3)

		INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS		
		17025-RG-CC-71-11		
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD				
DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES		
CLIENTE: LEONIDAS ANDRES CALO CHICAIZA DIRECCIÓN: COTOPAXI-LATACUNGA - CABECERA CANTONAL Y CAPITAL PROVINCIAL-LATACUNGA PERSONA DE CONTACTO: LEONIDAS CALO TÉLEFONO DE CONTACTO: 0983655492 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: LATACUNGA, UTC LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA: CAJA DE REVISIÓN FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: 2024-02-19; 13h00min TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta) PUNTUAL TIPO DE MUESTRA (MATRIZ): AGUA RESIDUAL RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA: LEONIDAS CALO	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: 25100070 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2024-02-19; 14h00min FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 2024-02-19 FECHA DE FIN DE ANÁLISIS: 2024-02-23 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 2024-02-23 CONDICIONES AMBIENTALES: Humedad (%): 55 Temperatura (°C): 6.4 Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)			
ANÁLISIS REALIZADOS				
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015) **	RESULTADOS
COLIFORMES FECALES*	NIP/100mL	Standard Methods 9221-C	2000	1840,14
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-D	130	1043,26
SOLIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-B	1600	2237
NITRATOS *	mg/L	HACH 8039	-	22,30
NITRITOS *	mg/L	HACH 8507	-	0,119

* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.
 ** Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GA 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO.

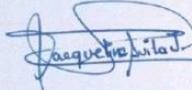
OBSERVACIONES: NINGUNA

PROFESIONALES RESPONSABLES:




Firmado electrónicamente por:
LORENA CAROLINA VARGAS VELASTEGUI

Ing. Lorena C. Vargas V.
ANALISTA DE LABORATORIO




Firmado electrónicamente por:
JACQUELINE DEL ROCÍO ÁVILA JACOME

Ing. Jacqueline Ávila J.
RESPONSABLE TÉCNICO

PAG 1 DE 1



Acreditación ISO/IEC 17025:2018
www.emapa.gob.ec



Laboratorio de Control de Calidad, EP-EMAPA-
Hermenegildo Noboa y Manuelita Sáenz - Amb
Telf.: 032 585 991 - Ext. 101
E-mail: labcalidad@emapa.gob.ec

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 29. Planta Piloto a Escala 1:10



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 30. Tanque Sedimentador Primario a Escala 1:10



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 31. Filtro Percolador a Escala 1:10



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 32. Tanque Sedimentador Secundario a Escala 1:10



Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).

Anexo No. 33. Resultados del Laboratorio CICAM de la Muestra 1, Post Tratamiento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 01 de febrero de 2024

No.IRS-27-084

DATOS DEL CLIENTE:

Nombre del Cliente: Leonidas Andrés Calo Chicaiza
Nombre del Representante Legal: -
RUC: 1725972325
Dirección: La victoria baja
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: 0983655492
Correo electrónico: leonidas.calo2325@utc.edu.ec

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2024-01-25
No. Oferta de Servicio: OF27-84
No. Solicitud de trabajo: ST-27-084
Tipo de servicio: Servicio de ensayo para evaluación de la calidad
Código de la muestra: MS-27-084
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: Del 26 al 31 de enero de 2024
Temperatura de ingreso al laboratorio: 6,0°C

DATOS DE LA MUESTRA: SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

Nombre del Proyecto:	-	Tipo de envase:	Plástico	Nº de envases:	1	Preservante:	No
Fecha de muestreo:	2024-01-25						
Rotulación de la muestra:	MUESTRA 1						
Tipo de muestreo:	Puntual						
Tipo de muestra:	Agua Residual						
Lugar de muestreo:	-						
Origen de la muestra:	Efluente Post Tratamiento Biológico						
Responsable de muestreo:	Cliente						

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
^(c) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	PE-V-06 SM Ed 23, 2017. Método 5210D. Respirométrico	mg/L	98,45
^(d) Demanda química de oxígeno, DQO	PE-V-01 SM Ed 23, 2017. Método 5220D. Espectrofotometría VIS	mg/L	194,34

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed. Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

Acreditaciones:

^(b) Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación: www.acreditacion.gob.ec

^(c) Parámetro no acreditado

^(d) Parámetro medido en campo

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

Nota:

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas

La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados

En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa

Prohibida la reproducción parcial de este informe

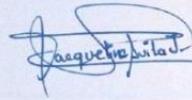


Revisado por: MSc. Luis Montenegro
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE CALIDAD

Anexo No. 34. Resultados del Laboratorio EMAPA de la Muestra 1, Post Tratamiento

		INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS		
		17025-RG-CC-71-11		
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD				
DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES		
CLIENTE:	LEONIDAS ANDRES CALO CHICAIZA	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	25100075	
DIRECCIÓN:	COTOPAXI-LATACUNGA- CABECERA CANTONAL Y CAPITAL PROVINCIAL-LATACUNGA	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	2024-02-19; 14h00min	
PERSONA DE CONTACTO:	LEONIDAS CALO	FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	2024-02-19	
TÉLEFONO DE CONTACTO:	0983655492	FECHA DE FIN DE ANÁLISIS:	2024-02-23	
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	-	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	2024-02-23	
LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:	SALIDA POST TRATAMIENTO	CONDICIONES AMBIENTALES:		
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	2024-02-19; 06h00min		Humedad (%): 52	
TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta)	PUNTUAL		Temperatura (°C): 7,5	
TIPO DE MUESTRA (MATRIZ):	AGUA RESIDUAL	Norma de referencia:		
RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	LEONIDAS CALO	TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)		
ANÁLISIS REALIZADOS				
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 9. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015) **	RESULTADOS
COLIFORMES FECALES*	NiVP/100mL	Standard Methods 9221-C	2000	1547,26
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-D	130	127,42
SOLIDOS TOTALES*	mg/L	Standard Methods 2540-B	1600	1371,36
NITRATOS *	mg/L	HACH 8039	-	14,50
NITRITOS *	mg/L	HACH 8507	-	0,11
<p>* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE. ** Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.</p>				
<p>NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE. POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GA 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO.</p>				
OBSERVACIONES: NINGUNA				
PROFESIONALES RESPONSABLES:				
				
Ing. Lorena C. Vargas V. ANALISTA DE LABORATORIO		<small>Forma de identificación por:</small> LORENA CAROLINA VARGAS VELASTEGUI	<small>Forma de identificación por:</small> JACQUELINE DEL ROCÍO ÁVILA JACOME	
			Ing. Jacqueline Ávila J. RESPONSABLE TÉCNICO	
PAG 1 DE 1				
Acreditación ISO/IEC 17025:2018  www.emapa.gob.ec		Laboratorio de Control de Calidad, EP-EMAPA- Hermenegildo Noboa y Manuella Sáenz - Ambato Telf.: 032 585 991 - Ext. 101 E-mail: labcalidad@emapa.gob.ec		

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO DE UN SISTEMA SECUNDARIO BIOLÓGICO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ANAERÓBICA DEL CAMPUS CEASA”** presentado por: **Calo Chicaiza Leonidas Andres y Fuentes Quilligana Domenica Stefania** egresados de la Carrera de: **Ingeniería Ambiental**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2024.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Marco Paúl Beltrán Semblantes'.



CENTRO
DE IDIOMAS

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC: 0502666514

Fuente: Autores (Calo L. & Fuentes D. 2024).