



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE COTOPAXI”**

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

Autores:
Lamar Lescano Ana Salome
Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia

Tutor:
Ágreda Oña José Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Lamar Lescano Ana Salome, con cédula de ciudadanía No. 0550136444 y Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia, con cédula de ciudadanía No. 0504800004, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, siendo el Ingeniero MSc. 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, 22 de febrero del 2024



Ana Salome Lamar Lescano

C.C: 0550136444

ESTUDIANTE



Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia

C.C: 0504800004

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 **LAMAR LESCANO ANA SALOME**, identificada con cédula de ciudadanía **0550136444** de estado civil soltera 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 **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2019 - Agosto 2019

Finalización de la carrera: Octubre 2023 – Marzo 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña MSc.

Tema: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

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

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

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

- 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 **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 22 días del mes de febrero del 2024.

Ana Salome Lamar Lescano
LA 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 **PURUNCAJA MALDONADO VIVIAN HIPATIA**, identificada con cédula de ciudadanía **0504800004** 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 **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2017 - Agosto 2017

Finalización de la carrera: Abril 2023 – Agosto 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 28 de noviembre del 2023

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña MSc.

Tema: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**

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

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

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

- f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 22 días del mes de febrero del 2024.



Vivian Hipatia Puruncaja Maldonado
LA CEDENTE

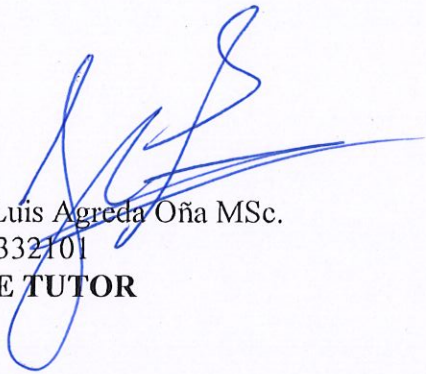
Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, de Lamar Lescano Ana Salome y Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia, 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, 22 de febrero del 2024



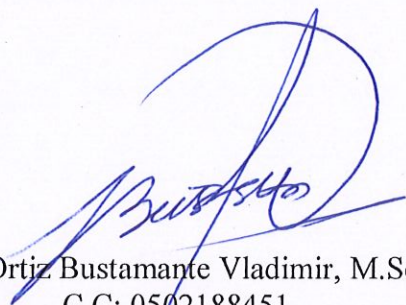
Ing. José Luis Agreda Oña MSc.
C.C: 0401332101
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

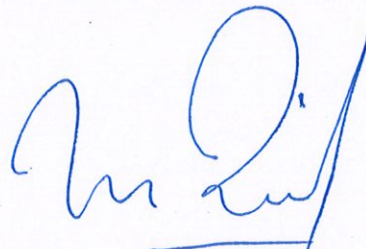
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Lamar Lescano Ana Salome y Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia, con el título de Proyecto de Investigación: **“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, 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.

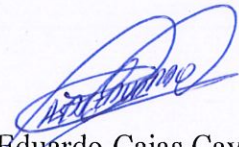
Latacunga, 22 de febrero del 2024



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



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



Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, M.Sc.
C.C: 0502205164
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría para seguir adelante. A mi madre Patricia, por ser la mejor mamá del mundo, por darme su apoyo incondicional, por enseñarme principios y valores que sin duda han sido mis mejores herramientas para poder cumplir mis objetivos personales y académicos. A mi padre Guido, por brindarme su apoyo ilimitado, por enseñarme a no rendirme y por creer en mis capacidades para lograr esta meta importante, desde el primer día me llamaste Ing. y ya es un hecho. A mi hermano Fabricio, por ser mi segundo padre, por su apoyo incondicional, gracias por esos consejos que me hacían subir el ánimo para continuar todos los días de mi vida, no me alanzaría la vida para agradecer todo lo que has sacrificado por mí. A mis hermanos, Fernando, Rosa, Jhan Pier, Mateo y Mariela por ser mi mayor motivación y por siempre alegrarme con sus ocurrencias. A mi enamorado Fabian, por su apoyo incondicional, por ser mi lucecita, por su amor sincero e inigualable, sobre todo por motivarme a continuar cumpliendo mis metas, gracias por formar parte de este proceso tan importante. A mi cuñada Mónica, por sus consejos de superación y por su apoyo incondicional. A mi mejor amiga Vivian, por su apoyo y su amistad sincera, empezamos juntas este proceso y finalmente lo hemos logrado. Por último, agradezco a todas y cada una de las personas que de alguna u otra manera, contribuyeron a que lograra esta meta que me propuse en la vida.

Ana Salome Lamar Lescano

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a Dios por guiarme en el camino correcto, a mis padres, hermanos, padrinos y amigos quienes han sido mi apoyo incondicional a lo largo de este arduo pero gratificante viaje académico. A mis amados padres Patricio y Deysi que con su amor, paciencia, aliento constante y sacrificio han sido mi mayor fortaleza. Gracias por siempre creer en mí, por ser mis ejemplos a seguir y por ser la fuente inagotable de motivación sin su apoyo, este logro no habría sido posible. A mis queridos hermanos Xavier y Erik, ya que su comprensión y respaldo han sido fundamentales. Gracias por compartir este viaje conmigo, por celebrar los triunfos y por ser el soporte en los momentos desafiantes. A mis padrinos William y Mirian, su guía y consejos han sido un faro en momentos de duda. Aprecio sinceramente su presencia y sabiduría, gracias por su apoyo incondicional. A mis amigos Fernando, Tatiana y Xavier quienes han sido mi red de apoyo y celebración. Gracias por alegrar los días difíciles y por compartir las victorias. A mi compañera de tesis y mejor amiga Salome. Este viaje académico ha sido un desafío gratificante, y no podría haber pedido una colaboradora más excepcional. Este logro no solo es mío, sino nuestro estoy muy agradecida por haber tenido el privilegio de haber coincidido contigo Que este sea solo el comienzo de muchos éxitos compartidos en nuestro camino profesional. Finalmente agradezco a todas y cada una de las personas quienes fueron parte de mi vida universitaria y me brindaron su apoyo incondicional.

Vivian Hipatia Puruncaja Maldonado

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios, a mis padres Patricia y Guido por apoyarme en mi educación y crecimiento profesional, por su paciencia y por su motivación constante. A mi ángel Luis por darme la vida, por guiarme y cuidarme desde el cielo para que todo salga bien. A mis hermanos Fabricio, Fernando, Rosa, Jhan Pier, Mateo y Mariela por sus palabras de aliento y su compañía. A mi enamorado Fabian por incentivar me a culminar este proceso y por su apoyo diario y constante. A mi hijo Doki por ser mi alegría y mi compañía en mis noches de desvelo.

Ana Salome Lamar Lescano

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a quienes han iluminado mi camino con su apoyo incondicional y han sido la fuerza detrás de este logro: A mis padres Patricio y Deysi, cuyo amor y sacrificio han sido la mayor motivación en este viaje académico. Gracias por ser mi guía y mi inspiración. A mis hermanos Xavier y Erik, por ser mis cómplices en las risas, mis confidentes en los desafíos y mis compañeros de vida en este emocionante trayecto. A mis amigos, quienes han compartido alegrías y penas, y han sido una fuente constante de aliento. A mi familia extendida, amigos cercanos y seres queridos, gracias por estar siempre presentes, por creer en mí y por ser parte esencial de este logro. Este trabajo está dedicado a todos ustedes. Cada página lleva consigo la huella de su apoyo y amor. Gracias por ser mi mayor motivación y por compartir este triunfo conmigo.

Con gratitud,

Vivian Hipatia Puruncaja Maldonado

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMPUS CEASA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

Autoras:

Lamar Lescano Ana Salome
Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo como objetivo optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi para la mejora de los procesos de tratamiento existentes. Para lo cual, se realizó un levantamiento de información para la obtención de datos de caudal, DQO, pH, Temperatura, Turbidez, DBO_5 , ST, SST, nitritos, nitratos y coliformes fecales. En el levantamiento de información, se tomó muestras compuestas de agua, recolectadas en la caja de revisión ubicada en la entrada al campus CEASA para su respectivo análisis en el laboratorio. Obteniendo un caudal medio de $0,00037 \text{ m}^3/\text{s}$, una DQO de 615 mg/L, un pH de 8,91, una temperatura de 21,60 °C, una turbidez de 51,67 UNT, una DBO_5 de 413,3 mg/L, ST de 2394,67 mg/L, SST de 1034,67 mg/L, nitritos de 0,15 mg/L, nitratos de 21,93 mg/L y coliformes fecales de 2958,33 NMP/100ml. Para optimizar la planta de tratamiento se dimensiono los procesos mediante criterios de diseño y manuales de diseño. Una vez realizado los cálculos se obtuvo, las dimensiones del pretratamiento el cual consta de un canal de entrada de una altura de 0,34 m y un ancho de 0,5 m, dos rejillas de limpieza manual, una fina de 45 barrotes con un espesor de 0,006 m y un espacio entre barrotes de 0,005 m, una mediana de 17 barrotes con un espesor de 0,013 m y un espacio entre barrotes de 0,015 m, un desarenador con un ángulo de divergencia de 12,5°, una velocidad de sedimentación de 0,10 m/s, una profundidad de 0,40 m, un ancho de 0,6 m y un largo de 6 m, y una canaleta Parshall dimensionada con un ancho de garganta de 3 pulgadas. Mientras que para el tratamiento primario se dimensiono un sedimentador primario de un volumen de 39,6 m^3 , una velocidad de 0,89 m/s, un área superficial de 13,2 m^2 , una altura de 3 m, un ancho de 3 m, y un largo de 4 m, con los valores mencionados se realizó el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en el software AutoCAD. Finalmente se planteó una guía de monitoreo y mantenimiento para garantizar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA.

Palabras claves: Caudal, DBO_5 , dimensionamiento, DQO, optimización, pretratamiento, sedimentador.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

**THEME: “OPTIMIZATION OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT OF THE
CEASA CAMPUS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI”.**

Authors:

Lamar Lescano Ana Salome

Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia

ABSTRACT

The research project aimed to optimize the wastewater treatment plant at the CEASA campus of the Technical University of Cotopaxi to improve existing treatment processes. So, an information survey was carried out to obtain data on flow rate, COD, pH, Temperature, Turbidity, DBO_5 , ST, TSS, nitrites, nitrates, and fecal coliforms. In collecting information, composite water samples were taken and collected in the inspection box at the CEASA campus entrance for their respective analysis in the laboratory. Obtaining an average flow rate of $0.00037 \text{ m}^3/\text{s}$, a COD of 615 mg/L, a pH of 8.91, a temperature of $21.60 \text{ }^\circ\text{C}$, a turbidity of 51.67 NTU, a DBO_5 of 413.3 mg/L, ST of 2394.67 mg/L, TSS of 1034.67 mg/L, nitrites of 0.15 mg/L, nitrates of 21.93 mg/L and fecal coliforms of 2958, 33 MPN/100ml. To optimize the treatment plant, the processes were sized using design criteria and design manuals. Once the calculations were carried out, the dimensions of the pretreatment were obtained, which consisted of an entrance channel with a height of 0.34 m and a width of 0.5 m, two manual cleaning grates, a fine one with 45 bars with a thickness of 0.006 m and a spacing between bars of 0.005 m, a median of 17 bars with a thickness of 0.013 m and a spacing between bars of 0.015 m, a sand trap with a divergence angle of 12.5° , a sedimentation velocity of 0.10 m/s, a depth of 0.40 m, a width of 0.6 m and a length of 6 m, and a Parshall trough sized with a throat width of 3 inches. For the principal treatment, a primary settler was sized with a volume of 39.6 m^3 , a speed of 0.89 m/s, a surface area of 13.2 m^2 , a height of 3 m, a width of 3 m, and a length of 4 m, with the values above, the design of the wastewater treatment plant was carried out in the AutoCAD software. Finally, a monitoring and maintenance guide was proposed to guarantee the correct functioning of the CEASA campus wastewater treatment plant.

Keywords: Flow, DBO_5 , sizing, COD, optimization, pretreatment, settler.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	viii
<i>AGRADECIMIENTO</i>	ix
<i>AGRADECIMIENTO</i>	x
<i>DEDICATORIA</i>	xi
<i>DEDICATORIA</i>	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	2
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....	3
5. OBJETIVOS:.....	4
5.1. General.....	4
5.2. Específicos	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
7.1. Contaminación de los recursos hídricos	6
7.2. Definición de aguas residuales domésticas.....	6
7.3. Características de las aguas residuales domésticas	7
7.3.1. Características físicas	7
7.3.1.1. Sólidos.....	7
7.3.2. Medida indirecta de la materia inorgánica.	8

7.3.2.1.	Demanda Bioquímica de Oxígeno	8
7.3.2.2.	Demanda Química de Oxígeno	9
7.3.2.3.	Potencial de hidrógeno.....	9
7.3.3.	Características biológicas	9
7.4.	Tratamiento de aguas residuales	10
7.5.	Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	10
7.5.1.	Pretratamiento.....	10
7.5.1.1.	Rejillas.....	10
7.5.2.	Desarenador	10
7.5.2.1.	Remoción de grasas	11
7.5.3.	Canaleta Parshall	11
7.5.3.1.	Características de una canaleta Parshall.....	11
7.5.4.	Tratamiento primario.....	11
7.5.4.1.	Sedimentador primario	12
7.5.4.2.	Tratamiento secundario.....	12
7.5.4.3.	Tratamiento terciario.....	12
7.6.	Caudal	12
7.7.	Método volumétrico para la medición del caudal.....	13
7.8.	Método para la determinación de la Demanda Química del Oxígeno.....	13
7.8.1.	Termo-reactor	13
7.8.2.	Espectrofotómetro	13
7.9.	Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	13
7.10.	Criterios de diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	14
8.	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTA CIENTÍFICA.....	14
9.	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	14
9.1.	Área de Estudio.....	14
9.2.	Enfoque.....	15
9.2.1.	Enfoque Cualitativo.....	15
9.2.2.	Enfoque Cuantitativo.....	15

9.3.	Tipo de investigación.....	16
9.3.1.	Investigación bibliográfica	16
9.4.	Técnicas	16
9.4.1.	Observación Directa	16
9.4.1.1.	Muestreo	16
9.4.2.	Análisis de Datos	16
9.5.	Diseño Metodológico para el análisis de resultados	16
9.5.1.	Fase de Campo.....	16
9.5.1.1.	Equipos y Materiales	16
9.5.1.2.	Levantamiento de Información	17
9.5.1.3.	Método de muestreo	17
9.5.1.4.	Determinación del caudal	18
9.5.1.5.	Determinación del caudal medio.....	18
9.5.2.	Fase de laboratorio.....	19
9.5.2.1.	Análisis Demanda Química del Oxígeno	19
9.5.2.2.	Análisis del Potencial de Hidrogeno y Temperatura	19
9.5.2.3.	Análisis de la Turbidez	19
9.5.2.4.	Análisis Demanda Bioquímica del Oxígeno	19
9.5.2.5.	Análisis Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales	20
9.5.2.6.	Análisis Nitritos y Nitratos	20
9.5.2.7.	Análisis Coliformes Fecales	21
9.6.	Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales	21
9.6.1.	Diseño del canal de entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	21
9.6.2.	Diseño del desbaste	24
9.6.2.1.	Rejillas	24
9.6.2.2.	Diseño del Desarenador	25
9.6.2.3.	Dimensionamiento del desarenador	27
9.6.3.	Diseño de la Canaleta Parshall	29
9.6.3.1.	Selección de la canaleta	29
9.6.4.	Sedimentador primario	33
9.7.	Guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales.	35

10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	36
10.1.	Levantamiento de información.....	36
10.2.	Fase de laboratorio	38
10.2.1.	Análisis de la Demanda Química de Oxígeno.....	38
10.2.2.	Análisis del Potencial de Hidrogeno y la Temperatura	40
10.2.3.	Análisis de la Turbidez.....	40
10.2.4.	Análisis de la Demanda Bioquímica del Oxígeno.....	41
10.2.5.	Análisis de Solidos Totales.....	41
10.2.6.	Análisis de Solidos Suspendidos Totales	42
10.2.7.	Análisis de Nitritos	43
10.2.8.	Análisis de Nitratos	43
10.2.9.	Análisis de Coliformes Fecales	44
10.3.	Planta de tratamiento de Aguas Residuales.....	46
10.4.	Resultados para el diseño	47
10.4.1.	Pretratamiento.....	47
10.4.1.1.	Canal de entrada	47
10.4.2.	Diseño del Desbaste.....	48
10.4.2.1.	Rejilla Media	48
10.4.2.2.	Rejillas Fina.....	49
10.4.2.3.	Desarenador	50
10.4.3.	Canaleta Parsahall.....	51
10.4.4.	Interpretación de resultados del pretratamiento.....	52
10.4.5.	Diseño del tratamiento primario.....	53
10.4.5.1.	Sedimentador Primario	53
10.5.	Resultados de la Guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del campus CEASA.	55
10.5.1.	Guía de Monitoreo.....	55
10.5.2.	Puntos críticos o de muestreo	55
10.5.3.	Equipo de protección para el muestreo.....	55
10.5.4.	Parámetros a muestrear.....	56

10.5.5. Guía de mantenimiento.....	56
10.5.6. Equipo de protección personal	56
10.5.7. Desbaste.....	57
10.5.8. Desarenador	57
10.5.9. Canaleta Parshall	57
10.5.10. Sedimentador primario	57
11. IMPACTOS	58
11.1. Sociales.....	58
11.2. Ambientales.....	58
11.3. Económicos	58
12. CONCLUSIONES.....	59
13. RECOMENDACIONES	60
14. BIBLIOGRAFÍA	61
15. ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto.....	3
Tabla 2. Actividades y sistema de tareas.....	5
Tabla 3. Coordenadas del punto de muestreo.....	17
Tabla 4. Consideraciones para el análisis del DBO_5	20
Tabla 5. Consideraciones para el análisis de ST y SST.....	20
Tabla 6. Consideraciones para el análisis de NO_2 y NO_3	21
Tabla 7. Consideraciones para el análisis de Coliformes fecales.....	21
Tabla 8. Capacidad de conducción para canales revestidos.....	22
Tabla 9. Borde Libre en referencia al caudal.....	24
Tabla 10. Coeficiente en función al diámetro de la partícula.....	26
Tabla 11. Dimensiones y capacidades de los canales Parshall estándar.....	30
Tabla 12. Valores de flujo libre de C y n para canales Parshall.....	31
Tabla 13. Canal, 3 pulg. (7,62 cm), sumergido: caudal, $pies^3/s$	32
Tabla 14. Resultados del caudal, caudal medio, caudal máximo horario y diario.....	36
Tabla 15. Valores obtenidos del análisis del DQO.....	39
Tabla 16. Valores obtenidos del análisis del pH y temperatura.....	40
Tabla 17. Valores obtenidos del análisis de la Turbidez.....	40
Tabla 18. Valores obtenidos del análisis del DBO_5	41
Tabla 19. Valores obtenidos del análisis de ST.....	41
Tabla 20. Valores obtenidos del análisis de SST.....	42
Tabla 21. Valores obtenidos del análisis de NO_4	43
Tabla 22. Valores obtenidos del análisis del NO_3	44
Tabla 23. Valores obtenidos del análisis de coliformes fecales.....	45
Tabla 24. Valores para el dimensionamiento del canal de entrada a la planta de tratamiento.....	47
Tabla 25. Valores para el dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual media.....	48
Tabla 26. Valores para el dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual fina.....	49
Tabla 27. Valores para el dimensionamiento del desarenador.....	50
Tabla 28. Valores para el dimensionamiento de la canaleta Parshall.....	51
Tabla 29. Valores para el dimensionamiento del tanque sedimentador primario.....	54
Tabla 30. Parámetros para el monitoreo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de Estudio.....	15
Figura 2. Boceto de la optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	46
Figura 3. Dimensionamiento del canal de entrada.	47
Figura 4. Dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual media.	48
Figura 5. Dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual fina.....	49
Figura 6. Dimensionamiento del desarenador.	50
Figura 7. Dimensionamiento de la canaleta Parshall,.....	52
Figura 8. Dimensionamiento del tanque sedimentador primario.	54

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fecha de inicio:

23 de octubre del 2023

Fecha de finalización:

22 de febrero del 2024

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

Carrera que auspicia:

Ingeniería Ambiental

Equipo de Trabajo:

Tutor de titulación: Mg. José Luis Ágredda Oña.

Autoras: Lamar Lescano Ana Salome, Puruncaja Maldonado Vivian Hipatia

Lectores:

Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, Msc. (Lector 1)

Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg. (Lector 2)

Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg. (Lector 3)

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.

Línea de vinculación de la carrera:

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

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, la contaminación de los afluentes es una situación de alto impacto de carácter generalizado, para mitigar este tipo de realidades, es muy importante el buen manejo del agua usada diariamente para el beneficio de la población en general, a través, de la creación de sistemas de reducción del impacto que ayuden a disminuir la contaminación que genera el verter aguas residuales domésticas sin su respectivo tratamiento y en espacios no adecuados o aptos para estas disposiciones (Moreno & Hernández, 2021)

Es por eso que existen diversas opciones para el tratamiento de las aguas residuales, dependiendo del nivel de descontaminación deseado y de las características del agua a tratar. Por lo general, la población ha optado por la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, en las que utilizan procesos químicos, físicos, y biológicos, con el fin de eliminar los diferentes tipos de contaminantes que se encuentran presentes en el agua residual, debido a que el objetivo principal del tratamiento es obtener agua limpia o que pueda ser reutilizada, beneficiando al medio ambiente ya que al reducir la cantidad de contaminantes, se garantiza la calidad del agua y la vida acuática, así como también que las comunidades tengan acceso a agua limpia y segura (Peña et al., 2018)

Por lo que dentro de este proyecto de investigación se planteó una propuesta para optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del campus CEASA ya que es indispensable mejorar la eficiencia operativa y maximizar la efectividad en el tratamiento de aguas residuales debido a que estas aguas no están siendo tratadas adecuadamente antes de ser vertidas en el río Isinche, razón por la cual se establecerá mejoras en los procesos físicos con la optimización del pretratamiento y en el biológico con la del sedimentador primario. Con el fin de dar el correcto manejo y disposición final a las aguas residuales logrando así la disminución de las cargas contaminantes y patologías ambientales presentes en esta, tales como la deficiencia de oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la presencia de coliformes totales y fecales, la expansión de nutrientes como el nitrógeno (N) y el fósforo (P) y sólidos suspendidos totales. Obteniendo un impacto positivo al verter agua debidamente tratada al río aledaño.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la Tabla 1 se observa la cantidad de beneficiarios del proyecto, de manera directa se beneficia la población del campus CEASA, la cual está compuesta por los docentes, personal

administrativo, personal de Servicio y estudiantes. De manera indirecta se benefician las personas aledañas ya que al ser tratadas las aguas residuales mejoran la calidad del agua del río Isinche, la que es utilizada para actividades pecuarias.

Tabla 1.

Beneficiarios del proyecto.

BENEFICIARIOS DIRECTOS	
Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales	
Total:	5,826

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

Las aguas residuales domésticas son aquellas que provienen de las actividades diarias del ser humano, estas pueden ser de origen residencial o comercial y son descargadas a través de un sistema de alcantarillado y en la mayoría de los casos vertidas de forma directa al ambiente (Castañeda & Flores, 2014).

En el transcurso de los años las aguas residuales domésticas se han convertido en uno de los más grandes problemas para el medio ambiente, esto debido a que en su gran mayoría son descargadas directamente a los cuerpos de agua sin tener un previo tratamiento. Cabe recalcar que el mal manejo de las aguas residuales no solo ha causado problemas al medio ambiente, sino que también han afectado a la salud pública, es por ello que se debe remediar dichas aguas a través de una planta de tratamiento el cual es un sistema que ayuda a mejorar la calidad del agua contaminada antes de desembocar a los cuerpos hídricos y de esta manera ayudar a disminuir y remediar los cuerpos de agua contaminados (Mendoza et al., 2021).

Es por ello que la Universidad Técnica de Cotopaxi hace seis años construyó una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en el campus CEASA con la finalidad de remediar las aguas residuales generadas antes de ser desembocadas al río Isinche (Caiza & Zambrano, 2022). El sistema de tratamiento del campus cuenta únicamente con procesos físicos y biológicos, es decir consta de una caja de distribución en la que ingresan las aguas residuales y se separan los residuos sólidos, para posteriormente ingresar al tratamiento primario donde se eliminan los sólidos suspendidos mediante el proceso de sedimentación, seguidamente ingresan al tratamiento secundario en el que se degrada la materia orgánica mediante degradación anaeróbica, por último

ingresa al proceso de cloración donde se eliminan organismos y microorganismos presentes en el agua residual para finalmente ser desembocada en el río Isinche.

Sin embargo, en el transcurso de los últimos años la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del campus CEASA no ha presentado eficiencia en el funcionamiento de cada uno de los procesos del sistema de tratamiento. Los problemas más notables radican desde el pretratamiento hasta el proceso de cloración, ya que los procesos carecen de ciertos elementos que impiden que funcione correctamente provocando que el diseño sea deficiente. Otro problema ha sido el aumento de la población estudiantil, además existen otras posibles causas por las que el sistema es deficiente, el tiempo de retención hídrica (TRH) el cual, si es demasiado bajo o demasiado alto afectará la presencia del oxígeno disuelto, lo cual afecta directamente al proceso biológico del sistema de tratamiento. Dicho de esta manera existen muchas causas las que no permiten que el sistema de tratamiento funcione correctamente, es por ello que se pretende optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales para que esta cumpla con su función y ayude a remediar las aguas contaminadas para luego desembocarlas al río aledaño.

5. OBJETIVOS:

5.1. General

- Optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi para la mejora de los procesos de tratamiento existentes.

5.2. Específicos

- Realizar la caracterización de las aguas residuales del Campus CEASA.
- Establecer mejoras en los procesos físicos y biológicos de la planta de tratamiento de agua residual.
- Plantear una guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA para garantizar el correcto funcionamiento.

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

Tabla 2.

Actividades y sistema de tareas.

OBJETIVO 1	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Objetivo Específico No 1.			
Realizar la caracterización de las aguas residuales del Campus CEASA.	Cálculo el caudal y caudal medio Toma de muestras de agua en el punto de muestreo para obtención de niveles de DQO, pH, Temperatura, Turbidez DBO_5 , ST, SST, NO_2 , NO_3 y coliformes fecales.	Medición del caudal con el método volumétrico. Estimación del caudal con la ecuación expresada por volumen/tiempo. Estimación del caudal medio en el software Excel. Análisis del DQO mediante el método de oxidación ácida. Análisis del pH y temperatura con el multiparámetro. Análisis de la Turbidez mediante el método de turbidimetría. Análisis del DBO_5 mediante el método de respirométrico. Análisis de ST y SST mediante el método de Gravimetría. Análisis de NO_2 y NO_3 mediante el método de Espectrofotometría UV VIS. Análisis de coliformes fecales mediante el método de Fermentación por tubos múltiples.	Caudal Caudal medio Caracterización del agua residual.
Objetivo Específico No 2.			
Establecer mejoras en los procesos físicos y biológicos de la planta de tratamiento de agua residual.	Cálculo las dimensiones para el pretratamiento. Cálculo las dimensiones del tanque sedimentador primario.	Aplicación de fórmulas. Dimensionamiento la planta de tratamiento de aguas residuales en el Software AutoCAD.	Dimensionamiento del canal de entrada, rejillas manuales, desarenador, canaleta Parshall y sedimentador primario.
Objetivo Específico No 3.			
Plantear una guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA para garantizar el correcto funcionamiento.	Identificación de los puntos de monitoreo. Selección del equipo de protección adecuado para el mantenimiento de la Planta de tratamiento.	Revisión Bibliográfica para la identificación de los aspectos de la guía de monitoreo y mantenimiento para la Planta de tratamiento	Guía de monitoreo y mantenimiento para la Planta de tratamiento del campus CEASA.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Contaminación de los recursos hídricos

La contaminación del recurso hídrico se refiere a la introducción de determinadas sustancias en el agua que cambian su calidad y composición química. Según la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada cuando cambia su composición, es decir, no cumplen con las condiciones necesarias para su uso previsto (Guadarrama et al., 2016). Por lo tanto, la contaminación de los recursos hídricos es un desafío crítico que afecta tanto al medio ambiente como a la salud humana, esta contaminación puede ser causada por diversas actividades humanas, como la descarga de desechos industriales, la agricultura intensiva, el vertido de aguas residuales sin tratar, el uso de productos químicos tóxicos (Conceição et al., 2019).

7.2. Definición de aguas residuales domésticas

Las aguas residuales son una parte importante del ciclo del agua y deben considerarse durante todo el ciclo de gestión del agua: desde la captación de agua dulce, tratamiento, distribución, uso, recolección y posterior procesamiento hasta su reciclaje y posible devolución al medio ambiente, así como el llenado de fuentes de agua para su posterior recolección (Jacobo, 2018). Se considera agua residual a la combinación de aguas residuales domésticas, incluidas aguas residuales (heces, orina y lodos fecales) y aguas residuales grises (aguas servidas de lavado y baño); agua de empresas e instituciones comerciales, incluye hospitales; aguas residuales industriales, aguas pluviales y otras escorrentías urbanas, así como escorrentías de la agricultura, la horticultura y la acuicultura (Bokova & Ryder, 2017).

Las aguas residuales de diferentes usos humanos se mezclan en su mayoría en diversas concentraciones. Las aguas residuales domésticas frescas se presentan como un líquido turbio, gris o amarillento con olor a fosa séptica, en el que se encuentran suspendidas partículas de sedimentos, heces, residuos vegetales, tiras de papel y materiales sintéticos. Cuanto más los transporta el colector, más turbulento será el flujo de agua en el alcantarillado y menos partículas habrá en las aguas residuales (Reyes Araujo, 2020)

Así como también las aguas residuales domésticas, se trata de corrientes formadas por una combinación de excrementos humanos, incluidas heces y orina; además, también contiene desechos ganaderos, desechos de lavandería, desechos domésticos y, en ocasiones, libera sustancias potencialmente tóxicas y cancerígenas, así como desechos de cocina. Los seres humanos excretan de 100 a 500 gramos de heces y de 1 a 3 litros de orina cada día y producen de

20 a 45 gramos de DBO5 cada día. Así, las aguas residuales domésticas se componen de un 99,9% de agua y un 0,1% de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos; esta pequeña fracción de sólidos es responsable de los problemas en el tratamiento y su disposición (Lazcano, 2016).

7.3. Características de las aguas residuales domésticas

7.3.1. Características físicas

7.3.1.1. Sólidos

- **Sólidos totales**

Según Torres & Lozano, (2017) los sólidos totales son los residuos que quedan después de la evaporación completa del agua a 100 °C y 105 °C, por lo que solo se calienta una cantidad determinada de agua y se determina el peso de los sólidos restantes.

- **Sólidos suspendidos**

Según Reyes, (2016) los sólidos suspendidos son partículas orgánicas e inorgánicas transportadas por las aguas residuales. A medida que la velocidad disminuye, muchas partículas se depositan en el fondo en forma de sedimento, y las que no se depositan crean turbidez.

- **Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales (TDS) es un indicador de la cantidad de sustancias disueltas en el agua y proporciona un indicador general de la calidad química. El TDS se define analíticamente como el residuo filtrable total en mg/l. Los aniones inorgánicos más importantes disueltos en agua son carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, fosfato y nitrato. Los cationes más importantes son calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, etc., (Palmer & Corpus, 2018).

- **Temperatura**

La temperatura durante el proceso de tratamiento de aguas residuales emerge como un factor crítico debido a su capacidad para modificar las propiedades del agua, perturbar la vida acuática, influir en las concentraciones de saturación de oxígeno disuelto (OD), modificar las tasas de reacciones químicas y afectar la actividad bacteriana. Se destaca que existe un rango óptimo de temperatura, situado entre 20 °C y 35 °C, para favorecer el desarrollo de la actividad biológica y bacteriana. Se ha observado que superar estos valores conlleva a la interrupción de procesos como la digestión aeróbica y la nitrificación, mientras que mantenerse por debajo de este intervalo resulta en una metanogénesis digestiva lenta y autótrofa, y la inactividad de las bacterias nitrificantes (Ramírez, 2021).

- **Color**

El origen del color en las aguas residuales se atribuye a la presencia de sólidos suspendidos. Además, la presencia de un tono verde en estas aguas sugiere la existencia de sustancias

coloidales y disueltas. El color desempeña un papel crucial, ya que, mediante una simple observación visual, se puede inferir que puede ser resultado de diversas sustancias vertidas en los desagües, como colorantes industriales, ácidos húmicos y fúlvicos, taninos, entre otros elementos. Es importante destacar que esta característica permite realizar estimaciones sobre las condiciones en las que se encuentra el agua residual (Osorio et al., 2021)

- **Olor**

Durante el proceso de acumulación o tratamiento de aguas residuales domésticas, se liberan sustancias olorosas que pueden clasificarse como orgánicas e inorgánicas, presentando en forma de gases y vapores. Diversos autores coinciden en señalar que entre los gases inorgánicos más relevantes se encuentran el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco. Aunque ambos compuestos suelen generarse como resultado de la actividad biológica, los vapores orgánicos también pueden originarse directamente a partir de la descarga de desechos químicos. La emisión de muchos de estos olores está asociada con la descomposición anaeróbica de sustancias orgánicas que contienen azufre y nitrógeno. Sin embargo, es importante destacar que los olores también pueden surgir durante la descomposición y el procesamiento aeróbico, así como en el tratamiento de residuos sólidos que involucren procesos con calor (Lozada & Giraldo, 2019)

- **Turbiedad**

La existencia de sólidos coloidales confiere al líquido una apariencia turbia que puede resultar perjudicial. Las partículas de arcilla son capaces de inducir turbidez en el agua, lodos, vertidos de aguas residuales, así como en residuos industriales o digitales. Desde la perspectiva de los microorganismos, la turbidez se manifiesta a través de propiedades ópticas que ocasionan la dispersión y absorción de la luz, en lugar de permitir su transmisión en línea recta a través de la muestra (Zapo, 2021).

7.3.2. Medida indirecta de la materia inorgánica.

7.3.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO es un parámetro utilizado para identificar la cantidad de materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales, básicamente es la cantidad de oxígeno que consumen los organismos en el proceso de oxidación de la materia orgánica. El análisis de este parámetro se realiza durante cinco días, debido a que en dicho periodo la muestra es incubada hermética donde los resultados expresan la relación entre la cantidad de oxígeno disuelto inicial y a los cinco días (DBO_5). Cabe recalcar que es de suma importancia evaluar la DBO ya que permite determinar el grado de contaminación e información sobre la calidad de las aguas residuales, además es útil en

el control de los procesos de tratamiento y es requerido por muchas regulaciones ambientales para garantizar el cumplimiento de los límites de contaminación establecidos (Valencia, 2016).

7.3.2.2. Demanda Química de Oxígeno

La DQO es un parámetro utilizado para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica a través de una sustancia química oxidante, generalmente el dicromato de potasio. Esto debido a sus propiedades oxidantes, tiene la capacidad de oxidar casi todos los compuestos orgánicos en un ambiente ácido y alta temperatura. El análisis de la DQO se considera primordial para determinar la cantidad de materia orgánica presente y garantizar un tratamiento adecuado antes de su descarga en el medio ambiente (Raffo & Ruiz, 2014). Además, evaluar la DQO permite garantizar un mejor seguimiento del rendimiento de la depuración del agua y ofrece una visión inmediata de la calidad del tratamiento y depuración de las aguas. Cabe recalcar que para aplicar un tratamiento adecuado se debe tener una relación DBO_5/DQO (Rojas & Huayllani, 2021).

7.3.2.3. Potencial de hidrógeno

El pH es un indicador del nivel de acidez o alcalinidad que tiene un cuerpo de agua, la cual depende de la concentración de iones de hidrógeno y su rango varió de 0 a 14. Dicho de esta manera si el pH del agua residual es ácidas o alcalinas pueden generar impactos negativos en los procesos biológicos. Por eso es importante controlar los niveles de pH para garantizar condiciones óptimas un tratamiento adecuado y eficiente. Además, el pH puede influir en fenómenos como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución de agua, procesos de coagulación y desinfección en el tratamiento del agua (Quispe et al., 2020).

7.3.3. Características biológicas

Las características biológicas y microbianas son representativas de la composición y concentración de diversos organismos, los cuales funcionan como indicadores de la calidad de las aguas residuales. Entre los parámetros microbiológicos más críticos se encuentran los coliformes fecales y totales. Estos últimos son bacterias coliformes, bacilos gramnegativos que pueden desarrollarse tanto en ambientes aeróbicos como anaeróbicos, sin la capacidad de formar esporas. Cabe destacar que este grupo de bacterias coliformes incluye géneros como *Escherichia* y *Aerobacter*. (Valle, 2016).

Las propiedades biológicas las confieren la microbiota presente en las aguas superficiales y residuales, así como la microbiota implicada en el tratamiento biológico e incluyen bacterias, virus, protozoos y helmintos. Las bacterias son microorganismos unicelulares, presentando

diversas formas: bacilos, cocos, espirilos, estas son de gran importancia ya que desempeñan los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica en plantas de tratamiento (González, 2018).

7.4. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales domésticas implica la aplicación de una combinación de procesos físico-químicos y biológicos. Esto se hace principalmente para eliminar una variedad de componentes, como sólidos sedimentados, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, materia orgánica, metales, nutrientes y microorganismos patógenos. Desde una perspectiva económica, los métodos físico-químicos tienen menos relevancia que los biológicos, debido a la necesidad de suministrar reactivos de manera continua y al tiempo requerido para su manipulación. Los procesos aeróbicos demandan una constante entrada de oxígeno, lo que incrementa los costos operativos y genera grandes cantidades de lodos inestables que deben tratarse posteriormente. En las últimas décadas, ha habido un creciente interés en desarrollar procesos anaeróbicos para el tratamiento de aguas residuales con diferentes cargas orgánicas, en comparación con la implementación de procesos aeróbicos establecidos (Crombet et al., 2016).

7.5. Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas

El tratamiento de las aguas residuales, se realiza de manera usual en tres etapas:

7.5.1. Pretratamiento

Etapas en la cual se remueven sólidos sedimentables y suspendidos mediante cribas, trampas de arena, sedimentadores, trampas de grasa y aceite, flotación y, en algunos casos, sedimentación mediante coagulación. Este último proceso se utiliza comúnmente para facilitar la sedimentación de partículas en suspensión (Méndez & Arias, 2014).

7.5.1.1. Rejillas

Las rejillas se utilizan para impedir que los sólidos gruesos presentes en las aguas residuales como trapos, pedazos de madera, botellas, bolsas, entren al sistema de tratamiento. Para poder implementar este tipo de rejillas es necesario tener en consideración el diámetro aproximado de los sólidos presentes, para poder así determinar la abertura o malla a utilizar (Lozano, 2016).

7.5.2. Desarenador

Estos deben ser instalados después de las rejillas y antes de los tanques de sedimentación primaria, esto con la finalidad de evitar la sedimentación de arenas en tuberías y canales, reduciendo de esta manera la formación de depósitos pesados, minimizar la pérdida de volumen

en tanques de tratamiento biológico y reducir la frecuencia de limpieza de los digestores, debido al exceso de la acumulación de arenas (Fúquene et al., 2019).

7.5.2.1. Remoción de grasas

El objetivo en este paso es eliminar aceites, grasas y otros materiales flotantes presentes en el agua, los cuales podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. El funcionamiento de un desengrasador generalmente implica el paso del agua residual a través de un tanque o cámara donde se permite que las grasas y aceites floten en la superficie luego estos materiales se eliminan físicamente o mediante sistemas de respaldo (CONAGUA, 2019).

7.5.3. Canaleta Parshall

Un medidor Parshall, también conocido como canaleta Parshall, es una estructura hidráulica diseñada para medir el flujo de agua en un canal específico. Esta tecnología fue desarrollada por Ralph L. Parshall. Por lo general, los canales Parshall se construyen con materiales ligeros como fibra de vidrio o acero inoxidable, aunque también se han diseñado medidores de hormigón. La disposición fundamental de un medidor Parshall consta de cuatro componentes esenciales: la transición de entrada, la sección convergente, la garganta y la sección divergente (Monar, 2020).

7.5.3.1. Características de una canaleta Parshall

El medidor Parshall consta de tres componentes principales: una sección convergente en la entrada, una garganta con paredes paralelas y una sección divergente en la salida. En cualquier punto de este medidor, se identifica una sección rectangular delimitada por paredes verticales. En la sección convergente, la base es horizontal y el ancho disminuye en comparación con el ancho del canal, alcanzando su mínimo en el centro. En la garganta, el piso presenta una pendiente descendente hacia aguas abajo, manteniendo constante el ancho entre paredes paralelas verticales. Al llegar a la salida, la pendiente del piso se vuelve ascendente hacia arriba y el ancho aumenta gradualmente hasta igualarse con el del canal. La intersección entre la parte inferior de la entrada y la garganta se conoce como la parte superior del medidor, y su ancho determina el tamaño del medidor (Suárez et al., 2022)

7.5.4. Tratamiento primario

Según Fúquene & Yate, (2018) en el tratamiento primario incluye los procesos de decantación, floculación, clarificación, filtración simple y neutralización. Dado que esta etapa implica floculación y coagulación, su objetivo principal es eliminar los sólidos en suspensión.

7.5.4.1. Sedimentador primario

Un tanque de sedimentación primario es un tanque que recibe las aguas residuales sin tratar antes del tratamiento biológico. Estos tanques pueden ser rectangulares o circulares. En un tanque séptico rectangular, las aguas residuales sin tratar ingresan a través de una serie de aberturas cerca de la superficie del extremo de entrada del tanque y continúan a lo largo del tanque a una velocidad muy baja hasta que se descargan en un rebosadero en el otro extremo (Bustamante et al., 2019).

7.5.4.2. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario utiliza procesos biológicos para reducir los compuestos orgánicos en las aguas residuales provenientes del tratamiento primario. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica en sólidos sedimentables esponjosos que pueden separarse mediante sedimentación en estanques de decantación. Los tratamientos biológicos de esta categoría están compuestos por filtración biológica de baja capacidad (filtros clásicos) y de alta capacidad, filtros comunes, lodos activados, lagunas de estabilización y aireada y otros como anaeróbicos, oxígeno puro y discos rotatorios (Loro, 2018).

7.5.4.3. Tratamiento terciario

El propósito del proceso de tratamiento terciario es eliminar todos los iones orgánicos y el color residual. Esto se puede lograr mediante métodos biológicos o químicos. Los métodos de tratamiento avanzados, como la precipitación química, la ozonización, la ósmosis inversa o la adsorción de carbono, están diseñados para eliminar nutrientes específicos como el fósforo o el nitrógeno que pueden estimular la eutrofización. Los procesos de tratamiento terciario biológico tienen mejores resultados que el tratamiento químico, que es difícil de implementar en la mayoría de los lugares y puede provocar contaminación secundaria (Céspedes, 2019).

7.6. Caudal

El caudal se define como la cantidad de fluido que atraviesa una sección específica de un conducto (ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, entre otros) en una unidad de tiempo. Por lo general, se asocia con el flujo volumétrico, representando el volumen que atraviesa un área determinada en un lapso dado. Menos comúnmente, se vincula con el flujo másico, que es la masa que atraviesa un área específica en el mismo intervalo de tiempo. En términos de unidades en física e ingeniería, el caudal se expresa como volumen dividido por tiempo (m^3/s) (Rosas et al., 2021).

7.7. Método volumétrico para la medición del caudal

El método volumétrico se utiliza para corrientes pequeñas, como manantiales y arroyos, y es el método más preciso cuando el tanque es muy grande y su volumen se puede medir con precisión. Este método implica dirigir el flujo a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito (Alvarado, 2017).

7.8. Método para la determinación de la Demanda Química del Oxígeno

Para la determinación de la demanda química de oxígeno se utilizó el método colorimétrico de reflujo cerrado 5220D. En este método de reflujo cerrado, la muestra se oxida con una cantidad de dicromato de potasio, en medio ácido en presencia de catalizadores a 150 ± 2 °C y aplica a muestras con valores de DQO entre 0 y 1000 mgO₂/L (Janeiro, 2016).

Para lo cual se utilizó los siguientes instrumentos:

7.8.1. Termo-reactor

El termo-reactor es un dispositivo utilizado en el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Su función principal es calentar viales o tubos de ensayo para llevar a cabo la digestión de muestras de agua y así determinar la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en las muestras (Rodríguez et al., 2002).

7.8.2. Espectrofotómetro

Un espectrofotómetro se define como un dispositivo que posibilita el paso de un haz de luz a través de una muestra, registrando la absorbancia (es decir, la cantidad de luz absorbida por la muestra) o la transmitancia (es decir, la cantidad de luz que atraviesa la muestra). Estas medidas representan la evaluación matemática de la absorción recíproca. La magnitud de luz absorbida o transmitida a una longitud de onda específica guarda una relación directa con la concentración del material presente. En el caso de materiales que no absorben luz de manera intrínseca, es posible mezclarlos con otros reactivos y emplear una reacción química especial para generar una solución que absorba luz. Los espectrofotómetros contemporáneos exhiben la capacidad de medir una amplia variedad de materiales (líquidos, plásticos, papel, metales, tejidos, etc.), lo que los convierte en herramientas versátiles con aplicaciones en diversas disciplinas (García, 2018).

7.9. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

El diseño de plantas de tratamientos de aguas residuales es muy importante debido a que son esenciales para depurar las aguas contaminadas antes de liberarlas al medio ambiente, además garantiza que los contaminantes se eliminen de manera eficiente, evitando la contaminación de

ríos, lagos y acuíferos asimismo ayuda a cumplir con los estándares ambientales legales. Cabe recalcar que también es importante para asegurar la salud pública (Pinilla, 2021).

Para realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales se debe realizar un estudio al cuerpo receptor ya que el grado del tratamiento dependerá netamente de su calidad, posteriormente se debe caracterizar las aguas residuales lo que permitirá conocer el grado de contaminación, además ayudará determinar el caudal actual y futuro con el fin de seleccionar los procesos de tratamiento. Además, se debe tener en cuenta la geología, hidrología y topografía del lugar donde se implementará la planta de tratamiento de aguas residuales, después de conocer lo antes mencionado se debe dimensionar los procesos de tratamiento de la planta (Pérez et al., 2014).

7.10. Criterios de diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales se debe tener en cuenta varios criterios con el fin de garantizar su eficiencia y funcionamiento adecuado. Entre los más importantes se encuentra el caudal de diseño, debido a que cada proceso debe soportar el caudal esperado, es por ello que es importante calcular el caudal medio, caudal máximo diario y horario (Lozano, 2016). Otro criterio importante es la selección de tecnologías adecuadas considerando factores como la calidad del agua a tratar, los parámetros de diseño, los costos de operación y mantenimiento. Las variaciones en la carga de contaminantes es otro criterio que se debe tener en cuenta a lo largo del tiempo considerando los cambios estacionales, las fluctuaciones diarias y las variaciones en la composición de las aguas residuales. La eficiencia de remoción de contaminantes y el cumplimiento de la normativa también son consideraciones importantes en el diseño de planta de tratamiento (RAS, 2000).

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTA CIENTÍFICA



¿La optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Universidad Técnica de Cotopaxi del campus CEASA, mejorará la eficiencia de los procesos físicos y biológicos?

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1. Área de Estudio

El Centro Experimental Académico Salache (CEASA), forma parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi y se encuentra ubicada al Suroeste de la provincia de Cotopaxi, en la parroquia Eloy Alfaro en el Sector Salache (Ver Figura 1).

Figura 1.*Área de Estudio.***Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus CEASA.**

Leyenda	
	Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
	Punto de muestreo

Cordenadas del punto de muestreo	
X	Y
764907	9889419

9.2. Enfoque

A este proyecto de investigación se aplicó un enfoque mixto.

9.2.1. Enfoque Cualitativo

Se recopiló información sin medir numéricamente las características del agua residual a través de técnicas como la observación de directa.

9.2.2. Enfoque Cuantitativo

Se validó el análisis de los parámetros, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), coliformes fecales, solidos totales (ST), solidos suspendidos totales (SST), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y turbidez, con el fin de optimizar los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del campus.

9.3. Tipo de investigación

9.3.1. Investigación bibliográfica

Se utilizó este tipo de investigación con la finalidad de obtener información a través de fuentes bibliográficas como artículos científicos, libros y revistas para elaborar la fundamentación teórica y la guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento del campus CEASA.

9.4. Técnicas

9.4.1. Observación Directa

Mediante esta técnica se logró obtener un planteamiento adecuado del problema del proyecto de investigación, para lo cual se realizó una visita in situ donde se pudo observar las condiciones de la planta de tratamiento de aguas residuales del Campus CEASA.

9.4.1.1. Muestreo

Se tomaron muestras para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), coliformes fecales, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y turbidez, con la finalidad de determinar las características de las aguas residuales domésticas del Campus CEASA.

9.4.2. Análisis de Datos

Se analizó los datos de los parámetros evaluados en la fase de laboratorio, los cuales ayudaron a obtener medidas para rediseñar el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas, con el fin de optimizar su funcionamiento.

9.5. Diseño Metodológico para el análisis de resultados

9.5.1. Fase de Campo

9.5.1.1. Equipos y Materiales

En esta investigación se utilizaron los siguientes materiales, equipos y programas:

- Equipo de protección personal
- Libreta de Campo
- Cronómetro
- GPS
- Cámara
- Escalera
- Rotulador y cinta adhesiva

- Envases de 250 ml, 1 L y 2 L
- Frasco de 50 ml para muestra de orina
- Balde de 5 L
- Cooler y hielo seco
- Refrigerante
- Termoreactor
- Espectrofotómetros
- Reactivos de bajo rango
- Software (AutoCAD y Excel)

9.5.1.2. *Levantamiento de Información*

Para el levantamiento de información primero se dispuso el punto de muestreo, el cual está ubicado en la caja de revisión a la entrada del campus CEASA esto debido a que es el punto donde llegan las aguas residuales de los edificios.

Tabla 3.

Coordenadas del punto de muestreo.

Punto	X	Y
P1	764907	9889419

9.5.1.3. *Método de muestreo*

Para la toma de muestras se ingresó a la caja de revisión con la ayuda de una escalera, para la DQO se realizó una muestra compuesta de un litro cada dos horas para lo cual se tomó muestras simples de 250 ml en el intervalo de 30 minutos obteniendo 4 muestras compuestas diarias, cada una de las muestras se rotuló y se preservó en base a la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Se muestreo desde las 8 am hasta las 3:30 pm durante 5 días obteniendo un total de 20 muestras compuestas.

Para la DBO_5 se realizó tres muestras compuestas de dos litros para lo cual se tomó cuatro muestras simples de un litro en el intervalo de 30 minutos, estas fueron rotuladas y preservadas según los parámetros establecidos por el laboratorio designado para el análisis.

Para el pH, la turbidez y la temperatura se realizó tres muestras compuestas, para ello se tomó cuatro muestras simples de 250 ml en el intervalo de 30 minutos, mientras que para coliformes

fecales, ST, SST, NO_2 y NO_3 se realizó tres muestras compuestas de 2 L, para ello se tomaron cuatro muestras simples de 1 L en el intervalo de 30 minutos, las muestras fueron rotuladas y preservadas según los parámetros establecidos por el laboratorio designado para el análisis.

9.5.1.4. Determinación del caudal

Para obtener el caudal se utilizó el método volumétrico el cual consistió en ingresar un balde con una capacidad de 5 L a la caja de revisión y tomar el tiempo que este se demora en llenarse. Para estimar un caudal exacto se repitió el procedimiento mencionado en el lapso de 5 días, se midió el Q en un intervalo de una hora desde las 7 am hasta las 7 pm.

Una vez recopilado los datos obtenidos en campo se procedió a calcular el caudal con la siguiente ecuación como lo menciona Sandoval et al., (2017):

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{V(m^3)}{t(s)} \quad (1)$$

Donde:

Q: caudal (m^3/s)

V: volumen (m^3)

T: tiempo (s)

9.5.1.5. Determinación del caudal medio

Una vez calculado el caudal se determinó el caudal medio con la suma de los datos tomados por horas en la caja de revisión, por lo tanto, para determinar el caudal medio se utilizó la siguiente ecuación como lo menciona Morales & Loor, (2023):

$$Q_m = \frac{V_{TD}}{13h} \quad (2)$$

Donde,

Q_m : Caudal medio (m^3/s)

V_{TD} : Volumen Total diario (m^3)

Por último, se realizó un promedio del aforo del caudal medio del agua residual utilizando el software Excel, además se estimó el caudal máximo diario y horario.

9.5.2. Fase de laboratorio

9.5.2.1. *Análisis Demanda Química del Oxígeno*

Se recolectó 20 muestras compuestas en el lapso de 5 días las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Ingeniería ambiental de la Facultad de CAREN, por lo tanto, se evaluó los niveles de DQO diariamente utilizando el método colorimétrico.

Para el análisis del DQO en el laboratorio, se preparó una muestra blanca la cual consistió en agregar 2 ml de agua destilada en un vial, posteriormente se tomó 2 ml de cada muestra compuesta y se colocó en los viales, cabe recalcar que se utilizó viales de rango bajo. Seguidamente se ubicó los viales en el termoreactor donde las muestras se mantuvieron a una temperatura de 150 °C durante 2 horas en base a la metodología estándar *HANNA instruments*. A continuación, se dejó enfriar hasta 120 °C en un periodo de 20 minutos. Posteriormente se limpió cada uno de los viales para colocarlos en el espectrofotómetro que previamente fue calibrado empleando la muestra blanca. Este procedimiento se realizó durante 5 días.

9.5.2.2. *Análisis del Potencial de Hidrogeno y Temperatura*

Para el análisis del pH y la temperatura se utilizó el multiparámetro, donde se colocó la muestra en un vaso de precipitación de 200 ml, posteriormente se introdujo las sondas en la muestra de agua residual y finalmente se obtuvo los datos de los diferentes parámetros. Este proceso se repitió para cada una de las muestras.

9.5.2.3. *Análisis de la Turbidez*

El análisis de turbidez en el laboratorio se realizó mediante el método de turbidimetría, para ello se tomó 2 ml de cada muestra y con la ayuda de una jeringa se colocó en los tubos de ensayo, seguidamente se limpió cada uno de los tubos para ubicar en el espectrofotómetro que previamente fue programado para medir la turbidez.

9.5.2.4. *Análisis Demanda Bioquímica del Oxígeno*

Se recolectó tres muestras compuestas siguiendo los parámetros establecidos para la preservación de la muestra por el laboratorio designado para dicho análisis. En la Tabla a continuación se detallan las consideraciones específicas para el análisis de DBO_5 .

Tabla 4.

Consideraciones para el análisis del DBO_5 .

Parámetro	Tipo de Envase	Volumen mínimo de Muestra	Condiciones de Almacenamiento y Transporte	Método de referencia /método interno
DBO_5	Plástico, Vidrio	2 L	Muestras Refrigeradas T = 4 - 10 °C	PE-V-06 | SM Ed.23, 2017. Método 5210D. Respirométrico.

9.5.2.5. Análisis Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales

Se recolectó tres muestras compuestas de acuerdo a los parámetros establecidos para preservación por el laboratorio designado para el análisis. En la Tabla 5 se detallan las consideraciones para el análisis de los ST y SST.

Tabla 5.

Consideraciones para el análisis de ST y SST.

Parámetro	Tipo de Envase	Volumen mínimo de Muestra	Condiciones de Almacenamiento y Transporte	Método de referencia/método interno
ST	Envase de vidrio color Ámbar o de plástico.	2 L	Muestras Refrigeradas T = 4 - 10 °C	Gavimetría
SST	Envase de vidrio color Ámbar o de plástico.	2 L	Muestras Refrigeradas T = 4 - 10 °C	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría

9.5.2.6. Análisis Nitritos y Nitratos

Se recolectó tres muestras compuestas de acuerdo a los parámetros establecidos para preservación por el laboratorio designado para el análisis. En la Tabla 6 se detallan las consideraciones para el análisis de NO_2 y NO_3 .

Tabla 6.

Consideraciones para el análisis de NO₂ y NO₃.

Parámetro	Tipo de Envase	Volumen mínimo de Muestra	Condiciones de Almacenamiento y Transporte	Método de referencia/método interno
NO ₂	Envase de vidrio color Ámbar o de plástico.	2 L	Muestras Refrigeradas T = 4 - 10 °C	HACH 8039 Espectrofotometría UV VIS
NO ₃	Envase de vidrio color Ámbar o de plástico.	2 L	Muestras Refrigeradas T = 4 - 10 °C	HACH 8507 Espectrofotometría UV VIS

9.5.2.7. Análisis Coliformes Fecales

Se recolectó tres muestras compuestas de acuerdo a los parámetros establecidos para preservación por el laboratorio designado para el análisis. En la Tabla 7 se detallan las consideraciones para el análisis de coliformes fecales.

Tabla 7.

Consideraciones para el análisis de Coliformes fecales.

Parámetro	Tipo de Envase	Volumen mínimo de Muestra	Condiciones de Almacenamiento y Transporte	Método de referencia/método interno
Coliformes Fecales	Envase de vidrio color Ámbar o de plástico.	2 L	Muestras Refrigeradas T = 4 - 10 °C	STANDARD METHODS 9221-C Fermentación por Tubos múltiples.

9.6. Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

9.6.1. Diseño del canal de entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

La entrada de las aguas residuales por lo general es a través de un canal de sección rectangular el cual se diseñó a partir de la Tabla 8, donde señala la capacidad de conducción para canales revestidos propuesta por RAS, (2000). Por lo tanto, por criterios de diseño se seleccionó el ancho y la profundidad del canal considerando valores para un caudal medio.

Tabla 8.

Capacidad de conducción para canales revestidos.

Altura del agua (m)	Ancho del fondo (m)	Pendiente longitudinal (%)			
		0,05	0,02	0,10	0,15
0,30	0,30	30-40	20-30*	40-60	40-70
0,40	0,50	70-120	40-70	100-160	120-200
0,60	0,80	230-370	140-240	320-530	400-650

Fuente: *Obtenido de* (RAS, 2000).

A partir de los criterios mencionados se calculó el radio hidráulico (RH) del canal utilizando la siguiente ecuación:

$$RH = \frac{B \times h}{B + 2h} \quad (3)$$

Donde,

RH: radio hidráulico (*m*)

B: ancho del canal (*m*)

h: profundidad del canal (*m*)

Para obtener la velocidad media (V_{md}) del canal se utilizó la ecuación de Manning como lo menciona Sanchez, (2022):

$$V_{md} = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2} \quad (4)$$

Donde,

n: coeficiente de rugosidad para concreto

S: pendiente para el canal rectangular (*m/m*)

V_{md} : velocidad media del canal (*m/s*)

RH: radio hidráulico (*m*)

Posteriormente se realizó el cálculo del área del canal (A_c) con la siguiente ecuación como lo menciona López, (2020):

$$A_c = \frac{Q}{V_{md}} \quad (5)$$

Donde,

A_c : área transversal del canal (m^2)

Q : Caudal (m^3/s)

V_{md} : velocidad media del canal (m/s)

Para obtener la altura máxima del canal (h_{cmax}), se utilizó la siguiente ecuación mencionada en (RAS, 2000):

$$A_c = B \times h$$

$$A_c = 2h \times h$$

$$A_c = 2h^2$$

$$h_{cmax} = \sqrt{\frac{h}{2}} \quad (6)$$

Donde,

h_{cmax} : altura máxima del canal (m)

h : profundidad del canal (m)

Por último, se calculó la altura total del canal (h_{TC}) utilizando la siguiente ecuación:

$$h_{TC} = h_{cmax} + b_L \quad (7)$$

Donde,

h_{cmax} : altura máxima del canal (m)

b_L : borde libre (m)

El borde libre se obtuvo de la Tabla 9, por lo tanto, se seleccionó un b_L para un caudal menor a $0,50 m^3/s$.

Tabla 9.

Borde Libre en referencia al caudal.

Borde libre (m)	Caudal (m^3/s)
0,40	Mayor a 0,50
0,30	Menor a 0,50

Fuente: obtenido de (RAS, 2000).

9.6.2. Diseño del desbaste

9.6.2.1. Rejillas

Para la optimización de la planta de tratamiento del campus CEASA se diseñó dos rejillas de limpieza manual, una rejilla fina y una mediana de acuerdo a la normativa CO 10.7 – 602 (Secretaria del Agua, 2016) y en base al *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes* de (Hendricks, 2011).

Para obtener el área del canal en la zona de las rejillas se utilizó la siguiente ecuación:

$$A_R = B_C \times \frac{L}{L + b} \times \left(1 - \frac{G}{100}\right) \quad (8)$$

Donde,

A_R : área útil del canal en la zona de la rejilla (m^2)

B_C : ancho del canal (m)

L : luz o espacio entre barrotes (m)

b : ancho de los barrotes (m)

G : grado de colmatación (30%)

Para obtener la profundidad en la zona de las rejillas se empleó la siguiente ecuación:

$$P = Q \times \frac{b + L}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) \times V_p \times L \times B_C} \quad (9)$$

Donde,

P : profundidad en la zona de rejillas (m)

Q : caudal de aguas residuales (m^3/s)

V_p : velocidad de paso entre la rejilla (m/s)

Para obtener la pérdida de carga generada por las rejillas (diferencia de altura de la lámina de aguas antes y después del paso por la rejilla) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta H = \frac{V_p^2}{9,1} \quad (10)$$

Donde,

ΔH : pérdida de carga generada por la rejilla (m)

V_p : velocidad de paso del agua través de la rejilla (m/s)

Para determinar el número de barrotes se calculó con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{B_R - L}{b + L} \quad (11)$$

Donde,

N : número de barrotes

B_R : ancho del canal en la zona de rejilla (m)

L : luz o espacio entre barrotes (m)

b : ancho de los barrotes (m)

9.6.2.2. Diseño del Desarenador

Con el fin de proteger y garantizar el tratamiento primario se diseñó un desarenador con una eficiencia de remoción del 90%, para su dimensionamiento se lo realizó en base a la Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentación de la OPS, (2005) y en base al Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Lozano, (2016). El diseño del desarenador se realizó a partir del cálculo de la velocidad de la sedimentación de las partículas, para ello se requiere determinar el tipo de flujo a través del número de Reynolds.

Para obtener el número de Reynolds y determinar el tipo de flujo se utilizó la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad (12)$$

Donde,

V : velocidad (m/s)

D: diámetro de la tubería de la conducción del agua (m)

ν : viscosidad cinemática

Para obtener la velocidad de sedimentación se empleó la ecuación de la ley de Newton:

$$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right)} \quad (13)$$

Donde,

g: aceleración de gravedad (m/s^2)

ρ_s : peso específico de la arena (Kg/m^3)

ρ_f : peso específico del fluido (agua) (Kg/m^3)

d: diámetro de las partículas (m)

V_s : velocidad de sedimentación (m/s)

Posteriormente se calculó la velocidad crítica del flujo (V_d) en función del diámetro de la partícula que sedimentará el desarenador.

Tabla 10.

Coefficiente en función al diámetro de la partícula.

a	Diámetro (mm)
51	< 0,1 mm
44	0,1 mm – 1 mm
36	> 1mm

Fuente: obtenido de la Guía de Obras Hidráulicas de (Perez, 2016)

Para obtener la velocidad crítica del flujo (V_d) se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_d = a \times \sqrt{d} \quad (14)$$

Donde,

V_d : velocidad crítica del flujo (m/s)

a: coeficiente en función del diámetro de la partícula (ver Tabla 10)

d: diámetro de la partícula (mm)

Posteriormente se calculó el área transversal del desarenador con la siguiente ecuación:

$$A_T = \frac{Q_p}{Vd} \quad (15)$$

Donde,

A_T : área transversal (m^2)

Q_p : Caudal punta (m^3/s)

Vd : velocidad crítica del flujo (m/s)

9.6.2.3. Dimensionamiento del desarenador

Para obtener la base del desarenador se empleó la relación, ancho/profundidad de 1,5:1 según la norma:

$$B = 1,5h$$

Por lo tanto, la profundidad de sedimentación (h) se calculó con la siguiente ecuación:

$$A_T = B \times h$$

$$A_T = 1,5h \times h$$

$$h = \sqrt{\frac{A_T}{1,5}} \quad (16)$$

Donde,

h : profundidad de sedimentación (m)

A_T : área transversal (m^2)

Para obtener el ancho del sedimentador (B) se utilizó la siguiente ecuación:

$$B = 1,5h \quad (17)$$

Donde,

B : ancho del sedimentador (m)

h : profundidad de sedimentación (m)

Posteriormente se obtuvo el largo del desarenador a través de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Vd \times h}{V_s - 0,04 \times Vd} \quad (18)$$

Donde

L: largo del desarenador (*m*)

Vd: velocidad crítica del flujo (*m/s*)

h: profundidad de sedimentación (*m*)

V_s: velocidad de sedimentación (*m/s*)

Para obtener la longitud de transición (Lt) se partió desde el ángulo de divergencia de 12° 30' el cual tiene como propósito reducir pérdidas de carga por el cambio de sección de canal, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$Lt = \frac{B - b}{2 \times \tan \theta} \quad (19)$$

Donde,

Lt: longitud de transición (*m*)

B: ancho del sedimentado (*m*)

b: ancho del canal de llegada a la transición (*m*)

θ: ángulo de divergencia

Para obtener el tiempo de retención hidráulica (TRH) se utilizó la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{h}{V_s} \quad (20)$$

Donde,

V_s: velocidad de sedimentación (*m/s*)

h: profundidad de sedimentación (*m*)

TRH: tiempo de retención hidráulica (*s*)

Para obtener el periodo de desplazamiento (Td) se utilizó la siguiente ecuación:

$$Td = \frac{L}{Vd} \quad (21)$$

Donde,

Td: periodo de desplazamiento (s)

Vd: velocidad critica del flujo (m/s)

Lt: longitud de transición (m)

9.6.3. Diseño de la Canaleta Parshall

Para medir el caudal de ingreso a los tratamientos, se diseñó una canaleta Parshall la cual está dividida en tres partes fundamentales; la sección convergente, garganta y sección divergente. Para lo cual se utilizó las siguientes tablas basadas en la normativa (ASTM, 2013).

9.6.3.1. Selección de la canaleta

Para determinar el ancho de garganta de la canaleta Parshall se lo realizó a través del caudal medio el cual es de 0,3 (ft^3/s) por ende se considera que el ancho de garganta es de 3 in.

Tabla 11.

Dimensiones y capacidades de los canales Parshall estándar.

Anchos	Longitudes axiales (ft)					Profundidad del muro en la sección de convergencia D (ft)	Distancia vertical debajo de la cresta, (ft)		Muro convergente longitud C^A (ft)	Puntos de medición (ft)			Capacidades de flujo libre (ft^3/s)	
	Garganta	$W_C(ft)$	$W_D(ft)$	L_C	L_T		L_D	N		K	H_C	A	B	mínimo	máximo
1 in.	0,549	0,305	1,17	0,250	0,67	0,5–0,75	0,094	0,062	1,19	0,79	0,026	0,042	0,005	0,15
2 in	0,700	0,443	1,33	0,375	0,83	0,50–0,83	0,141	0,073	1,36	0,91	0,052	0,083	0,01	0,30
3 in	0,849	0,583	1,50	0,500	1,00	1,00–2,00	0,188	0,083	1,53	1,02	0,083	0,125	0,03	1,90
6 in	1,30	1,29	2,00	1,00	2,00	2,0	0,375	0,25	2,36	1,36	0,167	0,25	0,05	3,90
9 in.	1,88	1,25	2,83	1,00	1,50	2,5	0,375	0,25	2,88	1,93	0,167	0,25	0,09	8,90
1.0 ft	2,77	2,00	4,41	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	4,50	3,00	0,167	0,25	0,11	16,1
1.5 ft	3,36	2,50	4,66	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	4,75	3,17	0,167	0,25	0,15	24,6
2.0 ft	3,96	3,00	4,91	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	5,00	3,33	0,167	0,25	0,42	33,1
3.0 ft	5,16	4,00	5,40	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	5,50	3,67	0,167	0,25	0,61	50,4
4.0 ft	6,35	5,00	5,88	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	6,00	4,00	0,167	0,25	1,30	67,9
5.0 ft	7,55	6,00	6,38	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	6,50	4,33	0,167	0,25	1,60	85,6
6.0 ft	8,75	7,00	6,86	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	7,0	4,67	0,167	0,25	2,60	103,5
7.0 ft	9,95	8,00	7,35	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	7,5	5,0	0,167	0,25	3,00	121,4
8.0 ft	11,15	9,00	7,84	2,0	3,0	3,0	0,75	0,25	8,0	5,33	0,167	0,25	3,50	139,5
10 ft	15,60	12,00	14,0	3,0	6,0	4,0	1,12	0,50	9,0	6,00	...	...	6	300
12 ft	18,40	14,67	16,0	3,0	8,0	5,0	1,12	0,50	10,0	6,67	...	...	8	520
15 ft	25,0	18,33	25,0	4,0	10,0	6,0	1,50	0,75	11,5	7,67	...	...	8	900
20 ft	30,0	24,00	25,0	6,0	12,0	7,0	2,25	1,00	14,0	9,33	...	...	10	1340
25 ft	35,0	29,33	25,0	6,0	13,0	7,0	2,25	1,00	16,5	11,0	...	...	15	1660
30 ft	40,4	34,67	26,0	6,0	14,0	7,0	2,25	1,00	19,0	12,6	...	...	15	1990
40 ft	50,8	45,33	27,0	6,0	16,0	7,0	2,25	1,00	24,0	16,0	...	...	20	2640
50 f	60,8	56,67	27,0	6,0	20,0	7,0	2,25	1,00	29,0	19,3	...	...	25	3280

Fuente: Obtenido de (ASTM, 2013).

En la Tabla 12 se muestra los valores de flujo libre según el ancho de garganta.

Tabla 12.

Valores de flujo libre de C y n para canales Parshall.

Ancho de garganta		C^A		N	Q, \min^B		Q, \max^B	
ft-in.	Cm	libra pulgada	SI		ft^3/s	$m^3 \times 10^3/s$	ft^3/s	m^3/s
0-1	2,54	0,338	0,0479	1,55	0,01	0,28	0,2	0,0057
0-2	5,08	0,676	0,0959	1,55	0,02	0,56	0,5	0,014
0-3	7,62	0,992	0,141	1,55	0,03	0,85	1,1	0,031
0-6	15,24	2,06	0,264	1,58	0,05	1,42	3,9	0,11
0-9	22,80	3,07	0,393	1,53	0,09	2,55	8,9	0,25
1-0	30,48	4,00	0,624	1,522	0,11	3,1	16,1	0,46
1-6	45,72	6,00	0,887	1,538	0,15	4,2	24,6	0,69
2-0	60,96	8,00	1,135	1,550	0,42	11,9	38,1	0,93
3-0	91,44	12,00	1,612	1,566	0,61	17,3	50,4	1,42
4-0	121,92	16,00	2,062	1,578	1,3	36,8	67,9	1,92
5-0	152,40	20,00	2,500	1,587	1,6	45,3	85,6	2,42
6-0	182,88	24,00	2,919	1,595	2,6	73,6	103,5	2,93
7-0	213,36	28,00	3,337	1,601	3,0	85,0	121,4	3,44
8-0	243,84	32,00	3,736	1,607	3,5	99,1	139,5	3,95
10-0	304,8	39,38	4,709	1,6	6	170	200	5,6
12-0	365,8	46,75	5,590	1,6	8	227	350	9,9
19-0	457,2	57,81	6,912	1,6	8	227	600	17,0
20-0	609,6	76,25	9,117	1,6	10	283	1000	28,3
25-0	762,0	94,69	11,32	1,6	15	425	1200	34,0
30-0	914,4	113,13	13,53	1,6	15	425	1500	42,5
40-0	1219,2	150,00	17,94	1,6	20	566	2000	56,6
50-0	1524,0	186,88	22,35	1,6	25	708	3000	84,9

Fuente: obtenido de (ASTM, 2013)

En la Tabla 13 se muestra los valores de sumergencia según el ancho de garganta.

Tabla 13.

Canal, 3 pulg. (7,62 cm), sumergido: caudal, pies³/s.

Sumergido, %	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,2	1,4	1,6
50	0,037	0,057	0,082	0,117	0,156	0,195	0,240	0,287	0,335	0,397	0,450	0,562	0,700	0,841	0,977	1,31	...	...
55	0,037	0,057	0,082	0,117	0,156	0,194	0,239	0,286	0,334	0,394	0,448	0,561	0,696	0,836	0,974	1,31	...	...
60	0,037	0,057	0,082	0,116	0,155	0,192	0,238	0,285	0,333	0,390	0,443	0,559	0,686	0,826	0,967	1,29	...	...
65	0,037	0,057	0,082	0,115	0,154	0,191	0,236	0,282	0,331	0,383	0,436	0,557	0,680	0,817	0,958	1,27	...	...
70	0,036	0,056	0,080	0,113	0,150	0,188	0,230	0,277	0,325	0,374	0,425	0,545	0,665	0,800	0,935	1,25	...	...
75	0,036	0,055	0,077	0,108	0,144	0,182	0,221	0,264	0,312	0,359	0,408	0,520	0,642	0,763	0,900	1,19	1,49	...
80	0,034	0,052	0,073	0,101	0,136	0,171	0,206	0,247	0,293	0,339	0,383	0,488	0,604	0,712	0,841	1,12	1,41	...
85	0,031	0,047	0,066	0,092	0,123	0,153	0,188	0,223	0,263	0,309	0,350	0,439	0,545	0,651	0,758	1,00	1,28	...
90	...	0,041	0,057	0,081	0,104	0,134	0,163	0,192	0,225	0,264	0,304	0,379	0,465	0,562	0,653	0,853	1,09	1,33
95	...	0,033	0,045	0,062	0,081	0,098	0,125	0,148	0,174	0,198	0,228	0,290	0,355	0,422	0,500	0,648	0,815	0,988

Fuente: obtenido de (ASTM, 2013)

9.6.4. Sedimentador primario

Para optimizar el tratamiento primario se diseñó un sedimentador a partir de la velocidad de sedimentación y la caudal punta en base al Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua Residual de Lozano, (2016). Para ello se obtuvo la velocidad de sedimentación de las partículas a través de ecuación de Stokes:

$$V_s = \frac{g \times D^2 \times (\rho_s - \rho_f)}{18 \times \mu_f} \quad (22)$$

Donde,

V_s : velocidad de sedimentación (m/s)

g : gravedad (m/s^2)

D : diámetro de la partícula (m)

ρ_s : densidad del sólido (kg/m^3)

ρ_f : densidad del fluido (kg/m^3)

μ_f : viscosidad del agua

Para obtener el volumen del tanque sedimentador primario se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{TS} = Q \times TRH \quad (23)$$

Donde,

V_{TS} : volumen del tanque sedimentador primario (m^3)

Q : caudal (m^3/s)

TRH : tiempo de retención hidráulica de 10H

Para obtener el área superficial del tanque sedimentador se utilizó la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{V_{TS}}{h} \quad (24)$$

Donde,

A_s : área superficial (m^2)

V_{TS} : volumen del tanque sedimentador primario (m^3)

h : altura (m), se consideró una altura de 3m de acuerdo a lo estipulado en la norma CO 10.7 – 602.

El ancho del sedimentador se obtuvo mediante la relación largo/ancho:

$$A_s = B \times L$$

$$B = \frac{A_s}{L}$$

$$\frac{L}{B}$$

De acuerdo a la norma CO 10.7 – 602 (Secretaria del Agua, 2016) el largo máximo del sedimentador debe ser de 30 m si se mantiene una relación largo/ ancho de 3 a 5. Para este diseño se establece un largo de 4 m, dicho de esta manera el ancho del sedimentador se calculó con la siguiente ecuación:

$$B = \frac{A_s}{L} \quad (25)$$

Donde,

B: ancho del sedimentador primario (*m*)

A_s : área superficial (m^2)

L: largo del sedimentador primario (*m*)

La carga hidráulica se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q}{A_s} \quad (26)$$

Donde,

q: carga hidráulica (*m/h*)

A_s : área superficial (m^2)

Q: caudal (m^3/s)

La velocidad horizontal se calculó con la siguiente ecuación como lo propone Guerrero et al., (2018):

$$Vh = \frac{Q}{B \times h} \quad (27)$$

Donde,

V_h : velocidad horizontal (m/s)

Q : caudal (m^3/s)

B : ancho del sedimentador primario (m)

h : altura (m)

Velocidad horizontal máxima

$$Vh_{max} = 20 \times V_s \quad (28)$$

Donde,

Vh_{max} : velocidad horizontal máxima (m/s)

V_s : velocidad de sedimentación (m/s)

Para verificar la eficiencia del tratamiento se debe comparar que la velocidad horizontal máxima (Vh_{max}) sea mayor que la velocidad horizontal (V_h):

$$Vh_{max} > V_h$$

9.7. Guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales.

Según Marín & Osés, (2015) el monitoreo y mantenimiento son dos aspectos importantes para mejorar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. El monitoreo ayuda a identificar los problemas en la planta y a tomar medidas preventivas para evitar problemas mayores. Por otro lado, el mantenimiento ayuda a mantener los sistemas de la planta en buen estado de funcionamiento, lo que puede mejorar la eficiencia y reducir los costos de operación a largo plazo.

Es por ello que para garantizar la eficiencia de los procesos físicos y biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA se realizó una guía de monitoreo y mantenimiento. Para la elaboración del programa de monitoreo primero se identificó los puntos críticos donde se realizará el monitoreo y se determinó los parámetros que deben ser monitoreados para evaluar el rendimiento de planta de tratamiento. Seguidamente se estableció un programa de mantenimiento preventivo por cada proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales, el cual incluye la frecuencia de mantenimiento, las actividades a realizar y los procedimientos de seguridad necesarios (Jiménez et al., 2017).

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para dar cumplimiento con el primer objetivo sobre la caracterización del agua residual del Campus CEASA se evaluó lo siguiente: Caudal, DQO, pH, Temperatura, Turbidez, DBO_5 , ST, SST, NO_2 , NO_3 y coliformes fecales.

10.1. Levantamiento de información

En la Tabla 14 se muestran los resultados obtenidos del caudal muestreado y con la ejecución de la ecuación (1). Además, se presenta el caudal medio obtenido a partir de la ecuación (2) y el caudal máximo diario y horario.

Tabla 14.

Resultados del caudal, caudal medio, caudal máximo horario y diario.

Lunes						
Nº	Hora	Tiempo(s)	Volumen (L)	Caudal (Q) (L/s)	$Q \left(\frac{m^3}{h} \right)$	$Q \left(\frac{m^3}{s} \right)$
1	7:00	15,94	5	0,31	1,13	0,00031
2	8:00	18,6	5	0,27	0,97	0,00027
3	9:00	15,85	5	0,32	1,14	0,00032
4	10:00	13,16	5	0,38	1,37	0,00038
5	11:00	8,3	5	0,6	2,17	0,00060
6	12:00	11,91	5	0,42	1,51	0,00042
7	13:00	17,47	5	0,29	1,03	0,00029
8	14:00	26,27	5	0,19	0,69	0,00019
9	15:00	25,56	5	0,2	0,7	0,00020
10	16:00	15,41	5	0,32	1,17	0,00032
11	17:00	22,64	5	0,22	0,8	0,00022
12	18:00	22,33	5	0,22	0,81	0,00022
13	17:00	27,4	5	0,18	0,66	0,00018
Qm				0,29	1,06	0,00029
Martes						
14	7:00	15,78	5	0,32	1,14	0,00032
15	8:00	14,65	5	0,34	1,23	0,00034
16	9:00	13,42	5	0,37	1,34	0,00037
17	10:00	9,48	5	0,53	1,9	0,00053
18	11:00	8,85	5	0,56	2,03	0,00056
19	12:00	9,18	5	0,54	1,96	0,00054
20	13:00	7,68	5	0,65	2,34	0,00065
21	14:00	17,3	5	0,29	1,04	0,00029

22	15:00	8,96	5	0,56	2,01	0,00056
23	16:00	11,63	5	0,43	1,55	0,00043
24	17:00	11,29	5	0,44	1,59	0,00044
25	18:00	11,63	5	0,43	1,55	0,00043
26	17:00	21,76	5	0,23	0,83	0,00023
Qm				0,43	1,54	0,00043
Miércoles						
27	7:00	17,2	5	0,29	1,05	0,00029
28	8:00	16,86	5	0,3	1,07	0,00030
29	9:00	20,77	5	0,24	0,87	0,00024
30	10:00	15,47	5	0,32	1,16	0,00032
31	11:00	10,18	5	0,49	1,77	0,00049
32	12:00	8,29	5	0,6	2,17	0,00060
33	13:00	6,79	5	0,74	2,65	0,00074
34	14:00	7,28	5	0,69	2,47	0,00069
35	15:00	9,55	5	0,52	1,88	0,00052
36	16:00	9,58	5	0,52	1,88	0,00052
37	17:00	15,86	5	0,32	1,13	0,00032
38	18:00	17,72	5	0,28	1,02	0,00028
39	17:00	19,34	5	0,26	0,93	0,00026
Qm				0,42	1,51	0,00042
Jueves						
40	7:00	17,3	5	0,29	1,04	0,00029
41	8:00	23,3	5	0,21	0,77	0,00021
42	9:00	14,34	5	0,35	1,26	0,00035
43	10:00	17,88	5	0,28	1,01	0,00028
44	11:00	10,03	5	0,5	1,79	0,00050
45	12:00	10,63	5	0,47	1,69	0,00047
46	13:00	7,9	5	0,63	2,28	0,00063
47	14:00	18,79	5	0,27	0,96	0,00027
48	15:00	10,31	5	0,48	1,75	0,00048
49	16:00	13,23	5	0,38	1,36	0,00038
50	17:00	17,12	5	0,29	1,05	0,00029
51	18:00	20,39	5	0,25	0,88	0,00025
52	17:00	16,02	5	0,31	1,12	0,00031
Qm				0,35	1,26	0,00043
Viernes						
53	7:00	26,37	5	0,19	0,68	0,00019
54	8:00	23,03	5	0,22	0,78	0,00022
55	9:00	16,92	5	0,3	1,06	0,00030
56	10:00	10,18	5	0,49	1,77	0,00049

57	11:00	6,72	5	0,74	2,68	0,00074
58	12:00	10,11	5	0,49	1,78	0,00049
59	13:00	10,51	5	0,48	1,71	0,00048
60	14:00	9,54	5	0,52	1,89	0,00052
61	15:00	12,58	5	0,4	1,43	0,00040
62	16:00	14,69	5	0,34	1,23	0,00034
63	17:00	13,96	5	0,36	1,29	0,00036
64	18:00	24,37	5	0,21	0,74	0,00021
65	19: 00	26,54	5	0,19	0,68	0,00019
Qm				0,37	1,34	0,00037
Qm total				0,37	1,34	0,00037
Qm diario				0,47	1,68	0,00047
Qm horario				1,12	4,03	0,0011

La medición del caudal se realizó durante 5 días desde las 7h00 hasta las 19h00, se obtuvieron 65 datos, donde se puede evidenciar que el caudal aumenta en el horario de 11h00 a 15h00, por lo que se entiende que en este horario se genera mayor actividad en la facultad de CAREN. Con los datos recolectados se obtuvo un caudal medio de $1,34 \text{ m}^3/h$, un caudal medio diario de $40,3 \text{ m}^3/día$ y un caudal medio horario de $4,03 \text{ m}^3/h$.

10.2. Fase de laboratorio

10.2.1. Análisis de la Demanda Química de Oxígeno

Una vez realizado los análisis de las muestras en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la facultad de CAREN se obtuvieron los siguientes datos que se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.*Valores obtenidos del análisis del DQO.*

Jueves 07/12/23			
N°	Hora	Abs	DQO 436mm (mg/L O ₂)
1	9:30	0,861 ^a	560
2	11:30	0,706 ^a	755
3	13:30	0,723 ^a	702
4	15:30	0,703 ^a	595
Promedio diario			653
Viernes 08/12/23			
5	9:30	0,542 ^a	519
6	11:30	0,712 ^a	757
7	13:30	0,740 ^a	670
8	15:30	0,742 ^a	460
Promedio diario			601,5
Lunes 11/12/23			
9	9:30	0,701 ^a	554
10	11:30	0,621 ^a	637
11	13:30	0,743 ^a	460
12	15:30	0,647 ^a	442
Promedio diario			523,25
Martes 12/12/23			
13	9:30	0,711 ^a	656
14	11:30	0,719 ^a	758
15	13:30	0,708 ^a	756
16	15:30	0,711 ^a	656
Promedio diario			706,5
Miércoles 13/12/23			
17	9:30	0,672 ^a	648
18	11:30	0,573 ^a	726
19	13:30	0,592 ^a	530
20	15:30	0,635 ^a	459
Promedio diario			590,75
Promedio Total			615

Según el Ministerio del Ambiente, (2015) en el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 9 el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce es de 200 mg/L, por lo tanto, con los datos obtenidos en el laboratorio se considera que el agua debe ser tratada antes de ser desembocada al cuerpo de agua dulce debido a que se obtuvo un promedio total de 615 mg/L.

10.2.2. Análisis del Potencial de Hidrogeno y la Temperatura

Después de haber realizado los análisis de las muestras en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la facultad de CAREN se obtuvieron los siguientes datos para cada parámetro Tabla 16.

Tabla 16.

Valores obtenidos del análisis del pH y temperatura.

Parámetro	Unidad	9:00	11:00	13:00	Promedio
Temperatura	°C	21,52	21,84	21,45	21,60
Potencial de Hidrogeno	-----	8,81	9,12	8,79	8,91

Con los resultados obtenidos se puede identificar que las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento del campus CEASA tiene una temperatura de 21,60 y un potencial de hidrogeno de 8,61. Al comparar con la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097-A la temperatura sobrepasa de los límites máximos permisibles que es de condición natural ± 3 , mientras que el potencial de hidrogeno si se encuentra dentro del rango de los límites máximos permisibles de 6-9.

10.2.3. Análisis de la Turbidez

Una vez analizadas las muestras en el laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la facultad de CAREN se obtuvieron los siguientes datos para la turbidez los cuales se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17.

Valores obtenidos del análisis de la Turbidez.

Parámetro	Unidad	9:00	11:00	13:00	Promedio
Turbidez	UNT	38	68	49	51,67

Según (Osorio et al., 2021), la turbidez es un procedimiento que nos indica la calidad de las aguas que se vierten debido a la relación del material coloidal y residual en suspensión. Con los resultados obtenidos en el laboratorio se identificó que las aguas residuales del campus Salache tiene un promedio de 51,67 UNT de turbidez.

10.2.4. Análisis de la Demanda Bioquímica del Oxígeno

Después de haber enviado a evaluar las muestras en el laboratorio designado se obtuvo los siguientes datos que se muestra a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18.

Valores obtenidos del análisis del DBO₅.

Muestra 1				
Fecha de análisis	Método de referencia /método interno	Unidad	Resultado	
Del 5 al 19 de enero de 2024	PE-V-06 | SM Ed.23, 2017. Método 5210D.Respirométrico	mg/L	490,8	
Muestra 2				
Del 5 al 19 de enero de 2024	PE-V-06 | SM Ed.23, 2017. Método 5210D.Respirométrico	mg/L	368,5	
Muestra 3				
Del 5 al 19 de enero de 2024	PE-V-06 | SM Ed.23, 2017. Método 5210D.Respirométrico	mg/L	380,7	
	Promedio	mg/L	413,3	

El valor obtenido de DBO₅ en el laboratorio fue de 413,3 mg/L, el cual sobrepasa el límite máximo permisible de 100 mg/L mencionado en el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 9. Dicho de esta manera se considera que el agua no es apta para ser desembocada directamente al cuerpo de agua dulce aledaño (Ministerio del Ambiente, 2015).

10.2.5. Análisis de Sólidos Totales

En la Tabla 19 se muestran los resultados obtenidos del análisis de ST, después de ser analizadas las muestras en el laboratorio designado.

Tabla 19.

Valores obtenidos del análisis de ST.

Muestra 1				
Fecha de análisis	Método de referencia /método interno	Unidad	Resultado	
Del 19 al 23 de febrero de 2024	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría	mg/L	2419	
Muestra 2				

Del 19 al 23 de febrero de 2024	de	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría	mg/L	2528
Muestra 3				
Del 19 al 23 de febrero de 2024	de	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría	mg/L	2237
Promedio			mg/L	2394,67

El valor obtenido de ST en el laboratorio fue de 2394,67 mg/L, el cual sobrepasa el límite máximo permisible de 1 600 mg/L mencionado en el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 9. Dicho de esta manera se considera que el contenido de sólidos totales es alto y debe ser tratado para que el agua pueda ser desembocada directamente al cuerpo de agua dulce aledaño (Ministerio del Ambiente, 2015).

10.2.6. Análisis de Sólidos Suspendidos Totales

En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos del análisis de SST, después de ser analizadas las muestras en el laboratorio designado.

Tabla 20.

Valores obtenidos del análisis de SST.

Muestra 1				
Fecha de análisis		Método de referencia /método interno	Unidad	Resultado
Del 19 al 23 de febrero de 2024	de	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría	mg/L	915
Muestra 2				
Del 19 al 23 de febrero de 2024	de	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría	mg/L	1146
Muestra 3				
Del 19 al 23 de febrero de 2024	de	STANDARD METHODS 2540-D Gravimetría	mg/L	1043
Promedio			mg/L	1034,67

El valor obtenido de SST en el laboratorio fue de 1034,67 mg/L, el cual sobrepasa el límite máximo permisible de 130 mg/L mencionado en el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 9. Dicho de esta manera se considera que el contenido de sólidos suspendidos

totales es alto y este parámetro debe ser tratado para que el agua pueda ser desembocada directamente al cuerpo de agua dulce aledaño (Ministerio del Ambiente, 2015).

10.2.7. Análisis de Nitritos

En la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos del análisis de SST, después de ser analizadas las muestras en el laboratorio designado.

Tabla 21.

Valores obtenidos del análisis de NO_2

Muestra 1								
Fecha de análisis	Método de referencia	/método interno	Unidad	Resultado				
Del 19 al 23 de febrero de 2024	HACH 8039	UV VIS	Espectrofotometría	mg/L	0,135			
Muestra 2								
Del 19 al 23 de febrero de 2024	HACH 8039	UV VIS	Espectrofotometría	mg/L	0,189			
Muestra 3								
Del 19 al 23 de febrero de 2024	HACH 8039	UV VIS	Espectrofotometría	mg/L	0,119			
Promedio				mg/L	0,15			

El valor obtenido de NO_2 es de 0,15 mg/L. Este parámetro fue analizado debido a que la población aledaña se dedica a la ganadería y utiliza el agua del río aledaño el cual es la fuente de descarga de la planta de tratamiento, por lo tanto, si este parámetro sobrepasa los límites máximos permisibles puede generar graves consecuencias. En este caso según el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 5 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.

10.2.8. Análisis de Nitratos

En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos del análisis de SST, después de ser analizadas las muestras en el laboratorio designado.

Tabla 22.

Valores obtenidos del análisis del NO_3 .

Muestra 1							
Fecha de análisis	Método de referencia / método interno	Unidad	Resultado				
Del 19 al 23 de febrero de 2024	HACH 8507 UV VIS Espectrofotometría	mg/L	17,1				
Muestra 2							
Del 19 al 23 de febrero de 2024	HACH 8507 UV VIS Espectrofotometría	mg/L	26,4				
Muestra 3							
Del 19 al 23 de febrero de 2024	HACH 8507 UV VIS Espectrofotometría	mg/L	22,3				
Promedio		mg/L	21,93				

El valor obtenido de NO_3 es de 2193 mg/L. De igual manera este parámetro fue analizado debido a que la población aledaña se dedica a la ganadería y utiliza el agua del río aledaño el cual es la fuente de descarga de la planta de tratamiento, por lo tanto, si este parámetro sobrepasa los límites máximos permisibles puede generar graves consecuencias. En este caso según el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 5 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.

10.2.9. Análisis de Coliformes Fecales

En la Tabla 23 se muestran los resultados obtenidos del análisis de SST, después de ser analizadas las muestras en el laboratorio designado.

Tabla 23.

Valores obtenidos del análisis de coliformes fecales.

Muestra 1						
Fecha de análisis	Método de referencia /método interno			Unidad	Resultado	
Del 19 al 23 de febrero de 2024	STANDARD 9221-C Tubos múltiples.	METHODS Fermentación por		NMP/100ml	2874	
Muestra 2						
Del 19 al 23 de febrero de 2024	STANDARD 9221-C Tubos múltiples.	METHODS Fermentación por		NMP/100ml	3061	
Muestra 3						
Del 19 al 23 de febrero de 2024	STANDARD 9221-C Tubos múltiples.	METHODS Fermentación por		NMP/100ml	2940	
Promedio				NMP/100ml	2958,33	

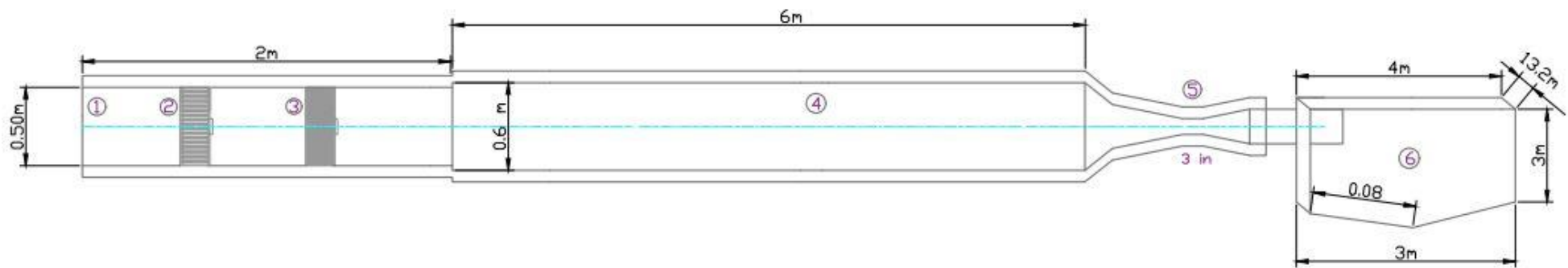
El valor obtenido de coliformes fecales en el laboratorio fue de 2958,33 NMP/100ml, el cual sobrepasa el límite máximo permisible de 2000 NMP/100ml mencionado en el Acuerdo Ministerial 097-A en Libro VI, Anexo 1, Tabla 9. Dicho de esta manera se considera que el contenido de coliformes fecales es alto y este parámetro debe ser tratado para que el agua pueda ser desembocada directamente al cuerpo de agua dulce aledaño (Ministerio del Ambiente, 2015).

10.3. Planta de tratamiento de Aguas Residuales

En la Figura 2 se presenta el boceto la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para el campus CEASA.

Figura 2.

Boceto de la optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Campus CEASA.



Leyenda

1. Canal de entrada
2. Rejilla Manual Media
3. Rejilla Manual Fina
4. Desarenador
5. Canaleta Parshall
6. Sedimentador Primario

Nota: El diseño representa a la línea de tratamiento empezando desde el canal de entrada hasta el sedimentador primario. Todas las medidas se encuentran en metros.

10.4. Resultados para el diseño

10.4.1. Pretratamiento

10.4.1.1. Canal de entrada

En la Tabla 24 se muestran las dimensiones del canal de entrada de las aguas residuales que se obtuvieron a partir del caudal de diseño y de la ejecución de las ecuaciones (3), (4), (5), (6) y (7).

Tabla 24.

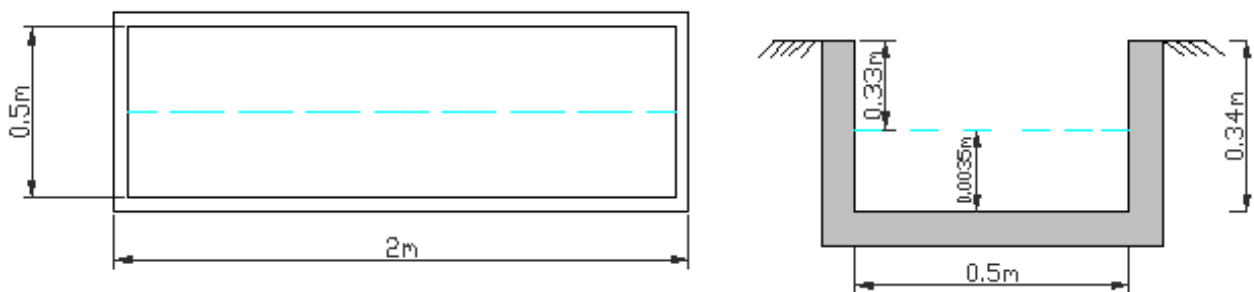
Valores para el dimensionamiento del canal de entrada a la planta de tratamiento.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal medio	Q_m	0,00037	m^3/s
Caudal máximo Horario	Q_{maxH}	0,0011	m^3/s
Altura total del canal	h_{TC}	0,34	m
Altura máxima del agua	h_{cmax}	0,0035	m
Área de la sección transversal	A_c	0,0025	m^2
Ancho del canal	B	0,5	m
Velocidad media del canal	V_{md}	0,44	m/s
Radio hidráulico	RH	0,13	m
Coefficiente de rugosidad de Manning (para concreto)	n	0,013	-

En la Figura 3 se presenta el dimensionamiento del canal de entrada realizado en el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 3.

Dimensionamiento del canal de entrada.



10.4.2. Diseño del Desbaste

10.4.2.1. Rejilla Media

En la Tabla 25 se muestran las disensiones de la rejilla de limpieza manual media que se obtuvieron a partir del caudal de diseño y de la ejecución de las ecuaciones (8), (9), (10) y (11).

Tabla 25.

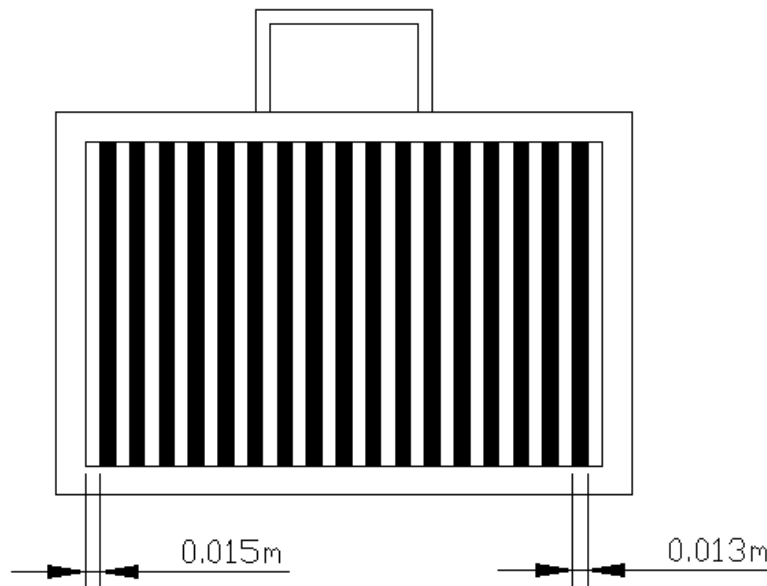
Valores para el dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual media.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal medio	Q_m	0,00037	m^3/s
Caudal máximo Horario	Q_{maxH}	0,0011	m^3/s
Área del canal requerido	A_r	0,32	m^2
Profundidad de la zona de la rejilla	P	0,027	m
Pérdida de carga generada por la rejilla	A_H	0,05	m
Número de barrotes	N	17	-
Espacio entre barrotes	L	0,015	m
Ancho de los barrotes	b	0,013	m
Velocidad de paso	Vp	0,5	m/s
Grado de colmatación	G	30	%

En la Figura 4 se presenta el dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual media realizada en el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 4.

Dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual media.



10.4.2.2. *Rejillas Fina*

En la Tabla 26 se muestran las dimensiones de la rejilla de limpieza manual fina que se obtuvieron a partir del caudal de diseño y de la ejecución de las ecuaciones (8), (9), (10) y (11).

Tabla 26.

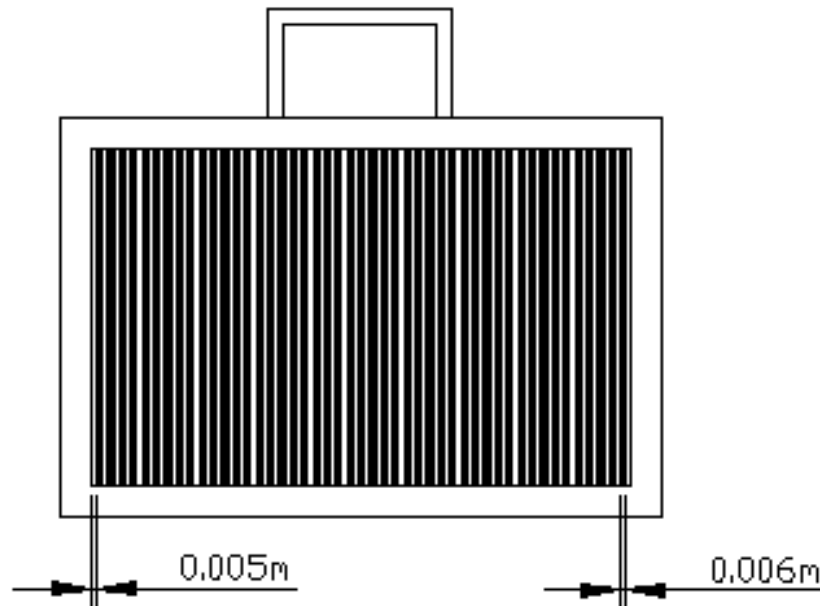
Valores para el dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual fina.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal medio	Q_m	0,00037	m^3/s
Caudal máximo Horario	Q_{maxH}	0,0011	m^3/s
Área del canal requerido	A_r	0,16	m^2
Profundidad de la zona de la rejilla	P	0,032	m
Pérdida de carga generada por la rejilla	A_H	0,05	m
Número de barrotes	N	45	-
Espacio entre barrotes	L	0,005	m
Ancho de los barrotes	b	0,006	m
Velocidad de paso	V_p	0,5	m/s
Grado de colmatación	G	30	%

En la Figura 5 se presenta el dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual fina realizada en el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 5.

Dimensionamiento de la rejilla de limpieza manual fina.



10.4.2.3. Desarenador

En la Tabla 27 se muestran las dimensiones del desarenador que se obtuvieron a partir del caudal de diseño y de la ejecución de las ecuaciones (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20) y (21).

Tabla 27.

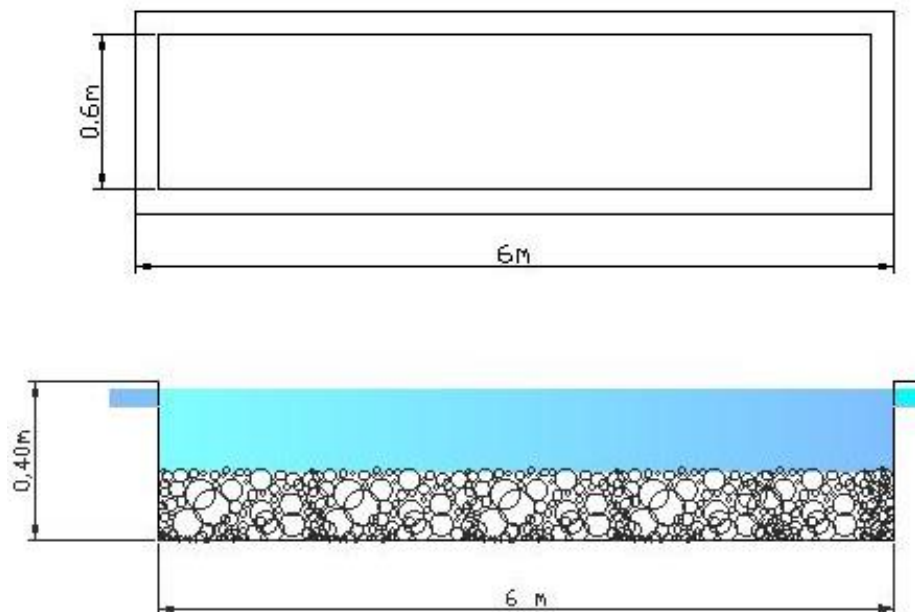
Valores para el dimensionamiento del desarenador.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal medio	Q_m	0,00037	m^3/s
Caudal máximo Horario	Q_{maxH}	0,0011	m^3/s
Velocidad de sedimentación	V_s	0,10	m/s
Velocidad critica de flujo	Vd	0,020	m/s
Área transversal del desarenador:	A_T	0,055	m^2
Profundidad del desarenador	h	0,40	m
Ancho del desarenador	B	0,6	m
Largo del desarenador	L	6	m
Longitud de transición	Lt	0,23	m
Tiempo de retención hidráulica	TRH	4	s
Periodo de desplazamiento	Td	300	s
Diámetro de la partícula	d	0,0002	m

En la Figura 6 se presenta el dimensionamiento del desarenador realizado en el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 6.

Dimensionamiento del desarenador.



10.4.3. Canaleta Parsahall

En la Tabla 28 se muestran las dimensiones de la canaleta Parshall que se obtuvieron a partir del caudal de diseño y de las tablas (8), (9) y (10).

Tabla 28.

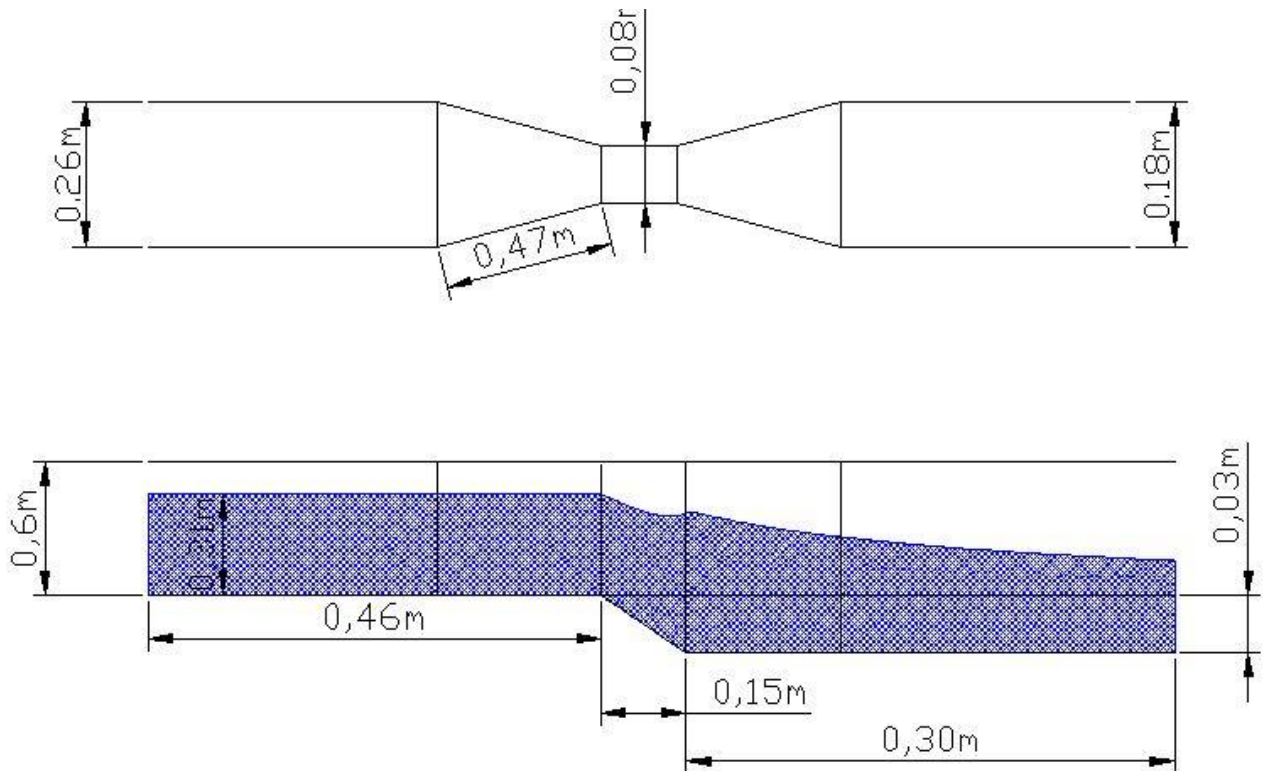
Valores para el dimensionamiento de la canaleta Parshall.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal medio	Q_m	0,00037	m^3/s
Caudal máximo Horario	Q_{maxH}	0,0011	m^3/s
Ancho de Garganta	W_T	0,08	m
Extremo aguas arriba	$W_C(ft)$	0,26	m
Extremo aguas abajo	$W_D(ft)$	0,18	m
Sección convergente	L_C	0,46	m
Sección de garganta	L_T	0,15	m
Sección divergente	L_D	0,3	m
Profundidad de la pared en la sección convergente	D	0,3-0,6	m
Inmersión en la garganta	N	0,06	m
Extremo inferior del canal	K	0,03	m
Longitud de paredes de sección convergente	$C,^A$	0,47	m
longitud de la pared aguas arriba de la cresta	H_C	0,31	m
Punto de medición a	a	0,03	m
Punto de medición b	b	0,04	m
Capacidad de flujo mínimo	-	0,0008	m^3/s
Capacidad de flujo máximo	-	0,05	m^3/s

En la Figura 7 se presenta el dimensionamiento de la canaleta parshall realizado en el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 7.

Dimensionamiento de la canaleta Parshall,



10.4.4. Interpretación de resultados del pretratamiento

El pretratamiento tiene como objetivo eliminar elementos físicos, sólidos flotantes y arena que puedan interferir en el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual mediante diversos métodos, como rejillas manuales o mecánicas. Así como también se utiliza un desarenador este ya sea manual o mecánico para la eliminación de arena y sedimentos (Díaz & Gelvez, 2023) . En este proyecto de investigación, para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA de la Universidad Técnica de Cotopaxi se propuso la implementación de un pretratamiento el cual consta de:

Un canal de entrada el cual tiene como función recibir el agua que llega directamente de la red de alcantarillado con la finalidad de que el flujo de agua sea constante, este canal posee una altura total de 0,34 m y un ancho de 0,5 m.

Seguidamente se diseñó dos rejillas de limpieza manual una media y una fina, la rejilla media con un grado de colmatación del 30 %, consta de 17 barrotes con un espesor de 0,013 m, un espacio entre barrotes de 0,015 m, un área de $0,32 \text{ m}^2$, una profundidad de 0,027 m, una pérdida de carga

de 0,05 m y una la velocidad de paso de 0,5 m/s, por lo tanto, podrá retener sólidos gruesos como plásticos, toallas sanitarias entre otros. Mientras que la rejilla fina con un grado de colmatación del 30%, consta de 45 barrotes con un espesor de 0,006 m, un espacio entre barrotes de 0,005 m, un área de $0,16 \text{ m}^2$, una profundidad de 0,032 m, una pérdida de carga de 0,05 m y una velocidad de paso de 0,5 m/s, por lo que será capaz de retener sólidos gruesos que no hayan sido retenidos por la rejilla media, estos serán de menor proporción.

Posteriormente se diseñó un desarenador con un porcentaje de remoción del 90%, un ángulo de divergencia de $12,5^\circ$, una profundidad 0,40 m, un ancho de 0,6 m y un largo de 6 m, una longitud de transición de 0,23 m, una velocidad de sedimentación de 0,10 m/s, un área transversal de 0,055 m y un tiempo de retención hidráulica de 2 s. Por ende, en el desarenador se sedimentarán partículas de 0,0002 m de diámetro como arena o grava.

Finalmente, se diseñó una canaleta Parshall para medir el caudal que ingresa al tratamiento primario de la PTAR, por lo tanto, esta dimensionado a partir del caudal de diseño y posee un ancho de garganta de 3 in, una sección convergente de 1,50 ft, una sección de garganta de 0,500 ft, una sección divergente de 1,00 ft.

10.4.5. Diseño del tratamiento primario

10.4.5.1. Sedimentador Primario

En la Tabla 29 se muestran las dimensiones del sedimentador primario que se obtuvieron a partir del caudal de diseño y de la ejecución de las ecuaciones (22), (23), (24), (25), (26), (27) y (28).

Tabla 29.

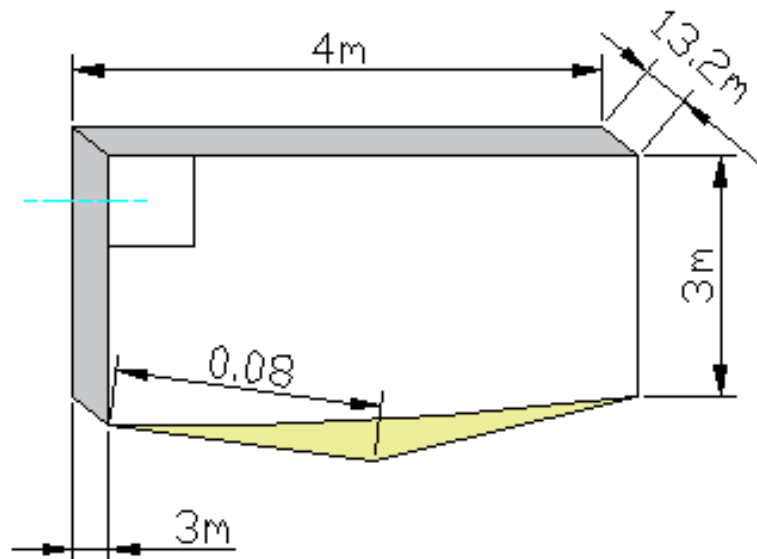
Valores para el dimensionamiento del tanque sedimentador primario.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal medio	Q_m	0,00037	m^3/s
Caudal máximo Horario	Q_{maxH}	0,0011	m^3/s
Velocidad de sedimentación	V_s	0,89	m/s
Volumen del tanque sedimentador primario	V_{TS}	39,6	m^3
Área Superficial	A_s	13,2	m^2
Altura del sedimentador	H	3	M
Ancho del tanque sedimentador primario	B	3	M
Largo de sedimentador	L	4	M
Carga hidráulica	Q	0,10	m/h
Velocidad Horizontal	Vh	0,00012	m/s
Velocidad horizontal máxima	Vh_{max}	17,8	m/s
Tiempo de retención hidráulica	TRH	10	H
Diámetro de la partícula	D	$1,04 \times 10^{-3}$	m
Densidad de la partícula	ρ_s	2500	kg/m^3
Densidad del agua	ρ_f	1000	kg/m^3
Viscosidad del agua (4 °C)	μ	1×10^{-3}	$kg/m \times s$

En la Figura 8 se presenta el dimensionamiento del sedimentador primario realizado en el software AutoCAD Civil 3D.

Figura 8.

Dimensionamiento del tanque sedimentador primario.



En el tratamiento primario se implementó un tanque de sedimentación, este es un dispositivo que consta de dos partes, la parte superior, donde se efectúa la sedimentación de los sólidos contenidos en las aguas residuales; y la parte inferior donde se efectúa la digestión de éstos (Leyva, 2022). El tanque de sedimentación diseñado consta con un volumen de $39,6 \text{ m}^3$, una altura de 3 m, un ancho de 3 m, un largo de 4 m y un área superficial de $13,2 \text{ m}^2$. Además, posee una velocidad de sedimentación de 0,89 m/s, una carga hidráulica de 0,10 m/h, velocidad horizontal de 0,00012 m/s, velocidad horizontal máxima de 17,8 m/s y un tiempo de retención hidráulica de 10 H.

10.5. Resultados de la Guía de monitoreo y mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del campus CEASA.

10.5.1. Guía de Monitoreo

Como se menciona en la metodología, es importante conocer la eficiencia de la planta de tratamiento y la calidad del agua tratada, por lo que es importante realizar análisis periódicos para determinar la capacidad de tratamiento de la planta y detectar errores.

10.5.2. Puntos críticos o de muestreo

Según Marín & Osés, (2015) el muestreo debe realizarse en los flujos de agua residual y los lodos, es decir se debe muestrear en varios puntos. Por lo tanto, para monitorear la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA, se establecieron los siguientes puntos de muestreo en referencia al afluente y efluente. Dicho de esta manera las muestras se tomarán justo en la entrada del agua residual a la planta (canal de entrada), al inicio del medidor de caudal (canaleta Parshall) y en los tanques de tratamiento.

10.5.3. Equipo de protección para el muestreo

- Guantes de látex
- Lentes de seguridad
- Zapatos de seguridad o botas de hule.
- Mascarilla
- Traje de seguridad.

10.5.4. Parámetros a muestrear

En el Acuerdo Ministerial 097- A en el Libro VI, Anexo 1 - Tabla 9, menciona los límites máximos permisibles para descargas a un cuerpo de agua dulce. Por lo tanto, se muestrearán los siguientes parámetros (Ministerio del Ambiente, 2015).

Tabla 30.

Parámetros para el monitoreo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Parámetros	Expresión	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/l	100
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Temperatura	T	°C	Condición natural ± 3
Sólidos Totales	ST	mg/l	1 600
Coliformes Fecales	NMP	Nmp/100 ml	2000

Fuente: obtenido de (Ministerio del Ambiente, 2015).

10.5.5. Guía de mantenimiento

El mantenimiento preventivo se trata de acciones que evitan o previenen fallas mayores en el sistema o sus componentes por lo que en las plantas de tratamiento de agua residual es crucial para garantizar la calidad del agua y prolongar la vida útil del sistema de tratamiento, de esta manera se busca evitar daños o fallas a futuro (Moreno, 2020).

10.5.6. Equipo de protección personal

Para realizar las actividades de mantenimiento se debe usar el equipo de protección personal adecuado el mismo que consta de:

- Botas de suela gruesa antideslizante, limpias y correctamente ajustadas, preferiblemente con punta de acero.
- Guantes de seguridad con material resistente, flexible, antideslizante y de la talla correcta.
- Casco de seguridad, certificado y sólo con adhesivos que usen pegamento inocuo.
- Chaleco, camisa o revestimiento de alta visibilidad

- Mascarilla facial protectora o protector facial contra salpicaduras para proteger la nariz y la boca de las salpicaduras de desechos humanos o aguas residuales (Velasco, 2017).

10.5.7. Desbaste

Las rejillas diseñadas para la optimización de la planta de tratamiento de agua residual del campus Salache son rejillas de operación manual, es por ello que al tratarse de rejillas manuales se requerirá limpiarlas frecuente, mínimo dos veces por día, esto es necesario porque a medida que la basura se acumule en las rejillas, bloqueará el paso del agua y causará que el flujo regrese por la línea de drenaje, permitiendo que se sedimente mayor cantidad de materia orgánica y ésta se descomponga produciendo condiciones sépticas. El horario de limpieza se determinará una vez que se inicie el funcionamiento normal de la planta, pues la cantidad de basura es muy variable. Para la limpieza de las rejillas se hará con un rastrillo metálico que coincida con los espacios entre rejillas, lavar la rejilla luego de la última limpieza, utilizando agua a presión. (Guevara, 2013).

10.5.8. Desarenador

La planta de tratamiento de agua residual contará con un desarenador el cual se debe limpiar por lo menos una vez al día de preferencia por la mañana, las arenas deben retirarse con una pala. Mensualmente se debe desprender el material adherido al fondo y finalmente cada año se deberán revisar los canales desarenadores en el caso que se encuentren dañados repararlos (Guevara, 2013).

10.5.9. Canaleta Parshall

Es importante realizar un mantenimiento adecuado de la canaleta Parshall para asegurar que estas unidades trabajan en forma efectiva y eficiente. Si se descuidara este aspecto, la canaleta podría no medir el caudal de agua correctamente, lo que afectaría la calidad del agua y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales para lo cual se recomienda realizar una inspección visual, la limpieza y desinfección de la canaleta mensualmente, así como también se debe verificar la alineación, integridad estructural y la precisión de la canaleta, anualmente (Aponte, 2019).

10.5.10. Sedimentador primario

En las plantas de tratamiento de aguas residuales el sedimentador primario es una tecnología que se utiliza para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación. La baja velocidad del flujo en un sedimentador permite que las partículas sedimentables se hundan, mientras los componentes que

pesan menos que el agua flotan hacia la superficie. La eficacia del sedimentador primario depende de factores como las características de las aguas residuales, el tiempo de retención y el porcentaje de retirada de lodo. Por lo que, para mantener el sedimentador primario en buen estado, es necesario realizar un mantenimiento adecuado. Esto incluye la limpieza regular del sedimentador para evitar la acumulación de lodos y la obstrucción del sistema de filtro o de distribución, por esta razón el escobillado de natas superficiales y medición de profundidad de lodos se realiza quincenal o mensualmente, la extracción de lodos se efectuará periódicamente cada seis meses y la limpieza del tanque se realiza una vez al año. Con el fin de asegurarse de que las unidades de sedimentación trabajen de manera efectiva y eficiente, ya que, si se descuida de estos aspectos, las unidades podrían no remover las materias suspendidas en el agua (Morales, 2022).

11. IMPACTOS

11.1. Sociales

La optimización de la planta de tratamiento del campus CEASA puede generar beneficios directos a la población, ya que la implementación de un sistema de tratamiento contribuye a la mejora de la calidad del agua reduciendo los riesgos para la salud pública. Además, la población académica puede utilizar la información de este proyecto como fuente de información para implementar medidas correctivas que ayuden a mejorar la calidad del medio ambiente.

11.2. Ambientales

La información de este proyecto de investigación genera un impacto significativo esto debido a que al optimizar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del campus mejora la calidad de las fuentes hídricas y del medio ambiente en general. Es decir, la implementación de este proyecto contribuye a la mitigación y prevención de los impactos generados por el mal manejo de las aguas residuales domésticas generadas por el campus.

11.3. Económicos

La implementación de cada uno de los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales puede generar altos costos en el diseño, construcción y operación, especialmente en la fase de operación ya que es crucial realizar un monitoreo y mantenimiento para garantizar su eficiencia.

12. CONCLUSIONES

En base al levantamiento de información que se realizó para la caracterización de las aguas residuales del campus CEASA, se pudo identificar que el caudal medio del afluente es de $0,00037 \text{ m}^3/\text{s}$ y se logró analizar varios parámetros obteniendo una DQO de 615 mg/l, un pH de 8,91, una temperatura de 21,60 °C, una turbidez de 51,67 UTN, una DBO_5 de 413,3 mg/l, un promedio de ST de 2394,67 mg/L, SST de 1034,67 mg/L, NO_2 de 0,15 mg/L, NO_3 de 21,93 mg/L y coliformes fecales de 2958,33 NMP/100mL. Los valores obtenidos fueron comparados con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, lo cual permitió determinar que el agua residual del campus debe ser tratada antes de ser desembocada directamente al cuerpo hídrico.

Para la optimización del pretratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del campus CEASA se implementó varias mejoras, se dimensiono un canal de entrada de una altura total de 0,34 m y un ancho de 0,5 m, dos rejillas de limpieza manual una media y una fina, la rejilla media consta de 17 barrotes con un espesor de 0,013 m y un espacio entre barrotes de 0,015 m, la rejilla fina posee 45 barrotes con un espesor de 0,006 m y un espacio entre barrotes de 0,005, además ambas tienen una velocidad de paso de 0,005 m/s. Así también, se diseñó un desarenador con un ángulo de divergencia de $12,5^\circ$ y un porcentaje de remoción del 90%, posee una profundidad de 0,40 m, un ancho de 0,6 m, un largo de 6 m y una velocidad de sedimentación de 0,10 m/s. De igual forma implementó una canaleta Parshall con el fin de medir el caudal que ingresa al tratamiento primario, consta de un ancho garganta de 3 in, una sección convergente de 1,50 ft y una sección divergente de 1,00 ft.

Para la optimización del tratamiento primario se diseñó un sedimentador primario de un volumen de $39,6 \text{ m}^3$, posee una altura de 3 m, un ancho de 3 m, un largo de 4 m, un área superficial de $13,2 \text{ m}^2$, una velocidad de sedimentación de 0,89 m/s, una velocidad horizontal de 0,00012 m/s y un tiempo de retención hidráulica de 10 H.

El monitoreo y mantenimiento adecuado a la planta de tratamiento del campus CEASA ayuda a conocer la eficiencia de la planta de tratamiento y la calidad del agua tratada, así como también determinar la capacidad de tratamiento de la planta y detectar errores ya que es crucial para garantizar la calidad del agua y prolongar la vida útil del sistema.

13. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar las mejoras establecidas para la planta de tratamiento en este proyecto, con el fin de garantizar su eficiencia y de esa manera contribuir al tratamiento de las aguas residuales lo cual tendrá un impacto positivo para la salud pública y ambiental.

En caso de implementar el diseño planteado se recomienda visualizar el funcionamiento de la planta de tratamiento mediante una simulación en el software SALOME® y OpenFoam®, con el fin de reducir costos innecesarios.

Se recomienda utilizar la guía realizada para el monitoreo y mantenimiento de planta de tratamiento de agua residuales domésticas del campus CEASA, esto con el fin de mantener la eficiencia de sus procesos.

Se recomienda que las personas encargadas de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus CEASA designe un operador que revise diariamente las actividades que se realizan en la planta de tratamiento y verifique que las unidades hidráulicas estén funcionando correctamente. Para lo cual el operador en todo momento deberá utilizar las herramientas y equipos adecuados.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, E. (2017). Manual de Medición de Caudales. In *Instituto Privado de Investigación sobre cambio climático* (p. 24).
- Aponte, C. (2019). *Central Facultad De Ingeniería Civil Bogotá 2019*.
- ASTM. (2013). *Standard Test Method for Open Channel Flow Measurement of Water with the Parshall. 91*, 1–10. <https://doi.org/10.1520/D1941-91R13.2>
- Bokova, I., & Ryder, G. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. In *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura* (Vol. 3).
- Bustamante, M., Bustamante, P., Osorio, J., & Daza, A. (2019). Thickener and Continuous Countercurrent Decantation (CCD) geometric design in gold mining for tailings disposal. *Revistas Boletín de Ciencias de La Tierra*, 46, 19–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rbct.n46.77553>
- Caiza, Y., & Zambrano, J. (2022). “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS DEL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022.” In *Sistema Biodigestor*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Castañeda, A., & Flores, H. (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad*, 4(7), 33. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5815442>
- Céspedes, D. (2019). *TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EMPLEANDO A Chlorella sp. Y CONVERSIÓN DE LA BIOMASA MICROBIANA POR PIRÓLISIS LENTA*.
- CONAGUA. (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- Conceição, T., Baptista, M., & Reis, P. (2019). La contaminación de los recursos hídricos como punto de partida para el activismo. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16, 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2019.v16.i1.1502>

- Crombet, S., Abalos, A., Rodríguez, S., & Pérez, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 49–56. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57715>
- Díaz, E., & Gelvez, D. (2023). *Pretratamiento de Aguas Residuales Mediante la Construcción de un Cribado Autolimpiante*.
- Fúquene, D., & Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Ecapma*, 1(1), 1–7.
- Fúquene, D., Yate, A., Pérez, D., Duque, C., Chiriví, J., Valderrama, C., & Forero, V. (2019). *Tratamiento de aguas residuales - KAUDA, tratamiento de aguas*. September 2022. <https://doi.org/10.22490/9789586516358.08>
- García, R. (2018). Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro. *Avances En Química*, 13(3), 79–82.
- González, J. (2018). *ESPECIALIZACIÓN EN DIAGNÓSTICO Y GESTIÓN “ EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN E INCLUSIÓN SOCIAL DE VERACRUZ (CRISVER) XALAPA VERACRUZ , MÉXICO ” Que para obtener el título de : Especialista en Diagnó.*
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., & Salas, M. (2016). Contaminación de agua. *ECORFAN® Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10.
- Guerrero, T., Salazar, J., & Paredes, J. (2018). EFICIENCIA DE UN SEDIMENTADOR LAMINAR Y. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 84(3). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000300007
- Guevara, M. (2013). *Análisis del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Coatepec, Veracruz*.
- Hendricks, D. (2011). *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes Physical, Chemical, and Biological*. Taylor & Francis Group.
- Jacobo, F. (2018). Aguas residuales urbanas y sus efectos en la comunidad de Paso Blanco , municipio de Jesús María , Aguascalientes. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(16), 267–293. <https://doi.org/https://doi.org/10.21696/rcls19162018760>
- Janeiro, M. (2016). *Determinación de demanda química de oxígeno (DQO)*. 1–4.
- Jiménez, G., Martínez, R., & Briano, M. (2017). Monitoreo de una planta tratadora de aguas residuales mediante pruebas de toxicidad aguda con el cladóceros *Daphnia magna* y el

- rotífero de agua dulce *Lecane quadridentata*. *Hidrobiológica*, 27(1), 87–92.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972017000100087
- Lazcano, C. (2016). *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales* (Segunda ed).
- Leyva, R. (2022). “Eficiencia del tanque Imhoff Y sedimentador Dormunt en la remoción de la carga másica en función de la Dqo de las aguas residuales domésticas adaptado en climas alto andinos, Marcará - 2019. 134.
- López, R. (2020). *roblemas Resueltos de Hidráulica de Canales Abiertos* (Universidad de Lleida. (ed.); 2a Edición). <https://repositori.udl.cat/server/api/core/bitstreams/1b9c7e46-831c-4121-b399-660839087ecb/content>
- Loro, A. (2018). Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con eisenia foetida y un biofiltro convencional. In *Universidad Científica del Sur*.
- Lozada, D., & Giraldo, E. (2019). ORIGEN DE LOS OLORES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. In *Jurusan Teknik Kimia USU* (Vol. 3, Issue 1).
- Lozano, W. A. (2016). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Autor : Ing . WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS , MSc , PhD BOGOTÁ D . C . , COLOMBIA Octubre de 2012*.
- Marín, A., & Osés, M. (2015). Manual de Procedimientos Tomo II. In A. Villarreal (Ed.), *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados* (p. 246).
- Méndez, D. M., & Arias, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 5(3), 115–123.
- Mendoza, S., Cervantes, M., Valenzuela, A., Guzmán, T., Orona, I., & Cervantes, T. (2021). Potential use of wastewater in agriculture. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 12(1), 117–128. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n1/2007-0934-remexca-12-01-115-en.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Registro Oficial Edición Especial N° 387*. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>

- Monar, J. (2020). PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DE LA PRODUCCION DE LACTEOS. In *Global Health* (Vol. 167, Issue 1).
- Morales, J., & Loor, K. (2023). Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán, Ecuador. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 10(2), 92–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.21855/ecociencia.102.801>
- Morales, S. (2022). *Rediseño De La Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Comunidad Chiquicha Centro Perteneciente Al Cantón Pelileo, Provincia De Tungurahua.*
- Moreno, A., & Hernández, J. (2021). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA RURAL LUIS ANTONIO DUQUE PEÑA; EN LA VEREDA, GUABINAL PLAN, CORREGIMIENTO DE BARZALOSA, GIRARDOT, CUNDINAMARCA.* UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA-SECCIONAL ALTO MAGDALENA.
- Moreno, C. (2020). Actualización del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas y la planta de tratamiento de agua potable domestica del campamento la higuera, sociedad minera de Santander.minesa.s.a.s. In *Universidad Nacional Abierta y A Distancia -UNAD.*
- OPS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.*
- Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., Loor, X., & Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas The quality of domestic waste water A qualidade das águas residuais domésticas. *Polo Del Conocimiento*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Palmer, S., & Corpus, W. (2018). Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, 2(1), 15–24. <https://doi.org/10.23850/25907441.1662>
- Peña, S., Mayorga, J., & Montoya, R. (2018). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi(Ecuador). *Ciencia e Ingeniería*, 39(2), 162–162.
- Perez, G. (2016). *Manual de obras hidraulicas.*
- Pérez, H., Licla, L., Molina, M., Pimentel, R., & Velásquez, C. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.*
- Pinilla, E. (2021). *ELABORACION DE UNA GUIA PARA EL DISEÑO DE PLANTAS DE*

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/13628/2/T.IC_CondeAngie-VegaDaniela-PinillaErika_2021.pdf

- Quispe, M., Piñas, L., Del Valle, J., & Aguirre, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales* (V. Gutiérrez (ed.); Voces de 1). <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58476.pdf>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial Diseño y Tecnología*, 17(1), 71–80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635432>
- Ramírez, D. F. (2021). Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales. *Investigación e Innovación En Ingenierías*, 9(1), 100–113. <https://doi.org/10.17081/invinno.9.1.4305>
- RAS. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO*. https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Reyes Araujo, W. (2020). Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del Sistema MBBR - Caylloma - Aquafil Optimization of domestic wastewater treatment through the implementation of. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 23(511), 43–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v23i45.18047>
- Reyes, J. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 3(1), 41–56.
- Rodríguez, J., Sosa, G., & Garza, Y. (2002). *Bioconversión anaerobia como una alternativa para la remoción de DQO contenido en aguas residuales del rastro municipal*. 46, 185–188.
- Rojas, A., & Huayllani, I. (2021). *EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE FILTRO PERCOLADOR DEL DISTRITO DE PAUCARÁ*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA.
- Rosas, F., Tejeda, S., & Canaza, F. (2021). *FLUJO A SUPERFICIE LIBRE FLOW ESTIMATION FROM THE SPEEDOMETRY TECHNIQUE BY IMAGES OF LARGE-SCALE PARTICLES*

APPLIED IN FLOW TO A FREE.

- Sanchez, J. (2022). Capitulo IV Cálculo aproximado de la altura de inundación. In Kindle Direct Publishing (Ed.), *Hidrología Superficial y Subterránea* (2^a ed, Issue 1, pp. 1–4).
- Sandoval, L., Juárez, M., & Brown, O. (2017). Mathematical Models for Flow Estimation in Sutro Weirs Used in Irrigation Systems. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(3), 30–38.
- Secretaria del Agua. (2016). *NORMA CO 10.7 - 602 - REVISIÓN NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. <https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/norma-co-10-7-602-area-rural.pdf>
- Suárez, F., Mendoza Flores, C. M., Arteaga Valdez, F. R., Toledo Toledo, C. J., Llatas Villanueva, F. D., & Zumaran Irribarren, J. L. (2022). Capítulo 7: Diseño de canaleta Parshall. *Minerva*, 3(7), 51–77. <https://doi.org/10.47460/minerva.v3i7.53>
- Torres, G. A., & Lozano, E. A. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Ra Ximhai*, 393–404. <https://doi.org/10.35197/rx.13.03.2017.23.gt>
- Valencia, C. (2016). *Aguas residuales Una Visión Integral* (UD Editori). https://www.google.com/ec/books/edition/Aguas_residuales_una_visión_integral/M3miEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=características+de+las+aguas+residuales+domésticas+pdf&printsec=frontcover
- Valle, V. (2016). Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua residual doméstica de la ciudad de Quito. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Carrera de Ingeniería Ambiental*, 52.
- Velasco, J. (2017). *Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Ubillus*.
- Zapo, M. (2021). *Manual de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales La Cúspide de municipio Tlapacoyan, Veracruz*.