



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

*DISEÑO DE UNA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
PARA LAS INSTALACIONES DEL CAMPUS MARÍA AUXILIADORA*

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: RODRIGO ANDRES TORRES CEDEÑO

TUTOR: ING. VIRGILIO ORDOÑEZ RAMIREZ, PhD

GUAYAQUIL-ECUADOR

Septiembre – 2024

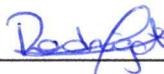
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE
TITULACION**

Yo, **Rodrigo Andrés Torres Cedeño** con documento de identificación No. **0931431779**, manifiesto que:

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

Guayaquil, 27 de agosto del 2024

Atentamente,



Rodrigo Andrés Torres Cedeño

0931431779

**CERTIFICADO DE CESION DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **Rodrigo Andrés Torres Cedeño** con documento de identificación No. **0931431779**, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del trabajo experimental: **“DISEÑO DE UNA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LAS INSTALACIONES DEL CAMPUS MARÍA AUXILIADORA”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 27 de agosto del 2024

Atentamente,



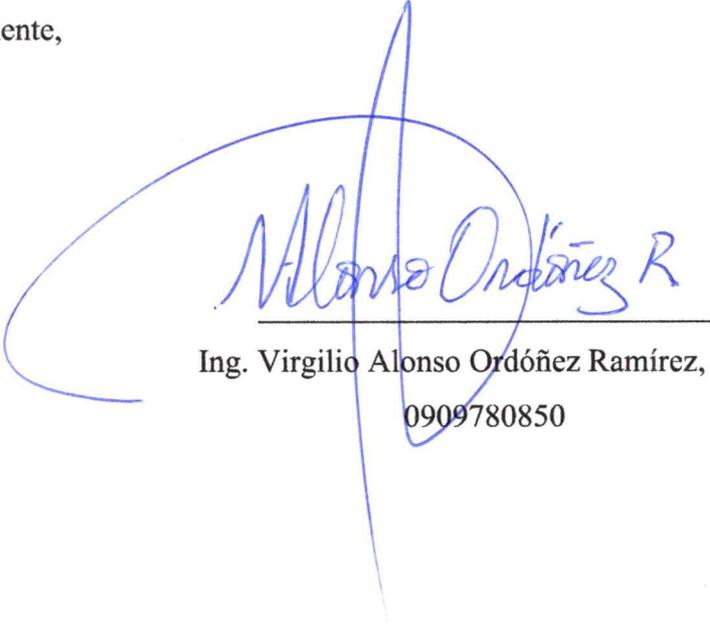
Rodrigo Andrés Torres Cedeño
0931431779

CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez con documento de identificación No. 0909780850, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UNA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PARA LAS INSTALACIONES DEL CAMPUS MARÍA AUXILIADORA”**, realizado por Rodrigo Andrés Torres Cedeño con documento de identificación No. 0931431779, obtenido como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de agosto del 2024

Atentamente,



Virgilio Alonso Ordóñez R

Ing. Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez, PhD

0909780850

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que me apoyaron durante este proceso, empezando por mí, este logro no sería posible sin mi propio esfuerzo y sin el apoyo que recibo día a día por parte de mis seres más cercanos, los que se encargan de convertirme en una mejor persona y un mejor ser humano.

A mis padres por apoyarme de manera incondicional, este trabajo es para ellos, y a mi abuelo, el ingeniero Aurelio Torres Valencia y al ingeniero José Freire Torres por ofrecerme una guía en todo momento para el desarrollo de este proyecto.

A mis mentores y todas las personas que contribuyeron de manera profesional y académica.

AGRADECIMIENTO

Doy las gracias a Dios y a la vida por permitirme llegar a este punto y tener la fortuna de luchar por este logro que he escogido.

Agradezco a mi familia por su apoyo moral incondicional, a mis padres por siempre presionarme a continuar con el proyecto, a mi abuelo por su enseñanza, y a mis tíos que fueron un gran aporte profesional para mi trabajo de titulación.

Agradezco especialmente al ingeniero Virgilio Ordóñez por su constante ayuda durante este proceso.

Quiero agradecer a mis amigos, compañeros, primos, familiares, y todas las personas que contribuyeron de una manera para la culminación de este trabajo, gracias a todos ellos por el apoyo moral y la ayuda brindada durante este arduo proceso, sus palabras de aliento y su compañía y apoyo son agradecidos por siempre. Gracias a todos.

INDICE DE CONTENIDO

1. CAPITULO 1.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Situación problemática.....	2
1.3 Definición problema.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitación.....	3
1.5.1 Coordinadas:.....	4
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo general.....	6
1.6.2 Objetivos específicos.....	6
1.7 Marco hipotético.....	6
1.7.1 Hipótesis general.....	6
1.7.2 Hipótesis específicas.....	6
2. Capítulo 2.....	7
2.1 Marco teórico referencial.....	7
2.2 Fundamentos teóricos.....	7
2.2.1 Agua residual.....	7
2.2.2 Agua residual en el Ecuador.....	8
2.2.3 Planta de tratamiento de aguas residuales.....	8
2.2.4 Tratamiento primario.....	9
2.2.5 Tratamiento secundario.....	9
2.2.6 Caracterización de las aguas residuales domésticas.....	9
2.2.7 Proceso de fangos activados.....	11
2.3. Recolección de muestras norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013.....	12
2.4 Definiciones teóricas.....	12
2.5 Marco legal.....	15
2.5.1 Constitución de la República del Ecuador.....	15
2.5.2 Código Orgánico del Ambiente.....	15
2.5.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente.....	16
2.5.4 Ley Orgánica de Salud.....	17
2.5.5 Acuerdo Ministerial 061.....	17
2.5.6 Acuerdo Ministerial 097 A anexo 1.....	18

2.5.7 NTE-INEN 2169 agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras	19
3 Metodología	20
3.1 Tipo de investigación.....	20
3.2 Enfoque de la investigación.....	20
3.2 Población y muestra.....	21
3.3 Variables de estudio.....	21
3.3.1 Variable dependiente	21
3.3.2 Variable independiente	21
3.4 Metodología para los análisis de laboratorio	21
3.4.1 Materiales y procedimiento para pH y Temperatura	23
3.4.2 Materiales y Procedimiento para la Conductividad.....	23
3.4.3 Materiales y procedimiento para Sólidos Suspendedos Totales.....	24
3.4.4 Materiales y procedimiento para la Demanda Bioquímica de Oxígeno	24
3.4.5 Materiales y procedimiento para la Demanda Química de Oxígeno	25
3.5 Toma de datos y protocolos	25
3.5.1 Recolección de muestras.....	25
3.5.2 Medidas de bioseguridad	27
3.5.3 Análisis del cumplimiento de los límites permisibles.....	28
3.6 Software aplicado para la elaboración del diseño.....	28
3.7 Base del Diseño.....	28
3.8 Plan financiero	28
4 Resultados.....	29
4.1 Resultados de la generación de caudal de las aguas residuales domésticas	29
4.2 Análisis estadístico de los datos de monitoreo de descargas in situ	30
4.2.1 Resultados de la temperatura de las aguas residuales domésticas	31
4.2.2 Resultados del pH en las aguas residuales domesticas (Unidades de pH).....	33
4.2.3 Resultados de la conductividad eléctrica en las aguas residuales domesticas.....	34
4.2.4 Resultados del oxígeno disuelto en las aguas residuales domesticas	35
4.2.5 Resultados de los Solidos Suspendedos Totales.....	36
4.2.6 Resultados de Aceites y Grasas	37
4.2.7 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales domésticas	38
4.2.8 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales domésticas.	39
4.2.9 Resultados de Nitrógeno Total Kjeldahl de las aguas residuales domésticas.....	40

4.3 Cálculo de las cargas contaminante del agua residual doméstica.....	41
4.4 Componentes del sistema de tratamiento.....	42
4.5 Descripción del proceso de tratamiento.....	43
4.6 Esquema de tratamiento.....	45
4.7 Diseño y dimensionamiento de la unidad de tratamiento.....	46
4.7.1 Ecuador 46	46
4.7.2 Reactor Biológico.....	47
4.7.3 Clarificador secundario.....	51
4.7.4 Proceso de cloración.....	52
4.7.5 Cantidad de aireación (Blowers).....	53
4.7.6 Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.....	54
4.7.7 Eficiencia esperada.....	55
4.8 Plan Financiero.....	56
4.8.1 Terrenos y obras civiles.....	56
4.8.2 Maquinarias, mobiliarios y equipos.....	56
4.8.3 Tuberías y Accesorios.....	57
4.8.4 Materiales Eléctricos.....	57
4.8.5 Mano de obra.....	58
4.8.6 Valor total del proyecto.....	58
5 Conclusiones y Recomendaciones.....	59
5.1 Conclusiones.....	59
5.2 Recomendaciones.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	65

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio -----	4
Tabla 2. Coordenadas del punto de diseño -----	5
Tabla 3 Parámetros a evaluar-----	22
Tabla 4. Valores por mes de consumo de Agua Potable-----	29
Tabla 5. Resultados de toma de caudal-----	30
Tabla 6. Temperatura de la descarga doméstica -----	31
Tabla 7. Resultados del pH -----	33
Tabla 8. Resultados de la conductividad-----	34
Tabla 9. Resultados del Oxígeno disuelto -----	35
Tabla 10. Resultados de solidos suspendidos totales-----	36
Tabla 11. Resultados de aceites y grasas-----	37
Tabla 12. Resultados del DBO ₅ -----	38
Tabla 13. Resultados del DQO -----	39
Tabla 14. Resultados del Nitrógeno Total Kjeldahl -----	40
Tabla 15. Cargas Contaminantes de parámetros -----	42
Tabla 16. Dimensionamiento de Ecuador -----	46
Tabla 17. Dimensionamiento del reactor biológico -----	49
Tabla 18. Dimensionamiento del clarificador secundario -----	51
Tabla 19. Dosis típicas de cloro en desinfección -----	52
Tabla 20. Terrenos y Obras Civiles. -----	56
Tabla 21. Maquinaria, Mobiliarios y Equipos-----	56
Tabla 22. Tuberías y Accesorios -----	57
Tabla 23. Materiales Eléctricos -----	57
Tabla 24. Instalación / Mano de Obra -----	58
Tabla 25. Valor total del proyecto -----	58

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Coordenadas del área de estudio-----	4
Ilustración 2. Coordenadas del punto de diseño-----	5
Ilustración 3. Resultados de toma de caudal-----	30
Ilustración 4. Resultado de temperatura de agua-----	32
Ilustración 5. Resultados del pH-----	33
Ilustración 6. Resultados de la conductividad eléctrica-----	34
Ilustración 7. Resultados del Oxígeno disuelto-----	35
Ilustración 8. Resultado de los sólidos suspendidos totales-----	36
Ilustración 9. Resultados de los aceites y grasas-----	37
Ilustración 10. Resultados de los DBO ₅ -----	38
Ilustración 11. Resultados del DQO-----	39
Ilustración 12. Resultados del NTK-----	40
Ilustración 13 Esquema de tratamiento-----	45
Ilustración 14. Diseño Ecualizador-----	47
Ilustración 15. Diseño Reactor biológico-----	50
Ilustración 16. Diseño de Planta-----	54

Resumen

La investigación tiene como objetivo principal el desarrollo del diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el campus María Auxiliadora, las cuales cuentan con una carga orgánica contaminante muy elevada.

Los parámetros analizados mediante la metodología de estándar método forman parte de los más importantes para determinar el dimensionamiento de la unidad de tratamiento, los cuales fueron: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno total de Kjeldahl, sólidos suspendidos totales y aceites y grasas.

Los resultados obtenidos de las descargas de las aguas residuales domésticas de la Universidad Politécnica Salesiana en el campus María Auxiliadora exceden los valores máximo-permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A anexo 1 Tabla 9 Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.

La propuesta técnica presenta un esquema de tratamiento básico que permite remover la carga orgánica con un nivel de eficiencia de remoción del 83 %, el cual es suficiente para que las características físicoquímicas de los efluentes cumplan con la exigencia legal establecida por la autoridad ambiental.

Palabras clave: tratamiento, aguas residuales, remoción.

ABSTRACT

The main objective of the research is to develop the design of a treatment system for domestic wastewater generated at the María Auxiliadora campus, which has a very high organic pollutant load.

The parameters analyzed using the standard method methodology are among the most important to determine the sizing of the treatment unit, which were: biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, Kjeldahl total nitrogen, total suspended solids, and oils and fats.

The results obtained from the domestic wastewater discharges of the Salesian Polytechnic University at the María Auxiliadora campus exceed the maximum-permissible values established in Ministerial Agreement 097-A Annex 1 Table 9 Discharge limit to a freshwater body.

The technical proposal presents a basic treatment scheme that removes the organic load with a removal efficiency level of 83%, which is sufficient for the physicochemical characteristics of the effluents to comply with the legal requirement established by the environmental authority.

Key words: treatment, wastewater, removal

1. CAPITULO 1

1.1 Introducción

La universidad politécnica salesiana en específico el campus María Auxiliadora ubicado en la ciudad de Guayaquil, cuenta con un crecimiento exponencial en aspectos académicos y poblacional, por lo permite el aumento de estudiantes nuevos cada semestre, aumentando proporcionalmente la cantidad de contaminación que genera, residuos sólidos, agua residual doméstica, entre otros, en la cual las autoridades de la Universidad son los encargados de la gestión final de estos contaminantes. Con respecto al agua residual, el campus no cuenta con una unidad de tratamiento para reducir la carga contaminante con la que cuentan las aguas residuales domesticas generadas en el campus María Auxiliadora.

Con el objetivo de priorizar la gestión de las aguas residuales se desarrollará esta tesis experimental, la cual nos permitirá realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas con tecnología de reactores biológicos, para eliminar los focos de contaminación originados debido a la mala disposición de las aguas residuales domésticas.

Las empresas que están conscientes de la necesidad de una administración responsable de los recursos naturales para la sostenibilidad de sus actividades manejan, de manera sostenible, todos sus movimientos, minimizando los aspectos ambientales negativos de manera responsable que genera la producción industrial hacia su entorno (Ordóñez Ramírez, 2020).

1.2 Situación problemática

Las aguas residuales, especialmente las de origen industrial, representan una amenaza para los ecosistemas y la salud pública en todo el mundo. Estas aguas, cargadas de contaminantes químicos y biológicos, pueden tener efectos devastadores en la biodiversidad y generar serios riesgos para la salud humana si no se tratan adecuadamente. En este artículo, exploramos el impacto ambiental de las aguas residuales y destacamos la importancia de un tratamiento óptimo para proteger el medio ambiente y prevenir enfermedades relacionadas con el agua. (TELWSA, 2023)

Para evitar o minimizar cualquier impacto ambiental de las aguas residuales, es esencial un tratamiento óptimo antes de su descarga al medio ambiente. Esto implica la eliminación efectiva de contaminantes químicos y biológicos, así como la reducción de la carga de nutrientes. (TELWSA, 2023)

Se calcula que, aproximadamente, sólo el 66 por ciento de la población está conectada a un sistema de alcantarillado (18 por ciento en áreas rurales y 77 por ciento en áreas urbanas) y sólo 30 a 40 por ciento del agua residual que se capta se trata este valor, sin embargo, no refleja la calidad del agua descargada o si cumple con el reglamento. Este valor es sorprendentemente bajo, dados los niveles de ingreso y urbanización de la región, y tiene implicaciones significativas para la salud pública, la sostenibilidad ambiental y la equidad social (Banco Mundial, 2020).

Guayaquil, un importante puerto que concentra la mayor población urbana de Ecuador, está ubicado en la ribera occidental del río Guayas, que desemboca en el Océano Pacífico. La contaminación por aguas servidas de los ríos y estuarios ha afectado a la ciudad durante décadas; sin embargo, inversiones recientes en la recolección y el tratamiento de aguas residuales ya están generando mejoras en la calidad del agua y reduciendo la contaminación. Actualmente, Guayaquil está tomando medidas para mejorar su infraestructura para el manejo

aguas residuales con apoyo del Banco Mundial, convirtiéndose rápidamente en un modelo a seguir para la región (Banco Mundial Blogs, 2020).

1.3 Definición problema

En la unidad de análisis se generan 40 m³ de agua residual por día aproximadamente, mientras que la capacidad de almacenamiento máxima es de 30 m³, por lo que de manera permanente después del segundo día de actividades normales el agua se rebosa y se descarga hacia el cuerpo hídrico circundante (estero salado) generando una afectación directa a la calidad de agua.

1.4 Justificación

La descarga permanente de agua residual doméstica sin tratar es un grave problema que justifica la realización de una investigación experimental para proponer un diseño de manejo adecuado y minimizar el impacto ambiental que al momento se está generando.

La caja de registro a la cual llegan las aguas residuales domésticas en el Campus María Auxiliadora fue construida para un menor caudal del cual se genera en la actualidad por lo cual existe un rebose de las aguas residuales que llegan al tope máximo de la caja de registro ocasionando una proliferación de malos olores principalmente hacia el área de parqueos generando molestias a los estudiantes debido al mal manejo de las aguas. Además, al existir un rebose están llegando a conectarse al canal de aguas lluvias que se encuentra en el límite lateral del Campus, por lo cual, se contamina este canal el cual descarga directo a un brazo del estero pequeño que se localiza al final del Campus

1.5 Delimitación

El área de estudio se ha delimitado en el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en el kilómetro 19 de la vía a la costa en la ciudad de Guayaquil, donde se considerará un punto de muestreo para la evaluación de las aguas residuales domésticas.

1.5.1 Coordenadas:

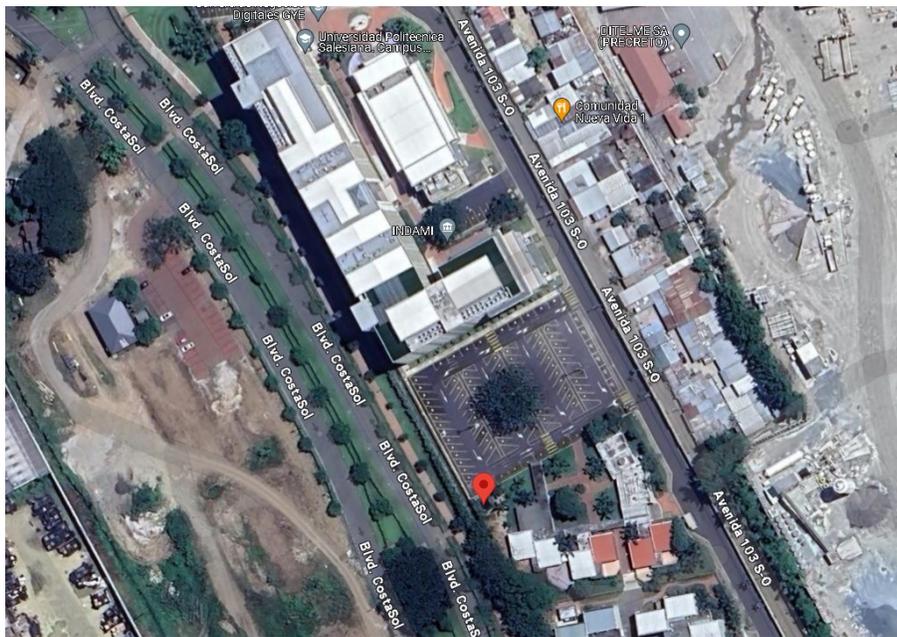
Las coordenadas del punto de muestreo son:

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

Coordenadas UTM	
X	Y
606167	9757511

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 1. Coordenadas del área de estudio



Fuente: Google Earth

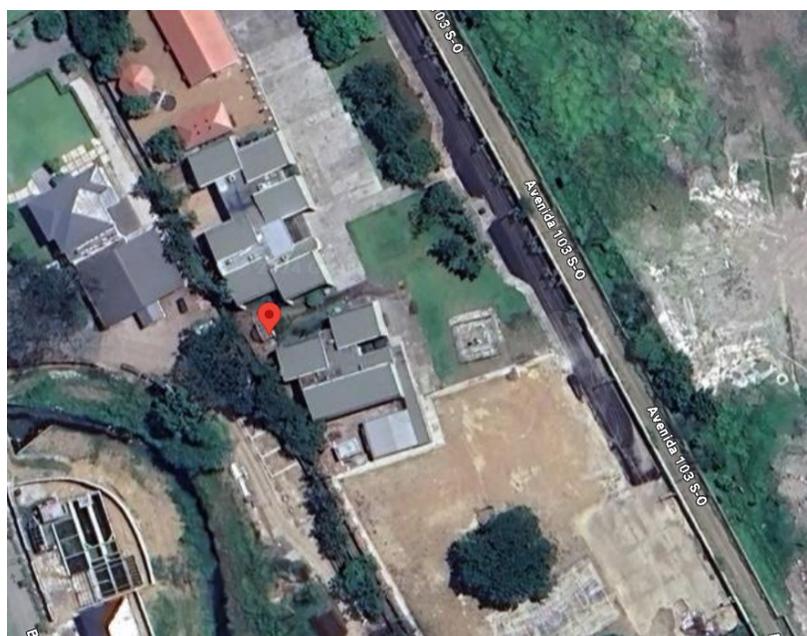
Las coordenadas del punto de diseño son:

Tabla 2. Coordenadas del punto de diseño

Coordenadas UTM	
X	Y
606319	9757238

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 2. Coordenadas del punto de diseño



Fuente: Google Earth

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseño de una unidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante procesos unitarios para proponer una mejora en el manejo interno del Campus María Auxiliadora.

1.6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el agua residual doméstica generada en la unidad de análisis mediante los lineamientos establecidos en el libro standard methods para determinar su tratabilidad.
- Diseñar el sistema de tratamiento mediante pruebas experimentales para determinar el dimensionamiento de la unidad.
- Determinar el costo del proyecto mediante un análisis financiero para ayudar a la toma de decisiones de ejecución de la propuesta.

1.7 Marco hipotético

1.7.1 Hipótesis general

¿El Diseño de una estación de tratamiento de las aguas residuales domésticas proponer una mejora en el manejo interno?

1.7.2 Hipótesis específicas

¿Caracterizando el agua residual doméstica generada en la unidad de análisis permitirá determinar su tratabilidad?

¿El diseño del sistema de tratamiento permitirá determinar el dimensionamiento de la unidad?

¿La determinación del costo del proyecto permitirá ayudar a la toma de decisiones para la ejecución de la propuesta?

2. Capítulo 2

2.1 Marco teórico referencial

2.1.1 Antecedentes teóricos

Según las últimas estimaciones sobre la carga de enfermedades relacionadas con el agua, el saneamiento y la higiene, 1,4 millones de personas mueren cada año por falta de agua potable y de saneamiento e higiene adecuados. La mayoría de estas muertes ocurren en países de ingresos bajos y medios. Los riesgos sanitarios son responsables de 564.000 de estas muertes, principalmente por diarrea, y son un factor importante en muchas enfermedades tropicales desatendidas, como las lombrices intestinales, la esquistosomiasis y el tracoma. La mala higiene también contribuye a la desnutrición. (OMS, 2024).

No hay suficientes datos para estimar progreso global en términos de flujos globales. 90 países en los últimos 20 años han proporcionado estadísticas de volumen total de flujos de aguas residuales. De los 42 países que informaron acerca de flujos de aguas residuales generados y su tratamiento en 2015 supuso el 32% del total de aguas residuales generados recibió al menos algún tratamiento. Sin embargo, porque estos países representan solo el 18% de la población mundial, no es posible evaluar la situación a escala mundial. (ONU Agua, 2021)

2.2 Fundamentos teóricos

2.2.1 Agua residual

En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales municipales e industriales que generan. Este promedio cae a un 38% en los países de ingresos medios-altos y a un 28% en los países de ingresos medios-bajos. En los países de ingresos bajos solo el 8% recibe algún tratamiento. Estas estimaciones sustentan la aproximación que se cita comúnmente que, en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno. (WWAP , 2017)

Las aguas residuales totales tal y como se consideran en este informe engloban aguas residuales procedentes de industrias, hogares, servicios y agricultura, por ejemplo, fuentes

localizadas de uno o varios contaminantes que pueden estar localizadas geográficamente y representadas en un punto de un mapa. Aunque las fuentes no localizadas como las escorrentías procedentes de terrenos agrícolas y urbanos pueden contribuir de manera significativa a los flujos de aguas residuales y a la contaminación difusa, los flujos susodichos no pueden monitorearse en la fuente. (ONU-Hábitat y OMS, 2021)

2.2.2 Agua residual en el Ecuador

En Ecuador, el 13.4 por ciento de la población rural no tiene acceso a saneamiento básico, y para las poblaciones más pobres de todo el país (tanto rurales como urbanas), el 23.5 por ciento carece de acceso a saneamiento. Adicionalmente, el 38.1 por ciento de los municipios de Ecuador no cuentan con infraestructura para el tratamiento de sus aguas residuales. La mayor parte del agua contaminada va directamente a los ríos, arroyos o al océano, lo que afecta los ecosistemas y la salud pública. Las aguas residuales contienen varios contaminantes que pueden dañar los arrecifes de coral, incluidos sedimentos, nutrientes, pesticidas, metales traza, hidrocarburos, microplásticos y productos farmacéuticos. La contaminación por aguas residuales puede reducir la resiliencia de los arrecifes y hacerlos más sensibles al aumento de la temperatura del océano, la acidificación y otros impactos del cambio climático. 4 (Reef Resilience Network, 2023)

En el país se registran 577 plantas de tratamiento de agua residual, distribuidas en 164 municipios. Del total de agua distribuida por los municipios, el 22,3 % en promedio al mes ingresan a las plantas de tratamiento de agua residual. (INEC, 2022)

2.2.3 Planta de tratamiento de aguas residuales

Una planta de tratamiento de aguas residuales evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde trapos y maderas, a arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales. La reducción de la materia orgánica y de los contaminantes es llevada a cabo usando bacterias útiles y otros microorganismos que se usan para consumir la materia orgánica en el agua residual. (Belzona Inc., 2010)

2.2.4 Tratamiento primario

El tratamiento primario de aguas residuales se centra en reducir la suspensión de sólidos, además de prepararla para la siguiente fase por medio de una neutralización y homogenización de partículas.

Su principal objetivo es remover la mayoría de las sustancias que están sedimentadas o flotando. Este primer tratamiento es capaz de eliminar la materia que incomoda y a su vez una fracción importante de la carga orgánica que se ve representada en un 25 % y 40 % de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Cely, Bonilla , & Carrillo, 2022).

2.2.5 Tratamiento secundario

Tiene como objetivo eliminar la mayor parte de la materia coloidal, se trata principalmente de procesos de tipo físico químico o de tipo biológico. De los últimos se puede distinguir lo siguiente:

- Fangos activados
- Lechos bacterianos o, mejor, filtros percoladores
- Otros: biodiscos y cilindros (Filtros rotativos o contactores biológicos rotativos: CBR), estanques de estabilización, lagunas aireadas, lechos de turba, filtros verdes, etc.

Después de esta operación el efluente pasara por una etapa de clarificación (decantación secundaria) para eliminar los flóculos biológicos que se han producido (fangos en exceso o biológicos). Por lo que se refiere a los rendimientos, la reducción de solidos oscila entre el 80-95%, y la reducción de la DBO₅ entre el 85 y el 95% (Castillo & Díaz, 2022).

Sistema de Lodos Activados:

2.2.6 Caracterización de las aguas residuales domésticas

Olor: Los olores son sensaciones resultantes de la recepción de un estímulo por parte del sistema olfatorio, que consiste en dos subsistemas separados: el epitelio olfatorio y el nervio trigémino. Las sustancias olorosas emitidas por aguas residuales domésticas acumuladas o en procesos de tratamiento pueden ser de naturaleza tanto orgánica como inorgánica y se presentan en forma de gases y vapores (Lozada & Giraldo, 2019).

pH: El pH indica la acidez o la alcalinidad del agua. Se define como la concentración de iones de hidrogeno en el agua. La escala del pH es logarítmica con valores de 0 a 14. (Castillo & Díaz, 2022)

Conductividad eléctrica: Los sólidos se encuentran en la naturaleza en forma disuelta. Las sales disueltas en agua se descomponen en iones cargados positiva y negativamente. La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos (Clean Water Team, 2004).

DQO Mide la cantidad de materia orgánica presente en el agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato o el dicromato potásico. Este parámetro no puede ser menor que la DBO, ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. (Guerrero & Heredia, 2021)

Las siglas DQO significan la demanda o necesidad química de oxígeno que tienen los vertimientos residuales y alude a una de las características más importantes la cual permite categorizarlos en función de su capacidad potencial para el consumo de oxígeno disuelto del cauce receptor. (Cardenas Leon, 2022).

DBO₅: La materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática (Lecca, Eduardo, & Ruiz, 2014).

La DBO₅ se mide principalmente para conocer las necesidades inmediatas de oxígeno que poseen los vertimientos de aguas residuales y, de esta forma predecir o prever su impacto inmediato sobre el cauce receptor. Para facilitar la comparación de los resultados las muestras se expresan en unidades de mg/L (Cardenas Leon, 2022)

Aceites y grasas: Las grasas son compuestos orgánicos que se forman de carbono, hidrógeno y oxígeno, siendo la fuente más concentrada de energía en los alimentos. Pertenecen al grupo

de las sustancias llamadas lípidos y vienen en forma líquida o sólida. Todas las grasas son combinaciones de los ácidos grasos saturados y no saturados (Olivo, y otros, 2010)

Sólidos suspendidos: Los sólidos suspendidos están constituidos por la materia suspendida que permanece sobre un filtro de fibra, cuando filtramos una muestra de agua residual previamente agitada. La determinación está sujeta a errores considerables si no se toman las precauciones adecuadas; un exceso podría ocluir los poros del filtro (Universidad Continental, 2022).

Nitrógeno Total de Kjeldahl: El nitrógeno total de Kjeldahl se define como la sumatoria de amonio libre y los compuestos orgánicos nitrogenados que se convierten a sulfato de amonio, luego de la digestión apropiada de la muestra realizada con ácido sulfúrico y en presencia de un catalizador.

2.2.7 Proceso de fangos activados

El proceso de fangos activados es una técnica biología de tratamiento de aguas residuales en la que una mezcla de agua residual y fango biológico (microorganismos) se agitan y airean. Posteriormente, los sólidos biológicos se separan del agua residual tratada y si es necesario se devuelven al proceso de aireación.

El objetivo de los procesos de fangos activados es eliminar los compuestos orgánicos solubles e insolubles de una corriente de agua residual y convertir esta materia en una suspensión de flóculos microbianos que sea fácilmente sedimentable y permita la utilización de tecinas gravitacionales de separación de los sólidos del líquido.

El agua residual fluye de modo continuo dentro del tanque de aireación donde se inyecta aire para mezclar el fango activado con el agua residual y el suministrar el oxígeno necesario para que los organismos puedan romper los compuestos orgánicos (Taylor and Francis Group, 2004)

2.3. Recolección de muestras norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013

Se realiza la toma de muestras para efectuar el análisis de la calidad de agua, con la finalidad de evidenciar el estado general, funcionamiento y eficiencia de la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

En muestras que serán utilizadas para medir parámetros físicos y químicos, llenar los frascos por completo y taparlos para que no exista presencia de burbujas de aire en ellos. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se conviertan a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tienda a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).

Las muestras deben conservarse a temperaturas más bajas que la que se adquirieron. Los recipientes deben estar casi llenos, pero no totalmente llenos.

La adición de compuestos químicos, directamente a la muestra después de la recolección o al recipiente cuando aún está vacío, estabiliza ciertos componentes físicos o químicos. Las concentraciones y los compuestos químicos varían considerablemente. Los compuestos químicos de más uso son:

- Los ácidos
- Las soluciones básicas
- Los biácidos
- Los reactivos especiales

2.4 Definiciones teóricas

Afluente: Es el agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un cuerpo de agua receptor, reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (Ministerio del Ambiente, 2015).

Efluente: Descarga o vertido líquido proveniente de un proceso productivo o de una actividad determinada. (Ministerio del Ambiente, 2015).

Carga contaminante: Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, o presente en un cuerpo receptor expresada en unidades de masa por unidad de tiempo (Ministerio del Ambiente, 2015)

Agua subterránea: Es toda agua del subsuelo, especialmente la que se encuentra en la zona de saturación (Ministerio del Ambiente, 2015).

Canales: Conductos utilizados para el transporte de agua, para múltiples propósitos (Ministerio del Ambiente, 2015).

Caudal: Es la medida de la hidráulica fluvial más común, siendo el principal parámetro para caracterizar la dinámica de un río o un canal. Una medición precisa de la velocidad es un asunto de importancia en los procesos hidrológicos. (Flores, y otros, 2021)

Pozo séptico: El tanque séptico es una estructura de separación de sólidos que acondiciona las aguas residuales para su buena infiltración y estabilización en los sistemas de percolación que necesariamente se instalan a continuación (Municipalidad Distrital de Santa María del Mar, 2016).

Reactor biológico: El reactor biológico es donde se dan las reacciones donde la materia orgánica es degradada por los microorganismos. También los biorreactores son recipientes en él se llevan a cabo los procesos químicos que involucran a los microorganismos donde se encuentra en constante participación en los procesos metabólicos (Curasi, 2024)

Sistema biológico anaeróbico: El éxito del reactor anaeróbico se puede atribuir a su capacidad para retener altas concentraciones de lodo en condiciones anaerobias. Además, permite tratar altas cargas orgánicas volumétricas aplicadas, mientras mantiene un tiempo de retención celular (TRC) largo y un tiempo de retención hidráulico relativamente corto (Lopez, Soto, Chávez, & Fall, 2019).

Ítem de ensayo: Porción que se toma de una muestra del material a la que se va a realizar los ensayos

Muestra: Fracción de un material sobre la que se estudiara ciertas características, las cuales posteriormente se generalizan a todo el conjunto.

Analito: Sustancia química presente en un material o sistema, que es objeto de detección, identificación y cuantificación en el análisis químico de una muestra.

Homogeneidad de una muestra: Se verifica demostrando que los contenidos de analito en muestras representativas de la población no presenten diferencias estadísticas significativas.

Carga orgánica: La carga orgánica F/M se define como la cantidad de comida por unidad de biomasa que reciben los microorganismos cada día, expresada en kgDQO/kgSSVLM. También se puede utilizar DBO5 en lugar de DQO. La siguiente ecuación se utiliza para determinar la carga orgánica:

$$\frac{F}{M} = \frac{DQO * Q}{SSVLM * V} = \frac{S * Q}{X * V} = \frac{S}{X - T_d}$$

Donde:

S: Sustrato orgánico, mg/L de DQO

X: Concentración de biomasa, mg/L de SSVLM

V: Volumen del reactor, en L o m³

La carga orgánica muestra la cantidad de comida diaria que recibe el reactor por unidad de biomasa y ayuda a dimensionar su tamaño. Por lo general, está entre 0.05 y 1.5 de kgDQO/kgSSVLM.d y se utiliza mayormente en reactores aerobios en medio de suspensión.

Como se ha mencionado, S_o rara vez es constante durante el día y, incluso con tanques de homogenización, es difícil determinar el promedio. Por lo tanto, si se desea supervisar el funcionamiento de un sistema de tratamiento mediante F/M, existe la posibilidad de no cumplir con la carga requerida. Además, es menos sensible que la edad de los lodos, ya que las variaciones significativas de F/M causan pequeños cambios en S y X. (Orozco, 2014)

2.5 Marco legal

2.5.1 Constitución de la República del Ecuador

Acorde a lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador (2008) publicada en el Registro Oficial No. 449 el 20 de octubre del 2008.

Art. 14. Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 71. La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Art. 395. La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

2.5.2 Código Orgánico del Ambiente

Art. 191. Del monitoreo de calidad del aire, agua y suelo. La autoridad ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizan el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

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

2.5.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente

Art. 1. Objeto y ámbito. - El presente Reglamento desarrolla y estructura la normativa necesaria para dotar de aplicabilidad a lo dispuesto en el Código Orgánico del Ambiente. Constituye normativa de obligatorio cumplimiento para todas las entidades, organismos y dependencias que comprenden el sector público central y autónomo descentralizado, personas naturales y jurídicas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, que se encuentren permanente o temporalmente en el territorio nacional.

Art. 7. Biodiversidad como recurso estratégico. - La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá la rectoría y gestión del sector estratégico de la biodiversidad, desarrollando el modelo de gestión intersectorial conforme las competencias, facultades y atribuciones establecidas en la normativa vigente.

2.5.4 Ley Orgánica de Salud

Art. 103. Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias.

Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país.

Para la eliminación de desechos domésticos se cumplirán las disposiciones establecidas para el efecto.

Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir estas disposiciones.

Art. 104. Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades.

Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir esta disposición.

2.5.5 Acuerdo Ministerial 061

Art. 196 De las autorizaciones de emisiones, descargas y vertidos. - Los Sujetos de Control deberán cumplir con el presente Libro y sus normas técnicas. Así mismo, deberán obtener las autorizaciones administrativas ambientales correspondientes por parte de la Autoridad Ambiental Competente.

No se autorizarán descargas ya sean aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual, no pueda soportar la descarga; es decir, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico. La determinación de la capacidad de carga del cuerpo hídrico será establecida por la Autoridad Única del Agua en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 197 Reporte. El Sujeto de Control que origine descargas, emisiones o vertidos hacia el ambiente, incluyendo sistemas de alcantarillado, deberá reportar a la Autoridad Ambiental

Nacional con la periodicidad que establece el régimen de evaluación de impactos ambientales presente en este Libro. Los formularios o formatos para tales reportes serán establecidos a través del cuerpo legal correspondiente.

Art. 209 De la calidad del agua. Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I.

En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

2.5.6 Acuerdo Ministerial 097 A anexo 1

Objeto

La norma plantea como objetivo la prevención y control de la contaminación ambiental, relacionado con el recurso agua.

Su objetivo principal es la protección de la calidad del agua para salvaguardar y conservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interacciones y del medio ambiente.

Se deben llevar a cabo acciones para preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua de acuerdo con la presente norma.

Principios básicos

La preservación de los usos asignados mediante el cumplimiento de la norma de calidad correspondiente, según los principios que se detallan en este documento, es la base del proceso de control de la contaminación del recurso hídrico.

Las municipalidades, dentro de su ámbito de acción y a través de las Entidades Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (EPS) de carácter público o, en la actualidad, delegadas al sector privado, serán las encargadas de prevenir, controlar o resolver los problemas de contaminación que surjan de los procesos que involucran la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado. Para ello, deberán llevar a cabo los respectivos planes maestros

El Sujeto de Control debe, entre otras, realizar las siguientes acciones para controlar la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, según la actividad regulada: elaboración del Plan de Manejo Ambiental que incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga; actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial; y otras acciones que permitan prevenir y controlar los impactos ambientales potenciales. La Autoridad Ambiental también podrá solicitar al regulado que vigile la calidad del cuerpo de agua.

2.5.7 NTE-INEN 2169 agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras

En la NTE INEN 2169 las precauciones y técnicas generales que se deben seguir para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua, incluidas las que se utilizan para análisis biológico mas no están incluidas las de análisis microbiológico, están establecidas en esta norma técnica.

Se aplica esta norma cuando la muestra (simple o compuesta) no pueda ser analizada en el sitio en el cual se recolecto la muestra, por lo tanto, se deberá trasladar a un laboratorio para su respectivo análisis.

Las reacciones físicas, químicas o biológicas, que tienen lugar desde el momento del muestreo hasta el inicio del análisis, afectan en diferente grado las aguas, especialmente las aguas superficiales y, en particular, las aguas residuales. Las concentraciones que se determinan en el laboratorio serán diferentes a las que se encontraban en el momento del muestreo si no se toman precauciones tanto antes como durante el transporte, así como durante el tiempo que las muestras se mantienen en el laboratorio antes del análisis.

Antes de decidir sobre el método adecuado de conservación y manipulación, es esencial consultar al analista y/o al especialista que interpretará los resultados.

3 Metodología

3.1 Tipo de investigación

La metodología que se empleará para el diseño de la unidad de tratamiento de agua residual doméstica para las instalaciones del campus María Auxiliadora será por medio de una investigación de tipo experimental, la unidad de análisis para la ejecución del estudio será el campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en el kilómetro 19 de la vía a la costa en la ciudad de Guayaquil.

Para caracterizar el agua residual domestica producida en las instalaciones del campus María Auxiliadora en el transcurso del día se realizará primero la lectura del medidor y la lectura de los datos emitidos por Interagua en las respectivas facturas.

Para la determinación de la calidad del agua se llevará a cabo mediante un análisis físico químico en el laboratorio de Química de la Universidad Politécnica Salesiana, donde se determinará la medición correspondiente de parámetros requeridos para el diseño.

3.2 Enfoque de la investigación

El problema el cual será abordado y solucionado en esta investigación se optara por utilizar una metodología de tipo cuantitativa experimental, este enfoque es el adecuado debido a que se necesitara de mediciones, análisis precisos y objetivos de variables, permitiendo determinar el nivel de contaminación e impacto que genera las aguas residuales al ser descargadas sin un tratamiento adecuado al cuerpo receptor de agua que se ve afectado no solo por las descargas de la Universidad sino también por las diferentes comunas barriales e industrias que no realizan un adecuado tratamiento ni desinfección de sus descargas de agua residual.

La investigación cuantitativa se caracteriza por el uso de métodos de análisis de laboratorio para la determinación de datos numéricos reales para evidenciar los niveles de contaminación con la que cuenta la muestra de las aguas residuales domésticas, se utilizara para corroborar hipótesis planteadas y establecer relaciones casuales. En este estudio se medirán los parámetros más importantes para la determinación del tipo de agua residual que se deberá tratar y que métodos son los esenciales para el correcto tratamiento y remoción de la carga orgánica con la que cuenta. Se cumplirá con lineamientos establecidos por las instituciones

nacionales e internacionales para el recolección y análisis correspondiente de las aguas residuales.

3.2 Población y muestra

La población en nuestro estudio es toda el agua residual doméstica que se genera en las instalaciones del campus María Auxiliadora.

Para la toma de muestras para su caracterización se la realizará desde la caja de registro que está ubicada en la zona de parqueos del campus María Auxiliadora.

3.3 Variables de estudio

3.3.1 Variable dependiente

Nivel de contaminación: El nivel de contaminación que proviene en las aguas residuales domesticas es directamente proporcional a la cantidad de personas que hacen uso del recurso.

Caudal de agua residual diario: El caudal de agua residual diario es dependiente del uso que se le da al agua potable en las instalaciones del Campus en actividades domésticas.

Capacidad de unidad de tratamiento: La capacidad de tratamiento del agua residual es proporcional a la cantidad de afluente de tipo doméstico generado en las instalaciones.

3.3.2 Variable independiente

Número de personas: La cantidad de personas que se encuentran generando agua residual doméstica en las instalaciones del Campus María Auxiliadora.

3.4 Metodología para los análisis de laboratorio

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos se utilizó diferentes guías de metodologías que serán detalladas a continuación, junto con una descripción de cada parámetro.

Tabla 3 *Parámetros a evaluar*

Parámetros	Unidad	Método
Caudal	m ³ /día	Lectura de medidor y revisión de facturas
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	Standard Methods, Ed. 23, 2017, 4500 H
Conductividad eléctrica	μS/cm	Standard Methods, Ed. 23, 2017, 2510
Temperatura	°C	Standard Methods, Ed. 23, 2017, 2550 B
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	Método Gravimétrico
Aceites y Grasas	mg/L	EPA 1664 Rev. A. 1999
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	Standard Methods, Ed. 23, 2017, 5210 D
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	Standard Methods Ed. 23, 2017, 5220 D

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

3.4.1 Materiales y procedimiento para pH y Temperatura

Materiales:

- Vaso de precipitación
- Agua destilada
- Multiparámetro

Procedimiento para evaluación:

- Para la medición del pH de la muestra de agua residual se utilizará un equipo que cuente con su correcta calibración para una lectura adecuada del parámetro de pH y temperatura.
- Enjuagar los materiales a utilizar
- Colocar la sonda dentro del vaso de precipitación que contiene la muestra de agua, la sonda deberá estar suspendida, no debe tocar el fondo ni los bordes del vaso ya que puede existir una mala lectura del valor.
- El valor dado por el equipo se deberá anotar

3.4.2 Materiales y Procedimiento para la Conductividad

Materiales:

- Vaso de precipitación
- Multiparámetro Hach
- Agua destilada

Procedimiento para la evaluación:

- La medición de conductividad se utilizará un conductímetro de la que se deberá encontrar calibrado para una lectura más certera.
- Enjuagar los materiales que se utilizarían
- Colocar la sonda dentro de un vaso de precipitación que contiene la muestra de agua, la sonda deberá estar suspendida, no debe tocar los bordes del vaso ni el fondo ya que puede reflejar una mala lectura del valor real
- Anotar el valor dado

3.4.3 Materiales y procedimiento para Sólidos Suspendidos Totales

Materiales:

- Balanza analítica
- Papel filtro
- Horno
- Pinzas

Procedimiento para la evaluación:

- Pesar en la balanza analítica, el peso del papel filtro
- En un papel filtro pasar la muestra para retener las partículas solidas
- El residuo obtenido se secará en un horno a 103 – 105 °C
- El incremento del peso del filtro representara la cantidad de solidos suspendidos totales

3.4.4 Materiales y procedimiento para la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Materiales:

- Botellas de Winkler
- Capsula magnética
- Termómetro
- Soluciones tampón de sulfato
- Probetas de 100 ml

Procedimiento para la evaluación:

- Se deberá medir el oxígeno disuelto inicial por el método Winkler
- Dejar incubando 5 días la muestra en oscuridad y a 20 °C
- Luego de 5 días transcurridos medir el oxígeno disuelto de la muestra ayudándonos por el método de Winkler

3.4.5 Materiales y procedimiento para la Demanda Química de Oxígeno

Materiales:

- Vaso de precipitación
- Agua destilada
- Viales de DQO Hach
- Termo reactor
- Espectrofotómetro preferible de la marca Hach

Procedimiento para la evaluación:

- En caso de ser necesario se deberá diluir la muestra a la concentración que se crea mejor para el análisis.
- Con una pipeta se deberá coleccionar 2ml de la muestra para luego ser colocados dentro del vial de DQO de la marca
- Agitar el vial con la muestra de 2ml.
- El equipo termoreactor deberá contar con una temperatura de 150 °C para la correcta cocción de la muestra y se deberá esperar 2 horas según lo establecido en la metodología.
- Seleccionar el programa 435 DQO RA del espectrofotómetro para la medición colorimétrica de la muestra.
- Anotar los datos dados por el espectrofotómetro.

3.5 Toma de datos y protocolos

3.5.1 Recolección de muestras

3.5.1.1 Mediciones in situ

En la elaboración de las mediciones in situ se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Adecuación del sitio: Debido al estado en el que se encuentra el sitio seleccionado para el muestreo, se debió tomar precauciones necesarias para asegurar la integridad física y seguridad de los equipos a usar in situ.
- Programación de los equipos: Para la medición in situ se utilizaron equipos de nivel, sondas multiparamétricas que fueron programas con anterioridad para un correcto funcionamiento.
- Obtención de agua residual domestica: Se recogerán cinco muestras diferentes del agua residual doméstica, en diferentes días de una misma semana para garantizar diversidad y representatividad.
- Transporte y almacenamiento: Las muestras serán transportadas al laboratorio de Química de la Universidad Politécnica Salesiana Campus María Auxiliadora de la ciudad de Guayaquil siguiendo los protocolos establecidos por las normas técnicas citadas en la presente investigación, para asegurar su integridad y evitar su degradación y posterior alteración de los resultados.

3.5.1.2 Mediciones ex situ (laboratorio)

Las muestras de agua residual domestica utilizadas para medición en el laboratorio fueron tomadas en días diferentes a la misma hora. Además, los parámetros a determinar fueron considerados por el tutor de tesis y el autor ya que se consideran más importantes y las cuales reflejan un valor concreto acerca de la carga contaminante del agua residual doméstica en cuestión y son los siguientes:

- Turbidez (NTU)
- Solidos Suspendidos Totales (mg/L)
- Aceites y Grasas /mg/L)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
- Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
- Nitrógeno Total de Kjeldahl (mg/L)

3.5.2 Medidas de bioseguridad

Las sustancias recolectadas pueden ser tóxicas, biológicas, infecciosas o corrosivas, ya que el muestreo de las aguas residuales está asociado con el manejo de sustancias peligrosas y con frecuencia, con sitios los cuales no cuentan con las condiciones adecuadas para asegurar la integridad de los muestreadores. Por lo tanto, no se deberá actuar con negligencia al momento del desarrollo de la toma de muestras, se deberá utilizar la indumentaria adecuada con el fin de minimizar riesgos el mismo que debe ser el siguiente:

- Mandil blanco
- Guantes de nitrilo o quirúrgicos
- Mascarillas
- Gafas protectoras

Además, se hace necesario considerar una serie de procedimientos requeridos seguir para preservar la seguridad durante la toma de las muestras de agua residual doméstica:

- El personal deberá estar capacitado acerca del uso adecuado de los equipos y los procedimientos de seguridad física. Además, deben estar al tanto de los riesgos a los que se enfrenta en el sitio de muestreo
- Para el equipo de muestreo se recomienda recibir un curso de primeros auxilios, en caso de ser necesario.
- El muestreador deberá haberse realizado exámenes médicos para conocer el estado en el que se encuentra su salud, además, deberá indicar en una ficha médica, si es alérgico o inmune a algún medicamento o sustancia, junto con su tipo de sangre.
- El equipo técnico deberá contar con un botiquín básico para emergencias, soluciones de limpieza de heridas (alcohol antiséptico), Isodine, agua oxigenada; así mismos materiales para la cobertura de heridas como: gasas, vendas, banditas, etc.

3.5.3 Análisis del cumplimiento de los límites permisibles

Respecto a los resultados de la calidad del efluente, se realizará la comparación de los límites permisibles de descarga, de acuerdo a la tabla de descarga para un cuerpo de agua dulce, tabla No 9 del acuerdo ministerial 097-A, actualmente vigente. Se realizará graficas donde se visualice el cumplimiento temporal de los límites permisibles de cada parámetro analizado.

3.6 Software aplicado para la elaboración del diseño

Con el programa AutoCad de la empresa AutoDesk dedicada al diseño en 2D Y 3D, se efectuará el diseño estructural que permitirá identificar cada parte de lo que será la unidad de tratamiento para las aguas residuales domésticas que se generan en el Campus María Auxiliadora.

3.7 Base del Diseño

Para el diseño del sistema de tratamiento de se han considerado los siguientes datos como los más importantes a tener en cuestión para el desarrollo correcto del tamaño, dimensiones y capacidad con la que contará la unidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas.

3.8 Plan financiero

Para realizar la determinación de los costos del proyecto se determinará el costo de la inversión para lo cual se considerará: terrenos, obras civiles, maquinarias, mobiliarios y equipos. Para la instalación de la unidad se va a considerar los relacionados a tuberías, accesorios, materiales eléctricos y mano de obra.

4 Resultados

4.1 Resultados de la generación de caudal de las aguas residuales domésticas

La medición de caudal se realizó por medio de dos operaciones, revisando las facturas de agua potable entregada en los meses de diciembre del año pasado, enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto del presente año, entregadas por interagua, empresa encargada de la distribución de agua potable a la población del guayaquil y por medio de anotaciones del medidor de ingreso ubicado a la entrada de la universidad, encontrando que el valor mínimo fue de 33.66 m³/día y un valor máximo de 44.47 m³/día, con un valor promedio de 39.61 m³/día. Las mediciones se realizaron tomando los datos del medidor a las 22H00 (hora de culminación de las actividades en el campus).

Tabla 4. Valores por mes de consumo de Agua Potable

Desde	Hasta	Metros Cúbicos	Lectura Final	Lectura Inicial	Diferencia de lecturas	Días
15-dic-2023	15-ene-2024	2993	33312	30319	2933	32
16-ene-2024	15-feb-2024	1850	35164	33312	1852	31
16-feb-2024	15-mar-2024	2388	37522	35164	2388	29
16-mar-2024	15-abr-2024	2233	39785	37552	2233	31
16-abr-2024	15-may-2024	1920	37552	39472	1920	30
16-may-2024	15-jun-2024	2156	39472	41628	2156	31
16-jun-2024	15-jul-2024	2481	41628	44109	2481	30
16-jul-2024	15-ago-2024	2553	44109	46662	2553	31

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.2 Análisis estadístico de los datos de monitoreo de descargas in situ

Una vez obtenida los resultados de los monitoreos, se elabora el procesamiento de datos, que tiene como objetivo identificar las tendencias de los resultados obtenidos del laboratorio de calidad de agua, detectar datos erróneos en las variables presentadas y concluir de manera correcta los valores.

DATOS DE CAMPO (IN SITU)

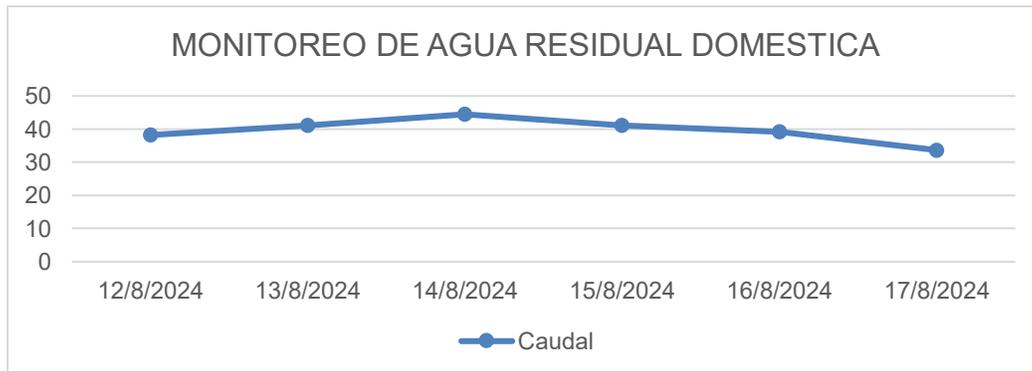
- **Medición de Caudal (m³/día)**

Tabla 5. Resultados de toma de caudal

Días de Muestreo	Caudal (m ³ /día)	Caudal Promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	38.25	39.61	N/A
13/08/2024	41.11		
14/08/2024	44.47		
15/08/2024	41.02		
16/08/2024	39.17		
17/08/2024	33.66		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 3. Resultados de toma de caudal



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

El caudal promedio de agua residual doméstica que se genera en las instalaciones del campus María Auxiliadora es de 39.61 m³/día por lo que se concluye que la caja de registro a la cual llega las aguas residuales no es lo suficientemente capaz de almacenarlas por lo cual termina rebosándose por la parte superior y se termina combinando con el canal de aguas lluvias, generando una contaminación cruzada.

4.2.1 Resultados de la temperatura de las aguas residuales domésticas

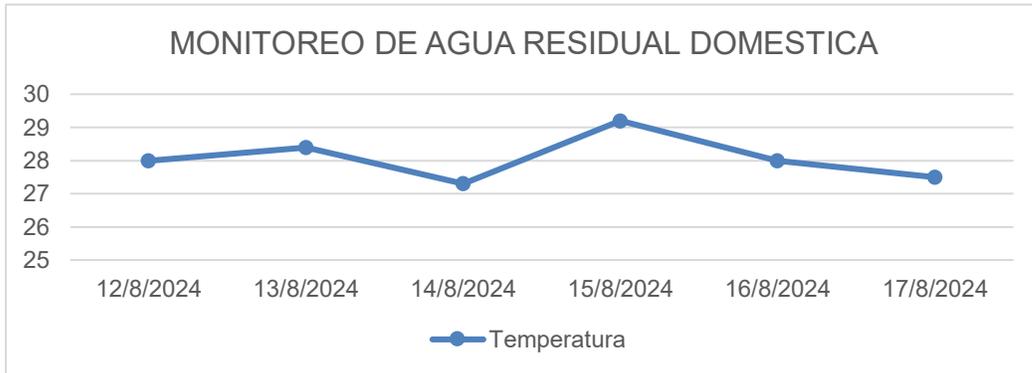
Los resultados obtenidos de la temperatura de las aguas residuales domésticas que se generan en la unidad de análisis son las expresadas en la tabla siguiente:

Tabla 6. *Temperatura de la descarga doméstica*

Días de Muestreo	TEMPERATURA	Temperatura Promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	28.0	28.0	Condición natural
13/08/2024	28.4		
14/08/2024	27.3		
15/08/2024	29.2		
16/08/2024	28.0		
17/08/2024	27.5		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 4. Resultado de temperatura de agua



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

La temperatura promedio del agua residual domestica del Campus María Auxiliadora es de 28.0 grados centígrados por lo que se concluye que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo con la condición natural, establecidos por el Acuerdo Ministerial 097 A anexo 1 Tabla 9

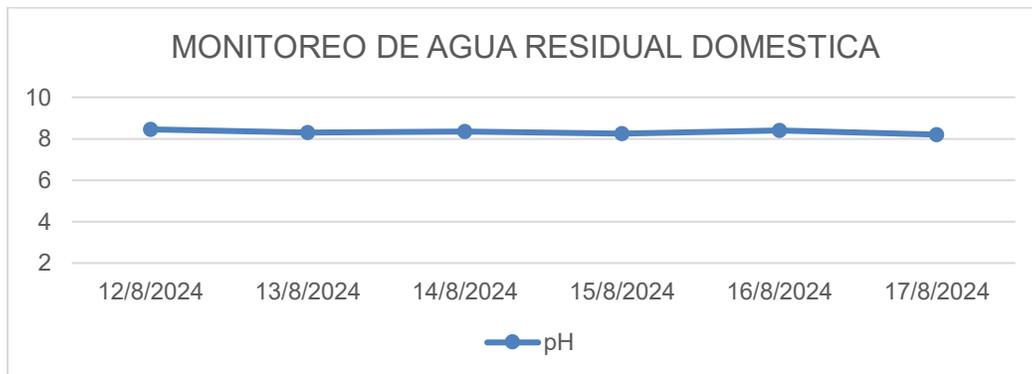
4.2.2 Resultados del pH en las aguas residuales domesticas (Unidades de pH)

Tabla 7. Resultados del pH

Días de Muestreo	pH (Potencial de Hidrógeno)	pH promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	8.45	8.32	6-9
13/08/2024	8.29		
14/08/2024	8.34		
15/08/2024	8.24		
16/08/2024	8.41		
17/08/2024	8.20		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 5. Resultados del pH



Elaborado por: Rodrigo Torres (2024)

El pH del agua residual domestica del Campus María auxiliadora tiene un promedio de 8.32 por lo que se concluye que se encuentra dentro del límite máximo permisible que establece la normativa ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce encontrándose dentro del rango de 6-9.

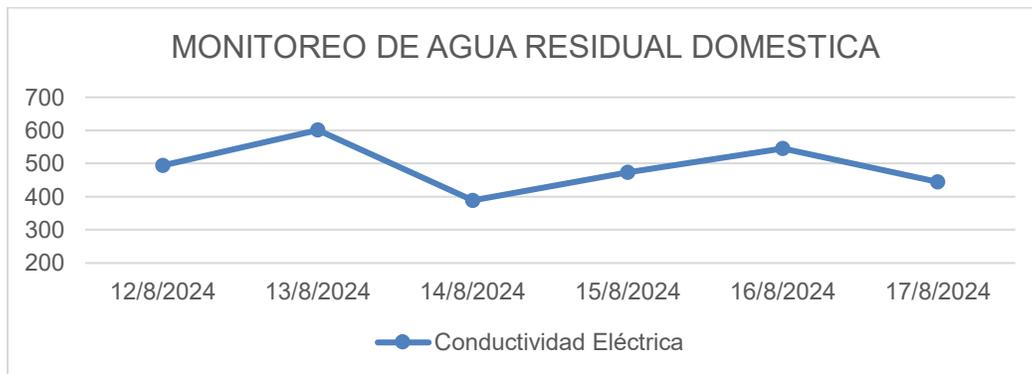
4.2.3 Resultados de la conductividad eléctrica en las aguas residuales domesticas

Tabla 8. Resultados de la conductividad

Días de Muestreo	Conductividad Eléctrica (ppm)	Conductividad promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	494	491.3	N/A
13/08/2024	601		
14/08/2024	389		
15/08/2024	473		
16/08/2024	546		
17/08/2024	445		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 6. Resultados de la conductividad eléctrica



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

La conductividad eléctrica del agua residual doméstica del Campus María Auxiliadora cuenta con un promedio de 491.3 ppm.

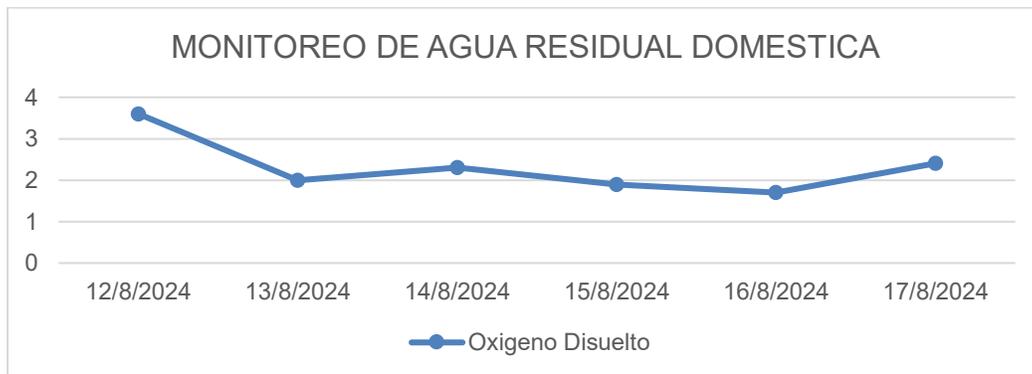
4.2.4 Resultados del oxígeno disuelto en las aguas residuales domesticas

Tabla 9. Resultados del Oxígeno disuelto

Días de Muestreo	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Oxígeno Disuelto Promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	3.6	2.31	N/A
13/08/2024	2.0		
14/08/2024	2.3		
15/08/2024	1.9		
16/08/2024	1.7		
17/08/2024	2.4		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 7. Resultados del Oxígeno disuelto



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

La cantidad de oxígeno disuelto del agua residual domestica del Campus María Auxiliadora tiene un promedio de 2.31 mg/L.

DATOS DE LABORATORIO (Ex Situ)

4.2.5 Resultados de los Sólidos Suspendidos Totales

Tabla 10. Resultados de sólidos suspendidos totales

Días de Muestreo	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	SST promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	144.12	220.4	130
13/08/2024	219.01		
14/08/2024	338.69		
15/08/2024	274.0		
16/08/2024	230.45		
17/08/2024	116.37		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 8. Resultado de los sólidos suspendidos totales



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Los sólidos suspendidos totales del agua residual doméstica del Campus María Auxiliadora tienen un promedio de 220.4 mg/L por lo que se concluye que se encuentra fuera del límite máximo permisible establecido en la normativa ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce tabla 9.

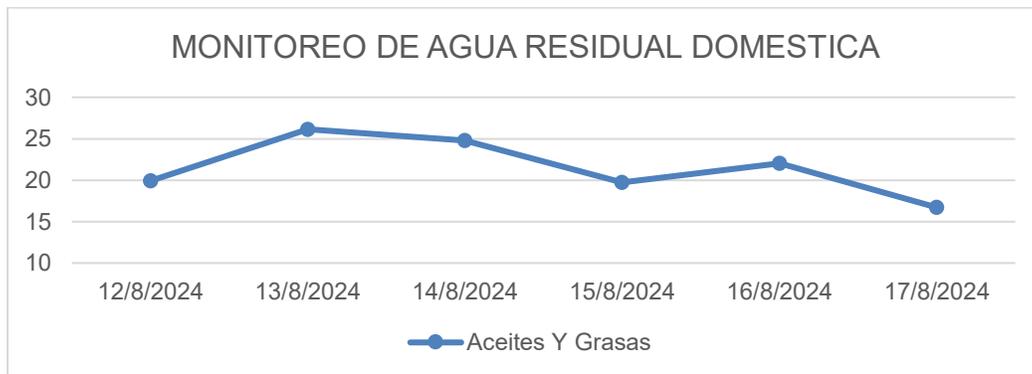
4.2.6 Resultados de Aceites y Grasas

Tabla 11. Resultados de aceites y grasas

Días de Muestreo	Aceites y Grasas (mg/L)	Aceites y Grasas promedio	Límite permisible (Tabla 9)	Máximo
12/08/2024	19.89	21.55	30.0	
13/08/2024	26.14			
14/08/2024	24.79			
15/08/2024	19.75			
16/08/2024	22.03			
17/08/2024	16.71			

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 9. Resultados de los aceites y grasas



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Aceites y Grasas del agua residual domestica proveniente del campus María Auxiliadora tiene un promedio de 21.55 mg/L por lo que se concluye que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles, referente a que debe estar por debajo de 33.0 mg/L.

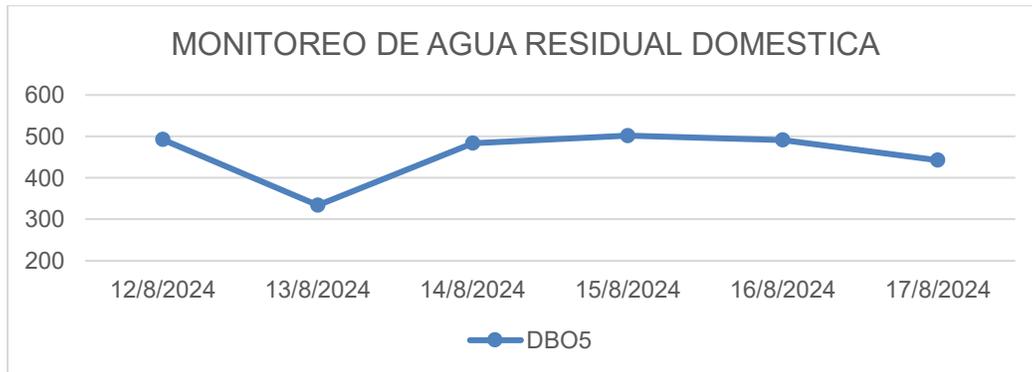
4.2.7 Resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales domésticas

Tabla 12. Resultados del DBO₅

Días de Muestreo	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	DBO ₅ promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	493	457.8	100
13/08/2024	334		
14/08/2024	484		
15/08/2024	502		
16/08/2024	491		
17/08/2024	443		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 10. Resultados de los DBO₅



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

La DBO₅ del agua residual domestica del Campus María Auxiliadora tiene un promedio de 457.8 mg/L por lo que se concluye que se encuentra fuera del rango de los límites máximos permisibles establecidos en el acuerdo ministerial 097 A anexo 1 tabla 9.

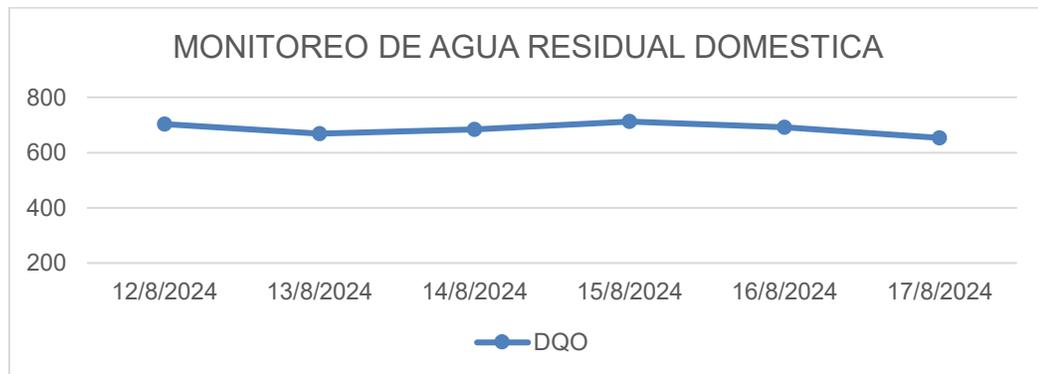
4.2.8 Resultados de la Demanda Química de Oxígeno de las aguas residuales domésticas

Tabla 13. Resultados del DQO

Días de Muestreo	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	DQO promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	703	685.1	200
13/08/2024	668		
14/08/2024	684		
15/08/2024	712		
16/08/2024	691		
17/08/2024	653		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 11. Resultados del DQO



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

La cantidad de DQO del agua residual doméstica del Campus María Auxiliadora tiene un promedio de 685.1 mg/L, por lo cual se concluye que se encuentra fuera del límite máximo permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 097 A anexo 1 Tabla 9 que establece que debe contar con valores iguales o menores a 200 mg/L.

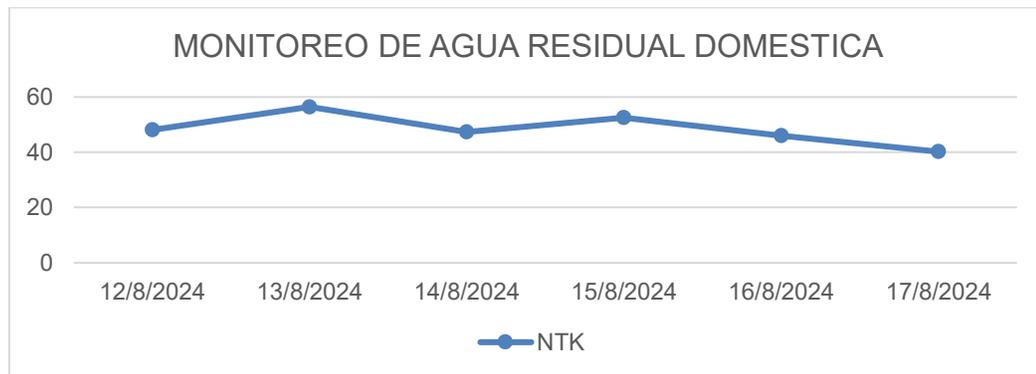
4.2.9 Resultados de Nitrógeno Total Kjeldahl de las aguas residuales domésticas

Tabla 14. Resultados del Nitrógeno Total Kjeldahl

Días de Muestreo	Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)	NTK promedio	Límite Máximo permisible (Tabla 9)
12/08/2024	58.01	51.74	50
13/08/2024	56.45		
14/08/2024	47.40		
15/08/2024	52.5		
16/08/2024	49.92		
17/08/2024	46.21		

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Ilustración 12. Resultados del NTK



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

La cantidad de Nitrógeno Total de Kjeldahl del agua residual domestica del Campus María Auxiliadora tiene un promedio de 51.74 mg/L, por lo cual se concluye que se fuera del límite máximo permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 097 A anexo 1 Tabla 9 que dicta que debe contar con valores iguales o menores a 50 mg/L.

4.3 Cálculo de las cargas contaminante del agua residual doméstica

A partir de los datos obtenidos en la caracterización de las aguas residuales domésticas, se calcula la carga contaminante aplicando la ecuación.

$$L = Q * C$$

Donde:

L = Carga Contaminante

Q = Caudal m³/día

C = Concentración del contaminante en mg/L

Cálculo carga contaminante DBO₅

$$L = 457.8 \frac{mg}{L} * 39.61 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1 kg}{1,00 E + 06 mg}$$
$$L = 18.12 \frac{kg}{dia}$$

Cálculo carga contaminante DQO

$$L = 685.1 \frac{mg}{L} * 39.61 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1 kg}{1,00 E + 06 mg}$$
$$L = 27.13 \frac{kg}{dia}$$

Cálculo carga contaminante Aceites y Grasas

$$L = 21.55 \frac{mg}{L} * 39.61 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1 kg}{1,00 E + 06 mg}$$
$$L = 0.85 \frac{kg}{dia}$$

Cálculo carga contaminante Solidos Suspendidos Totales

$$L = 220.4 \frac{mg}{L} * 39.61 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1 kg}{1,00 E + 06 mg}$$
$$L = 8.73 \frac{kg}{dia}$$

Cálculo carga contaminante Nitrógeno Total Kjeldahl

$$L = 51.74 \frac{mg}{L} * 39.61 \frac{m^3}{dia} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1 kg}{1,00 E + 06 mg}$$

$$L = 1.91 \frac{kg}{dia}$$

Tabla 15. Cargas Contaminantes de parámetros

Parámetro	Carga Media Ponderada	
	Kg/día	gr/día
Demanda Bioquímica de Oxígeno	27.16 kg/día	27160 gr/día
Demanda Química de Oxígeno	40.64 kg/día	40640 gr/día
Aceites y Grasas	0.85 kg/día	850 gr/día
Solidos Suspendidos Totales	8.73 kg/día	87300 gr/día
Nitrógeno Total de Kjeldahl	2.04 kg/día	20490 gr/día

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.4 Componentes del sistema de tratamiento

Se lista a continuación los componentes del sistema de tratamiento incluidos los existentes:

- Pozo séptico
- Tanque Ecuilizador
- Reactor aerobio
- Clarificador Secundario
- Tanque de contacto con cloro
- Tanque digestor aerobio
- Sistema de aireación
- Blower para aireación
- Bomba dosificadora de solución de hipoclorito de sodio

- Bomba sumergible para el traslado de lodos
- Difusores de aire burbuja fina
- Difusores de aire burbuja gruesa

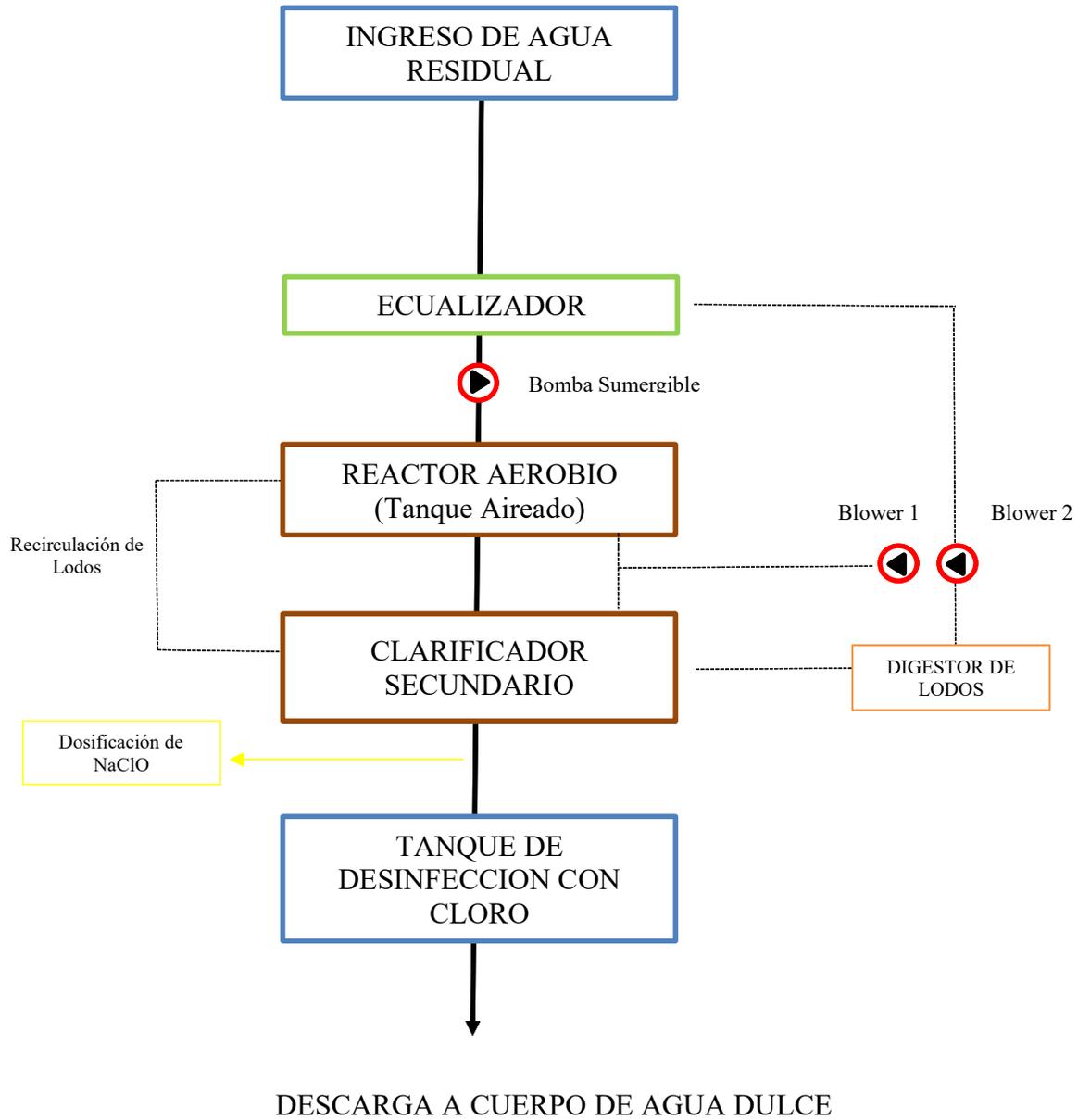
4.5 Descripción del proceso de tratamiento

- El agua residual ingresa al pozo séptico, compuesto de cámaras. Por reboso, el agua pasa al tanque ecualizador el cual contará de 2 cámaras para distribuir mejor los caudales del agua residual doméstica.
- El agua ingresa al reactor aerobio donde es aireada y mezclada con bacterias que, en forma espontánea se desarrollan en el medio y son las encargadas de biotransformar la carga orgánica no procesada en el componente anaerobio.
- El crecimiento de las bacterias en el reactor aerobio genera un lodo, conocido con el nombre de licor mixto. En sistemas convencionales de lodos activados se espera una concentración de licor mixto medido como sólido en suspensión MLSS entre 1000 a 3000 mg/L
- La concentración de oxígeno⁰ disuelto esperada en el reactor aerobio es de 2 a 4 pp. Con este nivel de aireación, las bacterias son capaces de alcanzar porcentajes de remoción de carga orgánica de alrededor de un 90%.
- Por reboso, el agua del reactor aerobio pasa hacia el clarificador secundario, donde el lodo formado en el reactor aerobio sedimenta, al mismo tiempo que clarifica el agua que sale por una canaleta de descarga hacia el tanque de desinfección. Los lodos sedimentados en el fondo del clarificador se recirculan hacia el reactor aerobio con el fin de mantener una concentración de lodos apropiada.
- En la descarga del agua clarificada que sale del clarificador se dosifica una solución desinfectante de cloro.
- De esta forma se concluye con el tratamiento del agua residual de acuerdo a los límites permisibles para la descarga dentro de los rangos establecidos por la autoridad ambiental.

- Los lodos en exceso generados en el reactor aerobio, se purgan de cuando en cuando hacia el tanque digestor de lodos.
- Se instalará un blower para suministrar aireación al tanque ecualizador y otro más para suministrar la aireación solo al reactor aerobio.
- Esta propuesta de diseño no incluye un sistema de deshidratación de lodos, debido a que la producción de lodos del sistema es baja. Los lodos en exceso almacenados en el tanque digestor podrán ser retirados por hidrosucción en periodos de tiempo que pueden variar de 4 a 6 meses.

4.6 Esquema de tratamiento

Ilustración 13 Esquema de tratamiento



4.7 Diseño y dimensionamiento de la unidad de tratamiento

4.7.1 Ecuador

El ecualizador comprende la parte en la cual llegan todas las aguas residuales, se almacenan y se mezclan para contar con homogeneidad en sus parámetros y mantener un caudal constante en la planta de tratamiento.

La fórmula establecida para la determinación del tamaño con el cual contara el ecualizador esta dado por la multiplicación entre el caudal máximo por los días de retención de lodos:

$$E = Q_{max} * SRT$$

Donde:

$$Q_{max} = 44.47 \text{ m}^3/\text{días}$$

$$SRT = 1 \text{ días}$$

Cálculo del tamaño del Ecuador

$$E = 44.47 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * \text{días}$$

$$E = 45 \text{ m}^3$$

Los cuáles serán divididos en 2 cámaras de registro para una mejor homogeneidad.

$$V = \frac{45 \text{ m}^3}{2}$$

$$V = 22.5 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de Ecuador

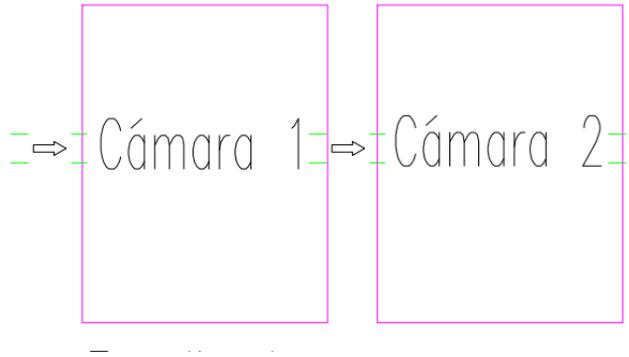
Tabla 16. Dimensionamiento de Ecuador

Simbología/unidades	Nombre	Valor
L (m)	Largo caja grande	4,00
A (m)	Ancho caja grande	4,00
h (m)	Altura caja grande	1,50
V (m³)	Volumen	25

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Diseño del Ecuador

Ilustración 14. *Diseño Ecuador*



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.7.2 Reactor Biológico

- Para desarrollar la ecuación de diseño, primero se establece y se analiza dos balances de masa: Sólidos (Biomasa) y materia orgánica (sustrato). Al combinar ambos balances junto con el entendimiento del crecimiento microbiano, nos dejara determinar el volumen de la cuenca de aireación.
- Esta operación requiere que la concentración del crecimiento microbiano sea constante.

Para el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de lodos activados, se deberá contar con la siguiente información:

- Flujo volumétrico diario por tratar: $39.61 \text{ m}^3/\text{día}$
- Concentración de entrada de Materia Orgánica al reactor (medida como DBO_5): 457.8 mg/L
- Estándar de salida de Materia Orgánica (medida como DBO): 100
- Muestra de agua recolectada del reactor biológico contiene una concentración de sólidos suspendidos: 220.4 mg/L
- Los microorganismos en el proceso de lodo activado pueden convertir 100g de DBO en 55g de biomasa

- Tasa de crecimiento de 0.1 l/día y una tasa constante de muerte de primer orden de 0.05 L/día
- Diseño de tiempo de retención de sólidos es de 1 días

Cálculo tamaño de reactor biológico

$$\frac{1}{SRT} = \frac{Q_0 * Y}{VX} (S_0 - S) - k_d$$

Donde:

Q_0 = Flujo volumétrico

S_0 = Concentración DBO entrada

S = Estándar de salida

X = Muestra recolectada de SST

Y = Gramos de DBO₅ en gramos de biomasa (lodos)

- Punto 1

Q_0 = Flujo volumétrico a tratar: 33.36 m³/día

$$\frac{1}{SRT} = \frac{39.61 \frac{m^3}{día} * Y}{VX} (S_0 - S) - k_d$$

- Punto 2

S_0 = Concentración de DBO de entrada: 457.8 mg/L

$$\frac{1}{SRT} = \frac{39.61 \frac{m^3}{día} * Y}{VX} \left(457.8 \frac{mg}{l} - S \right) - k_d$$

- Punto 3

S = Estándar de salida de materia orgánica: 100 mg/L

$$\frac{1}{SRT} = \frac{39.61 \frac{m^3}{día} * Y}{VX} \left(457.8 \frac{mg}{L} - 100 \frac{mg}{L} \right) - k_d$$

- Punto 4

X = Muestra recolectada de Sólidos Suspendidos totales: 220.4 mg/L

$$\frac{1}{SRT} = \frac{39.61 \frac{m^3}{dia} * Y}{V * (220.4 \frac{mg}{L})} \left(457.8 \frac{mg}{L} - 100 \frac{mg}{L} \right) - k_d$$

- Punto 5

Y = Capacidad de convertir 100 gramos de DBO en 50 gramos de biomasa (microorganismos)

$$Y = 55/100 = 0.55$$

$$\frac{1}{SRT} = \frac{39.61 \frac{m^3}{dia} * 0.55}{V * (220.4 \frac{mg}{L})} \left(457.8 \frac{mg}{L} - 100 \frac{mg}{L} \right) - k_d$$

- Punto 6

Kd = Tasa constante de muerte de primer orden: 0.05 l/día

$$\frac{1}{SRT} = \frac{39.61 \frac{m^3}{dia} * 0.55}{V * (220.4 \frac{mg}{L})} \left(457.8 \frac{mg}{L} - 100 \frac{mg}{L} \right) - 0.05 L/dia$$

- Punto 7

1/SRT = El diseño del tiempo de retención de solidos: 1 días

$$1/SRT = 1/2$$

$$\frac{1}{1} = \frac{39.61 \frac{m^3}{dia} * 0.55}{V * (220.4 \frac{mg}{L})} \left(457.8 \frac{mg}{L} - 100 \frac{mg}{L} \right) - 0.05 L/dia$$

$$V = 35 m^3$$

Dimensionamiento del reactor biológico

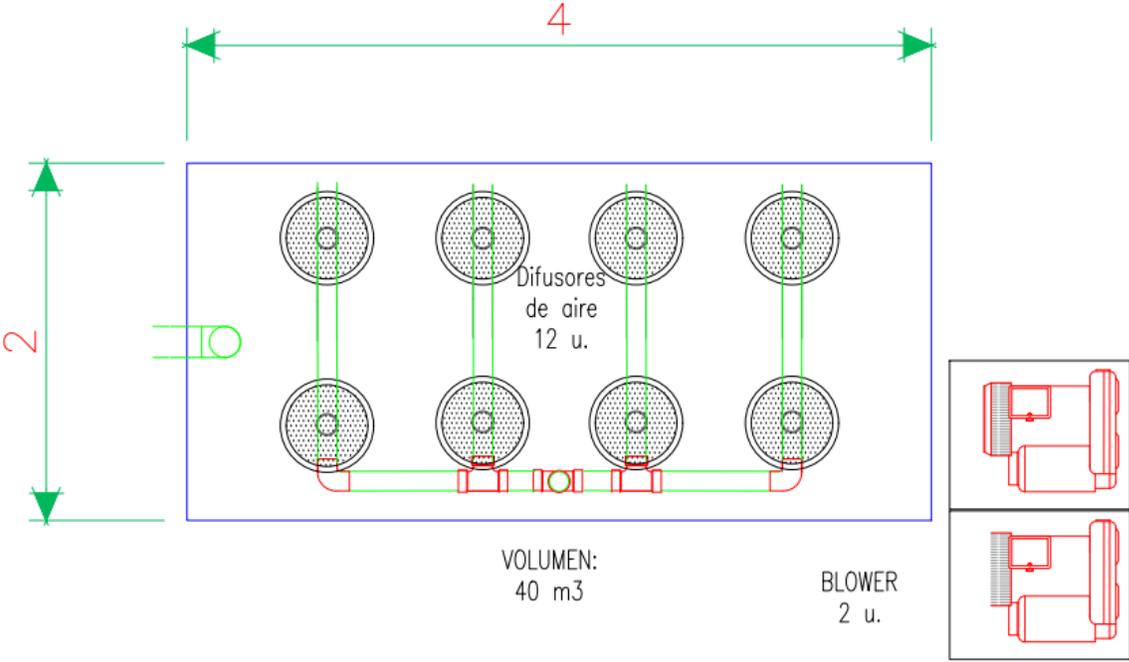
Tabla 17. Dimensionamiento del reactor biológico

Simbología/unidades	Nombre	Valor
L (m)	Largo caja grande	4
A (m)	Ancho caja grande	2.5
h (m)	Altura caja grande	4
V (m³)	Volumen	40

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

Diseño de reactor biológico

Ilustración 15. *Diseño Reactor biológico*



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.7.3 Clarificador secundario

- Sirve para separar los sólidos de un líquido por medio del fenómeno físico de la gravedad y los movimientos del agua, aprovechando la densidad del lodo para que se sedimenten.
- La sedimentación o decantación es cuando las partículas se separan y caen al fondo debido a la gravedad y por su peso superior al peso específico del agua.

Tamaño del Clarificador secundario

Caudal promedio x Tiempo de residencia de lodos

$$39.61 \frac{m^3}{dias} * 1 dias = 40 m^3$$

Dimensionamiento del Clarificador secundario

Tabla 18. *Dimensionamiento del clarificador secundario*

Simbología/unidades	Nombre	Valor
L (m)	Largo caja grande	4
A (m)	Ancho caja grande	3
h (m)	Altura caja grande	3.5
V (m³)	Volumen	40

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.7.4 Proceso de cloración

Para determinar la cantidad de cloro necesaria, se utilizó la ecuación desarrollada para la reducción de organismos coliformes

Tabla 19. *Dosis típicas de cloro en desinfección*

Efluente de:	Intervalo de dosificación (mg/L)
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de precipitación química	2-6
Filtro precolador	3-15
Lodo Activo	2-8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activos	1-5

Fuente: R.S. Ramalho (*Tratamiento de Aguas Residuales*)

$$\frac{N_t}{N_o} = (1 + 0.23 * C_t * t)^{-3}$$

Donde:

N_t = número de organismos coliformes en el instante t

N_o = número de organismos coliformes en el instante t_o

C_t = cloro residual medido en el instante de tiempo t,

T = tiempo de permanencia

La dosificación de cloro estará distribuida por una bomba dosificadora la cual se encuentra ubicada dentro de la tubería de salida del clarificador secundario, esto se hace para la desinfección del agua tratada. La dosificación de cloro según la tabla 20 del libro de tratamiento de aguas residuales de R.S. Ramalho será de 6 mg/L del efluente.

4.7.5 Cantidad de aireación (Blowers)

Para determinar la cantidad de oxígeno necesaria para nuestro sistema de tratamiento esta dado por ecuaciones capaces de calcular la porción de aire que necesitara el blower de distribuir en dirección al reactor biológico.

- Punto 1: Cálculo de requerimiento actual de oxígeno (AOR)

$$27.16 \frac{kgDBO_5}{d} * \frac{2kgO_2}{kgDBO_5} = 54.32 kgO_2/d$$

$$2.04 \frac{kgNTK}{d} * \frac{4.5 kgO_2}{kgNTK} = 9.18 kgO_2/d$$

63.5 kgO₂/día

- Punto 2: requerimiento estándar de oxígeno (SOR)

$$\frac{AOR}{SOR} = 0.5$$

$$\frac{63.5 \frac{kgO_2}{día}}{0.5} = 5.29 \frac{kgO_2}{hora}$$

- Punto 3: Cálculo de volumen de aire:

SOTE = eficiencia en la transferencia de oxígeno estándar

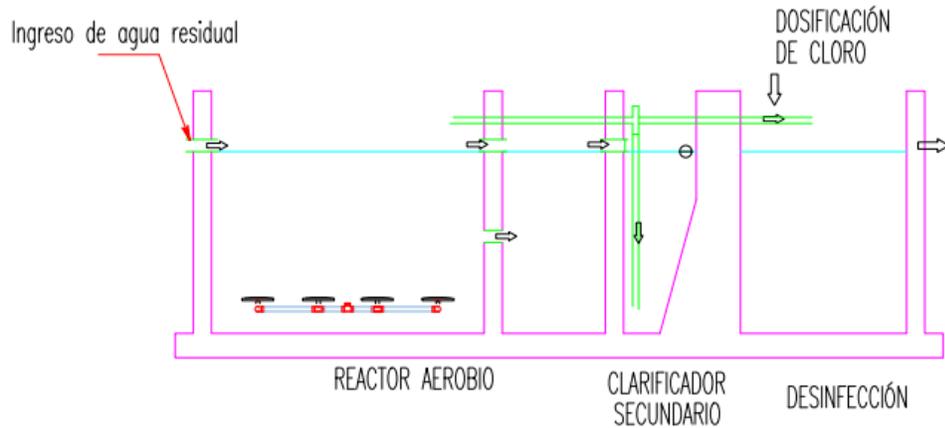
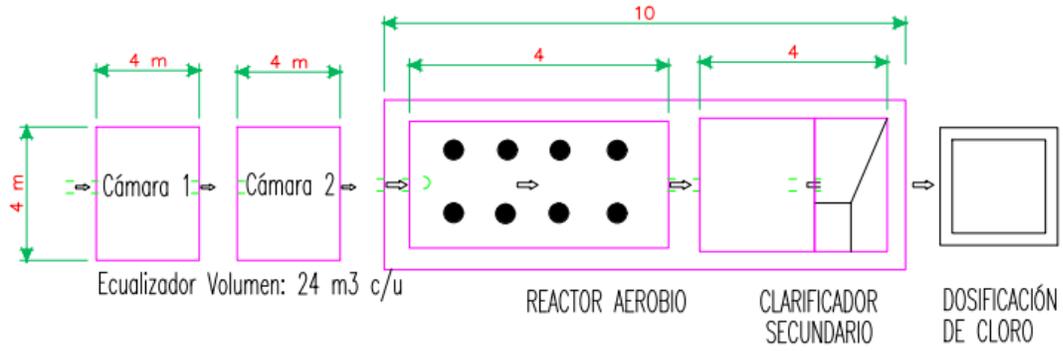
SOTE = 0.06 x cada metro de altura del reactor = 0.06 x 2m = 0.12

$$V_{aire} = \frac{SOR}{Densidad\ de\ aire * Cantidad\ de\ O_2\ en\ el\ aire\ (porcentual) * SOTE}$$

$$V_{aire} = \frac{5.29 kg/h}{1.2 kg/m^3 * 0.21 * 0.12} = 176.3 m^3/h$$

4.7.6 Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

Ilustración 16. *Diseño de Planta*



Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.7.7 Eficiencia esperada

Cálculo de la eficiencia esperada en el diseño de la remoción de carga orgánica de DBO₅ en el agua residual doméstica.

$$\frac{S}{S_o} = \frac{1}{1 + k(\theta)}$$

$$\frac{S}{457.8} = \frac{1}{1 + 5(1)}$$

$$S = 76.3$$

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

$$E = \frac{457.8 - 76.3}{457.8} * 100$$

$$E = 83.3\%$$

Los valores de la eficiencia de la remoción de la carga orgánica presentan un valor apropiado para que el agua tratada pueda ser descargada bajo las normas establecidos en la legislación ambiental vigente,

4.8 Plan Financiero

Mediante este método se tiene como fin las proyecciones económicas del plan del diseño para estudiar su viabilidad y pueda ser factible su construcción para realizar el adecuado tratamiento a las aguas residuales generando contaminación directa al cuerpo de agua que recibe el efluente.

4.8.1 Terrenos y obras civiles

El costo total de terrenos y obras civiles del proyecto es el siguiente:

Tabla 20. *Terrenos y Obras Civiles.*

TERRENOS Y OBRAS CIVILES			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo total
Infraestructura	35000,00	1	35000,00
Terreno	7500,00	1	7500,00
Contrapiso	3500,00	1	3500,00
Puntos de agua	1500,00	1	1500,00
Sub Total			47500,00

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.8.2 Maquinarias, mobiliarios y equipos

El costo total de maquinarias, equipos y mobiliarios del proyecto es el siguiente:

Tabla 21. *Maquinaria, Mobiliarios y Equipos*

MAQUINARIA, MOBILIARIOS Y EQUIPOS			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo total
Blower para aireación de Ecuallizador	1400,00	1	1400,00
Blower para aireación tanque Reactor aerobio	1400,00	1	1400,00
Bomba Sumergible para Ecuallizador	4500,00	1	4500,00
Difusores de aire de burbuja fina	100,00	4	400,00
Difusores de aire de burbuja gruesa	100,00	2	200,00
Sub Total			7900,00

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.8.3 Tuberías y Accesorios

El costo total de tuberías y accesorios del proyecto es el siguiente:

Tabla 22. *Tuberías y Accesorios*

TUBERIAS Y ACCESORIOS			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo total
Suministro e instalación de tuberías y accesorios PVC de distintos diámetros para red hidrosanitaria	1500,00	1	1500,00
Suministro e instalación de tuberías y accesorios galvanizado de distintos diámetros de red de aire	3300,00	1	3300,00
Sub Total			4800,00

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.8.4 Materiales Eléctricos

El costo total de los materiales eléctricos del proyecto es el siguiente:

Tabla 23. *Materiales Eléctricos*

MATERIALES ELECTRICOS			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo total
Instalación de puntos eléctricos	950,00	1	950,00
Suministros de materiales eléctricos, fabricación de tablero eléctrico de control para manejo de equipos	4400,00	1	4400,00
Sub Total			5350,00

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.8.5 Mano de obra

El costo total de la mano de obra del proyecto es el siguiente:

Tabla 24. *Instalación / Mano de Obra*

INSTALACION / MANO DE OBRA			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo total
Trabajos de instalación	5500,00	1	5500,00
Dirección Técnica	15000,00	1	15000,00
Sub Total			20500,00

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

4.8.6 Valor total del proyecto

El costo total del proyecto a realizar, sumando todas las actividades es el siguiente:

Tabla 25. *Valor total del proyecto*

TOTAL DEL PROYECTO			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo total
Terrenos y obras civiles	47500,00	1	47500,00
Maquinarias. Mobiliarios y Equipos	7900,00	1	7900,00
Tuberías y Accesorios	4800,00	1	4800,00
Materiales eléctricos	5350,00	1	5350,00
Mano de Obra y dirección técnica	20500,00	1	20500,00
Total			86050,00

Elaborado por: Autor Rodrigo Torres (2024)

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

La caracterización de las aguas residuales domésticas del Campus María Auxiliadora, mostraron resultados alarmantes debido a la alta carga orgánica contaminante con la que cuenta el efluente sin tratar que se descarga directamente a un canal que cruza por las instalaciones de la universidad.

El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas conformada por tanques equalizadores, reactor biológico, sedimentador secundario y una dosificación de una solución de cloro para la desinfección, es el mínimo para remover la carga orgánica en un 83% , valor suficiente para dar cumplimiento con lo establecido en la legislación ambiental.

El estudio establece el costo del proyecto en ochenta y seis mil cincuenta dólares americanos, valor que se considera bastante viable para poder tratar las aguas residuales domésticas del campus María Auxiliadora.

5.2 Recomendaciones

Continuar realizando evaluaciones de cantidad y calidad del agua de las aguas residuales domésticas del campus María Auxiliadora de la Universidad Politécnica Salesiana para observar el desempeño del consumo que al momento presenta cargas contaminantes excesivas.

Se recomienda la implementación de este diseño planteado en este proyecto de investigación para que exista el debido tratamiento a las aguas residuales domésticas, no solo para cumplir con los lineamientos establecidos en la normativa ambiental vigente, también para mejorar la gestión ambiental de la universidad e impulsar los conocimientos técnicos de principalmente los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana.

Se sugiere a las autoridades de la universidad la evaluación del proyecto, para lo cual quedo abierto a una revisión que permita mostrar su viabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial. (2020). *De residuo a recurso*. Washington, DC. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/4f1d1637-77ce-5814-a39a-320bebe96069/content>
- Banco Mundial Blogs. (2020). *Tres soluciones para una mejor gestión de las aguas residuales en Guayaquil, Ecuador*. Guayaquil. Obtenido de <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/tres-soluciones-para-una-mejor-gestion-de-las-aguas-residuales-en-guayaquil-ecuador>
- Belzona Inc. (2010). *Mapa de soluciones para agua y aguas residuales*.
- Castillo , F., & Díaz, H. (2022). *Diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales y validarlo mediante un software de simulacion y optimizacion para la parroquia Crucita, Portoviejo-Manabi [Tesis de grado, Universidad Politecnica Salesiana]*. Repositorio digital. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22938/1/UPS-CT009990.pdf>
- Cely, N., Bonilla , C., & Carrillo, G. (2022). *Tratamientos de aguas residuales*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Clean Water Team. (2004). *Conductividad Eléctrica/Salinidad*. Sacramento.
- Curasi, A. (2024). *Eficiencia de biorreactores de membrana en la planta de tratamiento de aguas residuales-Cumani de la Unidad Minera San Rafael 2023*.
- Flores, R., Sandro, F., Flores, T., Pamela , S., Rojas, C., & Ferrer. (Enerp de 2021). Estimación del caudal a partir de la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala aplicado en flujo a superficie libre. doi:10.13140/RG.2.2.28763.08480

- Guerrero, L., & Heredia, R. (2021). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y la determinación de las propiedades físico químicas en la población de Uyumbicho cantón Mejía para su dimensionamiento [Universidad Politecnica Salesiana, Tesis de Grado*].* Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21289>
- INEC. (2022). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales.*
- La Hora. (Mayo de 2017). 20.7% del agua que se consume en Ecuador está contaminada.
- Lecca, R., Eduardo, & Ruiz, L. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno.* Lima.
- Lopez, A., Soto, M., Chávez, M., & Fall, C. (2019). *TRATAMIENTO DE UN AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL A TEMPERATURA PSICROFÍLICA CON UN REACTOR UASB.* Toluca.
doi: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.10>
- Lozada, D., & Giraldo, E. (2019). *Origen de los olores en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales [Tesis de Grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito].* Repositorio Digital. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/981>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL.* Quito. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Municipalidad Distrital de Santa María del Mar. (2016). *NORMA TÉCNICA I.S. 020.* Arequipa.
Obtenido de

- https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/IS.020.pdf
- Olivo, V., Amelia, Magallanes, L., Yasabel, M., Sandoval, C., & Maria Gabriela. (2010). *Extracción de Grasas y Aceites en los Efluentes de una industria Automotriz*. Aguascalientes.
- OMS. (2024). *Saneamiento*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/sanitation>
- ONU Agua. (2021). *Resumen actualizado de 2021 sobre los ODS 6: agua y saneamiento para todos*. Obtenido de https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021_Version-July-2021_SP.pdf
- ONU-Hábitat y OMS. (2021). *Progreso en el tratamiento de las aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS*. Ginebra.
- Ordóñez Ramírez, P. L. (2020). Optimización del sistema de tratamiento físicoquímico de una estación depuradora de aguas residuales de bebidas gaseosas. *Industrial Data*.
- Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2017). *Aguas Residuales El Recurso Desaprovechado*.
- Orozco. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseño*. Bogotá: Acodal.
- Reef Resilience Network. (Abril de 2023). Obtenido de Ecuador - Política de Aguas Residuales: <https://reefresilience.org/es/case-studies/ecuador-wastewater-policy/>
- TELWSA. (Septiembre de 2023). *El impacto ambiental de las aguas residuales*. Obtenido de <https://telwesa.com/impacto-ambiental-aguas-residuales/>

TULSMA. (2010). *Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua (Vol VI)*.

Quito.

Universidad Continental. (2022). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Huancayo.

WWAP . (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. Paris.

ANEXOS

Anexo 1: Caja de registro de efluente del Campus



Anexo 2: Instrucciones para la toma de muestra por parte del tutor



Anexo 3: Equipos de protección personal



Anexo 4: Toma de muestra



Anexo 5: Refrigeración de muestras de agua residual doméstica



Anexo 6: Equipo termoreactor para parámetro DQO



Anexo 7: Equipo para muestra de STD



Anexo 8: Equipo para muestra de Oxígeno Disuelto y temperatura



Anexo 9: Resultado medición de pH



Anexo 10: Viales de DQO, blanco y muestra



Anexo 11: Resultado medición de DQO



Anexo 12: Muestras de efluente



Anexo 13: Cono Imhoff para parámetro de Sólidos Sedimentables



Anexo 14: Tabla 9 Limite de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1

Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ^{VI}	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	1000
Sulfuros	S ₂ ²⁻	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida