



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA ISLA ISABELA GALÁPAGOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero/a Ambiental

AUTOR: ALISSON DENNISE MOSQUERA BELTRÁN
ALFREDO MISAEL GIL FRANCO

TUTOR: ING. GABRIELA MICHELLE ANDRADE DICAÑO

Guayaquil-Ecuador
2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Alisson Dennise Mosquera Beltrán con documento de identificación N° 2000086062 y Alfredo Misael Gil Franco con documento de identificación N° 2000085189; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 15 de agosto del año 2023

Atentamente,



Alisson Dennise Mosquera Beltrán
2000086062



Alfredo Misael Gil Franco
2000085189

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alisson Dennise Mosquera Beltrán con documento de identificación No. 2000086062 y Alfredo Misael Gil Franco con documento de identificación No. 2000085189, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: "Diseño de una planta piloto para tratamiento de aguas residuales domésticas en la isla Isabela Galápagos", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a Ambiental en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

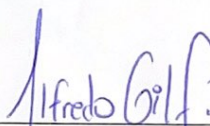
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2023

Atentamente,



Alisson Dennise Mosquera Beltrán
2000086062



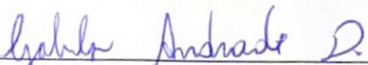
Alfredo Misael Gil Franco
2000085189

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gabriela Michelle Andrade Dicao con documento de identificación N° 0919957316 docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA ISLA ISABELA GALÁPAGOS, realizado por Alisson Dennise Mosquera Beltrán con documento de identificación N° 2000086062 y por Alfredo Misael Gil Franco con documento de identificación N° 2000085189 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajos Experimentales que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2023

Atentamente,


Ing. Gabriela Michelle Andrade Dicao
0919957316

DEDICATORIA

Con mucho amor y orgullo, dedico este logro a mis seres queridos, quienes nunca dejaron de confiar en mí y han sido mi apoyo fundamental a lo largo de este camino universitario, que con esfuerzo y dedicación lo he alcanzado.

A mi querida madre por siempre estar ahí para mí, con su voz de aliento y motivándome a continuar y cumplir cada uno de mis sueños. Por su gran esfuerzo para poder ver a su hija feliz, hoy me llena el corazón de alegría el poderle decir que lo logré.

A mi hermanita en el cielo que sé que en cada momento de mi vida me ha acompañado, guiado y protegido. Te extraño mucho.

Alisson Dennise Mosquera Beltrán

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a quienes me han acompañado en este caminar:

A mis padres Alfredo y Vanessa por todo su amor, sacrificio y apoyo constante; ellos me han enseñado día a día a enfrentar los problemas, y que siempre se pueden superar con honestidad, sin perder nunca la dignidad.

Se lo dedico a ellos, porque me han formado y han contribuido a construir la persona que soy con mis valores y principios bien cimentados; ellos son mi ejemplo de perseverancia y empeño, pero sobre todo de amor, lo que ha sido el pilar fundamental para convertirme en un ser ético y profesional.

A mi hermana Noely, por estar siempre conmigo apoyándome y compartiendo juntos esta etapa universitaria.

A toda mi familia por su apoyo incondicional en casi todo mi proceso de formación profesional.

Y, a todas las personas que de una forma u otra me apoyaron para realizar este trabajo y darme la fuerza necesaria para no claudicar.

Alfredo Misael Gil Franco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza y la motivación para continuar y por haberme dado la maravillosa familia que tengo, sin sus bendiciones nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres, a Yordán, hermanos, abuelitos, tíos y primos quienes, con sus consejos y apoyo, me han ayudado a continuar con mis estudios, a nunca rendirme y siempre salir adelante pese a las adversidades.

A mi tutora de tesis Ing. Gabriela Andrade y demás maestros que me brindaron sus capacidades y conocimientos para guiarme en el desarrollo de mi tesis y a lo largo de mi vida universitaria.

A las instituciones públicas y privadas que nos ayudaron con lo necesario para poder culminar nuestra investigación.

A mi compañero de tesis, ya que juntos con dedicación y optimismo, hoy culminamos nuestro proyecto; lo logramos.

Gracias a todos por su apoyo.

Alisson Dennise Mosquera Beltrán

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme salud, vida y las fuerzas necesarias para culminar con éxito esta meta propuesta.

A mis padres y hermana que han estado conmigo en todo momento.

Gracias papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles, siempre me apoyaron y me brindaron su amor y me inculcaron el respeto, la responsabilidad y el amor; valores trascendentales para mi formación personal y profesional.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi tutora de Tesis, la Ingeniera Gabriela Andrade, por su valiosa asesoría, por compartir su vasto conocimiento y brindarme una constante motivación que ha sido fundamental para mi desarrollo como investigador. Su enfoque en la seriedad, responsabilidad y rigor académico ha sido esencial para mi formación integral en esta área de estudio.

Agradezco sinceramente a todos mis profesores por su dedicación y compromiso en impartir sus conocimientos a lo largo de mi trayectoria académica, esto cual ha sido fundamental para mi desarrollo y éxito en la culminación de mis estudios profesionales.

Asimismo, expreso mi gratitud a todas las instituciones públicas y privadas que participaron en este proceso de investigación, proporcionando información y contribuyendo a la elaboración de mi trabajo de tesis. Agradezco a mi compañera de tesis por haber creado un ambiente de trabajo óptimo, caracterizado por una visión clara, motivación constante y un enfoque optimista, lo cual contribuyó de manera significativa al éxito en la culminación de nuestra investigación.

Alfredo Misael Gil Franco

Resumen

El diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR) en la Isla Isabela constituye una alternativa sostenible que permite la disminución del impacto ambiental en el océano donde desembocan los efluentes, es por ello que, en este trabajo de investigación se diseñó una PTAR de 120 ha en el Puerto Villamil en la Isla Isabela. Se tuvo como punto de partida aguas residuales que no cumplían las normas ambientales vigentes, excediendo los Límites Máximos Permisibles en parámetros como DBO, DQO y concentración de coliformes fecales. Se añadió también la prueba de Jarras para determinar la dosis del floculante que permitiría una mayor depuración del efluente, teniendo como resultado una dosis de 4 mL de $Al_2(SO_4)_3$ a una concentración de 15 mg/L como dosis óptima. Tras el proceso en la PTAR, el agua residual doméstica inicial alcanzó una remoción del 89,5% para la DBO5, 99,99% para coliformes fecales y 78,56% para DQO. Los resultados obtenidos nos indican la importancia y rentabilidad del diseño de una PTAR en la Isla Isabela.

Palabras clave: PTAR, DBO, DQO, depuración, aguas residuales domésticas.

Abstract

The design of a Domestic Wastewater Treatment Plant (PTAR) on Isabela Island constitutes a sustainable alternative that enables the reduction of environmental impact in the ocean where effluents are discharged. That is why, in this research work, a 120-hectare PTAR was designed in Puerto Villamil on Isabela Island. Wastewater that did not meet current environmental standards, exceeding Maximum Permissible Limits in parameters such as BOD, COD, and fecal coliform concentration, served as the starting point. The Jar Test was also conducted to determine the flocculant dosage that would allow for greater effluent purification, resulting in an optimal dosage of 4 mL of $Al_2(SO_4)_3$ at a concentration of 15 mg/L. After the process in the PTAR, the initial domestic wastewater achieved removal rates of 89.5% for BOD5, 99.99% for fecal coliforms, and 78.56% for COD. The obtained results indicate the importance and profitability of designing a PTAR on Isabela Island.

Keywords: WWTP, BOD, COD, purification, domestic wastewater.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	

ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Problema de estudio.....	8
1.2 Delimitación.....	9
1.3 Preguntas de investigación.....	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivos Generales	10
1.4.2 Objetivos Específicos	10
1.5 Hipótesis.....	10
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	11
2.1 Antecedentes Investigativos.....	11
2.2 Aguas Residuales.....	12
Planta de tratamiento de aguas residuales	12
Calidad del agua.....	12
2.3 Etapas de tratamiento de aguas residuales.....	13
Pretratamiento de aguas residuales	13
Tratamiento Primario.....	13
Tratamiento Secundario	13
Tratamiento Terciario	14
2.4 Caracterización de las aguas residuales	14
Potencial de Hidrogeno (pH)	14
Temperatura	14
Aceites y grasas	15
Oxígeno Disuelto.....	15
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	16
Coliformes fecales y totales.....	16
Color.....	16

Solidos Suspendidos Totales	17
Salinidad.....	17
2.5 Marco Legal.....	18
2.5.1 Constitución de la República del Ecuador de 2008	18
2.5.2 Código Orgánico del Ambiente.....	18
2.5.3 Acuerdo Ministerial N°061: Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria.....	19
2.5.4 Acuerdo Ministerial N°097 A: Reforma del texto unificado de legislación secundaria 19	
2.5.5 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013.....	20
2.5.6 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. LIBRO VI ANEXO 1.....	21
2.5.7 Ley Orgánica de Recursos Hídricos	22
2.5.8 REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA	23
2.5.9 REGLAMENTO LEY DE REGIMEN ESPECIAL DE LA PROVINCIA DE GALAPAGOS	24
3 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.5 Caracterización de Calidad de Agua (Efluente de Isla Isabela).....	27
3.6 Análisis de los Límites Máximos Permisibles & Legislación Legal en las Galápagos.....	29
3.7 Test de Jarras.....	29
3.8 Determinación de caudal.....	31
3.8.9 Cálculo del Caudal Doméstico.....	32
3.8.10 Población final	33
3.8.11 Carga contaminante	33
3.5.4 Densidad Poblacional Actual.....	33
3.5.5 Cálculo de la Población Futura.....	34
3.5.6 Cálculo del Caudal Sanitario Futuro.....	34
3.9 Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	34
3.9.9 Criterio de diseño para el canal de ingreso agua.....	34
3.6.2 Criterio para rejillas.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 Caracterización del agua residual	36
4.2 Prueba de Jarras.....	37
4.3 Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y Parámetros operativos	39
4.3.1 Diseño y etapas de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	39
Tratamiento Primario.....	39
Tratamiento Secundario	40
4.3.2 Parámetros Operativos de la planta de tratamiento de aguas residuales	45
4.3.3 Criterio de diseño para el canal de ingreso agua.....	45
4.3.4 Criterio para rejillas.....	46

4.4 Análisis del agua residual tratada.....	46
5. CONCLUSIONES.....	48
6. RECOMENDACIONES	49
7. BIBLIOGRAFÍA.....	50
Bibliografía	50
8. APÉNDICE/ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Prueba de Jarras utilizando el floculante $Al_2(SO_4)_3$, con agua residual doméstica de la Isla Isabela Diseño para el canal de ingreso del agua residual doméstica.....	39
Tabla 2: Diseño para el canal de ingreso del agua residual doméstica.....	42
Tabla 3: Diseño para las rejillas de la Planta de tratamiento de aguas residuales (Isla Isabela).....	43
Tabla 4: Caracterización del agua residual doméstica de la Isla Isabela.....	44
Tabla 5: Prueba de Jarras utilizando el floculante $Al_2(SO_4)_3$, con agua residual doméstica de la Isla Isabela.....	46
Tabla 6: Estimación de los habitantes de la Isla Isabela para los próximos años.....	53
Tabla 7: Diseño para el canal de ingreso de agua residual doméstica.....	53
Tabla 8: Diseño para las rejillas de la Planta de tratamiento de aguas residuales (Isla Isabela).....	54
Tabla 9: Caracterización del agua residual doméstica de la Isla Isabela después del tratamiento.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación del área de la Planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas	9
Figura 2. Tabla de descarga un cuerpo de agua marina Acuerdo Ministerial 097-A Anexos TULSMA	28
Figura 3. Planos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales diseñada para la Isla Isabela-Galápagos	50

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de estudio

Isabela es una de las cuatro islas pobladas del archipiélago de Galápagos, perteneciente a Ecuador, en la Región Insular.

La isla Isabela tiene una problemática muy importante en el tema de aguas residuales, puesto que, no se realiza el correcto tratamiento del agua y además desembocan directamente al océano, generando una contaminación inmediata. Esto se debe a que existe la infraestructura de una planta de tratamiento de aguas residuales en la isla, sin embargo, se encuentra fuera de funcionamiento y obsoleto.

En el año 2014 la WWF-Ecuador y el GADMI (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela) iniciaron la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales con la característica de pantanos artificiales con plantas acuáticas nativas, en su fase inicial fue planteada para el tratamiento de aguas residuales generadas por 1500 habitantes. Sin embargo, a futuro esta planta le serviría a una población de 4300 habitantes con una extensión de 6600 m². Esta obra comenzó sus operaciones en el 2016. (WWF, 2016)

Los servicios básicos en las islas Galápagos son insuficientes y de mala calidad. La carencia de agua potable y tratamiento de aguas residuales en la población son un claro ejemplos de ello. En el cantón Isabela, estos problemas no son la excepción. El acelerado crecimiento poblacional residente y flotante, y la falta de proyección ante este desarrollo, hace del agua dulce un recurso limitado y altamente vulnerable a la contaminación. (WWF, 2016).

Se realizó un estudio de monitoreo de indicadores ambientales, desarrollado por WWF Ecuador, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Isabela (GADMI) y la consultora Ambiental Caduceus Cía. Ltda., en la cual indica que en varias fuentes de captación y distribución de agua del cantón Isabela se encuentra la presencia de contaminantes en concentraciones que sobrepasan los límites establecidos en TULSMA y las normas INEN, lo que puede ocasionar efectos contraproducentes en la salud de

los habitantes y también dentro del ecosistemas único de la isla. La población que habita en las islas, forma parte del pequeño porcentaje, en donde el reto más grande es la salud humana y la preservación del archipiélago.

1.2 Delimitación

El cantón Isabela se encuentra ubicado en la provincia de Galápagos. El área de estudio comprende el barrio San Francisco, Puerto Villamil, con las siguientes coordenadas latitud -0.9582684° y longitud -90.9570437° , sector urbano de la isla (Figura 1).

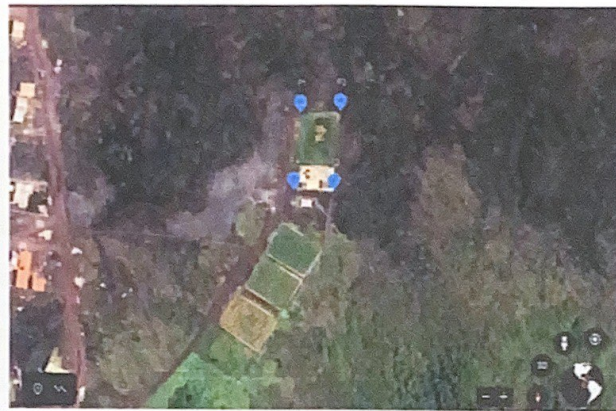


Figura 1. Delimitación del área de la Planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas

1.3 Preguntas de investigación

- ¿Qué beneficio tiene el diseño de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas en la isla Isabela?
- ¿Es factible la identificación y propuesta del sistema de tratamiento que debe utilizarse en función del tipo de contaminación existente en la isla Isabela?
- ¿Con los resultados obtenidos se cumplen con los límites máximos permisibles según la normativa ambiental vigente?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Generales

- Diseñar una planta piloto de tratamiento de aguas residuales en la isla Isabela, por medio del análisis físico-químico para la reducción de la contaminación del mar.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer la contaminación generada por las aguas residuales en la isla Isabela mediante un análisis previo para la caracterización de la misma.
- Ejecutar el sistema de tratamiento óptimo por medio del estudio de los parámetros físicos y químicos del agua residual doméstica para el cumplimiento de los límites máximos permisible.
- Determinar la optimización de la propuesta de planta piloto tratamiento del agua residual por medio de los análisis de resultados con un laboratorio acreditado para la verificación de la normativa ambiental.

1.5 Hipótesis

El tratamiento del agua residual doméstica de la isla Isabela Galápagos mediante análisis físico químicos de coagulación y floculación, logró bajar la carga de contaminación y el cumplimiento de los LMP según la normativa ambiental.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Antecedentes Investigativos

El tratamiento de aguas residuales domésticas es esencial para preservar y proteger el medio ambiente, así como para garantizar el suministro de agua limpia y segura. Las plantas piloto de tratamiento de aguas residuales desempeñan un papel crucial en el desarrollo y la optimización de tecnologías y procesos para la depuración eficiente de aguas residuales. En esta sección, se revisarán algunos conceptos clave y estudios relevantes relacionados con las plantas piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas.

La importancia de las plantas piloto permite la investigación y el desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en condiciones controladas antes de su implementación a gran escala. Las plantas piloto proporcionan una plataforma para probar diferentes procesos, evaluar su rendimiento y determinar su viabilidad técnica y económica. (Wang, 2018)

El diseño y la operación adecuados de las plantas piloto son fundamentales para obtener resultados confiables y extrapolables a escala real. Según González-García et al. (2019), es importante considerar aspectos como el tamaño de la planta piloto, la selección de tecnologías de tratamiento, los parámetros de diseño y los criterios de operación.

Estas plantas emplean una variedad de tecnologías y procesos para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua tratada. Estos incluyen la filtración, la oxidación avanzada, la desinfección y la adsorción, entre otros. Según Andreottola et al. (2020), es esencial evaluar y comparar el rendimiento de diferentes tecnologías y procesos en plantas piloto para identificar las más eficientes y adecuadas para la aplicación a gran escala. (Andreottola G. R., 2020).

La evaluación del rendimiento y la eficiencia de las plantas piloto es esencial para comprender el comportamiento de los sistemas de tratamiento y optimizar su funcionamiento. Según Chen et al. (2021), se deben considerar parámetros como la

remoción de contaminantes, la eficiencia energética, la generación de subproductos y el análisis económico para evaluar de manera integral el desempeño de las plantas piloto. (Wei Jie Lee, 2021).

2.2 Aguas Residuales

Planta de tratamiento de aguas residuales

Se trata de una infraestructura concebida con el propósito de receptor, someter a procesos y tratar las aguas residuales provenientes de múltiples fuentes, tales como viviendas, establecimientos industriales y comerciales. El objetivo primordial consiste en la eliminación de contaminantes y sustancias indeseables que se localizan en el agua residual, con la finalidad de obtener un efluente tratado que cumpla con estándares de calidad ambiental y pueda ser reintegrado de modo seguro al medio ambiente, ya sea en cuerpos de agua superficiales o en sistemas de riego.

Se emplea una sinergia de procesos físicos, químicos y biológicos con el propósito de llevar a cabo la purificación del agua. Dentro de los procedimientos más recurrentes se incluyen la sedimentación, filtración, desinfección y eliminación de nutrientes. Los procedimientos mencionados pueden manifestar variaciones en dependencia de particularidades propias del agua residual a ser tratada y de criterios de descarga referidos por entidades ambientales competentes.

Calidad del agua

El término "calidad del agua" brinda referencia a aquellas propiedades físicas, químicas y biológicas del agua que instituyen su aptitud para distintos fines y su influencia sobre el medio ambiente y salud humana. La evaluación es efectuada a través de numerosos parámetros y estándares previamente referidos con el fin de asegurar la seguridad e idoneidad del producto para su consumo, así como para salvaguardar los ecosistemas acuáticos.

La determinación es llevada a cabo a través del análisis de distintos componentes, tales como la turbidez, pH, temperatura, concentración de sustancias químicas (como metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos) y la presencia de

organismos patógenos. Dichos parámetros son contrastados con límites y criterios de calidad referidos por autoridades reguladoras y organismos internacionales, los cuales difieren dependiendo del propósito del agua, ya sea para consumo humano, agrícola, industrial o recreativo.

2.3 Etapas de tratamiento de aguas residuales

Pretratamiento de aguas residuales

La etapa en cuestión resulta de vital relevancia dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales, ya que implica la implementación de una serie de procedimientos y técnicas destinadas a la preparación y acondicionamiento de dichas aguas antes de someterlas a un tratamiento más detallado. El objetivo primordial es eliminar sólidos gruesos, sedimentos, aceites, grasas y otros contaminantes que puedan obstruir o dañar el equipo de tratamiento posterior, así como optimizar la eficiencia y eficacia del proceso de tratamiento general. En síntesis, el pretratamiento de aguas residuales proporciona referencia a las acciones emprendidas con la finalidad de depurar y descontaminar el agua residual previa a su posterior tratamiento. (Jorge, Clubiagua, 2020)

Tratamiento Primario

La etapa preliminar del proceso de tratamiento se refiere a aquella remoción física de sólidos suspendidos y sedimentables presentes en el agua residual. El objetivo esencial es reducir la carga orgánica y preparar el agua residual para su tratamiento posterior. (Jorge, Clubiagua, 2020)

Tratamiento Secundario

La fase en cuestión se refiere al proceso de eliminación biológica de contaminantes orgánicos evidentes en el agua residual. Este procesamiento implica la cooperación de microorganismos y tiene como fin obtener un efluente de elevada calidad y con menor grado de contaminación. (Jorge, Clubiagua, 2020)

Tratamiento Terciario

El espacio adicional del proceso de tratamiento se ejecuta con el propósito de eliminar contaminantes particulares que no fueron removidos durante las etapas antepuestas. Se emplean tecnologías de vanguardia con el propósito de optimizar la calidad del agua residual y cumplir con los estándares más rigurosos, así como para facilitar su reutilización in aplicaciones específicas. (Jorge, Clubiagua, 2020)

2.4 Caracterización de las aguas residuales

Potencial de Hidrogeno (pH)

La medida en cuestión es un indicador del nivel de acidez o alcalinidad de la sustancia, específicamente en este caso, del agua. El sistema se fundamenta en una escala que abarca desde 0 hasta 14, en la cual el valor 7 es considerado como neutro. Un valor de pH inferior a 7 indica acidez, mientras que un valor de pH superior a 7 indica alcalinidad.

El proceso de medición del pH y su regulación en el tratamiento del agua implica el uso de ciertos equipos y reactivos. Se emplean instrumentos de medición de pH que están compuestos por electrodos sensibles que cuantifican la actividad de los iones de hidrógeno (H⁺) presentes en el agua. Los hallazgos se interpretan en una escala numérica que indica escala el valor del pH. Que indica el valor de pH.

El control del pH en el tratamiento de aguas es de vital relevancia para asegurar la eficacia de los procesos de coagulación, floculación, desinfección y eliminación de nutrientes. Además, es crucial tener en evidencia los límites de pH referidos por normas y reglamentos ambientales para avalar el cumplimiento de estándares de calidad del agua. (Omega, 2023)

Temperatura

Es la medida del calor presente en el agua y es un parámetro esencial en diversos contextos, incluido el tratamiento de aguas y la investigación en laboratorio. La medición precisa en el laboratorio se realiza utilizando termómetros específicos para agua.

Existen diferentes tipos de termómetros utilizados para medir la temperatura. Uno de los más comunes es el termómetro de mercurio, que utiliza la expansión y contracción del mercurio en respuesta a los cambios de temperatura para indicar la lectura en una escala graduada. Sin embargo, debido a preocupaciones sobre la toxicidad del mercurio, se han desarrollado termómetros alternativos, como los termómetros digitales de temperatura o los termómetros de alcohol. (Upo, 2019)

Aceites y grasas

Los compuestos lipídicos se encuentran en forma de emulsiones o dispersiones en el agua, ya sea de manera natural o como resultado de actividades antropogénicas, como la liberación de aguas residuales industriales o domésticas. La presencia de aceites y grasas en el agua puede conservar efectos perjudiciales para el medio ambiente y organismos acuáticos, ya que tienden a provocar contaminación y obstrucción de sistemas de tratamiento y transporte del agua. (Clubiagua, 2018)

Oxígeno Disuelto

El término hace referencia a la concentración de oxígeno molecular disuelto en el agua. Es relevante la evaluación de la calidad del agua y su aptitud para sustentar la vida acuática.

Además del método de Winkler, existen otros métodos para medir el OD en el agua, como el uso de sondas electroquímicas o sensores de oxígeno ópticos que detectan la concentración de oxígeno a través de cambios en las propiedades eléctricas o ópticas. (Padilla, 2020)

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Resulta ser aquella cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos presentes en el agua se descompongan la materia orgánica biodegradable a través de procesos bioquímicos. El parámetro en cuestión se emplea con el propósito de evaluar la concentración de materia orgánica en el agua, así como la capacidad de los microorganismos presentes en ella para descomponer dicha materia.

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) implica medir la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua al principio proceso de debilitamiento de la materia orgánica. (Labomersa, 2021)

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se refiere a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente la materia orgánica y algunas sustancias inorgánicas presentes en el agua. Es un parámetro utilizado para evaluar la carga total de sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden ser oxidadas en el agua.

La DQO se determina midiendo la cantidad de oxígeno liberado durante la reacción de oxidación. Esto se logra mediante la titulación de la muestra con un reactivo reductor, que consume el oxígeno liberado en la reacción y produce un cambio de color o una señal detectable. La cantidad de reactivo reductor utilizado es proporcional a la DQO presente en la muestra. (Labomersa, 2021)

Coliformes fecales y totales

Subcategoría de los coliformes totales y se consideran indicadores específicos de la presencia de contaminación fecal. Estos microorganismos son bacterias que se encuentran de forma endémica en el tracto intestinal de animales homeotermos, incluyendo la especie humana. Su detección en muestras de agua sugiere la existencia de una posible contaminación de origen fecal, así como la probable presencia de asociados patológicos y enfermedades.

En algunos casos, se pueden utilizar métodos de detección rápidos, como pruebas basadas en enzimas o técnicas moleculares como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para identificar y cuantificar coliformes fecales en el agua de manera más precisa y rápida. (Bryan R. Swistock, 2020)

Color

La apariencia visual de un objeto se debe a la presencia debido a sustancias que tienen la capacidad de absorber o dispersar la luz visible. Dichas sustancias pueden tener un origen natural, como la existencia de materia orgánica o minerales disueltos, o

pueden ser consecuencia de actividades antropogénicas, como la liberación de productos químicos o la contaminación industrial.

Además de la medición cuantitativa del color, también se puede realizar una evaluación visual del color en el agua utilizando escalas de comparación de colores estándar, donde se compara el color de la muestra con una serie de colores de referencia. (Barrantes, 2022)

Sólidos Suspendidos Totales

La concentración de partículas sólidas en suspensión en una muestra de agua se refiere a la cantidad total de dichas partículas presentes. Estos sólidos pueden tener un origen tanto orgánico como inorgánico, y pueden comprender una variedad de componentes, como sedimentos, partículas finas, materia orgánica y microorganismos, entre otros.

En algunos casos, se pueden utilizar filtros de membrana con poros de tamaño definido para retener partículas de tamaño específico. Además del método de filtración y pesaje, también se pueden utilizar métodos gravimétricos o técnicas de turbidimetría para estimar los SST en el agua. Estos métodos implican la medición de la turbidez o la concentración de partículas suspendidas en la muestra de agua, que se correlacionan con los SST presentes. (Cromtek, 2022)

Salinidad

Converge como la cantidad de sales disueltas que se hallan en el agua empleada para actividades domésticas, como lavado, limpieza y utilización general en el hogar. La salinidad en aguas residuales domésticas puede ser atribuida a factores, tales como la utilización de agua con alto contenido de sal en el ámbito doméstico, la presencia de productos de limpieza y detergentes que contienen compuestos salinos, así como la infiltración de agua marina en los sistemas de alcantarillado en zonas costeras. La existencia de salinidad en las aguas residuales provenientes de hogares presenta desafíos en el ámbito del tratamiento de aguas residuales, dado que puede comprometer la eficacia de los procesos de tratamiento y generar consecuencias

adversas en el entorno natural. Por ello, es crucial tener en cuenta y regular la salinidad en las aguas residuales domésticas para garantizar una gestión adecuada y minimizar sus efectos adversos. (Herrero, 2017)

2.5 Marco Legal

2.5.1 Constitución de la República del Ecuador de 2008

El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador de 2008 establece:

“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. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (TÍTULO VII: RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR, 2008, pág. 5).

2.5.2 Código Orgánico del Ambiente

El artículo 196 del Código Orgánico del Ambiente establece:

“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” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, pág. 40)

En el mismo artículo, el Código Orgánico del Ambiente menciona:

“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 competentes en la materia” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, pág. 40)

2.5.3 Acuerdo Ministerial N°061: Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria

El art. 210 de la Asamblea Nacional establece:

"(...) (a) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en normas técnicas o anexos de aplicación; (b) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; (c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga". (Acuerdo N°61, 2015, pág. 47)

2.5.4 Acuerdo Ministerial N°097 A: Reforma del texto unificado de legislación secundaria

5.2 Criterios generales para la descarga de efluentes

En el Acuerdo N°097 A se establece:

"Se prohíbe la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a cuerpos de agua salobre y marina, sujetos a la influencia de flujo y refluo de mareas. Todas las descargas a cuerpos de agua, sin excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de esta norma. Las Municipalidades deberán incluir en sus planes maestros o similares, las consideraciones para el control de la contaminación de este tipo de cuerpos receptores, por efecto de la escorrentía pluvial urbana" (Acuerdo N°097 A, 2015, págs. 22-23)

TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) DESCARGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Aceites y Grasas	Solubles en hexano	mg/l	30.0	30.0
Arsénico total	As	mg/l	0.5	0.5
Aluminio	Al	mg/l	5.0	5.0
Cadmio total	Cd	mg/l	0.2	0.2
Cinc	Zn	mg/l	10.0	10.0
Cobalto	Co	mg/l	1.0	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	* Inapreciable en dilución 1/20	* Inapreciable en dilución 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0.5	0.5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2	0.2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	BioOD	mg/l	200.0	400.0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	400.0	600.0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20.0	20.0
Materia flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.01	0.01
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40.0	40.0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	250.0	250.0
Sulfuros	S	mg/l	0.5	0.5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/l	50.0	50.0
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	µg/l	100.0	100.0
Carbámato	Especies totales	mg/l	0.25	0.25
Temperatura	°C		< 35	< 35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0.5	0.5

* La apreciación del color se es tma sobre 10 cm de diluida

Figura 2 Tabla de descarga un cuerpo de agua marina

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A Anexos TULSMA

2.5.5 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 en su primera revisión, estipula lo siguiente respecto a las aguas residuales de diferentes orígenes, incluyendo el doméstico:

3.8 Como una guía puede decirse que los métodos de conservación son menos efectivos en las aguas residuales crudas que en las aguas residuales purificadas (efluentes de las plantas de tratamiento biológico). También se ha observado que el comportamiento de varias muestras de aguas residuales durante el almacenamiento es diferente, dependiendo de si las muestras han sido tomadas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales o industriales.

4.1.2.3 El simple enfriamiento (en baño de hielo o en refrigerador a temperaturas entre 2°C y 5°C) y el almacenamiento en un lugar oscuro, en muchos casos, es suficiente para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio y por un corto período de tiempo antes del análisis. El enfriamiento no se debe considerar como un método de almacenamiento para largo tiempo, especialmente en el caso de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales industriales. (NTE INEN 2169, 2013)

2.5.6 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. LIBRO VI ANEXO 1.

2.3 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

2.15 Caracterización de un agua residual

Proceso destinado al conocimiento integral de las características estadísticamente confiables del agua residual, integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físico, químico, biológico y microbiológico.

2.44 Tratamiento convencional para efluentes, previa a la descarga a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado

Es aquel que está conformado por tratamiento primario y secundario, incluye desinfección.

Tratamiento primario. - Contempla el uso de operaciones físicas tales como: Desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste (principalmente rejas, mallas, o cribas) para la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

Tratamiento secundario. - Contempla el empleo de procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos. El tratamiento secundario generalmente está precedido por procesos de depuración unitarios de tratamiento primario.

4.2.1.5 Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas. La Entidad Ambiental de Control, de manera provisional mientras no exista sistema de alcantarillado certificado por el proveedor del servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento e informe favorable de esta entidad para esa descarga, podrá permitir la descarga de aguas residuales a sistemas de recolección de aguas lluvias, por excepción, siempre que estas cumplan con las normas de descarga a cuerpos de agua.

4.2.1.6 Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA)

2.5.7 Ley Orgánica de Recursos Hídricos

Ley 0

Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago.-2014

Estado: Vigente

Art. 18.- Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son:

l) Establecer mecanismos de coordinación y complementariedad con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo referente a la prestación de servicios públicos de riego y drenaje, agua potable, alcantarillado, saneamiento, depuración de aguas residuales y otros que establezca la ley;

Art. 37.- Servicios públicos básicos

El saneamiento ambiental en relación con el agua comprende las siguientes actividades:

1. Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración; y, 2. Alcantarillado pluvial: recolección, conducción y disposición final de aguas lluvia.

Art. 38.- Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales. La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso

Art. 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, 2014)

2.5.8 REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Decreto Ejecutivo 650

Registro Oficial Suplemento 483 de 20-abr.-2015

Última modificación: 21-ago.-2015

Estado: Vigente

Art. 45.- Secretaría del Agua y otras alianzas. - Cuando el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal no cuente con las condiciones técnicas o financieras, podrá solicitar a la Autoridad Única del Agua lo siguiente: a) Formular un plan para ser ejecutado coordinadamente en relación con varios cantones y conseguir así la mejor economía de escala posible para la prestación de los servicios públicos, especialmente se podrá realizar esta actuación en relación al tratamiento de aguas residuales;

Art. 89.- Autorización del uso o aprovechamiento productivo de aguas residuales. - Se podrán otorgar autorizaciones para el uso o aprovechamiento productivo de aguas residuales tratadas, siempre y cuando éstas cumplan los parámetros de calidad establecidos por la ARCA con las entidades con competencia en el ámbito de tratamiento de aguas residuales en función del uso a que se pretendan destinar. (REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA, 2015)

2.5.9 REGLAMENTO LEY DE REGIMEN ESPECIAL DE LA PROVINCIA DE GALAPAGOS

Decreto Ejecutivo 1363

Registro Oficial Suplemento 989 de 21-abr.-2017

Estado: Vigente

TITULO X CONTROL AMBIENTAL Y BIOSEGURIDAD

CAPITULO I Control Ambiental

Art. 75.- Principios que rigen el control ambiental. - El control ambiental en la provincia de Galápagos se fundamentará en los principios de prevención, cooperación, coordinación, vigilancia y responsabilidad; y, en los establecidos en la Ley.

El control ambiental en la provincia de Galápagos estará a cargo de la Autoridad Ambiental Nacional, a través de la Dirección del Parque Nacional Galápagos; el Consejo

de Gobierno del Régimen Especial de la Provincia de Galápagos; y, los gobiernos autónomos descentralizados municipales, cada uno en el ámbito de sus respectivas competencias, con arreglo a las normas contenidas en la legislación ambiental vigente.

Las auditorías ambientales, la gestión de residuos sólidos urbanos y rurales y de aguas residuales; y, demás mecanismos de control ambiental se establecerán en las regulaciones especiales que para el efecto formule la Autoridad Ambiental Nacional.

(REGLAMENTO LEY DE REGIMEN ESPECIAL DE LA PROVINCIA DE GALAPAGOS, 2017)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación experimental fue la usada para la ejecución del proyecto, basándonos a los conocimientos obtenidos tanto científicos como técnicos, y principalmente con relación a la base legal vigente, se procederá al diseño de la planta piloto de tratamiento de aguas residuales en la isla Isabela, Galápagos. Considerando la realización de pruebas experimentales de tratabilidad. Para diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales que se encargue del sistema de los efluentes domésticos de la Isla Isabela, se deben realizar análisis iniciales de caracterización, para posteriormente, evaluar el diseño particular de la Planta de acuerdo con las necesidades de la Isla.

Para la valoración de la calidad física química se consideran los siguientes parámetros:

- pH
- Temperatura
- Aceites y grasas
- Oxígeno Disuelto
- Demanda Bioquímica Oxígeno
- Demanda Química Oxígeno
- Coliformes fecales y totales
- Sólidos Suspendedos Totales
- Salinidad
- Conductividad

El diseño contará con los cálculos de cada una de las etapas de la planta de tratamiento de aguas residuales, tales como:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario

3.5 Caracterización de Calidad de Agua (Efluente de Isla Isabela)

El análisis de calidad de agua se determinará en base a los siguientes componentes, realizando muestreos en el punto de generación de aguas residuales: pH, temperatura, oxígeno disuelto, DBO₅/Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO/Demanda Química de Oxígeno, Coliformes fecales y totales, color, Sólidos suspendidos totales, Salinidad, parámetros comunes a tomar en cuenta en la estructuración de sistemas de tratamiento (Omer, 2019).

– pH: Se medirá con un potenciómetro o papeles indicadores de pH, por el método de Potenciometría: Se utilizó el método descrito según (HACH, 2002). Se utilizó el potenciómetro, se procedió a calibrar el equipo con una solución neutra para pH, ya calibrado el potenciómetro se lo configuro para medir pH, después en tres vasos de precipitación de 250 ml se pusieron 50 ml de muestra de agua residual doméstica, situando el potenciómetro en las muestras esperando resultado de la medición, se repitió el mismo procedimiento con las réplicas.

– Temperatura: Se procederá a medir en el lugar de origen inmediatamente, debido a que cambia rápidamente. Con un termómetro flexible mediremos la temperatura. Para ello ubicaremos el equipo 10 cm por debajo de la superficie durante 30 segundos, una vez que pase el tiempo, procedemos leer los resultados.

– Aceites y grasas: Se determinó por el método de extracción químico tomando una muestra representativa del agua residual introduciéndola en un extractor Soxhlet añadiendo el disolvente orgánico (hexano). El disolvente se calentó provocando evaporación y ascenso hacia la cámara superior del extractor, luego entró en un condensador donde se enfría y se condensa nuevamente. Con cada ciclo de extracción, el extracto de aceites y grasas se acumuló en el matraz receptor, que posteriormente se retira con el extracto y se evapora el disolvente. Para los cálculos, se pesó el residuo y se relacionó directamente con la muestra. (IDEAM, 2007)

– Oxígeno disuelto: Se medirá con una sonda multiparamétrica, se sumerge la sonda en la muestra y se espera que su estabilización. La sonda detecta el oxígeno y muestra su concentración en la pantalla. Generalmente, se utilizan dos escalas de medición en este contexto: partes por millón (ppm) y porcentaje de saturación (%). El porcentaje de saturación se define como la proporción de oxígeno disuelto en un litro de agua en relación con la cantidad máxima de oxígeno disuelto que puede contener un litro de agua.

– Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Se medirá mediante el Oxígeno Disuelto inicial y final, tras cinco días de incubación de la muestra a 20°C, y el resultado se expresa en miligramos de oxígeno consumido por un litro de muestra y se lo puede representar como DBO₅. (IDEAM, Demanda Bioquímica de Oxígeno - 5 días - INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA, 2007)

– Demanda Química de Oxígeno (DQO): Se determinará a través de la oxidación química de las sustancias orgánicas que se disuelven en dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico concentrado. El oxígeno consumido por la transformación de las sustancias orgánicas se expresará en mg O₂ L⁻¹ (IDEAM, 2007).

– Coliformes totales/fecales: Se determinará según el método del Número más Probable (NMP) para la cuantificación de estas bacterias por su habilidad de fermentar la lactosa, lo que permite la formación de ácido y gas cuando son incubados a una temperatura de 35°C ± 1°C durante 48 horas. El medio de cultivo contendrá sales biliares (Mitra, 2020).

– Sólidos suspendidos totales (SST): Se determinará empleando el método gravimétrico, que se basa en la retención de las partículas sólidas presentes en una muestra homogénea mediante un filtro de fibra de vidrio. Después, el residuo retenido en el filtro se somete a un proceso de secado a altas temperaturas (103-105°C). La cantidad de SST se determinará por la variación en el peso del filtro después del secado (APHA, 1995) (HACH, 2002).

– Salinidad: Se utilizó el equipo medidor multiparámetros. Para ello ubicaremos el equipo 10 cm por debajo de la muestra durante 30 segundos, una vez que pase el tiempo, procedemos leer los resultados.

3.6 Análisis de los Límites Máximos Permisibles & Legislación Legal en las Galápagos

Posterior a la caracterización de la muestra, se compararán los resultados obtenidos con las normas ambientales existentes (Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN, Acuerdo ministerial 097-A, Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua/LORHUA) para corroborar si se encuentran dentro de los límites máximos permisibles según lo establecido.

Para asegurar un adecuado diseño de la planta piloto que cumpla con los requisitos legales, se revisará la información técnica de las siguientes normativas: Norma Técnica Ecuatoriana (NTE-INEN), Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE), Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de las Galápagos (EPA-G) y Regulaciones locales si es necesario.

3.7 Test de Jarras

El Test de Jarras es una prueba utilizada en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para evaluar y determinar la eficiencia del proceso de coagulación-floculación en el tratamiento de estos efluentes. El proceso de coagulación-floculación es una fase importante en el tratamiento de residuales, sección en la que se agregan coagulantes químicos a las muestras para neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas y formar flóculos que posteriormente son fácilmente separados del agua.

Este Test se llevó a cabo mediante los siguientes pasos:

1. Se colectó una muestra representativa del agua residual sin tratamiento previo.
2. En un grupo de recipientes de laboratorio (jarras), se añadieron distintas cantidades de coagulante químico (sulfato de aluminio) al agua.

3. Cada recipiente se agitó constantemente para poder asegurar una distribución homogénea del coagulante en el agua.
4. Los contenedores permanecieron en reposo durante un período de tiempo específico para estimular la generación del proceso de floculación. En este lapso, los flóculos se agrupan y depositan en la parte inferior del recipiente, atrapando consigo las partículas suspendidas y otras sustancias contaminantes.
5. Después de este período de reposo, se realizó una observación y comparación de la transparencia del agua en cada recipiente, así como la cantidad de flóculos que se han formado en el fondo.
6. Con base en la jarra que haya demostrado el mejor rendimiento en términos de claridad y sedimentación de flóculos, se estableció la cantidad ideal de coagulante para el proceso de tratamiento en la instalación.

El test de jarras proporciona información muy importante sobre las variables del proceso de coagulación-floculación que afectan la reducción de partículas y contaminantes en el agua. Esto permitirá ajustar las dosis de coagulante necesaria y otros parámetros del proceso en la planta de tratamiento de aguas residuales permitiendo así una mayor eficiencia en la eliminación de impurezas antes de liberarse al ecosistema.

Tabla 1: Prueba de Jarras utilizando el floculante $Al_2(SO_4)_3$, con agua residual doméstica de la Isla Isabela.

	Dosis óptima del floculante $Al_2(SO_4)_3$ (mL)	Ph	% de remoción
Muestra 1			
Muestra 2			
Muestra 3			
Muestra 4			
Muestra 5			
Muestra 6			
Muestra 7			
Muestra 8			
Muestra 9			
Muestra 10			
Muestra 11			
Muestra 12			
Muestra 13			
Muestra 14			
Muestra 15			

3.8 Determinación de caudal

Primero, hay que determinar los volúmenes que se pueden obtener de los efluentes residuales domésticos, de ahí, el valor del caudal de las residuales para el cálculo de las dimensiones del sistema de depuración se determinará por la expresión Q : suma de cada uno de los caudales multiplicado por su respectivo coeficiente punta. Hay que recalcar que en aquellos puntos urbanos donde hay variación estacional y poblacional por el turismo, se calculará el tanto por ciento de aumento de caudal en

épocas de máxima afluencia para estimar un valor máximo de consumo que se definirá como valor para el dimensionado de la planta.

Para el cálculo del caudal (volumen de agua que fluye por unidad de tiempo) de la Planta de Tratamiento, se tendrá en cuenta la cantidad de aguas residuales que ingresan a la planta, expresándose como litros por segundo (L/s) o metros cúbicos por hora (m³/h). Para calcular el caudal de una planta de tratamiento de aguas residuales, se debe considerar los siguientes pasos:

1. Determinación de caudal: Instalar un medidor de caudal preciso para medir el flujo de aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales (medidores electromagnéticos, ultrasónicos o de turbina).
2. Registro de data: Durante un período se debe registrar los valores de caudal, por ejemplo, valores diarios durante una semana o un mes.
3. Promedio de caudal: Calcular el promedio de los valores registrados durante el período: sumar todos los datos y dividir entre el número de mediciones

3.8.9 Cálculo del Caudal Doméstico

Si no hay medidores, se determinará según la siguiente ecuación (Barrera, 2021):

$$Q = \frac{CR * P * d \text{ neta}}{86400}$$

Donde:

Q: es el caudal doméstico

CR: el coeficiente de retorno que consideraremos como 0,85 por falta de datos en campo

P: la población de la Isla Isabela proyectada para la planta de tratamiento de aguas residuales.

d neta: la cantidad de agua que se debe tratar en la planta por habitante o usuario (L/hab*día), que según el último censo en el 2018 fue de 249 L/hab*día.

3.8.10 Población final

Para la determinación del caudal doméstico, necesitaremos del cálculo de la población, según la fórmula:

$$P_f = P_0(1 + r)^t$$

Donde:

P: Población final

P₀: Población inicial

r: crecimiento poblacional anual (según el último censo en el 2015: 0,018)

t: tiempo desde el último censo

3.8.11 Carga contaminante

Carga Contaminante = Concentración * Caudal * 0,0864

Donde:

Carga contaminante (en kg/d DQO)

Concentración (en mg/L)

Caudal (en L/s)

El valor 0,0864 es un factor de conversión para pasar de mg/s a kg/d.

3.5.4 Densidad Poblacional Actual

$$Dp = \frac{P}{A}$$

Donde:

Dp: Densidad poblacional

P: Población, que en este caso son 3100 habitantes

A: Área del proyecto, que en este caso son 120 hectáreas

3.5.5 Cálculo de la Población Futura

$$Pf = Pi \times e^{kg \times (\Delta t)}$$

Donde:

Pf: Población futura

Pi: Población inicial, que corresponde a 3100 habitantes

kg: Coeficiente de crecimiento geométrico (3,32)

Δt : Variación de tiempo

3.5.6 Cálculo del Caudal Sanitario Futuro

$$Qsf = \frac{Pf \times D}{86400 \text{ seg/día}} \times A$$

Qsf: Caudal sanitario futuro

Pf: Población futura

D: Dotación de agua (180 lts*día/hab)

A: Factor de desperdicio (0,8)

3.9 Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

En base a los datos recopilados previamente, se diseñará la Planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas de la Isla Isabela, considerando la capacidad, flujo de tratamiento y la disposición del efluente tratado. A continuación, se detallará el esquema general de la planta de tratamiento de aguas residuales, como se detalla en la Tabla 1 y 2 (Rout, 2021); (Wu, 2022).

3.9.9 Criterio de diseño para el canal de ingreso agua

Tabla 2: Diseño para el canal de ingreso del agua residual doméstica.

Parámetro	Valor o rango
Altura mínima de agua	
Velocidad de flujo de canal	
Borde libre	
Coefficiente de rugosidad de Manning	

Tabla 3: Diseño para las rejillas de la planta de tratamiento de aguas residuales (Isla Isabela).

3.6.2 Criterio para rejillas

Parámetro	Valor
Velocidad del flujo	
Rejilla fina	
Grado de inclinación rejillas	

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del agua residual

Los análisis realizados en laboratorio acreditado PSI nos indican que el agua residual doméstica de distintos puntos de la Isla Isabela tiene parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles de las Leyes en Ecuador-Galápagos, siendo estos, la concentración de Coliformes Fecales con 22000000 NMP / 100ml, la DBO5 con 465 mg/l y la DQO con 509 mg/l. Para el resto de los parámetros analizados, los valores si se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, siendo estos, la concentración de aceites y grasas con 11,8 mg/l, el pH con un valor de 6,46, temperatura de 27,9 y sólidos suspendidos totales con 85 mg/l. tal como se describe en la Tabla 4.

Tabla 4: Caracterización del agua residual doméstica de la Isla Isabela.

Parámetros	Unidades	Resultados	Límite máximo permisible	Cumple o No cumple
Aceites y grasas	mg/l	11,7	30	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	465	200	NO CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	509	400	NO CUMPLE
Coliformes Fecales	NMP / 100ml	22000000	2000	NO CUMPLE
Potencial de hidrógeno		6,46	6 a 9	CUMPLE
Temperatura	°C	27,9	<35	CUMPLE
Solidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	85	250	CUMPLE

Estos valores concuerdan con lo obtenido por otros autores, donde evidencian que las aguas residuales domésticas en Ecuador no cumplen en más de un 80% con los límites máximos permisibles determinados para las descargas en los sistemas acuícolas. Rivera et al. (2021), afirman que la población en el país contribuye parcial o totalmente con una DBO5 de 20 a 45 g por día, estimado en una DBO₅ mayor a 200

mg/l que es lo permitido en el país. También se ha demostrado que en Ecuador la principal contaminación de las fuentes de agua cercanas a recintos urbanos, tienen una alta concentración de bacterias totales y fecales que son patógenas para el ser humano, muy por encima de las 2000 NMP/100 ml que se permiten, constituyendo un problema no solo ambiental, sino de salud humana y seguridad alimentaria (Quiroz Fernández et al., 2018; Pauta et al., 2019).

Respecto a los demás parámetros fisicoquímicos tenemos lo siguiente: conductividad de 4 mS/cm, oxígeno disuelto de 0,5 mg/l y salinidad de 2,1 ppt. Estas lecturas de los parámetros fueron medidas *in situ*, en la desembocadura del agua residual doméstica en la Isla.

4.2 Prueba de Jarras

La prueba de Jarras que se realizó en volúmenes de 500 mL, a una velocidad de 200 rpm (gradiente de mezcla rápida) nos sugiere que la dosis óptima del floculante $Al_2(SO_4)_3$ fue de 4 mL, observado en la Muestra 2, 8 y 15 donde se alcanzan porcentajes de remoción mayores al 97,5% de la turbidez del agua residual doméstica, con una concentración de 15 mg/l (Tabla 5).

Tabla 5: Prueba de Jarras utilizando el floculante $Al_2(SO_4)_3$, con agua residual doméstica de la Isla Isabela.

	Dosis óptima del floculante $Al_2(SO_4)_3$ (mL)	Ph	% de remoción
Muestra 1	3	6,46	95,3%
Muestra 2	4	6,53	97,5%
Muestra 3	6	6,45	91,1%
Muestra 4	8	6,40	90,6%
Muestra 5	10	6,39	97,8%
Muestra 6	12	6,55	97,3%
Muestra 7	3	6,57	80,3%
Muestra 8	4	6,43	98,1%
Muestra 9	5	6,49	89,6%
Muestra 10	6	6,50	92,5%
Muestra 11	7	6,58	94,6%
Muestra 12	8	6,42	96,3%
Muestra 13	2	6,53	88,9%
Muestra 14	3	6,41	89,0%
Muestra 15	4	6,59	98,9%

Este valor siempre va a ser modificado por la variación de las propiedades fisicoquímicas del agua residual doméstica que se esté analizando, tal como Chuiza-Rojas et al. (2019) que evaluaron el método de Jarras en un agua residual combinada con efluentes agroindustriales y obtuvieron como resultado la dosis óptima de 20 mL del coagulante-floculante a una concentración de 400 ppm (400 mg/l), sin embargo, hay que recalcar que el floculante empleado en ese estudio era de origen orgánico, los heteropolisacáridos de la Tuna, *Opuntia ficus indica*.

4.3 Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y Parámetros operativos

4.3.1 Diseño y etapas de la planta de tratamiento de aguas residuales

Tratamiento Primario

El tratamiento primario del agua residual doméstica consiste en la eliminación de los sólidos gruesos y los materiales flotantes, así como la separación de los sólidos sedimentables, del agua residual que ha sido recolectada. El proceso se lleva a cabo principalmente en grandes tanques llamados sedimentadores o clarificadores. El agua residual se vierte en estos tanques y se permite que los sólidos más pesados se depositen en el fondo del tanque, mientras que los materiales más ligeros, como la grasa y el aceite, flotan en la superficie del agua. Luego, el agua tratada se elimina de la parte superior del tanque para su posterior procesamiento, mientras que los sólidos sedimentados se eliminan y se envían a un proceso posterior de tratamiento.

En nuestra PTAR, el Tratamiento Primario consta de las siguientes etapas:

1.Rejillas: El agua residual se tamiza a través de rejillas o cribas para eliminar los sólidos gruesos y materiales flotantes, como ramas, hojas y plásticos.

2.Tanque homogeneizador: Un recipiente homogeneizador en fase experimental, tiene como propósito el almacenar y mezclar de manera uniforme la muestra de aguas residuales. El tanque de homogeneización puede poseer una capacidad de hasta 50 litros y tiene una estructura cilíndrica fabricada en material plástico. Este tanque está equipado con un sistema de tuberías para la eliminación de los residuos hacia la siguiente etapa del proceso en la planta piloto. Sus dimensiones recomendadas son de 48 cm de radio y 96 cm de longitud.

3.Tanques de sedimentación: El agua residual se envía a tanques de sedimentación o clarificadores, donde los sólidos sedimentables se asientan en el fondo del tanque y los materiales flotantes se acumulan en la superficie del agua. Esta unidad de sedimentación, con una estructura de forma cuadrada construida en material acrílico, tiene la capacidad de contener aproximadamente 7 litros de líquido. Además, está

equipada con un sistema de tuberías diseñado para recibir y eliminar los residuos hacia la siguiente fase de tratamiento en la planta piloto. Las dimensiones del sedimentador deben ser de 60 cm de longitud, 60 cm de ancho y 60 cm de altura.

4. Eliminación de sólidos sedimentables: Los sólidos sedimentables se eliminan del fondo del tanque a través de un raspador o sistema de succión y se envían a un proceso posterior de tratamiento.

5. Extracción de materiales flotantes: Los materiales flotantes, como la grasa y el aceite, se eliminan de la superficie del agua mediante un sistema de rasquetas o skimmers.

6. Agua tratada: El agua tratada se elimina de la parte superior del tanque de sedimentación y se envía a tratamientos secundarios y terciarios para su posterior procesamiento.

Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario del agua residual doméstica se enfoca en un proceso biológico que tiene como objetivo eliminar los contaminantes orgánicos disueltos y los sólidos suspendidos finos que quedan después del tratamiento primario. Se lleva a cabo mediante la activación de microorganismos aerobios, que utilizan el oxígeno para descomponer los contaminantes en el agua residual. El proceso de tratamiento secundario incluye una etapa de aireación y un segundo tanque de sedimentación. Durante la aireación, se suministra aire al agua residual para proporcionar oxígeno a los microorganismos y estimular su crecimiento. Luego, el agua residual aireada se envía a un segundo tanque de sedimentación, donde los sólidos suspendidos finos se asientan en el fondo del tanque.

El agua tratada en el proceso secundario puede contener una pequeña cantidad de contaminantes, por lo que se somete a un tratamiento terciario para eliminar los contaminantes restantes antes de su descarga al medio ambiente o reutilización.

En la PTAR, el Tratamiento Secundario consta de las siguientes etapas:

1. Tanque de aireación: El agua residual proveniente del T. Primario en el tanque de sedimentación se envía a un tanque de aireación donde se agregan bacterias nitrificantes y desnitrificantes para eliminar la materia orgánica, el nitrógeno y los compuestos orgánicos nitrogenados. Estas bacterias utilizan el oxígeno disuelto en el agua para metabolizar y eliminar los contaminantes.

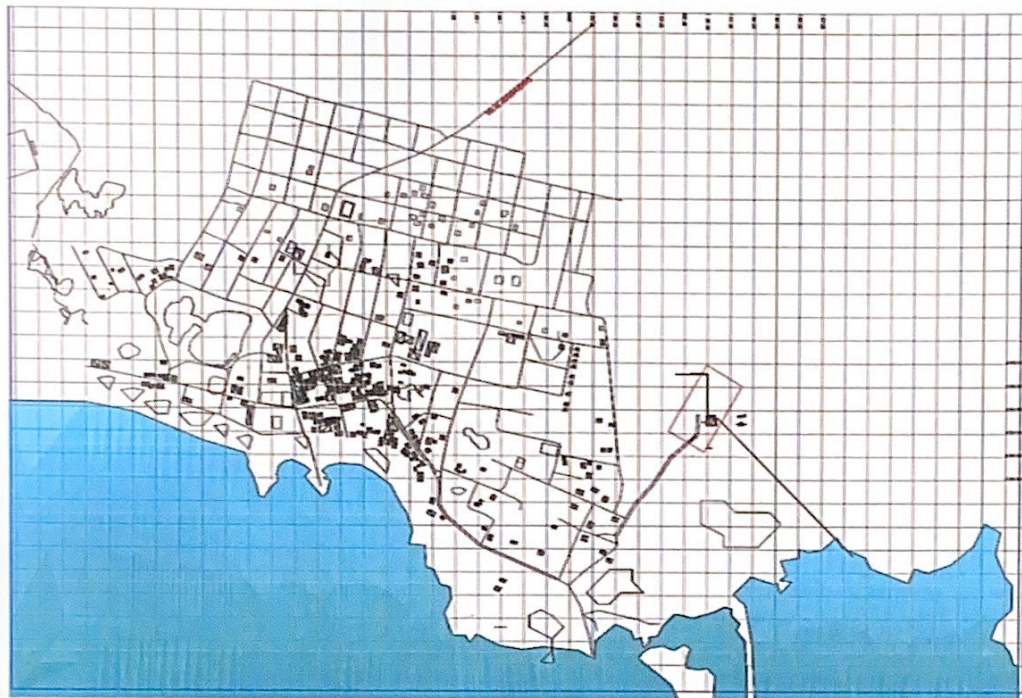
2. Sedimentación secundaria: Luego del proceso de aireación, el agua residual pasa a un tanque de sedimentación secundaria donde los lodos biológicos se asientan en el fondo y el agua tratada se retira de la parte superior.

3. Desinfección: El agua residual tratada se somete a un proceso de desinfección para eliminar cualquier bacteria patógena que pueda estar presente. Esto se puede lograr utilizando productos químicos como el cloro, la luz ultravioleta o la ozonización.

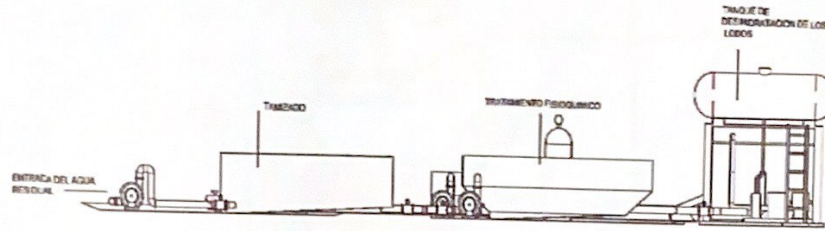
4. Tratamiento de lodos: Los lodos primarios y secundarios producidos durante el proceso de tratamiento se envían a un sistema de tratamiento de lodos para su espesamiento y deshidratación. Los lodos secos resultantes se pueden utilizar como fertilizantes o se eliminan de forma segura en un vertedero.

5. Adsorción con carbón activado: El carbón activado se usa para eliminar compuestos orgánicos y productos químicos que no se eliminan durante el tratamiento secundario.

A continuación, se presentan los planos de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (Figura 3):



a)

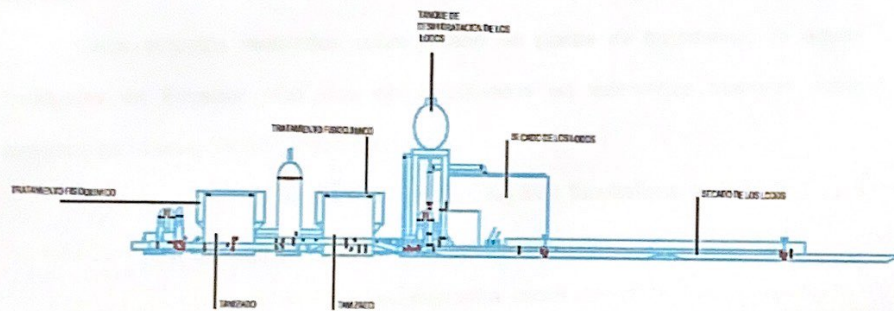


PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES

FACHADA 1

ESC 1/100

b)



PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES

FACHADA 2

ESC 1/100

c)

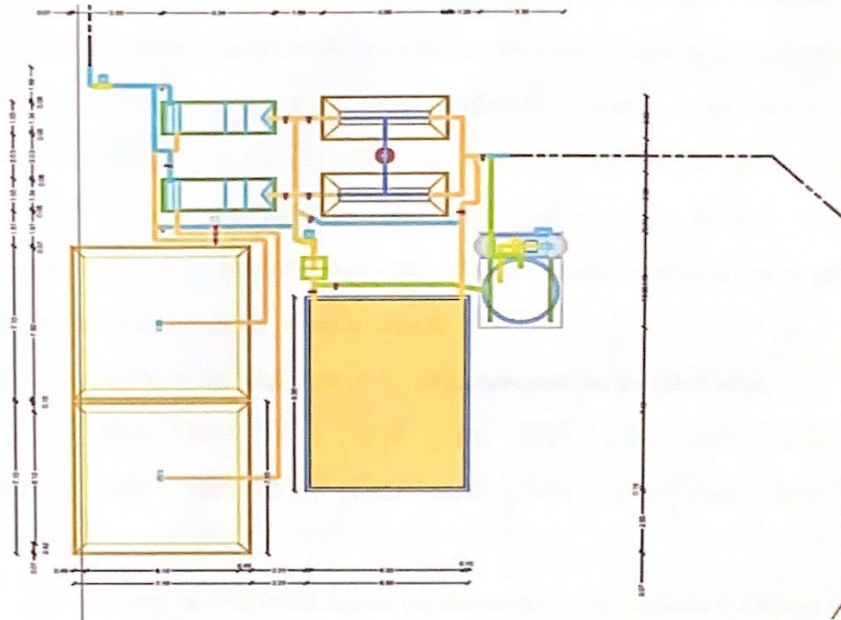


Figura 3: Planos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales diseñada para la Isla Isabela-Galápagos. a) Fachada 1, escala 1/100, b) Fachada 2, escala 1/100, c) Vista superior.

Otros estudios realizados sobre diseño de planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador, han sido esquematizados en volúmenes menores como sistemas de prueba iniciales, tales como

Peña et al. (2018) que solo incluyeron 4 lagunas facultativas de 0.76 ha c/u y 8 lagunas de maduración de 0.89 ha c/u en una planta de tratamiento de aguas residuales en el sector de Yaguachi debido a su esquema inicial que contaba con tratamiento preliminar, sedimentación primaria y lagunas facultativas, para aguas residuales domésticas de la ciudad de Yaguachi.

4.3.2 Parámetros Operativos de la planta de tratamiento de aguas residuales

En la planta de tratamiento de aguas residuales diseñada para la Isla Isabela la caracterización de los parámetros hidráulicos del efluente, se basaron inicialmente en la densidad poblacional de la Isla, que según el censo del 2010 eran de 2256 habitantes y en el 2015 de 2344 habitantes, con un crecimiento anual de 3,1% y 1,8%, respectivamente, con un promedio de 2,45% de tasa de crecimiento anual, por lo que se pueden hacer estimaciones según la tabla 6.

Tabla 6: Estimación de los habitantes de la Isla Isabela para los próximos años.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2030
Habitantes	2401	2460	2520	2582	2645	2710	2776	2844	3622

Por otro lado, el cálculo del caudal doméstico dio como resultado 6,23L/seg o 22,44m³/h estimando una población final de 2704 habitantes; mientras que la carga contaminante se estimó en 27.40kg/día (DQO).

En la determinación del cálculo sanitario futuro en la planta de tratamiento de aguas residuales en Puerto Villamil de la Isla Isabela, se determinó una densidad poblacional de 26 hab/Ha considerado un área de 120 ha y 3100 hab, además, y un caudal sanitario futuro de 11,84 L/s considerando una población futura de 7109 habitantes.

4.3.3 Criterio de diseño para el canal de ingreso agua

Tabla 7: Diseño para el canal de ingreso del agua residual doméstica.

Parámetro	Valor o rango
Altura mínima de agua	0,3 m
Velocidad de flujo de canal	0,6 a 1,0 m/s
Borde libre	0,3 – 0,4
Coefficiente de rugosidad de Manning	0,02 dependerá del material de construcción (para tubo PVC)

4.3.4 Criterio para rejillas

Tabla 8: Diseño para las rejillas de la planta de tratamiento de aguas residuales (Isla Isabela).

Parámetro	Valor
Velocidad del flujo	0,6m/s a 1,4m/s
Rejilla fina	¼ y ½ pulgada (0,6 a 1,3 cm)
Grado de inclinación rejillas	60°

4.4 Análisis del agua residual tratada

Posterior al tratamiento del agua residual doméstica en cuestión, la planta de tratamiento de aguas residuales permitió una depuración exitosa de los parámetros que estaban inicialmente por encima del Límite Máximo Permisible, tal y como se detalla en la Tabla 6, donde tenemos una disminución potencial de la concentración de Coliformes Fecales a menos de 1,8 NMP/100 ml, una DBO5 de 49 mg/l y una DQO de 109 mg/l.

Tabla 9: Caracterización del agua residual doméstica de la Isla Isabela después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Resultados	Límite máximo permisible	Cumple o No cumple
Aceites y grasas	mg/l	11,7	30	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	49	200	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	109	400	CUMPLE
Coliformes Fecales	NMP / 100ml	<1,8	2000	CUMPLE
Potencial de hidrógeno		6,46	6 a 9	CUMPLE
Temperatura	°C	27,9	<35	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	85	250	CUMPLE

Otros autores, como Peña et al. (2019), con el sistema PTAR presentado, alcanzaron remociones de más del el 82 % en la DBO_{5,20} y del 99.99 % en el NMP de coliformes, similar a lo obtenido en el presente trabajo, donde hubo porcentajes de remoción del 89,5% para la DBO₅, 99,99% para coliformes fecales y 78,56% para DQO, en la PTAR propuesta para Puerto Villamil en la Isla Isabela-Galápagos.

5. CONCLUSIONES

- ❖ El diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la Isla Isabela constituye una alternativa sostenible que permite el tratamiento de los grandes volúmenes de efluentes residuales domésticos que no son tratados en el sector.
- ❖ De las 15 muestras realizadas de test de jarras, el tratamiento óptimo fue la dosis de 4 ml de sulfato de aluminio, el cual se obtuvo un porcentaje de remoción elevada, además con el 1% de la solución de hipoclorito de sodio se logró la eliminación de los coliformes totales presentes en el agua residual original.
- ❖ La gran mayoría de aguas residuales en el país no cumplen con las normas ambientales vigentes, porque exceden los límites máximos permisibles en parámetros como DBO₅, DQO y presencia de patógenos como Coliformes fecales.
- ❖ El diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en este trabajo de investigación permitió una disminución de 89,5% para la DBO₅, 99,99% para coliformes fecales y 78,56% para DQO, siendo una opción rentable y sostenible para el tratamiento de este tipo de efluentes en la Isla.

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Para implementar un mejor sistema en la planta de tratamiento de aguas residuales, se podría añadir más variables para analizar, como el análisis de las composiciones de los desechos, niveles de contaminantes, flujos de agua, y variaciones estacionales
- ❖ Realizar estudios de sostenibilidad ambiental que exploren opciones para la reutilización de agua tratada, la generación de energía renovable, la minimización de residuos y otras prácticas sustentables.
- ❖ Efectuar más análisis que dependan de la adaptación al cambio climático, como el aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos.
- ❖ Evaluar la participación económica del diseño, realizando un análisis de costos para determinar la viabilidad financiera del proyecto a largo plazo y considerando no solo costos de construcción sino también operativos y de mantenimiento.
- ❖ A futuro la tecnología de tanques biológicos en las últimas etapas del proceso en la planta de tratamiento de aguas residuales asegurará una mayor depuración del agua residual doméstica que ha ingresado, permitiendo su uso hacia actividades de riego en sembríos y el uso de biomasa generada como biofertilizantes o en actividades energéticas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Acuerdo N°097 A. (2015).
- Acuerdo N°61. (2015).
- Adjovu, G. E. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques.
- Andreottola, G. R. (2020). Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32649988/>
- Andreottola, G. R. (2020). *Pubmed*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32649988/>
- APHA. (1995). *APHA*. Obtenido de <https://www.standardmethods.org/>
- APHA. (1995). *Standard Methods for the Examination of water and Wastewater* (décimo novena ed.). New York.
- Barrantes, A. L. (06 de 12 de 2022). *Tecnosolucionescr*. Obtenido de <https://tecnosolucionescr.net/blog/695-la-importancia-del-color-en-el-agua-como-parametro-de-calidad>
- Bryan R. Swistock, W. S. (19 de 10 de 2020). *PennState Extension*. Obtenido de <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- cip. (2021). *cip*. Obtenido de <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>
- Clubiagua*. (09 de 04 de 2018). Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Recuperado el 2023
- Cromtek*. (03 de 01 de 2022). Obtenido de <https://www.cromtek.cl/2022/01/03/que-son-los-solidos-suspendidos-y-como-se-miden/>
- Cuadra, R. C. (08 de 06 de 2020). *Tecnosoluciones*. Obtenido de <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisicos-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>
- ESPOL*. (2019). Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/2/GRASASYACEITES.doc>
- Fernández, J., & Curt, M. (2014). *Métodos Analíticos para aguas residuales*. EDITAN.
- HACH. (2002). *Manual de análisis de agua* (tercera ed.). Loveland, colorado: HACH COMPANY.
- Herrero, R. (13 de 03 de 2017). *Clubiagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/raul-herrero/aspectos-aguas-residuales-que-quizas-no-conocias>

- IDEAM. (2006). Conductividad eléctrica en el agua. 4 a 7 .
- IDEAM. (2007). Demanda Bioquímica de Oxígeno - 5 días - INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA . 2-13.
- IDEAM. (2007). Demanda Química de Oxígeno por refluo cerrado y volumetría. 6-9.
- IDEAM. (2007). Determinación de aceite y grasas. 3-8.
- Jorge, L. R. (15 de 12 de 2020). *Club iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Jorge, L. R. (15 de 12 de 2020). *Clubiagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Labomersa. (14 de 09 de 2021). Obtenido de <https://labomersa.com/2021/09/14/por-que-es-importante-dqo-demanda-quimica-de-oxigeno-y-dbo-demanda-biologica-de-oxigeno-en-analisis-de-aguas/>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos. (06 de 08 de 2014).
- Mitra, A. (04 de 2020). *Eco-restoration of River Ganga water quality during COVID-19 lockdown period using Total Coliform (TC) as proxy*.
- NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. (s.f.). LIBRO VI ANEXO 1.
- NTE INEN 2169. (2013).
- Omega. (2023). Obtenido de <https://mx.omega.com/prodinfo/medidores-de-pH.html>
- Osorio-Rivera, M. A., Carrillo-Barahona, W. E., Negrete-Costales, J. H., Loo-Lalvay, X. A., & Riera-Guachichulca, E. J. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas*.
- Padilla, R. (14 de 09 de 2020). *Linkedin*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/medici%C3%B3n-de-concentraci%C3%B3n-ox%C3%ADgeno-en-el-agua-rodolfo-padilla>
- Quiroz Fernández, L. S. (2018). *Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador*.
- REGLAMENTO LEY DE REGIMEN ESPECIAL DE LA PROVINCIA DE GALAPAGOS. (2017).
- REGLAMENTO LEY RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. (21 de 08 de 2015).
- Rout, P. R. (2021). *Treatment technologies for emerging contaminants in wastewater treatment plants: A review. Science of the Total Environment*.
- UNESCO. (2021). *UNESCO*. Obtenido de <https://es.unesco.org/biosphere/lac/galapagos#:~:text=La%20flora%20y%20fauna%20nativa,y%20Ramsar%20en%202001>
- Upo. (2019). Obtenido de <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/quimbiotec/FQpractica5.pdf>
- Vernaza, W. P.-H. (06 de 04 de 2021). doi:<https://doi.org/10.18272/esferas.v2i.2026>

Wang, J. W. (2018). *MDPI*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/21/3542>

Wei Jie Lee, P. S. (2021). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128230312000112#!>

Wu, X. Z. (2022). *Wastewater treatment plants act as essential sources of microplastic formation in aquatic environments.*

WWF. (01 de 04 de 2016). *WWF*. Obtenido de <https://www.wwf.org.ec/?264791/El-tratamiento-biologico-de-aguas-residuales-fundamento-de-una-comunidad-saludable>

WWF. (1 de abril de 2016). *WWF*. Recuperado el 9 de 5 de 2023, de WWF: <https://www.wwf.org.ec/?264791/El-tratamiento-biologico-de-aguas-residuales-fundamento-de-una-comunidad-saludable>

8. APÉNDICE/ANEXOS

- Tabla de descarga un cuerpo de agua marina

Fuente: Acuerdo Ministerial 097-A Anexos TULSMA

TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) DESCARGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Aceites y Grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0	30,0
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro total	CN	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20	* Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	200,0	400
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	400,0	600
Hidrocarburos Totales de Petróleo.	TPH	mg/l	20,0	20,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno Total kjedahl	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	250,0	250,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/l	50,0	50,0
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	µg/l	100,0	100,0
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	°C		< 35	< 35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

* La apreciación del color se es tima sobre 10 cm de diluida.

- Composición típica del agua residual doméstica bruta

Fuente: Características de las aguas residuales

TABLA 3-16
Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1.200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1.000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales ^b	n.º/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	<100	100-400	>400

^a Los valores se deben aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro.

^b Consultar la Tabla 3-18 para obtener los valores típicos correspondientes a otros microorganismos.

LECTURAS DE MUESTRAS IN SITU

- Recoger el agua residual doméstica:



- Lectura de Oxígeno Disuelto:



- Lectura de Potencial de Hidrogeno:



- Lectura de Temperatura:



- Lectura de Conductividad:



- Lectura de Salinidad:



TOMA DE MUESTRAS

- Rótulo de envases para el análisis:



- Muestra para los análisis físico-químicos:





TABLA DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

- Informe de los análisis realizados por el laboratorio acreditado PSI



INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL

RA-LABPSI-23 1906

Para:	GIL FRANCO ALFREDO MISAEI
Dirección de la empresa:	Matriz - Isla Isabela, Provincia de Galapágos.
Representante legal:	—
Solicitado por:	Alfredo Gil
Toma de muestra efectuada por:	CLIENTE
Método de muestreo:	—
Sitio de muestreo:	Agua residual doméstica - Isla Isabela
Posición geográfica:	Norte: — Este: —
Fecha de muestreo:	2 de julio del 2023
Hora de muestreo:	12:20:00
Tipo de muestra:	Residuales Domésticas
Código de la muestra:	1906
Fecha de recepción de la muestra:	3 de julio del 2023
Analizado por:	Cynthia Almeida, Maria Zambrano, Nidia Sánchez, Yaritza Crespín,
Fecha de realización de ensayos:	3 de julio al 11 de julio del 2023
Emisión del informe:	11 de julio del 2023

Tabla 1. Resultados del análisis físico-químico					
Parámetros	Unidades	Resultados	U k=2 ±	**Límite máximo permisible	Método de análisis
Aceites y Grasas	mg/l	11,7	1,872	—	EPA 413.2 PEE/LAB-PSI/08
Coliformes Fecales	NMP/100ml	22000000	—	—	SM 23,2017 9221 E-2 PEE/LAB-PSI-81
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	465	69,75	—	SM 5210 B, Ed.23 PEE/LAB-PSI/04
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	509	76,2794	—	EPA 410.4 PEE/LAB-PSI/03
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/l	85	17	—	EPA 160.2 PEE/LAB-PSI/02

Los ensayos marcados con () no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE. (a) Fuera del rango de acreditación. U. Incertidumbre.

TEST DE JARRA

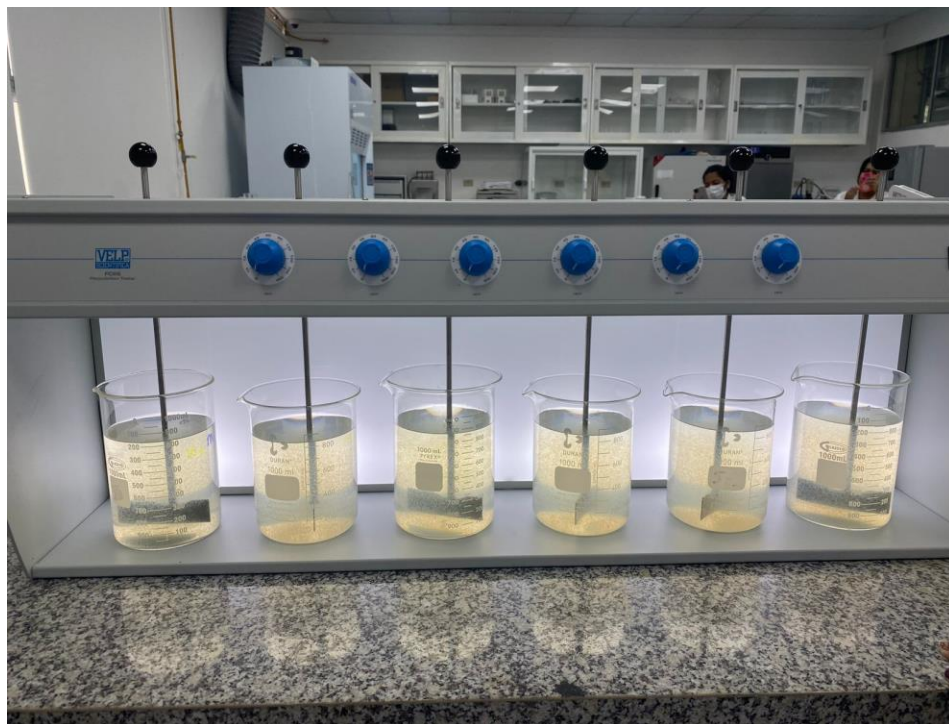
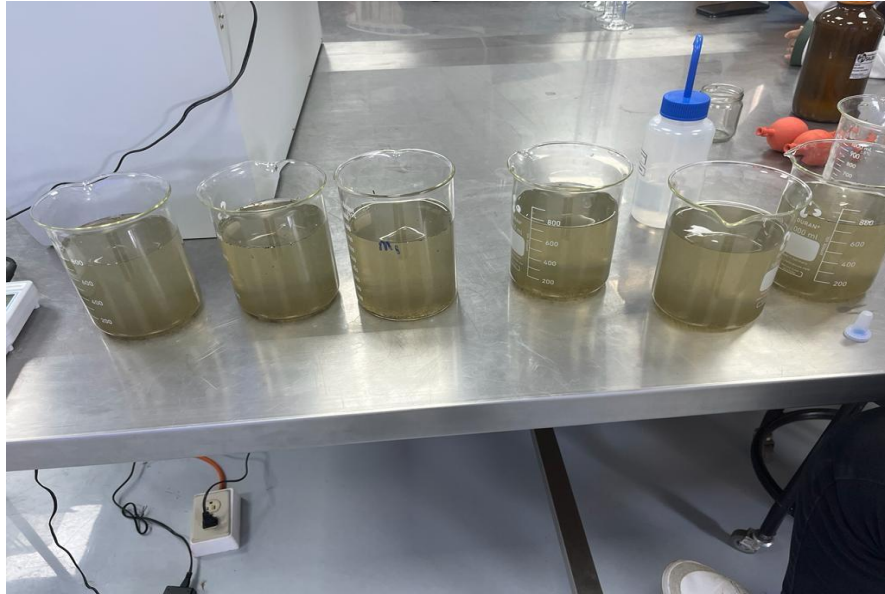
- Lectura de pH de la muestra de agua residual doméstica:

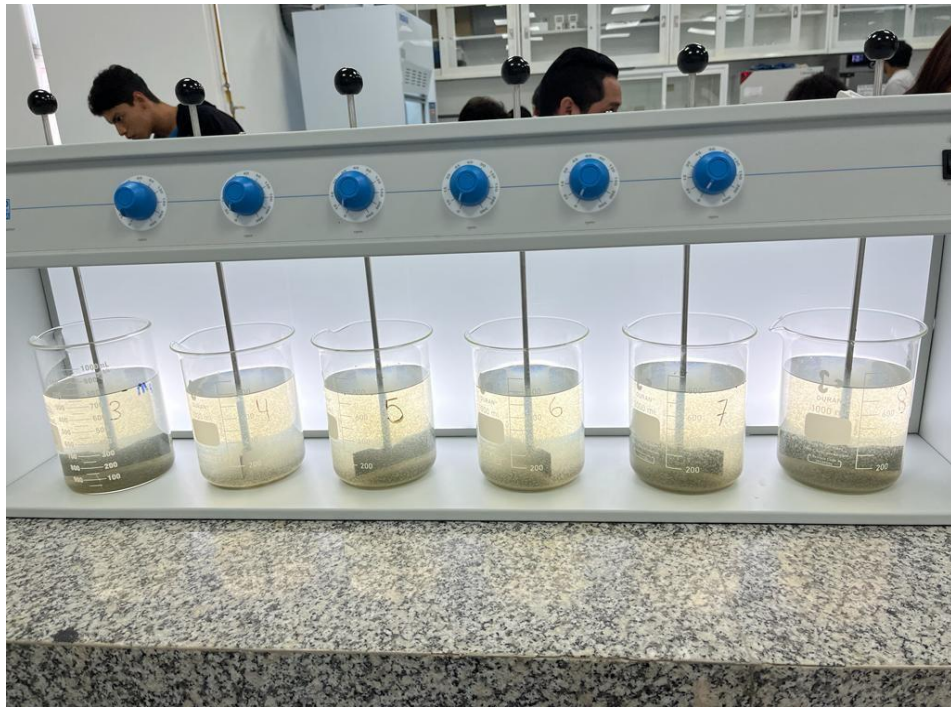


- Preparación del coagulante (Sulfato de aluminio):

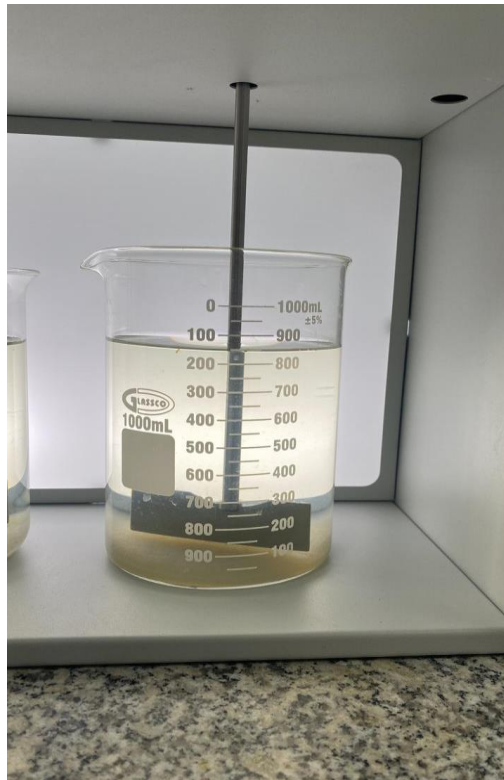


- Pruebas de jarras:





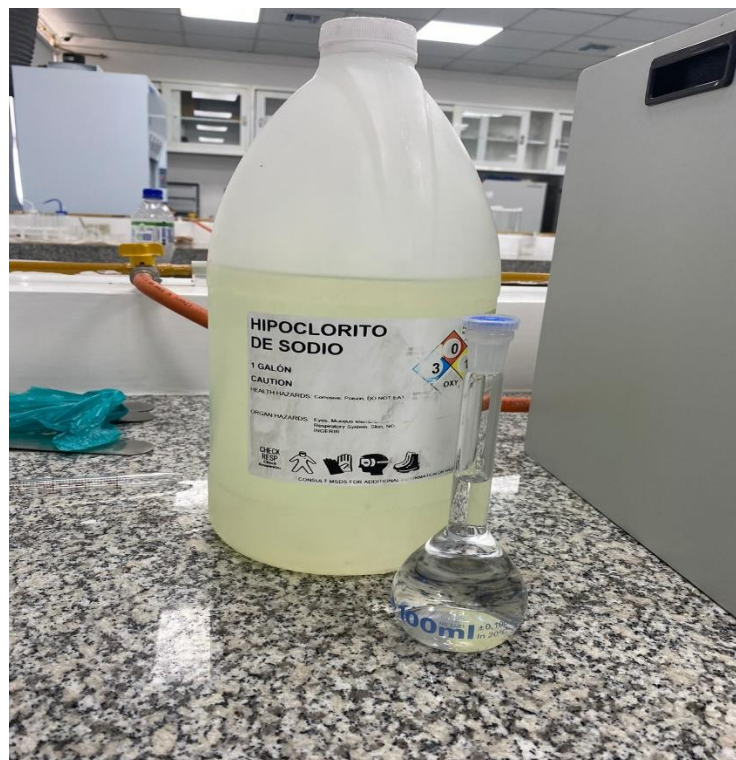
- Dosis óptima (4ml):



- Filtración de la muestra:



- Proceso de desinfección (Añadimos Hipoclorito de sodio):

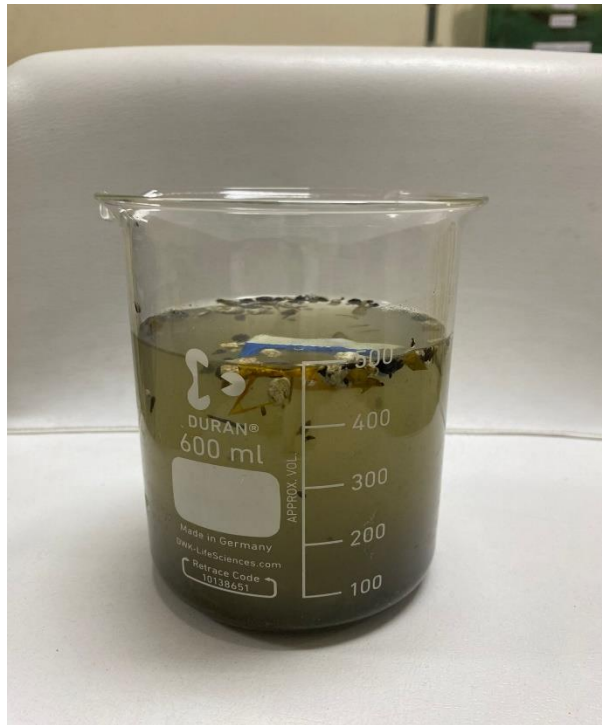




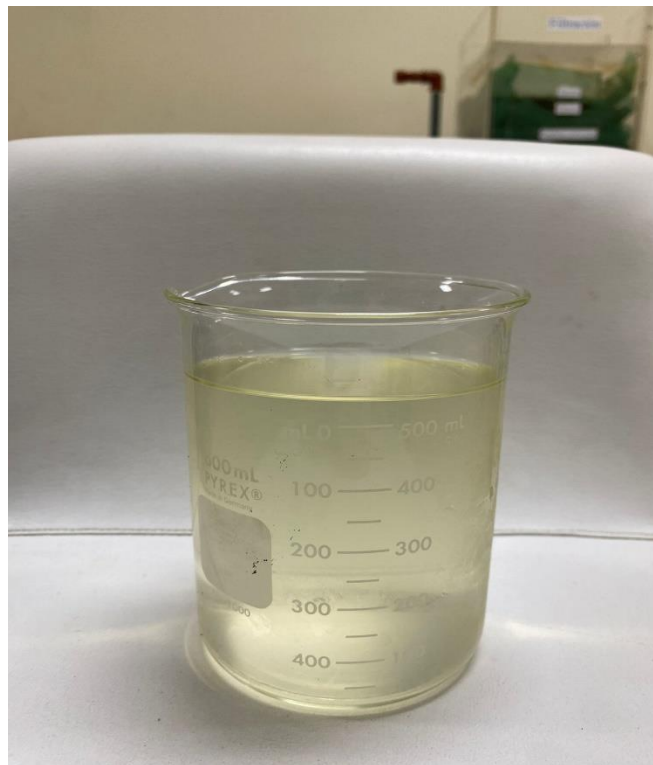
- Lectura de pH del agua tratada:



- Muestra del agua residual doméstica antes de ser tratada:



- Muestra del agua residual doméstica tratada:



- Comparación de las muestras:



- Análisis de agua residual doméstica tratada para llevar al laboratorio y realizar los análisis físicos-químicos:



TABLA DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TRATADA

- Informe de los análisis realizados por el laboratorio acreditado PSI



INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL

RA-LABPSI-23 2127

Para:	GIL FRANCO ALFREDO MISAEI
Dirección de la empresa:	Matriz - Isla Isabela, Provincia de Galapágos.
Representante legal:	=
Solicitado por:	Alfredo Gil
Toma de muestra efectuada por:	CLIENTE
Método de muestreo:	=
Sitio de muestreo:	Agua residual doméstica - Isla Isabela
Posición geográfica:	Norte: --- Este: ---
Fecha de muestreo:	26 de julio del 2023
Hora de muestreo:	11:00:00
Tipo de muestra:	Residual Doméstica
Código de la muestra:	2127
Fecha de recepción de la muestra:	26 de julio del 2023
Analizado por:	Nidia Sánchez, Yaritza Crespin,
Fecha de realización de ensayos:	26 de julio al 1 de agosto del 2023
Emisión del informe:	1 de agosto del 2023

Tabla 1. Resultados del análisis físico-químico

Parámetros	Unidades	Resultados	U k=2 ±	**Límite máximo permisible	Método de análisis
Coliformes Fecales	NMP/100ml	<1,8	—	—	SM 23,2017 9221 E-2 PEE/LAB-PSI-81
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	49	11,316	—	SM 5210 B, Ed.23 PEE/LAB-PSI/04
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	109	16,4117	—	EPA 410.4 PEE/LAB-PSI/03

Los ensayos marcados con () no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE. (a) Fuera del rango de acreditación. U: Incertidumbre.