

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA HOSTERÍA CUICOCHA

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL QUE PASA POR LOS DIFERENTES PROCESOS DE LA PTAR DE LA HOSTERÍA CUICOCHA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA SUPERIOR
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

VANESSA KATHERINE BAYAS NARANJO

vanessa.bayas@epn.edu.ec

vanessakatherine345@gmail.com

DIRECTOR: ING. ANTONY CRISTOFER RAMOS RIVADENEIRA M.Sc.

antony.ramos@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Vanessa Katherine Bayas Naranjo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

VANESSA BAYAS

vanessa.bayas@epn.edu.ec

vanessakatherine345@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Vanessa Katherine Bayas Naranjo, bajo mi supervisión.

ING. ANTONY RAMOS

DIRECTOR

antony.ramos@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Vanessa Katherine Bayas Naranjo

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi familia, quienes son los pilares fundamentales en mi vida: mi madre, Catherine Naranjo; mi padre, Fernando Bayas, quienes me han educado de la mejor manera y me han brindado su apoyo incondicional para alcanzar mis objetivos; y mis hermanos, Fernando y Karen. A cada uno de ustedes, les dedico este trabajo como expresión de mi profundo agradecimiento por ser mi principal apoyo y mi constante inspiración.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por ser mi guía y fortaleza durante el proceso de este proyecto. Su amor y acompañamiento han sido fundamentales para superar los desafíos y alcanzar este logro académico.

De igual forma, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres por su apoyo, su amor y sacrificios que hicieron posible mi educación y este logro académico.

No puedo dejar de mencionar a mi amigo Javier que ha estado en la trayectoria de este camino, por su constante apoyo y a mis compañeras de proyecto, quienes compartieron conmigo ideas, discusiones y momentos de inspiración que enriquecieron este proyecto.

Agradezco especialmente a los ingenieros Antony Ramos, Eduardo Vásquez y Santiago Guerra por su orientación experta, paciencia inquebrantable, apoyo constante y los valiosos consejos y conocimientos que fueron fundamentales para dar forma y llevar a cabo este proyecto.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a la Hostería Cuicocha y a su personal, por su apertura, colaboración y confianza para el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE.....	1
1.1	Objetivo general.....	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Alcance.....	2
1.4	Marco teórico.....	2
	Definición de aguas residuales.....	2
	Plan de muestreo para aguas residuales.....	4
	Evaluación de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos en aguas residuales.....	5
	Normativas Vigentes.....	8
	Operaciones unitarias en una planta de tratamiento de aguas residuales.....	9
2	METODOLOGÍA.....	9
2.1	Levantamiento de información mediante visitas a la Hostería Cuicocha.....	9
	Visitas Técnicas a las instalaciones de la PTAR de la Hostería Cuicocha.....	9
2.2	Caracterización del agua residual que pasa por los diferentes procesos de la PTAR de la Hostería Cuicocha.....	10
	Elaboración del plan de muestreo.....	10
	Análisis de los sitios para el muestreo.....	11
	Detalles del sitio de muestreo.....	11
	Definición de normativas para muestreo.....	11
	Medición de parámetros <i>In situ</i>	12
	Recolección de muestras.....	15
	Preservación, transporte y entrega de muestras.....	17
	Determinación del caudal.....	18
	Medición de parámetros en Laboratorio.....	19
	Análisis de parámetros físicos en el Laboratorio.....	19
	Análisis de parámetros químicos en el Laboratorio.....	20

Análisis de parámetros microbiológicos en el Laboratorio.....	23
2.3 Verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097-A mediante la comparación de los resultados de la caracterización	24
3 RESULTADOS	26
3.1 Levantamiento de información mediante visitas a la Hostería Cuicocha	26
3.2 Caracterización del agua residual que pasa por los diferentes procesos de la PTAR de la Hostería Cuicocha	28
Caudal de aguas negras	28
Caudal de aguas grises	29
Resultados de caracterizaciones en los diferentes puntos de muestreo.....	29
3.3 Verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097-A mediante la comparación de los resultados de la caracterización	31
Comparación de parámetros In situ con normativa ambiental.....	31
Comparaciones de parámetros <i>Ex situ</i> con normativa ambiental.....	32
Eficiencias de remoción de carga contaminante en las operaciones unitarias de la PTAR.....	40
4 CONCLUSIONES	46
5 RECOMENDACIONES.....	47
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
7 ANEXOS.....	52
ANEXO I. Certificado de originalidad Turnitin	52
ANEXO II. Corresponde a la Tabla 2 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A:	53
ANEXO III. Plan de muestreo	55
ANEXO IV. Cálculo de caudales	58
ANEXO V. Cálculos para determinar coliformes fecales, sólidos totales, disueltos y suspendidos, alcalinidad, acidez y dureza.	60

ECUACIONES

Ecuación 1: Determinación de sólidos totales y disueltos (UTP, 2006)	19
Ecuación 2: Determinación de sólidos suspendidos (UTP, 2006)	20
Ecuación 3: Determinación de alcalinidad a la fenolftaleína (IDEAM, 2012)	22
Ecuación 4: Determinación de la alcalinidad al anaranjado de metilo (IDEAM, 2012)	22
Ecuación 5: Determinación de la eficiencia de remoción	24

TABLAS

Tabla 1: Muestras tomadas para cada operación unitaria de la planta de tratamientos de la Hostería Cuicocha	11
Tabla 2: Equipos, parámetros y métodos usados en campo.....	13
Tabla 3: Materiales usados en campo para el muestreo.....	16
Tabla 4: Preservantes utilizados para cada parámetro	17
Tabla 5: Parámetros físicos medidos en Laboratorio	19
Tabla 6: Parámetros químicos medidos en Laboratorio	20
Tabla 7: Parámetros microbiológicos medidos en Laboratorio.....	23
Tabla 8: Número Más Probable en diluciones (1:10, 1:100, 1:1000)	24
Tabla 9: Turistas que utilizan el servicio sanitario de la Hostería Cuicocha	28
Tabla 10: Turistas que utilizan el servicio de restaurante de la Hostería Cuicocha.....	28
Tabla 11: Resultados de las caracterizaciones realizadas en las operaciones unitarias de la PTAR de la Hostería Cuicocha	30
Tabla 12: Parámetros medios In situ y comparación con la normativa.....	31
Tabla 13: Resultados de la caracterización del agua residual al ingreso a la trampa de grasas (P1)	32
Tabla 14: Resultados de la caracterización del agua residual a la salida de la trampa de grasas e ingreso al sedimentador (P2)	34
Tabla 15: Resultados de la caracterización del agua residual a la salida del sedimentador e ingreso al humedal (P3)	36
Tabla 16: Resultados de la caracterización del agua residual del tanque de bombeo en el que se mezclan aguas negras y grises que pasaron por el humedal con aguas negras sin tratamiento (P4).....	37
Tabla 17: Resultados de la caracterización del agua residual al ingreso del 6to pozo de infiltración (P5).....	39
Tabla 18: Eficiencias de remoción en la trampa de grasas	40
Tabla 19: Eficiencias de remoción en el sedimentador	42

Tabla 20: Eficiencias de remoción en el humedal.....	43
Tabla 21: Eficiencias de remoción en el sistema de infiltración	44
Tabla 22: Límites de calidad admisibles para preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces	53
Tabla 23: Corresponde a la Tabla 9 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	54
Tabla 24: Plan de muestreo para la recolección de muestras en la Hostería Cuicocha ..	55
Tabla 25: Determinación del Número Más Probable	60

FIGURAS

Figura 1: Medición con el multiparámetros – Elaboración propia	12
Figura 2: Medición de turbidez con el Turbidímetro – Elaboración propia.....	13
Figura 3: Equipo GPS – Elaboración propia.....	13
Figura 4: Equipo turbidímetro – Elaboración propia	13
Figura 5: Equipo multiparámetro – Elaboración propia	14
Figura 6: Tiras de pH (Paula, 2014).....	14
Figura 7: Tipos de botellas ámbar utilizadas para el muestreo – Elaboración propia	16
Figura 8: Piseta (Alcántara, 2023)	16
Figura 9: Papel tissue (Alcántara, 2023).....	17
Figura 10: Coolers conservación de muestras (Clemente, 2022).....	17
Figura 11: Muestreador (Scharlab, s.f)	17
Figura 12: Puntos de muestreo - Google Earth	26
Figura 13: Entrada de la trampa de grasas – Elaboración propia.....	26
Figura 14: Salida de la trampa de grasas – Elaboración propia	27
Figura 15: Salida del sedimentador – Elaboración propia.....	27
Figura 16: Tanque de bombeo – Elaboración propia	27
Figura 17: Pozo de infiltración – Elaboración propia	28

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito caracterizar las aguas residuales de la Hostería Cuicocha las cuales pasan por diversos procesos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del lugar. La Hostería está situada en la provincia de Imbabura, al norte de Ecuador, específicamente dentro de la Reserva Ecológica Cotacachi- Cayapas.

Para obtener información detallada sobre el efluente vertido a la planta de tratamiento, se realizaron varias visitas a la hostería con el objetivo de recolectar muestras de agua en distintas etapas de las operaciones unitarias. Las muestras fueron trasladadas a los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, siguiendo estrictamente los protocolos de muestreo y seguridad establecidos.

Durante las visitas, se llevaron a cabo ensayos *In situ* para medir diversos parámetros como temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad. Una vez recolectadas las muestras y llevadas al laboratorio se inició con el proceso de caracterización en donde se midieron parámetros como Aceites y Grasas, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos, Nitratos, Nitritos, Acidez, Alcalinidad, Fosfatos, Sulfatos, DQO, DBO, Nitrógeno amoniacal, Dureza Total, Dureza Cálcica, Coliformes Fecales y Tensoactivos. Posteriormente, se compararon los resultados obtenidos con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, con el propósito de verificar si los parámetros analizados de las aguas residuales de la hostería cumplen con la normativa ambiental vigente.

Se determinaron los caudales de ingreso y salida que permiten a la unidad de tratamiento de efluentes de la hostería Cuicocha opere de manera eficiente. Este análisis reveló que, a pesar de la reducción de la carga contaminante, la infraestructura actual de la PTAR no cumple con los valores establecidos en la normativa.

PALABRAS CLAVE: Caracterización, Agua residual, Normativa Ambiental, Parámetros ambientales, Caudal.

ABSTRACT

This work aims to characterize the wastewater from the Hostería Cuicocha, which undergoes various processes at the local Wastewater Treatment Plant (WWTP). The Hostería is located in the province of Imbabura, in northern Ecuador, specifically within the Cotacachi-Cayapas Ecological Reserve

To obtain detailed information about the effluent discharged to the treatment plant, several visits were made to the Hostería Cuicocha to collect water samples at different stages of the unit operations. The samples were transported to the laboratories of the Escuela Politécnica Nacional, strictly following the established sampling and safety protocols.

During the visits, in situ tests were conducted to measure various parameters such as temperature, pH, dissolved oxygen, turbidity, and conductivity. Once the samples were collected and taken to the laboratory, the characterization process began, measuring parameters including oils and fats, total solids, dissolved solids, suspended solids, nitrates, nitrites, acidity, alkalinity, phosphates, sulfates, Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), ammoniacal nitrogen, total hardness, calcium hardness, fecal coliforms, and surfactants. Subsequently, the results were compared with the permissible limits established in Ministerial Agreement 097-A to verify whether the analyzed parameters of the hostería's wastewater comply with the current environmental regulations.

The inflow and outflow rates required for the wastewater treatment unit at Hostería Cuicocha to operate efficiently were determined. This analysis revealed that, despite the reduction in contaminant load, the current infrastructure of the wastewater treatment plant (WWTP) does not meet the values established in the regulations.

KEYWORDS: Characterization, Wastewater, Environmental Regulation, Environmental parameters, Flow rate.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

La Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas se localiza en Quiroga, Cotacachi, Imbabura, y se extiende hasta la Dirección Provincial del Ambiente de Esmeraldas (Ministerio del Ambiente, 2007). En el área de Imbabura se disponen de cinco distritos de vigilancia y control destinados a salvaguardar y preservar su integridad: Lita, Piñan, Cuicocha, Cuellaje y Naranjito. Posee una extensión de 243.638 hectáreas.

En uno de los cinco distritos (Cuicocha) se encuentra un destino perfecto para quienes desean una experiencia única y tranquila en medio de la naturaleza, este lugar es conocido como “La Hostería Cuicocha” la cual toma su nombre por estar situada dentro de La Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas a pocos kilómetros de la ciudad de Cotacachi. Entre las actividades que ofrece la hostería está el alojamiento para lo cual, los turistas cuentan con 5 habitaciones para su descanso; sus extensas instalaciones ofrecen salones para cualquier tipo de eventos sociales con una capacidad de hasta 120 personas, espacios de parqueadero privado, baños públicos, cafetería, restaurante con vista a la laguna, cancha de vóley, cabañas ecológicas y excursiones en lancha, buceo o kayak alrededor del cráter volcánico (MAATE, 2014).

La gestión inadecuada de los desechos líquidos generados por la hostería en sus actividades diarias podría generar impactos ambientales negativos, debido a que probablemente el proceso de tratamiento no está siendo efectivo, ya que la sobrecarga del sistema causa desbordamientos de aguas residuales en los tanques de infiltración en la etapa final sin que se llegue a cumplir por completo el proceso de tratamiento, causando contaminación del suelo y un alto riesgo de contaminación del cuerpo de agua dulce que se encuentra a unos metros de la planta de tratamiento.

El humedal existente podría no estar funcionando correctamente para remover nutrientes debido a la sobrecarga, es decir, si el volumen de aguas residuales que ingresa al humedal excede su capacidad de tratamiento, los nutrientes como nitrógeno y fósforo pueden acumularse y no ser removidos eficientemente. Además, si existe un incremento de alcalinidad en un humedal se debe al contacto de diversos procesos físicos, químicos y biológicos (adsorción, filtración, nitrificación, descomposición, etc.) que transforman y liberan compuestos alcalinos en el agua tratada (Hoffmann et al., 2011).

1.1 Objetivo general

Comprobar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente mediante la caracterización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Hostería Cuicocha para el análisis de su eficiencia.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar un levantamiento de información mediante visitas a la Hostería Cuicocha.
2. Caracterizar el agua residual que pasa por los diferentes procesos de la PTAR de la Hostería Cuicocha.
3. Verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente mediante la comparación de los resultados de la caracterización con los límites máximos permisibles para descargas líquidas a cuerpos de agua dulce establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A

1.3 Alcance

El presente proyecto abarcará diferentes aspectos como la caracterización de las aguas grises y negras para ser tratadas y procesadas en la instalación de tratamiento de aguas residuales de la Hostería Cuicocha, que será fundamental para analizar la calidad, la cantidad y la transformación del agua a lo largo de su tratamiento. Además, determinar la eficiencia en la reducción de contaminantes en cada operación unitaria de la PTAR, para ello se compararán los resultados con los estándares ambientales y verificar que el efluente tratado cumpla con la normativa del Acuerdo Ministerial 097-A de las Tablas 2 y 9 para que su descarga final sea segura.

1.4 Marco teórico

Definición de aguas residuales

Las aguas residuales se generan por actividades humanas, como industrias, turismo, agricultura y el comercio. Estas aguas contienen diversas sustancias contaminantes que las hacen inadecuadas para su reutilización inmediata o retorno al medio ambiente sin tratamiento. La cantidad y calidad de estas aguas están determinadas por el estilo de vida y nivel socioeconómicos de los habitantes (Laura F. Zarza, 2024).

En áreas recreativas como hosterías, es crucial asegurar la salud pública y la preservación del entorno natural, ya que estos lugares generan contaminantes físicos, químicos y

biológicos. Por lo tanto, es crucial que las hosterías dispongan de sistemas de tratamiento adecuados para impedir la contaminación de las fuentes hídricas cercanas y preservar la calidad del suelo. La selección de estos sistemas está influenciada por factores como el tamaño del establecimiento, su ubicación geográfica y las normativas locales vigentes (A Hernández García. 2017).

Tipos de aguas residuales de acuerdo con el origen

Según su origen, los efluentes se clasifican en:

- **Domésticas:** provienen de hogares y diversas instalaciones públicas y privadas. Compuestas por aguas que han sido utilizadas para cocinar, bañarse, lavandería y desechos humanos de los inodoros. Estas aguas contienen diversos contaminantes, como bacterias materia orgánica, sólidos productos químicos de limpieza y nutrientes como nitrógeno y fósforo (Hidrotec, 2024).
- **Agrícolas:** surge de la acción de las aguas pluviales y de riego que arrastran los residuos agrícolas. Esta agua contaminada se integra en diversas etapas del ciclo del agua, como la escorrentía superficial y subterránea, transportando consigo los contaminantes (Hidrotec, 2024).
- **Industriales:** son conocidas por su diversidad y variabilidad. La diversidad es notable ya que cada industria presenta condiciones particulares e incluso dentro de un mismo sector se observa una amplia gama de procesos y características. La descarga de aguas residuales de una industria puede ocurrir de forma constante o periódica, con intervalos que pueden ser regulares (diarios, semanales, mensuales, anuales, etc.) (Hidrotec, 2024).

Para abordar eficazmente la contaminación causada por las aguas residuales industriales, es necesario comprender el tipo de industria, sus procesos y sus prácticas habituales (Hidrotec, 2024).

Características generales de los efluentes en Hosterías

Estos líquidos son generados por diferentes actividades humanas que afectan a su calidad, incluyendo la presencia de grasas, detergentes, materia orgánica, entre otros contaminantes. Durante el tratamiento de estas aguas, se identifican fundamentalmente dos tipos:

- **Aguas grises:** provienen del lavado de utensilios de cocina, duchas, lavabos, lavadoras de ropa y lavaderos. Su nombre se debe a que se encuentra en un punto

intermedio entre las aguas negras y el agua potable, además de tener un aspecto turbio. Estas aguas pueden ser reutilizadas en el campo de regadío ecológico, ya que no contienen residuos de inodoros (SAGUAPAC, 2022).

- **Aguas negras:** están contaminadas principalmente por muestras fecales y orina. Transportan sustancias originadas del inodoro que pueden presentarse como disueltas o suspendidas. Pueden proceder de fuentes minerales u orgánicas. Las sustancias minerales se derivan de materiales como la arcilla, arena, carbón y fosfatos. Por otro lado, en el origen orgánico implica que los microorganismos en el agua consumen materia orgánica en descomposición, lo que provoca malos olores, descomposición y una apariencia física desagradable (SAGUAPAC, 2022).

Plan de muestreo para aguas residuales

El plan de muestreo se basa en el enfoque del objetivo, es decir se definirá el propósito del muestreo en el cual se determinará la medición del volumen y calidad de agua, examinar si el líquido a analizar cumple o no con las normas ambientales vigentes, evaluar diferentes métodos de tratamientos de dichas aguas y evidenciar la presencia de contaminantes (Delgado, 2023).

Características de un plan de muestreo para aguas residuales

Los planes de muestreo varían de acuerdo al tipo de agua y métodos a usar; algunos de ellos son: muestreos puntuales, que se basan en recolectar muestras en una fecha y ubicación específica, y muestreos compuestos, estos se basan en recolectar diferentes muestras en diferentes periodos de tiempo y se mezclan las muestras para obtener una muestra general (Pzarate, 2024).

Tipos de muestreo

- **Muestra Simple o Puntual**
Refleja las características naturales del cuerpo de agua en el lugar, tiempo y condiciones específicas en que fue recogida, lo que permite su análisis detallado. Se emplea tanto en aguas de suministros y efluentes residuales (Fluideco, 2019).
- **Muestra Compuesta**
Reúne muestras simples o puntuales obtenidas en el mismo punto pero en tiempos diferentes. Este método se emplea para calcular concentraciones promedio y evaluar eficiencia de sistemas de tratamiento (Fluideico, 2019).

- **Muestra Integrada**

Se genera al combinar y mezclar muestras simples recogidas en diferentes lugares, pero en el mismo tiempo (Fluideico, 2019).

Métodos de preservación de muestras de aguas recolectadas

La preservación de muestras recolectadas es de vital importancia puesto que se necesita resguardar que los resultados a obtener de los análisis sean los correctos y precisos. Para diferentes parámetros a analizar existen diferentes métodos de preservación tales como: la refrigeración, que es utilizada usualmente para transportar las muestras a temperaturas bajas o para reducir la actividad biológica y la degradación química presentes en las muestras de agua, colocar conservantes químicos como Ácido Sulfúrico, Nítrico, Clorhídrico, cuyo uso dependerá del tipo de análisis que se vaya a realizar, protección contra la luz solar, para esto se almacena la muestra de agua en frascos o envases ámbar y se los coloca dentro de un cooler (INEN 2169, 2013).

Evaluación de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos en aguas residuales

Para conocer los procesos y métodos de tratamientos para las aguas residuales, es importante conocer sus características, ya que la selección del tratamiento adecuado dependerá de los componentes específicos presentes en estas aguas (Samboni, 2007).

Es importante destacar que las aguas residuales no son uniformes; sus componentes varían según su origen y el uso que hayan tenido. Para su evaluación, se emplean métodos tanto cuantitativos como cualitativos. Entre los métodos cuantitativos se encuentran el análisis físico-químico, gravimétrico y volumétrico a través de su composición química. Por otro lado, los métodos cualitativos se emplean para comprender sus propiedades físicas y biológicas (Samboni, 2007).

Parámetros físicos

Entre las características físicas más importantes de los efluentes se encuentran la cantidad de sólidos presentes, sólidos suspendidos, sedimentables, disueltos, así como el color, olor, temperatura, turbiedad y conductividad. Cabe mencionar que, estos parámetros varían de acuerdo a la operación unitaria que atraviese el líquido residual, esto se deberá a que cada proceso cuenta con elementos, equipos o sustancias químicas que favorecerán la reducción o eliminación de los parámetros físicos, por lo tanto, las características

iniciales serán diferentes a los parámetros en las operaciones unitarias finales (Samboni, 2007).

Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos (SS) son partículas o materiales sólidos que permanecen suspendidas dentro del agua, en lugar de disolverse. Estos sólidos pueden tener un origen orgánico o inorgánico y variar en tamaño (AcquaPhi, 2023).

Sólidos Disueltos

A diferencia de los suspendidos, estos sólidos se encuentran completamente integradas al agua, es decir se encuentran unidos al líquido molecularmente o forma de iones (AcquaPhi, 2023).

Color

El color puede cambiar debido a la descomposición de materiales, principalmente orgánicos como la vegetación. Además, materiales inorgánicos como rocas, suelo y piedras también pueden influir en su coloración (O'Donnell, 2022).

Olor

Los olores pueden surgir a causa de la existencia de sustancias extrañas en el agua, tales como materiales orgánicos, gases disueltos y compuestos inorgánicos provenientes de fuentes natural, agrícola y doméstica (O'Donnell, 2022).

Temperatura

La temperatura afecta varios aspectos de su calidad como los olores, reacciones químicas, solubilidad, sabor y viscosidad (O'Donnell, 2022).

Turbiedad

La turbidez se refiere a la capacidad que tiene la luz para atravesar el agua. Aumenta debido a altas concentraciones de limo, arcilla y materia orgánica. El principal inconveniente es que afecta negativamente su apariencia visual ya que tendrá un aspecto desagradable (O'Donnell, 2022).

Parámetros químicos

Principalmente, las propiedades químicas de los efluentes se pueden dividir en tres categorías: materia orgánica, materia inorgánica y gases presentes en estos líquidos (Samboni, 2007).

Materia orgánica

Abarca sustancias de origen biológico que contiene carbono orgánico y puede incluir hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, entre otros. Se encuentra en organismos vivos como en residuos y productos resultantes de la descomposición biológica (Thurman, 2012).

Materia inorgánica

Son compuestos que no contienen carbono orgánico en su estructura molecular, originados por actividades industriales, comerciales o domésticas. Pueden incluir sales disueltas como cloruros, sulfatos, fosfatos, metales pesados, sólidos suspendidos inorgánicos y otros contaminantes derivados de productos químicos e industriales (Tebbutt, 2005).

Gases

Son sustancias que pueden estar disueltas en el agua o formar burbujas dentro de ella. Estos gases provienen de diversas fuentes, como la descomposición de materia orgánica, reacciones químicas y actividades industriales (Spellman, 2008).

Parámetros microbiológicos

Los principales organismos biológicos de las aguas residuales incluyen los siguientes: microorganismos biológicos, organismos patógenos y pruebas de toxicidad. Los microorganismos presentes en el agua, ya sea residual o superficial, se pueden clasificar en eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, siendo predominantes las eubacterias. Los virus presentes en los efluentes se clasifican en función del tipo de persona que los ha infectado.

Los patógenos pueden originarse de desechos humanos contaminados o de individuos que son portadores de alguna enfermedad. A menudo, estos organismos están en cantidades reducidas y son difíciles de identificar, por lo que se recurre al organismo coliforme como indicador debido a su mayor presencia y facilidad de detección (Samboni, 2007).

Coliformes Totales

Estas bacterias residen en el tracto intestinal de humanos y animales de sangre caliente. Su presencia en aguas residuales indica posible contaminación fecal, aunque no todos los microorganismos son necesariamente patógenos (Metcalf & Eddy. et al., 2013).

Coliformes Fecales

Comprende bacterias específicas como *Escherichia coli* que presentan en cantidades elevadas en el intestino humano, sirviendo como un indicador más preciso de contaminación fecal (Metcalf & Eddy. et al., 2013).

Normativas Vigentes

Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Recurso Agua

El “Acuerdo Ministerial N.-097-A, expide en el 2015 el “Anexo 1 del Libro VI Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente referente a la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes al Recurso Agua.” Esta normativa tiene como finalidad prevenir y controlar la contaminación ambiental, especialmente en lo que respecta al recurso hídrico. Su objetivo principal es proteger la calidad del agua para conservar y preservar su uso, así como asegurar la integridad de las personas, los ecosistemas y el medio ambiente en general. Esta normativa, establece los “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce en su Tabla 9 (Ver Anexo II)” (Ministerio del Ambiente, 2015).

NTE INEN 2169 Manejo y Conservación de Muestras

La “Norma INEN 2169:2013” establece criterios y métodos para la gestión y conservación de las muestras de agua recolectadas para evaluar su calidad. Esta norma proporciona directrices detalladas para asegurar que las muestras se manejen y conserven apropiadamente de manera que minimice el riesgo de contaminación durante el proceso de muestreo hasta su análisis en el laboratorio (INEN 2169, 2013).

NTE INEN 2176 Técnicas de Muestreo

La “Norma INEN 2176:2013” determina los requisitos y métodos para el muestreo de agua, así como para la evaluación de las características de aguas naturales, contaminadas y residuales, con el fin de realizar su análisis y descripción. Describe en detalle las técnicas de muestreo para asegurar la representatividad y fiabilidad de las muestras de agua tomadas para su análisis. Esto puede incluir instrucciones sobre la elección de las áreas de muestreo, la frecuencia de muestreo, los recipientes para las muestras, así como los procedimientos para su conservación y transporte, con el objetivo de garantizar la precisión en los resultados del análisis de calidad del agua (INEN 2176, 2013).

NTE INEN 1105 Muestreo para Examen Microbiológico

La “Norma INEN 1105:1983” detalla los cuidados y precauciones en cada fase, desde la recolección y almacenamiento hasta el transporte y preparación de la muestra, para asegurar que los resultados finales del análisis sean lo más precisos posible (INEN 1105, 1983).

NTE INEN 2226 Diseño de los Programas de Muestreo

La "Norma INEN 2226:2000" define los principios generales que deben seguirse al diseñar programas de muestreo para supervisar la calidad del agua, así como para caracterizar y detectar las fuentes de contaminación, incluyendo tanto los sedimentos como los lodos (INEN 2226, 2000).

Operaciones unitarias en una planta de tratamiento de aguas residuales

Las operaciones unitarias son procesos individuales que se llevan a cabo para reducir o eliminar sustancias dañinas en el agua a tratar, con el fin de devolverla al medio ambiente. Estas operaciones cumplen una función específica, pero puede unirse a otra para obtener un tratamiento más eficaz del agua residual. Entre algunas de las operaciones unitarias se tiene las de pre tratamiento en la cual se usa rejillas o rejillas, desarenadores, trampas de grasas, entre otras. Además, cuenta con otras operaciones que van en secuencia como las operaciones primarias, secundarias, terciarias y disposición final, estas se usan de acuerdo al tipo de agua efluente a tratar y a la capacidad del área en donde se instalaría la PTAR (Crodriguez & Crodriguez, 2023).

Importancia de la eficiencia de las operaciones unitarias de una PTAR

La eficiencia en cada una de las operaciones unitarias permite determinar si el sistema está o no en la capacidad de alcanzar el propósito para el cual fue creado; es decir, si la operación unitaria está siendo efectiva y confiable al momento de remover o transformar un contaminante en relación a lo que se espera de aquel equipo (Tchobanoglous, 2014).

2 METODOLOGÍA

2.1 Levantamiento de información mediante visitas a la Hostería Cuicocha

Visitas Técnicas a las instalaciones de la PTAR de la Hostería Cuicocha

Con la finalidad de levantar información inicial previa a la ejecución de la caracterización de las aguas residuales, se llevaron a cabo varias visitas técnicas. En la primera, se realizó el reconocimiento del lugar donde se encontraba el sistema de tratamiento de aguas servidas de la Hostería Cuicocha, se analizó el proceso que sigue la PTAR y se identificaron los puntos de la hostería que se conectaban al sistema de tratamiento. Se comprobó que los puntos de vertido del efluente incluyen los baños públicos, el restaurante del lugar, los lavabos y las duchas de las cabañas.

El proyecto se implementó en la Hostería Cuicocha, en el cual se incluyó la recopilación de información sobre el sistema de tratamiento de aguas servidas de las instalaciones. La primera operación unitaria del sistema identificado es la trampa de grasas, que se encarga de recolectar las grasas provenientes específicamente del área del restaurante. A continuación, las aguas negras de las cabañas se mezclan con el efluente de la trampa de grasas en los tanques de sedimentación. El efluente luego pasa a través de un humedal, donde se lleva experimentando una cierta remoción de contaminantes antes de llegar al pozo de bombeo. Finalmente, el sistema de tratamiento incluye doce pozos de infiltración. Se observó que el efluente no logra llegar a través de los distintos pozos, probablemente debido a que están obstruidos por falta de mantenimiento.

Con base en el reconocimiento de las operaciones unitarias del sistema de tratamiento, se diseñó un plan de muestreo estratégico para identificar y priorizar áreas clave para la recolección de muestras. Para ello se realizó caracterizaciones con el objetivo de evaluar la efectividad de cada etapa del proceso en la remoción de contaminantes y la eficiencia general del sistema de tratamiento, de manera que proporcionaron datos valiosos para optimizar el funcionamiento del sistema y asegurar el cumplimiento de los estándares ambientales. Además, para asegurar una evaluación representativa del efluente, se planificó la recolección de muestras en diferentes condiciones de afluencia turística. Se determinó el caudal de aguas grises y negras, para ello se consideraron tanto días de alta afluencia, como días de baja afluencia, para capturar la variabilidad en el flujo de aguas residuales y la carga de contaminantes. Esta metodología permite una valoración más completa de la eficiencia del sistema de tratamiento en distintas circunstancias operativas y asegura que los resultados reflejen de manera precisa el desempeño del sistema en situaciones de carga variable.

2.2 Caracterización del agua residual que pasa por los diferentes procesos de la PTAR de la Hostería Cuicocha

Elaboración del plan de muestreo

Se realizó una inspección en la planta de tratamiento de la Hostería Cuicocha, situada en la provincia de Imbabura, con el objetivo de desarrollar un plan de muestreo. Durante esta visita, se examinó detalladamente todo el sistema de tratamiento, comenzando con la primera operación unitaria (trampa de grasas) hasta la fase final del tratamiento de agua (pozos de infiltración).

Para más detalles sobre el plan de muestreo, ver Anexo III, que incluye una descripción detallada del mismo.

Análisis de los sitios para el muestreo

En la visita técnica se realizó un recorrido por los diferentes procesos de la PTAR, se identificaron los puntos más apropiados para ejecutar el muestreo del efluente, tomando en cuenta la accesibilidad y relevancia de cada punto. Es así que, los sitios claves para el análisis fueron: el lugar en donde el agua residual ingresa a la trampa de grasas, a la entrada y salida del sedimentador, ingreso y salida al humedal, tanque de bombeo y sexto pozo de infiltración. Es importante mencionar que en el quinto pozo se encontró un reboce de las aguas residuales por lo que se decidió muestrear en el siguiente pozo para determinar el riesgo de contaminación debido a este derrame.

Detalles del sitio de muestreo

Una vez que se analizaron y determinaron los sitios para el muestreo, se tomaron las muestras como se describe en la Tabla 1:

Tabla 1: Muestras tomadas para cada operación unitaria de la planta de tratamientos de la Hostería Cuicocha

Cantidad	Tipo de envase	Finalidad
1	Botella ámbar de 1 L	Análisis de nutrientes (Sólidos Totales, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos, Nitratos, Nitritos, Sulfatos, Acides, Alcalinidad, Fosfatos, DBO)
1	Botella ámbar de 1 L	Análisis de Aceites y Grasas
1	Botella ámbar de 1 L	Análisis de Nitrógeno Amoniacal
1	Botella ámbar de 500 mL	Análisis de SAAM y DQO
1	Botella ámbar de 250 mL	Análisis de dureza total y cálcica
1	Frasco esterilizado	Análisis microbiológicos (Coliformes Totales y Fecales)

Definición de normativas para muestreo

Para la recolección y análisis del efluente de la Hostería Cuicocha, se llevaron a cabo ensayos tanto *in situ* como en laboratorio, siguiendo las siguientes normativas: Acuerdo

Ministerial 097-A, INEN 2169 sobre el Manejo y Conservación de muestras, INEN 2176 sobre las Técnicas de muestreo, INEN 1105 para el Muestreo en Exámenes Microbiológicos, e INEN 2226 sobre Diseño de Programas de Muestreo, las cuales están establecidas para el muestreo de aguas residuales. Se muestrearon 5 puntos clave con el fin de determinar las características que las aguas presentaban en su paso por las diferentes operaciones unitarias de la PTAR.

Medición de parámetros *In situ*

Para llevar a cabo los análisis en ese momento, se utilizaron equipos portátiles de laboratorio diseñados para su uso en campo, como el multiparámetro (Marca HORIBA), turbidímetro (HACH modelo 2100Q) reconocido por su exactitud y fiabilidad, GPS (Marca GARMIN modelo GPSMAP[®] 64st) y tiras de pH (Marca MACHEREY-NAGEL). Los equipos fueron previamente calibrados.

En los diferentes puntos elegidos anteriormente para el muestreo se utilizó el turbidímetro y multiparámetros para determinar la turbidez del agua, la cantidad de oxígeno presente en el agua, los valores de pH, conductividad y temperatura. Para más información sobre los equipos, parámetros y materiales que se usó se observan en las tablas 2 y 3 respectivamente.



Figura 1: Medición con el multiparámetros – Elaboración propia



Figura 2: Medición de turbidez con el Turbidímetro – Elaboración propia

Tabla 2: Equipos, parámetros y métodos usados en campo

EQUIPOS	PARÁMETRO	GRÁFICOS
GPS	Coordenadas de latitud, longitud y altitud	 <p data-bbox="895 1267 1382 1339">Figura 3: Equipo GPS – Elaboración propia</p>
Turbidímetro	Turbidez	 <p data-bbox="930 1805 1350 1877">Figura 4: Equipo turbidímetro – Elaboración propia</p>

<p>Multiparámetro</p>	<p>Oxígeno Disuelto, temperatura y conductividad, pH.</p>	 <p>Figura 5: Equipo multiparámetro – Elaboración propia</p>
<p>Tiras de pH</p>	<p>pH para preservación de muestras</p>	 <p>Figura 6: Tiras de pH (Paula, 2014)</p>

Los parámetros medidos In situ mencionados anteriormente se midieron de la siguiente manera:

- **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno Disuelto se midió en los cinco puntos mencionados anteriormente. Para esto, se tomó una muestra en un recipiente volumétrico y luego de revisar si se encuentra en condiciones correctas de calibración del equipo multiparámetros, se introdujo en el recipiente asegurando que no haya burbujas en el equipo al momento de introducirlo a la muestra, esto se realiza con el fin de evitar interferencias en la medición del valor de oxígeno Disuelto presente en el agua.

- **Potencial Hidrógeno (pH)**

Se utilizaron tiras de pH para las mediciones en todos los puntos de muestreo; así también, para la acidificación para la conservación de las muestras. Se introdujo directamente en la botella una tira de pH y se observó el color que adquirió, para finalmente comparar con las franjas de colores que indican el valor del pH ya sea ácido o alcalino.

- **Temperatura**

La temperatura se midió con la ayuda del multiparámetros en los cinco puntos del muestreo. De manera que, se utilizó un recipiente para tomar la muestra y sumergir los electrodos del equipo. Una vez realizada la medición, se lavó el equipo con abundante agua destilada para que no haya errores en la medición en el siguiente punto de muestreo.

- **Conductividad**

La medición de conductividad fue realizada en los cinco puntos de muestreo previamente definidos, siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la medición de Oxígeno Disuelto y Temperatura.

- **Turbidez**

La turbidez se midió con el turbidímetro en los cinco puntos de muestreo, para lo cual, se tomaron 10 mL en una celda circular y se colocó en el equipo para su respectiva medición. Los resultados obtenidos se expresaron en unidades nefelométricas (NTU), después de ello, se lavó el envase con una gran cantidad de agua previo a medir las siguientes muestras.

Luego de analizar los parámetros se ejecutó el muestreo del agua residual, es por ello que se necesitó de varios materiales como botellas ámbar, etiquetas, botellas de plástico, galones, envases de plásticos estériles, recipiente volumétrico, pisetas con agua destilada, rollo de papel tissue, marcadores, cinta de embalaje, coolers, hielos, muestreador sumergible, brazo de toma de muestras, preservantes como ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Recolección de muestras

Para iniciar con el procedimiento de la obtención de muestras, como método de protección, fue necesario usar mandil, guantes de látex, gafas protectoras y mascarilla. Luego, se procedió a tomar muestras del efluente de la trampa para grasas, para lo cual se introdujo un recipiente volumétrico, se tomó el agua y se realizó el proceso de homogenización de las botellas mediante enjuague por triplicado con el agua residual a muestrear. Se distribuyó la muestra de agua residual en cinco botellas ámbar de distintos volúmenes. Todas fueron completamente llenadas: tres botellas de 1 L se reservaron para los análisis de aceites y grasas, nutrientes y nitrógeno amoniacal, mientras que un frasco de 500 mL se destinó para SAAM y DQO. Un frasco de 250 mL se utilizó para el parámetro de durezas, y un frasco esterilizado fue empleado para análisis microbiológicos de coliformes totales y fecales, aunque no se llenó completamente. Cada muestra fue etiquetada con el nombre

del sitio y el parámetro correspondiente a medir (código, fecha, hora, preservante utilizado, lugar, número de muestra, análisis a realizar, nombre muestreador). Además, antes de recoger e introducir las muestras en las botellas, estas últimas fueron lavadas minuciosamente con agua destilada, reactivos químicos y otros envases fueron esterilizados, esto se hizo con el fin de que cualquier microorganismo o impureza dentro de los recipientes sean eliminados de manera que no alteren los valores de medición al realizar los ensayos en el laboratorio. Luego de la recolección de las muestras, se introdujeron en los coolers con hielos para su conservación a temperatura menor a 5°C. Después de cada toma de las muestras se lavaron todos los materiales y equipos con abundante agua destilada para la toma de los siguientes puntos.

Los materiales que se requirieron en el proceso de recopilación de muestras del efluente están listados en la Tabla 3.

Tabla 3: Materiales usados en campo para el muestreo

MATERIAL	GRÁFICOS
Botellas ámbar	 <p data-bbox="837 1402 1382 1503">Figura 7: Tipos de botellas ámbar utilizadas para el muestreo – Elaboración propia</p>
Piseta con agua destilada	 <p data-bbox="882 1883 1334 1910">Figura 8: Piseta (Alcántara, 2023)</p>

Papel tissue	 Figura 9: Papel tissue (Alcántara, 2023)
Coolers	 Figura 10: Coolers conservación de muestras (Clemente, 2022)
Muestreador sumergible	 Figura 11: Muestreador (Scharlab, s.f)

Preservación, transporte y entrega de muestras

Para preservar las muestras se usaron técnicas establecidas en la normativa ecuatoriana INEN 2169 sobre el Manejo y Conservación de muestras. A continuación, en la tabla 4 se detallan los preservantes utilizados para cada parámetro.

Tabla 4: Preservantes utilizados para cada parámetro

Parámetro	Preservación	Tiempo máximo de preservación
Aceites y Grasa	Acidificar el pH 1 a 2 H_2SO_4 (0.02 N) Se enfría a 1°C y 4°C	1 mes
SAAM		2 días
Nitrógeno Amoniacal		1 mes
DQO		1 mes
Dureza Total y cálcica	Acidificar el pH 1 a 2 HNO_3 (90%)	1 mes
Coliformes Totales	Se enfría a 1°C y 4°C	6 horas
Coliformes Fecales		6 horas

Acidez y Alcalinidad	Se enfría a 1°C y 4°C	24 horas
Sólidos (ST, SD, SS)		24 horas
DBO		24 horas
Nitratos		24 horas
Nitritos		24 horas
Fosfatos		1 mes
Sulfatos		1 mes

Fuente: (NTE INEN 2169, 2013).

Además, los envases que contenían las muestras fueron colocados en un cooler, el cual sirvió como protección contra la luz solar y mantuvo a los envases a temperatura menor a 4°C para garantizar que sean llevadas correctamente hasta los laboratorios en donde fueron analizadas.

Para medir y evaluar los parámetros en los diferentes laboratorios se firmó un acta de entrega en recepción. La medición de DBO y Coliformes totales y fecales de las muestras de los cinco puntos tomados del sistema de tratamiento de la Hostería Cuicocha se llevó a cabo en el laboratorio LDIA (Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental); mientras que las muestras para análisis de nutrientes, tensoactivos, DQO, nitrógeno amoniacal, dureza, acidez y alcalinidad se entregaron en el Laboratorio de Tecnología Industrial – Área de Agua y Saneamiento Ambiental y las muestras para análisis de aceites y grasas se entregaron en el laboratorio de Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM). Todos los parámetros a analizar cumplieron con los tiempos establecidos en la INEN 2169 sobre el Manejo y Conservación de muestras.

Determinación del caudal

En el año 2024, desde Enero hasta Mayo, se determinó un promedio de los visitantes basado en los registros mensuales de la Hostería Cuicocha. La determinación del caudal para aguas negras y grises se consideró que un visitante ocupa el baño una vez en su visita ya que generalmente los visitantes no se quedan por mucho tiempo. Además, según bibliografía se consideró el flujo de agua que ingresa a los diferentes procesos de la hostería, los aportes biológicos (heces y orina) estas densidades pueden variar debido a varios factores, como los hábitos de vida de la persona, su nivel de hidratación y las condiciones climáticas, número de visitantes al día y volumen de agua que se descarga de los inodoros (Iriarte, 2022; Sánchez, 2011; Hansen, 2019).

Medición de parámetros en Laboratorio

Análisis de parámetros físicos en el Laboratorio

Para el análisis del efluente de la Hostería Cuicocha, se realizaron mediciones de parámetros físicos y químicos. Los parámetros físicos evaluados, junto con el método utilizado, se detallan en la tabla 5.

Tabla 5: Parámetros físicos medidos en Laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODO
Sólidos Totales	Gravimetría
Sólidos Suspendidos	Gravimetría
Sólidos Disueltos	Gravimetría

- **Determinación de Sólidos Totales, Disueltos y Suspendidos**

Para el análisis de este parámetro se usó una estufa, crisoles, vidrios de reloj, papel filtro, una bomba de vacío con su kit de filtración, desecador, pinzas, balanza analítica y vasos de precipitación. Para el tarado de crisoles y vidrios de reloj se lavaron los crisoles con agua destilada, se identificaron con un código y se colocó en la estufa a 105°C durante 24 horas con papel filtro en los vidrios de reloj. Una vez que terminó el tiempo, se colocó en el desecador y se dejaron enfriar aproximadamente 1 hora antes de registrar sus pesos (peso inicial). Para los sólidos totales se tomó 50 mL de muestra con su código y se envió a la estufa a 105°C (peso final). Para los sólidos disueltos y suspendidos, se hizo el uso de la bomba de vacío, equipo de filtración y el papel filtro. Se filtró 50 mL de muestra hasta que la muestra esté completamente filtrada. Con una pinza se tomó el papel filtro y se puso en un vidrio de reloj. La muestra restante en el matraz Kitasato se transfirió a otro crisol ya identificado con su código y también se envió a la estufa por 24 horas a 105°C. Después de un tiempo, los crisoles y relojes se colocaron en el desecador durante una hora hasta que se enfríen. Cuando alcanzaron la temperatura ambiente se pesó rápidamente para evitar cambios de exposición al aire y se registró los datos (peso final). Los resultados obtenidos fueron en mg/L y para su determinación se usaron las ecuaciones 1 y 2.

$$\frac{(P_f - P_o)}{V} * 1000$$

Ecuación 1: Determinación de sólidos totales y disueltos (UTP, 2006)

Donde:

P_f = Peso final del crisol, g

P_o =Peso inicial del crisol, g

V = Volumen de muestra, mL

La determinación de sólidos suspendidos se realizó mediante siguiente ecuación:

$$SS = ST - SD$$

Ecuación 2: Determinación de sólidos suspendidos (UTP, 2006)

Donde:

SS , Sólidos suspendidos, mg/L

ST , Sólidos totales, mg/L

SD , Sólidos disueltos, mg/L

Análisis de parámetros químicos en el Laboratorio

Los parámetros químicos evaluados en las muestras del efluente de la Hostería Cuicocha se detallan en la tabla 6:

Tabla 6: Parámetros químicos medidos en Laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODO
Fosfatos	Espectrofotometría
DQO	Espectrofotometría
DBO5	Respirométrico
Nitratos	Espectrofotometría
Nitritos	Espectrofotometría
Dureza	Espectrofotometría
Sulfatos	Espectrofotometría
Nitrógeno Amoniacal	Espectrofotometría
Tensoactivos	SAAM
Acidez y Alcalinidad	Titulación
Aceites Y Grasas	Gravimetría

- **Determinación de Nitratos y Nitritos**

La determinación de nitratos se llevó a cabo utilizando el espectrofotómetro DR 1900 (HACH). Se realizó con el programa 355 N, Nitrate HR PP en el espectrofotómetro, utilizando una longitud de onda de 520 nm. El reactivo utilizado para este análisis es "NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow" cuyo resultado final fueron expresados en mg de (NO_3^-).

Para la determinación de nitritos se usó el mismo espectrofotómetro DR 1900, el programa 371 N Nitrite LR PP, utilizando también una longitud de onda de 520 nm. El reactivo empleado en este análisis "NitriVer 3 Reagent Powder Pillow". Los resultados fueron expresados en unidades de mg/L de (NO_2^-).

- **Sulfatos**

El análisis de sulfatos se realizó el espectrofotómetro DR 1900 (HACH), utilizando el programa Sulfato 680 a una longitud de onda de 450 nm. Su reactivo empleado fue SulfaVer 4. Los resultados expresados fueron en mg/L de (SO_4^{2-}).

- **Nitrógeno Amoniacal**

Se realizó por espectrofotometría DR 1900 (HACH) con el programa 380 N, Ammonia, Ness a una longitud de onda de 425 nm, para su análisis se añadió 3 gotas del reactivo "Mineral Stabilizer", 3 gotas de "Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent" y 1 mL de "Nessler Reagent" a la muestra, cuyo resultado final se expresó en ($N - NH_3$).

- **Tensoactivos**

Se realizó mediante el método SAAM. En un embudo de separación, se introdujo la muestra y se alcalinizó con $NaOH$ 0.5 N, utilizando fenolftaleína como indicador; posteriormente, se neutralizó el color rosa mediante la adición de gotas de H_2SO_4 0.5 N. Luego, se incorporaron 10 mL de cloroformo y 25 mL de azul de metileno, mezclando la solución durante 30 segundos y permitiendo la separación de las fases. La capa de cloroformo se separó y se transfirió a un segundo embudo, repitiendo el proceso de extracción dos veces más con 10 mL de cloroformo cada vez.

Los extractos de cloroformo se combinaron y se lavaron con 50 mL de una solución de lavado, agitando por 30 segundos. La capa de cloroformo se pasó a través de un filtro de algodón y luego se vertió en un matraz de 50 mL. Posteriormente, se tomó una muestra de esta solución aforada y se dispuso en viales para su uso como blanco en la lectura del espectrofotómetro a una longitud de onda de 652 nm, su resultado se expresó en mg/L

- **Acidez y Alcalinidad**

Se realizó mediante una titulación ácido-base, utilizando como agente titulante el ácido sulfúrico (H_2SO_4) de una concentración de 0.02 N. Se emplearon indicadores como fenolftaleína y anaranjado de metilo para identificar la presencia de carbonatos a través de la alcalinidad a la fenolftaleína, mientras que los bicarbonatos fueron analizados mediante alcalinidad total.

Se transfirieron 50 mL de muestra a un matraz Erlenmeyer de 100 mL y se añadieron 3 gotas de fenolftaleína, agitando el matraz para observar un cambio de color hacia tonos púrpuras, indicativo de la presencia de carbonatos. Posteriormente, se agregaron 3 gotas de anaranjado de metilo y se volvió a agitar el matraz. Cuando tomó un color amarillento, se tituló con H_2SO_4 hasta un cambio de color a anaranjado, registrando el volumen de titulante utilizado. Los resultados obtenidos se expresan en mg/L de carbonatos de calcio ($CaCO_3$) utilizando las ecuaciones 3 y 4.

$$Alcalinidad = \frac{A * N * 50000}{V_{muestra}}$$

Ecuación 3: Determinación de alcalinidad a la fenolftaleína (IDEAM, 2012)

$$Alcalinidad = \frac{B * N * 50000}{V_{muestra}}$$

Ecuación 4: Determinación de la alcalinidad al anaranjado de metilo (IDEAM, 2012)

Donde:

A = Cantidad gastada de H_2SO_4 hasta alcanzar el punto final de la fenolftaleína en mL

B = Cantidad gastada de H_2SO_4 hasta alcanzar el punto final del anaran. de metilo en mL

N = Normalidad del titulante

$V_{muestra}$ = Volumen muestra en mL

Análisis de parámetros microbiológicos en el Laboratorio

Los parámetros microbiológicos analizados en las muestras del efluente de la Hostería Cuiococha, se presentan en la tabla 7.

Tabla 7: Parámetros microbiológicos medidos en Laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODO
Coliformes Totales	Medios de cultivo
Coliformes Fecales	Medios de cultivo

- **Coliformes Totales**

Se esterilizó el material de vidrio, para preparar los medios de cultivos, se preparó diluciones en serie (1:10, 1:100, 1:1000) inocular 1 mL de cada dilución en tres tubos de caldo lactosado con tubos Durhan por cada dilución, incubar a $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ o $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, observar la producción de gas y turbidez debido al crecimiento bacteriano, resembrar los tubos positivos en medios selectivos (caldo verde brillante bilis) a $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ o $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas para confirmar coliformes, y contar los tubos positivos para determinar el número de coliformes por 100 mL de muestra usando la tabla 8 de Número Más Probable (NMP).

- **Coliformes Fecales**

Para coliformes fecales preparar diluciones en serie (1:10, 1:100, 1:1000), inocular 1 ml de cada dilución en tres tubos de caldo lactosa con tubos de Durham por cada dilución, resembrar los tubos positivos en caldo EC e incubar a 44°C durante 24 horas. La generación de gas en este medio confirma la presencia de E. coli. Se contaron los tubos positivos para determinar el número de coliformes fecales por 100 mL de muestra usando la tabla 8 de Número Más Probable (NMP), para ello se puede ver en el Anexo IV para su uso.

Tabla 8: Número Más Probable en diluciones (1:10, 1:100, 1:1000)

Tubos Positivos															
10 mL	1 mL	0.1 mL	NMP	10 mL	1 mL	0.1 mL	NMP	10 mL	1 mL	0.1 mL	NMP	10 mL	1 mL	0.1 mL	NMP
0	0	0	< 3	1	0	0	3.6	2	0	0	9.1	3	0	0	23
0	0	1	3	1	0	1	7.2	2	0	1	14	3	0	1	39
0	0	2	6	1	0	2	11	2	0	2	20	3	0	2	64
0	0	3	9	1	0	3	15	2	0	3	26	3	0	3	95
0	1	0	3	1	1	0	7.3	2	1	0	15	3	1	0	43
0	1	1	6.1	1	1	1	11	2	1	1	20	3	1	1	75
0	1	2	9.2	1	1	2	15	2	1	2	27	3	1	2	120
0	1	3	12	1	1	3	19	2	1	3	34	3	1	3	160
0	2	0	6.2	1	2	0	11	2	2	0	21	3	2	0	93
0	2	1	9.3	1	2	1	15	2	2	1	28	3	2	1	150
0	2	2	12	1	2	2	20	2	2	2	35	3	2	2	210
0	2	3	16	1	2	3	24	2	2	3	42	3	2	3	290
0	3	0	9.4	1	3	0	16	2	3	0	29	3	3	0	240
0	3	1	13	1	3	1	20	2	3	1	36	3	3	1	460
0	3	2	16	1	3	2	24	2	3	2	44	3	3	2	1100
0	3	3	19	1	3	3	29	2	3	3	53	3	3	3	>1100

Referencia: Recommended Procedures for the Examination of Sea Water and Shellfish. Fourth Edition 1970. APHA. New York.

Determinación de Eficiencias

Para calcular las eficiencias de todas las operaciones unitarias se usó la ecuación 5:

$$E_r(\%) = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100$$

Ecuación 5: Determinación de la eficiencia de remoción

Donde:

E_r , Eficiencia de remoción, %

C_o , Concentración inicial, mg/L

C_f , Concentración final, mg/L

2.3 Verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097-A mediante la comparación de los resultados de la caracterización

La información recopilada mediante las caracterizaciones del efluente se compararon con los valores máximos permitidos para descargas líquidas a una fuente de agua dulce y preservación de la vida acuática y silvestres en aguas dulces, ya que al ser una laguna y contiene vida acuática se tomaron como referencias estas tablas, según lo establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A. Este análisis permitió verificar el cumplimiento de la normativa ambiental. Se tomó como referencia esta normativa debido a que la PTAR de la Hostería

Cuicocha se encuentra a 50 m aproximadamente de distancia de la laguna del mismo nombre. Como se mencionó anteriormente, se han identificado desbordamientos en el 5to pozo de infiltración, lo que se puede asumir que el agua residual que no ha cumplido con el proceso de tratamiento y podría llegar eventualmente hasta dicho cuerpo hídrico.

3 RESULTADOS

3.1 Levantamiento de información mediante visitas a la Hostería Cuicocha

El día 23 de Enero de 2024 se realizó la visita técnica para verificar el sistema de tratamiento de la Hostería. Los días 27 y 31 de marzo de 2024 se determinaron los puntos de muestreo tal como se puede apreciar en la figura 12 y se realizó la toma de muestras:

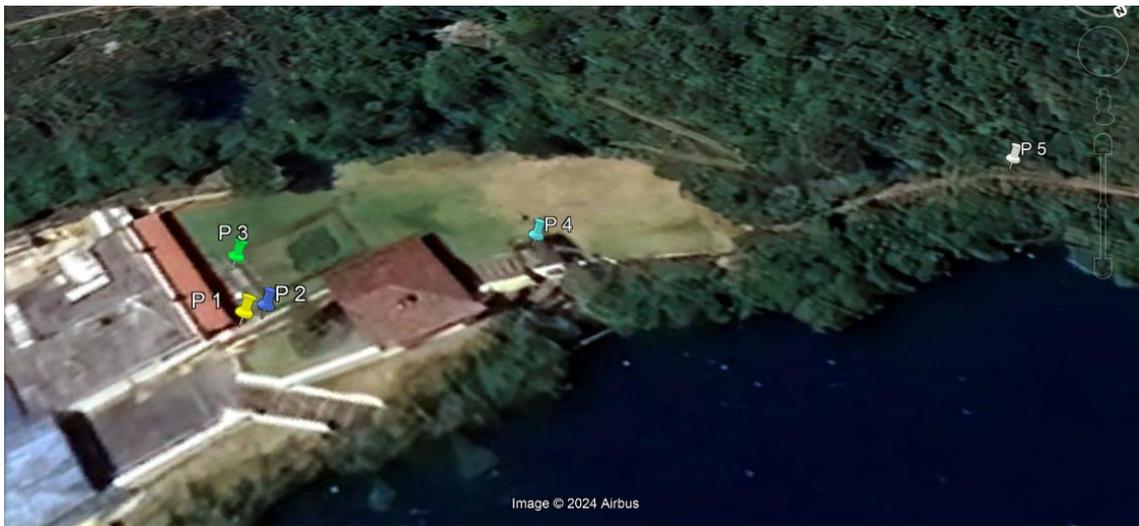


Figura 12: Puntos de muestreo - Google Earth

Punto 1: Ingreso a la Trampa de Grasas



Figura 13: Entrada de la trampa de grasas – Elaboración propia

Punto 2: Salida de Trampa de Grasas e ingreso al sedimentador



Figura 14: Salida de la trampa de grasas – Elaboración propia

Punto 3: Salida del sedimentador e ingreso al humedal



Figura 15: Salida del sedimentador – Elaboración propia

Punto 4: Tanque de bombeo en el que se mezclan aguas negras y grises que pasaron por el humedal con aguas negras sin tratamiento.



Figura 16: Tanque de bombeo – Elaboración propia

Punto 5: Sexto pozo de infiltración



Figura 17: Pozo de infiltración – Elaboración propia

3.2 Caracterización del agua residual que pasa por los diferentes procesos de la PTAR de la Hostería Cuicocha

Caudal de aguas negras

En la tabla 9 se muestra el número diario de turistas que utilizan el servicio sanitario. Este promedio fluctúa en función de la afluencia de visitantes en la Hostería Cuicocha.

Tabla 9: Turistas que utilizan el servicio sanitario de la Hostería Cuicocha

Días	Total de turistas al día
Viernes	45
Sábado	95
Domingo	133
Promedio de turistas	91

Fuente: Registros de la Hostería Cuicocha

En la tabla 10 presenta el promedio de turistas que utilizan el servicio del restaurante. Este promedio varía independiente del número de visitantes en la Hostería Cuicocha.

Tabla 10: Turistas que utilizan el servicio de restaurante de la Hostería Cuicocha

Días	Total de turistas al día
Viernes	20
Sábado	35
Domingo	40
Promedio de turistas	32

Fuente: Registros de la Hostería Cuicocha

Para conocer el caudal de aguas negras se consideró el volumen de agua que se descarga de los inodoros de 6 L, número de veces que una persona ocupa el inodoro de 1 vis/día, aportes biológicos (heces y orina) de 190,32 L y el número promedio de visitantes al día que fue de 91, según el registro de la administración de la Hostería Cuicocha.

Los cálculos detallados de aguas negras se presentan en el Anexo IV.

Se obtuvo el siguiente resultado.

$$Q_{\text{aguas negras}} = 0,74 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Caudal de aguas grises

El caudal de aguas grises se determinó restando las descargas del servicio sanitario del caudal de ingreso a la Hostería que es de 18,56 m³/día según el estudio realizado por Sánchez, 2011.

El caudal de ingreso de la Hostería se determinó a partir del caudal diario registrado durante 13 días y el tiempo de bombeo correspondiente. Para ello, se calculó un promedio del caudal diario, siguiendo el método descrito en el estudio de Sánchez, 2011.

Para más detalles sobre los cálculos de aguas grises, Ver Anexo IV, que incluye una descripción detallada del mismo.

Se obtuvo el siguiente resultado.

$$Q_{\text{aguas grises}} = 18,56 \frac{m^3}{\text{día}} - 0,74 \frac{m^3}{\text{día}} = 18,02 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Resultados de caracterizaciones en los diferentes puntos de muestreo

La tabla 11 presenta los resultados de las pruebas físicas, químicas y microbiológicas de los parámetros de calidad del agua tanto en las etapas iniciales como finales de cada operación unitaria de las instalaciones de depuración del efluente de la Hostería Cuicocha.

Tabla 11: Resultados de las caracterizaciones realizadas en las operaciones unitarias de la PTAR de la Hostería Cuicocha

Parámetro	27/03/2024					31/03/2024				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
Aceites y Grasas (mg/L)	3807	141	15	-	<10	5537	250	13	31	<10
Sólidos totales (mg/L)	285923,3	1370	933,3	660	653,3	2660	1250	936,7	896,7	693,3
Sólidos Disuelto (mg/L)	946,7	1000	830	633,3	716,7	1140	1166,7	900	740	630
Sólidos Suspendidos (mg/L)	27976,7	370	103,3	26,7	63,3	1520	83,3	36,7	156,7	63,3
Nitratos (mg/L)	6,6	18,7	14,9	1,9	1,3	<0,3	18,6	9	2,4	0,5
Nitritos (mg/L)	0,004	<0,002	0,020	0,144	0,012	<0,002	0,026	0,028	0,002	0,001
Acidez (mg/L)	50	28	23,4	5,2	9,2	48,2	25,4	21,7	4,2	8,8
Alcalinidad (mg/L)	250	226,7	243,3	250	316,7	236,7	216,7	230	236,7	283,3
Fosfatos (mg/L)	13	11,25	8,45	8,85	17,05	1,04	0,99	0,93	1,89	1,64
Sulfatos (mg/L)	<rango	11	13	22	24	<rango	9	13	14	16
DQO (mg/L)	885	780	485	89	165	2405	1595	926	302	1005
DBO (5 días) (mg/L)	233,1	239,1	318,8	40,8	50,3	2144,1	248,6	332,5	171,9	55,5
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	13	7,90	14,70	36,60	28,60	24,9	10,6	12	24,9	24,7
Dureza total (mg/L)	128	128	200	128	72	180	136	172	140	172
Dureza cálcica (mg/L)	72	340	392	92	20	88	88	88	72	152
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	3,5x10 ⁵	1,2x10 ⁵	3,5x10 ⁵	1,5x10 ⁵	2,1x10 ⁶	-	-	-	-	-
Tensoactivos (mg/L)	-	-	-	-	-	115	110	105	20	15
Cromo Hexavalente (mg/L)	-	-	-	-	-	0,28	0,54	0,76	0,16	0,24

3.3 Verificación del cumplimiento de la normativa ambiental vigente Acuerdo Ministerial 097-A mediante la comparación de los resultados de la caracterización

Comparación de parámetros In situ con normativa ambiental

Los resultados de las mediciones realizadas en campo en las diferentes áreas de muestreo fueron obtenidos el 27-03-2024, utilizando un multiparámetro y el turbidímetro. Estos resultados se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12: Parámetros medios In situ y comparación con la normativa

Parámetro	Unidad	Valores norma*	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Potencial Hidrógeno	pH	6-9	6,03	5,72	6,25	8,02	7,65
Oxígeno Disuelto**	%	> 80	20,8	13,1	14	24,4	45,6
Conductividad eléctrica***	mS/cm	0,087	1,13	1,07	1,15	1,11	1,48
Temperatura	°C	Condición natural \pm 3	18,89	17,88	17,55	16,11	15,82
Turbidez****	UNT	100	617	460	83,8	31,3	18,8

* Valores norma considerando los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de aguas dulces, Tabla 9, Acuerdo Ministerial 097-A, ver Anexo II.

** Valor norma tomado de la Tabla 2 para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces considerando los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A, ver Anexo II.

*** Valor norma tomado de la Tabla 4 para los niveles de la calidad de agua para riego considerando los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A.

**** Valores norma tomada de la Tabla 1 para fuentes de agua para consumo humano y doméstico del Acuerdo Ministerial 097-A, ya que no existe en la tabla 9.

Se observa que en relación al Acuerdo Ministerial 097-A, los parámetros de pH y temperatura cumplen con los valores que indica la normativa. En cuanto a la conductividad eléctrica, al observar que los resultados en las áreas de muestreo excedieron el límite permitido, se concluye que no se ajusta a los estándares establecidos por la normativa. Así también, en cuanto al oxígeno disuelto se aprecia que no cumple con sus límites y esto

puede afectar negativamente la calidad general del agua del cuerpo, haciendo que sea inadecuada para usos recreativos, de riego u otros usos humanos.

La conductividad eléctrica de una solución acuosa aumenta proporcionalmente con la concentración de iones disueltos. Por lo tanto, en aguas con niveles elevados de Sólidos Disueltos Totales (SDT), se observará una mayor conductividad eléctrica debido a la presencia de una mayor cantidad de dichos iones. Es así que los datos obtenidos son inferiores debido principalmente a las actividades del restaurante y limpiezas.

De igual manera, es posible notar que los valores de turbidez en los dos primeros puntos son muy elevados y si se comparara con la Tabla 1 Criterios de Calidad de Fuentes de agua para consumo Humano y Doméstico, se debe tomar en cuenta que esta Tabla es muy exigente debido a que es para consumo humano y en este caso estamos analizados valores de aguas residuales, razón por la cual resulta razonable que los valores de turbidez superen el límite máximo permisible considerado.

Comparaciones de parámetros *Ex situ* con normativa ambiental

En las tablas 13, 14, 15, 16 y 17 se presentan los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos realizados en los distintos lugares de muestreo de las instalaciones de depuración del efluente de la Hostería Cuicocha. Estas tablas incluyen los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

Para más detalles sobre el cálculo de los diferentes parámetros, Ver Anexo V, que incluye una descripción detallada del mismo.

En la tabla 13 se presentan los resultados de la caracterización correspondiente al ingreso a la trampa de grasa.

Tabla 13: Resultados de la caracterización del agua residual al ingreso a la trampa de grasas (P1)

Parámetro	Unidad	Valor NORMA*	27/03/2024		31/03/2024	
			Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento
Aceites Y Grasas	mg/L	30	3807	NO	5537	NO
Sólidos Totales	mg/L	1600	28923,3	NO	2660	NO
Sólidos Disueltos	mg/L	-	946,7	-	1140	-

Sólidos Suspendidos	mg/L	130	27976,7	NO	1520	NO
Nitratos**	mg/L	13	6,6	SI	<0,3	SI
Nitritos**	mg/L	0,2	0,004	SI	< 0,002	SI
Acidez	mg/L	-	50	-	48,2	-
Alcalinidad	mg/L	-	250	-	236,7	-
Fosfatos	mg/L	-	13	-	1,04	-
Sulfatos	mg/L	1000	Por debajo del rango medido	SI	Por debajo del rango medido	SI
DQO	mg/L	200	885	NO	2405	NO
DBO (5 días)	mg/L	100	233,1	NO	2144,1	NO
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	30	13	SI	24,9	SI
Dureza Total	mg/L	-	128	-	180	-
Dureza Cálctica	mg/L	-	72	-	88	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000	3,5x10 ⁵	NO	-	-
Tensoactivos	mg/L	0,5	-	-	115	NO
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	-	-	0,28	SI

*Valores norma considerando los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de aguas dulces Tabla 9 Acuerdo Ministerial 097-A.

**Valores norma considerando los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática en aguas dulces Tabla 2 Acuerdo Ministerial 097-A.

La regulación ecuatoriana Acuerdo Ministerial 097-A no establece límites máximos permisibles para los siguientes parámetros: sólidos disueltos, acidez, alcalinidad, fosfatos, dureza total y dureza cálcica.

En la tabla 13 presentan los resultados de los análisis del afluente que ingresa a la trampa de grasas, el mismo que provienen exclusivamente de la cocina por lo que el efluente no ha recibido ningún tratamiento previo. Por ende, aceites y grasas, sólidos totales, sólidos suspendidos, DQO, DBO, tensoactivos y coliformes fecales son inferiores a los límites permisibles por el cual no cumplen con la norma establecida. El resultado de coliformes fecales se encuentra muy superior al límite permisible, esto puede deberse a varias

razones como los desechos del lavado de carnes, falta de mantenimiento o condiciones del agua de entrada. Además, los resultados de tensoactivos son muy altos esto puede ser por los productos de limpieza que puedan realizarse dentro de esta instalación.

Los parámetros nitratos, nitritos, sulfatos, nitrógeno amoniacal y cromo hexavalente cumplen con los valores establecidos por la normativa.

La acumulación de sólidos y grasas dentro de la trampa de grasas puede disminuir su capacidad para retener contaminantes, lo que podría resultar en la liberación de estos hacia el sistema de drenaje (Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D., 2003).

En la tabla 14 se presentan los resultados de la caracterización del afluente correspondiente a la salida de la trampa de grasa.

Tabla 14: Resultados de la caracterización del agua residual a la salida de la trampa de grasas e ingreso al sedimentador (P2)

PARÁMETRO	UNIDAD	Valor NORMA*	27/03/2024		31/03/2024	
			Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento
Aceites y Grasas	mg/L	30	141	NO	350	NO
Sólidos Totales	mg/L	1600	1370	SI	1250	SI
Sólidos Disueltos	mg/L	-	1000	-	1166,7	-
Sólidos Suspendidos	mg/L	130	370	NO	83,3	SI
Nitratos**	mg/L	13	18,7	NO	18,6	NO
Nitritos**	mg/L	0,2	< 0,002	SI	0,026	SI
Acidez	mg/L	-	28	-	25,4	-
Alcalinidad	mg/L	-	226,7	-	216,7	-
Fosfatos	mg/L	-	11,25	-	0,99	-
Sulfatos	mg/L	1000	11	SI	9	SI
DQO	mg/L	200	780	NO	1595	NO
DBO (5días)	mg/L	100	239,1	NO	248,6	NO
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	30	7,9	SI	10,6	SI
Dureza Total	mg/L	-	128	-	136	-
Dureza Cálcica	mg/L	-	340	-	88	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000	1,2x10 ⁵	NO	- -	-

Tensoactivos	mg/L	0,5	--	-	110	NO
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	--	--	0,54	NO

*Valores norma considerando los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de aguas dulces Tabla 9 Acuerdo Ministerial 097-A.

**Valores norma considerando los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática en aguas dulces Tabla 2 Acuerdo Ministerial 097-A.

Al observar los parámetros de aceites y grasas, nitratos, DQO, DBO, coliformes fecales, tensoactivos y cromo hexavalente, se encontraron resultados que exceden los límites permitidos, indicando un incumplimiento de la normativa correspondiente.

La mayoría de los parámetros cumplieron con su remoción a la salida de la trampa de grasas. Al comparar con la tabla 13 se puede ver que no hubo remoción en los nutrientes esto se debe a que la trampa de grasas está diseñada para retener sólidos grasos y aceitosos, por lo que no logran retener por completo otros componentes disueltos en el agua, pero se puede ver que si está funcionando ya que los parámetros sólidos totales, nitritos, sulfatos, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal sí cumplen con los estándares de calidad según la normativa.

Además, la dureza total del agua debe ser igual o mayor que la dureza cálcica, ya que incluye la suma iones de calcio y magnesio presentes (Foronda-Rodriguez, A. et al., 2010). Se puede evidenciar que la dureza cálcica es mayor a la dureza total, por lo que es posible que se haya cometido un error durante el análisis o en el registro de datos, este valor atípico solo fue en la muestra del 27-03-2024; ya que en la muestra del 31-03-2024, los resultados si cumplen la relación entre dureza total y dureza cálcica.

En la tabla 15 se presentan los resultados de los parámetros analizados a la salida del sedimentador e ingreso al humedal.

Tabla 15: Resultados de la caracterización del agua residual a la salida del sedimentador e ingreso al humedal (P3)

Parámetro	Unidad	Valor NORMA*	27/03/2024		31/03/2024	
			Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento
Aceites Y Grasas	mg/L	30	15	SI	13	SI
Sólidos Totales	mg/L	1600	933,3	SI	936,7	SI
Sólidos Disueltos	mg/L	-	830	-	900	-
Sólidos Suspendidos	mg/L	130	103,3	SI	36,7	SI
Nitratos**	mg/L	13	14,9	NO	9	SI
Nitritos**	mg/L	0,2	0,020	SI	0,028	SI
Acidez	mg/L	-	23,4	-	21,7	-
Alcalinidad	mg/L	-	243,3	-	230	-
Fosfatos	mg/L	-	8,45	-	0,93	-
Sulfatos	mg/L	1000	13	SI	13	SI
DQO	mg/L	200	485	NO	926	NO
DBO (5 días)	mg/L	100	318,8	NO	332,5	NO
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	30	14,7	SI	12	SI
Dureza Total	mg/L	-	200	-	172	-
Dureza Cálcica	mg/L	-	392	-	88	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000	$3,5 \times 10^5$	NO	-	-
Tensoactivos	mg/L	0,5	--	--	105	NO
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	--	--	0,76	NO

*Valores norma considerando los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de aguas dulces Tabla 9 Acuerdo Ministerial 097-A.

**Valores norma considerando los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática en aguas dulces Tabla 2 Acuerdo Ministerial 097-A.

Los parámetros que cumplen con los estándares de calidad establecidos por la normativa son aceites y grasas, sólidos totales, sólidos suspendidos, nitritos, sulfatos y nitrógeno amoniacal, cumple con la retención de contaminantes.

Se ve que la dureza cálcica es mayor a la dureza total, por lo que es posible que se haya cometido un error durante el análisis o en el registro de datos.

Los resultados obtenidos en la tabla 14 muestran un aumento en nitritos, alcalinidad, sulfatos, DBO, nitrógeno amoniacal, dureza total y coliformes fecales el principal factor que contribuye a este aumento es debido a que, en este punto, las aguas grises se mezclan con las aguas negras; consecuentemente, debido a que contienen materia orgánica por los aportes de heces y orina lo que a su vez promueve el crecimiento de microorganismos. Esta materia orgánica se descompone rápidamente por los microorganismos que se encuentran presentes en el agua, por ende, resulta en un aumento de estos parámetros. Además, muchos detergentes y productos de limpieza contienen fosfatos y otros ingredientes que pueden reaccionar con el calcio y el magnesio presentes en el agua, formando compuestos que no se disuelven fácilmente y hace que aumente la dureza (Foronda-Rodriguez, A. et al., 2010).

En la tabla 16 se presentan los resultados de los parámetros analizados a la salida del humedal e ingreso al homogenizador.

Tabla 16: Resultados de la caracterización del agua residual del tanque de bombeo en el que se mezclan aguas negras y grises que pasaron por el humedal con aguas negras sin tratamiento (P4)

Parámetro	Unidad	Valor NORMA*	27/03/2024		31/03/2024	
			Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento
Aceites Y Grasas	mg/L	30	-	-	31	NO
Sólidos Totales	mg/L	1600	660	SI	896,7	SI
Sólidos Disueltos	mg/L	-	633,3	-	740	-
Sólidos Suspendidos	mg/L	130	26,7	SI	156,7	NO
Nitratos**	mg/L	13	1,9	SI	2,4	SI
Nitritos**	mg/L	0,2	0,144	SI	0,002	SI
Acidez	mg/L	-	5,2	-	4,2	-

Alcalinidad	mg/L	-	250	-	236,7	-
Fosfatos	mg/L	-	8,85	-	1,89	-
Sulfatos	mg/L	1000	22	SI	14	SI
DQO	mg/L	200	89	SI	302	NO
DBO (5 días)	mg/L	100	40,8	SI	171,9	NO
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	30	36,6	NO	24,9	SI
Dureza Total	mg/L	-	128	-	140	-
Dureza Cálctica	mg/L	-	92	-	72	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000	1,5x10 ⁵	NO	-	-
Tensoactivos	mg/L	0,5	--	--	20	NO
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	--	--	0,16	SI

*Valores norma considerando los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de aguas dulces Tabla 9 Acuerdo Ministerial 097-A.

**Valores norma considerando los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática en aguas dulces Tabla 2 Acuerdo Ministerial 097-A.

Los parámetros sólidos totales, nitratos, nitritos, sulfatos, nitrógeno amoniacal y cromo hexavalente cumplen con los valores establecidos por la normativa.

Se puede observar que en el humedal no se remueve por completo algunos nutrientes, tensoactivos y hace que aumente aceites y grasas.

En el humedal, existe una gran cantidad de materia orgánica que proviene de las aguas residuales que lo atraviesan. Los microorganismos presentes en el humedal, tanto aerobios como anaerobios, se encargan de descomponer esta materia orgánica. Durante este proceso de descomposición, se liberan ácidos orgánicos, los cuales pueden ser neutralizados en parte, debido a la presencia de minerales alcalinos en el suelo del humedal, como carbonatos y bicarbonatos. Además, esta área no está cubierta por las plantas que realizan el trabajo de remoción, por ende, no remueve la cantidad necesaria (Guzmán, G., Álvarez, M., & Restrepo, I, 2009).

En la tabla 17 se presentan los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las muestras de aguas residuales del ingreso al 6to pozo de infiltración.

Tabla 17: Resultados de la caracterización del agua residual al ingreso del 6to pozo de infiltración (P5)

Parámetro	Unidad	Valor NORMA*	27/03/2024		31/03/2024	
			Resultados	Cumplimiento	Resultados	Cumplimiento
Aceites Y Grasas	mg/L	30	< 10	SI	< 10	SI
Sólidos Totales	mg/L	1600	653,3	SI	693,3	SI
Sólidos Disueltos	mg/L	-	716,7	-	630	-
Sólidos Suspendidos	mg/L	130	63,3	SI	63,3	SI
Nitratos**	mg/L	13	1,3	SI	0,5	SI
Nitritos**	mg/L	0,2	0,012	SI	0,001	SI
Acidez	mg/L	-	9,2	-	8,8	-
Alcalinidad	mg/L	-	316,7	-	283,3	-
Fosfatos	mg/L	-	17,05	-	1,64	-
Sulfatos	mg/L	1000	24	SI	16	SI
DQO	mg/L	200	165	SI	1005	NO
DBO (5 días)	mg/L	100	50,3	SI	55,5	SI
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	30	28,6	SI	24,7	SI
Dureza Total	mg/L	-	72	-	172	-
Dureza Cálcica	mg/L	-	20	-	72	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2000	2,1x10 ⁶	NO	-	-
Tensoactivos	mg/L	0,5	-	-	15	NO
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	-	-	0,24	SI

*Valores norma considerando los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de aguas dulces Tabla 9 Acuerdo Ministerial 097-A.

**Valores norma considerando los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática en aguas dulces Tabla 2 Acuerdo Ministerial 097-A.

Los parámetros que cumplen con los valores establecidos por la normativa son aceites y grasas, sólidos totales, sólidos suspendidos, nitratos, nitritos sulfatos, DBO, nitrógeno amoniacal y cromo hexavalente. Estos parámetros son fundamentales, ya que indican que las operaciones unitarias en este punto estén reduciendo los contaminantes correctamente.

DQO, coliformes fecales y tensoactivos exceden los límites permitidos, indicando un incumplimiento de la normativa correspondiente. Esto puede suceder ya que durante el proceso de tratamiento algunos contaminantes se pueden descomponer, es decir, puede haber liberación de materia orgánica soluble, oxidación de compuestos orgánicos y posibles ineficiencias en este proceso.

La recolección de muestras se realizó un día que no había muchos turistas y otro, un día con más turistas. Los resultados que se mostraron, se puede notar influye mucho su remoción cuando hay más personas, debido a que el efluente pasa ligeramente por las operaciones unitarias y va recogiendo todo lo que no se ha removido cuando su efluente es muy poco y se queda en las paredes de cada operación.

Eficiencias de remoción de carga contaminante en las operaciones unitarias de la PTAR

En las tablas 18, 19, 20 y 21 se presentan las eficiencias de remoción de los parámetros analizados en cada operación unitaria de la PTAR de la Hostería Cuicocha.

En la tabla 18 se presenta los resultados de las eficiencias de remoción en la trampa de grasas con los datos obtenidos en las tablas 13 y 14.

Tabla 18: Eficiencias de remoción en la trampa de grasas

PARÁMETRO	UNIDAD	27/03/2024			31/03/2024		
		PUNTO 1	PUNTO 2	EFICIENCIA	PUNTO 1	PUNTO 2	EFICIENCIA
Aceites Y Grasas	mg/L	3807	141	96,3	5537	350	93,68
Sólidos Totales	mg/L	28923,3	1370	95,26	2660	1250	53,01
Sólidos Disueltos	mg/L	946,7	1000	-5,63	1140	1166,7	-2,34
Sólidos Suspendidos	mg/L	27976,7	370	98,68	1520	83,3	94,52
Nitratos	mg/L	6,6	18,7	-183,33	<0,3	18,6	-

Nitritos	mg/L	0,004	< 0,002	-	< 0,002	0,026	-
Acidez	mg/L	50	28	44	48,2	25,4	47,3
Alcalinidad	mg/L	250	226,7	9,33	236,7	216,7	8,45
Fosfatos	mg/L	13	11,25	13,46	1,04	0,99	4,81
Sulfatos	mg/L	Por debajo del rango	11	--	Por debajo del rango	9	-
DQO	mg/L	885	780	11,86	2405	1595	33,68
DBO (5 días)	mg/L	233,1	239,1	-2,57	2144,1	248,6	88,41
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	13	7,9	39,23	24,9	10,6	57,43
Dureza Total	mg/L	128	128	0	180	136	24,44
Dureza Cálcica	mg/L	72	340	-372,22	88	88	0
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3,50E+05	1,20E+05	65,71	--	--	--
Tensoactivos	mg/L	--	--	--	115	110	4,35
Cromo Hexavalente	mg/L	--	--	--	0,28	0,54	-92,86

Como se observa en los resultados, esta operación unitaria presenta una significativa remoción de aceites y grasas, lo cual indica que cumple su objetivo principal que es, eliminar este contaminante. Sin embargo, se han observado eficiencias negativas en algunos casos. Aunque estas eficiencias no son óptimas, se han registrado con el fin de identificar sus posibles causas para mejorar el rendimiento del sistema de tratamiento. Un aspecto particular a mejorar es la remoción de nutrientes, ya que la presencia de sólidos en partículas pequeñas, que no se separan fácilmente debido a su tamaño y su densidad, estas partículas pueden contener materia orgánica, lo que incrementa la carga contaminante del efluente tratado y afecta la eficacia del proceso (Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D., 2003).

En la tabla 19 se presentan los resultados de las eficiencias de remoción en el sedimentador con los datos obtenidos en las tablas 14 y 15.

Tabla 19: Eficiencias de remoción en el sedimentador

PARÁMETRO	UNIDAD	27/03/2024			31/03/2024		
		PUNTO 2	PUNTO 3	EFICIENCIA	PUNTO 2	PUNTO 3	EFICIENCIA
Aceites Y Grasas	mg/L	141	15	89,36	350	13	96,29
Sólidos Totales	mg/L	1370	933,3	31,87	1250	936,7	25,07
Sólidos Disueltos	mg/L	1000	830	17	1166,7	900	22,86
Sólidos Suspendidos	mg/L	370	103,3	72,07	83,3	36,7	56
Nitratos	mg/L	18,7	14,9	20,32	18,6	9	51,61
Nitritos	mg/L	< 0,002	0,02	--	0,026	0,028	-7,69
Acidez	mg/L	28	23,4	16,34	25,4	21,7	14,36
Alcalinidad	mg/L	226,7	243,3	-7,35	216,7	230	-6,15
Fosfatos	mg/L	11,25	8,45	24,89	0,99	0,93	6,06
Sulfatos	mg/L	11	13	-18,18	9	13	-44,44
DQO	mg/L	780	485	37,82	1595	926	41,94
DBO (5 días)	mg/L	239,1	318,8	-33,33	248,6	332,5	-33,75
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	7,9	14,7	-86,08	10,6	12	-13,21
Dureza Total	mg/L	128	200	-56,25	136	172	-26,47
Dureza Cálcica	mg/L	340	392	-15,29	88	88	0
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1,20E+05	3,50E+05	-191,67	-	--	--
Tensoactivos	mg/L	--	--	--	110	105	4,55
Cromo Hexavalente	mg/L	--	--	--	0,54	0,76	-40,74

Se observa que la eficiencia de este proceso de tratamientos no es satisfactoria, ya que se evidencian eficiencias negativas y una remoción insuficiente de contaminantes.

Sin embargo, es notable destacar que los resultados muestran una eficiencia de remoción de aceites y grasas superior al 80%. Esto indica que, a pesar de las deficiencias observadas en otros parámetros, el sistema es efectivo en la eliminación de este tipo de contaminante, lo cual es crucial para mantener la calidad del efluente tratado.

En la tabla 20 se presentan los resultados de las eficiencias de remoción de contaminantes de las aguas residuales del humedal con los datos obtenidos en las tablas 15 y 16.

Tabla 20: Eficiencias de remoción en el humedal

PARÁMETRO	UNIDAD	27/03/2024			31/03/2024		
		PUNTO 3	PUNTO 4	EFICIENCIA	PUNTO 3	PUNTO 4	EFICIENCIA
Aceites Grasas	Y mg/L	15	-	--	13	31	-138,46
Sólidos Totales	mg/L	933,3	660	29,29	936,7	896,7	4,27
Sólidos Disueltos	mg/L	830	633,3	23,69	900	740	17,78
Sólidos Suspendidos	mg/L	103,3	26,7	74,19	36,7	156,7	-327,27
Nitratos	mg/L	14,9	1,9	87,25	9	2,4	73,33
Nitritos	mg/L	0,02	0,144	-620	0,028	0,002	92,86
Acidez	mg/L	23,4	5,2	77,8	21,7	4,2	80,56
Alcalinidad	mg/L	243,3	250	-2,74	230	236,7	-2,9
Fosfatos	mg/L	8,45	8,85	-4,73	0,93	1,89	-103,23
Sulfatos	mg/L	13	22	-69,23	13	14	-7,69
DQO	mg/L	485	89	81,65	926	302	67,39
DBO (5 días)	mg/L	318,8	40,8	87,2	332,5	171,9	48,3
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	14,7	36,6	-148,98	12	24,9	-107,5
Dureza Total	mg/L	200	128	36	172	140	18,6
Dureza Cálcica	mg/L	392	92	76,53	88	72	18,18
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3,50E+05	1,50E+05	57,14	--	--	--
Tensoactivos	mg/L	--	--	--	105	20	80,95
Cromo Hexavalente	mg/L	--	--	--	0,76	0,16	78,95

Algunos de los parámetros muestran una eficiencia de remoción superior al 70%; sin embargo, la mayoría de los parámetros presentan una eficiencia baja. Esto indica que el humedal no está logrando remover los contaminantes y puede deberse a varios factores. Uno de estos factores podría ser que las plantas del humedal no cubren completamente toda el área de tratamiento, lo que limita su capacidad para eliminar la carga contaminante de manera efectiva, además influye la profundidad, el área de superficie y el tipo del sustrato. Este problema de cobertura incompleta podría comprometer la capacidad global del humedal para alinearse con los estándares requeridos de calidad del líquido, ya que un exceso de carga contaminante puede superar la capacidad de tratamiento del humedal.

Cuando el volumen de contaminantes es mayor de lo que el sistema puede manejar, la eficiencia de remoción puede disminuir, resultando en eficiencias negativas.

La falta de mantenimiento adecuado puede llevar a la acumulación de residuos, obstrucción de los flujos o problemas con la vegetación del humedal. Esto puede reducir la capacidad del humedal para tratar el efluente de manera efectiva.

En la tabla 21 se presentan los resultados de las eficiencias de remoción de contaminantes en el proceso del sistema de infiltración, utilizando los datos obtenidos de las tablas 16 y 17.

Tabla 21: Eficiencias de remoción en el sistema de infiltración

PARÁMETRO	UNIDAD	27/03/2024			31/03/2024		
		PUNTO 4	PUNTO 5	EFICIENCIA	PUNTO 4	PUNTO 5	EFICIENCIA
Aceites Y Grasas	mg/L	-	< 10	--	31	< 10	67,74
Sólidos Totales	mg/L	660	653,3	1,01	896,7	693,3	22,68
Sólidos Disueltos	mg/L	633,3	716,7	-13,16	740	630	14,86
Sólidos Suspendidos	mg/L	26,7	63,3	-137,5	156,7	63,3	59,57
Nitratos	mg/L	1,9	1,3	31,58	2,4	0,5	79,17
Nitritos	mg/L	0,144	0,012	91,67	0,002	0,001	50
Acidez	mg/L	5,2	9,2	-76,11	4,2	8,8	-108,82
Alcalinidad	mg/L	250	316,7	-26,67	236,7	283,3	-19,72
Fosfatos	mg/L	8,85	17,05	-92,66	1,89	1,64	13,23
Sulfatos	mg/L	22	24	-9,09	14	16	-14,29
DQO	mg/L	89	165	-85,39	302	1005	-232,78
DBO (5 días)	mg/L	40,8	50,3	-23,28	171,9	55,5	67,71
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	36,6	28,6	21,86	24,9	24,7	0,8
Dureza Total	mg/L	128	72	43,75	140	172	-22,86
Dureza Cálcica	mg/L	92	20	78,26	72	152	-111,11
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1,50E+05	2,10E+06	-1300	-	--	--
Tensoactivos	mg/L	--	--	--	20	15	25
Cromo Hexavalente	mg/L	--	--	--	0,16	0,24	-50

Finalmente, las eficiencias en este proceso son deficientes debido a varios factores críticos. Estos incluyen el tamaño de los pozos, estado del medio filtrante y su estado de limpieza, la velocidad de flujo que atraviesa por medio de los filtros y fallas en el sistema de filtración. Estos elementos en conjunto reducen la eficiencia en la remoción de contaminantes del agua tratada.

4 CONCLUSIONES

- En la Hostería Cuicocha las aguas servidas de los diferentes sitios como cocina, baños, lavabos, entre otros son vertidas mediante dos tuberías, una para aguas grises y otra para aguas negras que están interconectadas a una planta de tratamiento de aguas residuales que se localiza en la parte externa de la Hostería. Desde este punto las aguas residuales atraviesan por varios procesos hasta llegar a su fase final que es a un tanque en donde se captará el agua previamente tratada.
- Al recopilar información sobre el sistema de tratamiento del efluente de la Hostería Cuicocha se concluyó que dicha planta cuenta con operaciones unitarias como Trampa de grasas, Sedimentador, Humedal y pozos de infiltración que se utilizan para eliminar o reducir los contaminantes del agua residual que proviene de las instalaciones de la Hostería.
- Al evaluar el caudal de aguas grises se obtuvo un caudal de 18015 L/día tomando como referencia que alrededor de 91 personas ocupan los servicios higiénicos de la Hostería Cuicocha, mientras que, para el caudal de aguas negras con la misma población se obtuvo 735,32 L/día y para el caudal total que ingresa a la planta de tratamiento es de 18560 L/día.
- Al realizar la caracterización del agua residual que atraviesa cada proceso por la PTAR se tomaron muestras diferentes en distintos frascos siguiendo protocolos de muestreo especificados en el presente documento. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para ser caracterizadas, evaluadas y comparadas con el fin de verificar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.
- La actual planta de tratamientos de aguas residuales de la Hostería Cuicocha no permite cumplir con los límites máximos permisibles para los parámetros DQO, coliformes fecales y tensoactivos en el proceso final (pozo de infiltración), según las caracterizaciones realizadas. Sin embargo, los parámetros Aceites y Grasas, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos, Nitratos, Nitritos, Sulfatos, DBO, Nitrógeno Amoniacal y Cromo Hexavalente están dentro de los valores aceptables, lo que indica que, respecto a estos parámetros, la planta cumple con la normativa ecuatoriana para descargas a agua dulce.

5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda revisar detalladamente los procedimientos utilizados en el laboratorio al momento de analizar cada parámetro y asegurarse de que todos los cálculos y mediciones se realizaron correctamente.
- Establecer un programa de monitoreo periódico para verificar el funcionamiento correcto de la PTAR y asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales locales.
- Se recomienda utilizar una combinación de plantas que sean adaptadas al clima para crear una mejor remoción y mejorar las condiciones del agua en esta operación.
- Para la limpieza se recomienda el uso de productos biodegradables, ya que evitan el uso de sustancias químicas agresivas y tóxicas para la salud humana y el medio ambiente. Estos productos reducen el peligro de toxicidad para la vida silvestre tanto en el agua como en la tierra, promoviendo así la salud y equilibrio de los ecosistemas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AcquaPhi. (2023, 10 abril). *Sólidos en suspensión y sedimentos - AcquaPhi*. <https://acquaphi.com/es/benefits/schwebende-feststoffe-und-sedimente>

Alcántara, S. (2023, 5 noviembre). Piseta. *Laboratorio Químico*. https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/piseta.html#google_vignette

Clemente, G. (2022, 28 abril). ¿QUÉ ES y PARA QUÉ SIRVE UN COOLER? GRUPO DECME. <https://grupodecme.com/blogs/news/que-es-y-para-que-sirve-un-cooler>

Crodriguez & Crodriguez. (2023, 13 julio). Proceso de tratamiento de aguas residuales. SDI.

Delgado, O. (2023, 13 octubre). Qué es el Plan y Método de muestreo según la ISO/IEC 17025. SGC-Lab. <https://sgc-lab.com/que-es-el-plan-y-metodo-de-muestreo-segun-la-iso-iec-17025/>

Escuela Politécnica Nacional. (2018, January 29). Centro de Investigación y Control Ambiental – CICAM. Escuela Politécnica Nacional

Eugenia, S. R. N., Yesid, C. E., & Carlos, E. J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators.

Foronda-Rodríguez, A., Macías-García, L., Sánchez-Román, F. M., Espínola-Villarreal, J. F., & González-Martín, L. M. (2010). Control de la calidad del agua: La dureza del agua y su influencia en el sistema de abastecimiento de Cuenca. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 113.

Fluideco. (2019, 26 noviembre). ¿En qué consiste el muestreo de agua? - Fluideco - Dosificación - Ingeniería - Control. Fluideco. <https://fluideco.com/muestreo-agua-que-es/>

Guzmán, G., Álvarez, M., & Restrepo, I. (2009). Efectividad de humedales artificiales en la remoción de contaminantes: Revisión de literatura. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 25-39.

Hernández García, H. B.-V. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. Obtenido de <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>

Hidrotec. (2024, 7 mayo). *Aguas residuales: tipos y componentes*. Hidrotec. <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

Hillebole, H. (1998). Manual de tratamiento de aguas. Nueva York: Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York,. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/50575479/Capitulo-11-Manual-Aguas-Residuales>

Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & Muench, E. V. (2011). Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Eschborn (Alemania): Agencia de Cooperación Internacional de Alemania, GIZ Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Revision-Tecnica-de-Humedales-Artificiales.pdf>

IDEAM. (2012). *Determinación de alcalinidad*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Iriarte, L. (2022, 11 abril). ¿Cuántas veces debe orinar al día una persona sana? Diario de Noticias de Navarra. <https://www.noticiasdenavarra.com/salud/2022/11/04/veces-debe-orinar-dia-persona-6194493.html>

Laura F. Zarza. (2024, 23 mayo). *¿Qué son las aguas residuales?* iAguas. <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

Lee, W. &. (2006). Dissolved organic nitrogen removal during water treatment by aluminum sulfate and cationic polymer coagulation. *Water Research*, 40(20), 3767-3774. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135406004696>

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Tsuchihashi, R. (2013). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento y recuperación de recursos*. McGraw-Hill Education.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica entrega 2.8 millones de dólares para obras de agua potable y saneamientos en beneficio de 9 cantones rurales.

Ministerio del Ambiente. (2007). RESERVA ECOLÓGICA COTACACHI – CAYAPAS. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/reserva-ecologica-cotacachi-cayapas>

Ministerio del Ambiente. (2017). TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE. DE LAS POLITICAS BASICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

NTE INEN. (2000). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2226. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo. Requisitos.* Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador.

NTE INEN. (1983). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1105. Agua. Calidad del Agua. Muestreo para examen microbiológico. Requisitos.* Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador.

NTE INEN. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Requisitos.* Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador.

NTE INEN. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Requisitos.* Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador.

O'Donnell, D. (2022, 27 abril). Three Main Types of Water Quality Parameters Explained. Sensorex Liquid Analysis Technology. <https://sensorex.com/three-main-types-of-water-quality-parameters-explained/>

Paula. (2014, 10 noviembre). Tiras de pH, medidores de acidez - Noticias de Arte Totenart.

PURE WATER. (2024). Aguas residuales domésticas. Obtenido de <https://purewater.com.co/aguas-residuales-domesticas/>

Pzarate. (2024, 27 marzo). ¿Cuáles son los tipos de muestreo de agua? | GC Tratamiento. GC Tratamiento. <https://gctratamiento.mx/tipos-de-muestreo-de-agua/>

Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. (2015). Ministerio Del Ambiente.

Romero. (2000). Purificación del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/429659962/Purificacion-Del-Agua-Romero-2006>

SAGUAPAC. (12 de Febrero de 2022). Obtenido de ¿Qué Son Las Aguas Negras Y Grises YCuál Es Su Impacto En El Medioambiente

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3), 172-181.

Sánchez Romero, R. A. (2011). *Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional].

Sela, G. (2023). TRATAMIENTO DE AGUAS. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS. Obtenido de <https://cropaia.com/es/blog/tratamiento-de-aguas/>

Spellman, F. R. (2008). *Manual de operaciones de plantas de tratamiento de agua y aguas residuales*. CRC Press.

Tebbutt, T. H. Y. (2005). *Principios de control de calidad del agua*. Butterworth-Heinemann.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Tsuchihashi, R. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Características, tratamiento y disposición de aguas residuales. En G. Tchobanoglous & F. L. Burton (Eds.), *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento y reutilización* (pp. 1-46). McGraw-Hill.

Thurman, E. Michael. "Geoquímica orgánica de aguas naturales." Springer Science & Business Media, 2012.

UTP. (2006). *Determinación de Sólidos Totales, Disueltos y Suspendidos*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Panamá: <https://utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>.

7 ANEXOS

ANEXO I. Certificado de originalidad Turnitin

TIC BAYAS NARANJO VANESSA KATHERINE

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	11 %	4 %	2 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	1 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	1 %
4	epsar.cop.gva.es Fuente de Internet	<1 %
5	Jimmy Vicente Reyes. "Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales", Enfoque UTE, 2016 Publicación	<1 %
6	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
7	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

ANEXO II. Corresponde a la Tabla 2 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-

A:

Tabla 22: Límites de calidad admisibles para preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Acetiles y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 80
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l
⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce
⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el didorfenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

-Acuerdo Ministerial 097-A Anexo del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

Tabla 23: Corresponde a la Tabla 9 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite 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
Cadmino	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:
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	1/20
Cromo hexavalente	Cr ^{VI}	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	0,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	100
Estaño	Sn	mg/l	200
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⁻	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

-Acuerdo Ministerial 097-A Anexo del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

ANEXO III. Plan de muestreo

En la tabla 24 se puede evidenciar datos que se consideró para la recolección de muestras.

Tabla 24: Plan de muestreo para la recolección de muestras en la Hostería Cuicocha

Plan de muestreo	
Plan de muestreo	<p>Hostería Cuicocha para el Tratamiento de aguas residuales domésticas.</p> <p>Toma de muestra de agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acuerdo Ministerial 097-A, Refórmese el Texto Unificado de Legislación secundaria (2015). • Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo (2013). • Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras (2013). <p>Estudiantes que efectuarán el muestreo: Vanessa Bayas; Camila Casanova; Estefanía Reyes.</p>
Objetivos del muestreo	<p>Obtener muestras representativas de las aguas residuales domésticas en diferentes puntos de la PTAR para analizar y evaluar la calidad del agua, identificar contaminantes, monitorear el cumplimiento de normativas ambientales vigentes y proporcionar datos para el rediseño, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de la planta.</p>
Naturaleza de la muestra	<p>Aguas residuales del restaurante e instalaciones de la hostería Cuicocha</p>
Identificación de los puntos de muestreo	<p>Realizar visitas a la hostería para situar los puntos de muestreo</p> <p>Días de muestreo: 2, tomar 6 muestras por día de cada punto.</p> <p>Total de muestras: 30</p>
Equipos de muestreo	<p>Botellas ámbar, envases de plásticos estériles jarra aforada, reactivos preservantes, piseta con agua destilada, papel tissue, mandil, guantes.</p>

Método de muestreo	<p>Seguir la Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 2169 se describen las técnicas y medidas preventivas necesarias para preservar las muestras de agua antes de proceder a su análisis. Es importante llenar completamente los recipientes de modo que el agua rebose del recipiente. La recolección no será adecuada si, al cerrar el recipiente quedará alguna burbuja de aire.</p> <p>Para la recolección de la muestra microbiológica no llenar completamente el envase.</p> <p>El propósito de los conservantes es retardar la actividad biológica y mantener la integridad de ciertos componentes físicos y químicos mediante la adición directa de compuestos químicos a la muestra después de su extracción.</p>
Identificación de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Es imprescindible escribir los datos en las etiquetas y pegarlas a los recipientes inmediatamente después de hacer la toma. • La etiqueta incluirá los siguientes datos: código específico, fecha, hora, lugar de muestreo, análisis a realizar, nombre muestreador, tipo de muestra, preservante utilizado, número de muestra que permita tener controlada durante el proceso de análisis y a la vez que garantiza la confidencialidad de los datos.
Equipo de conservación de la muestra	<ul style="list-style-type: none"> • Cooler espuma Flex • Hielos
Conservación de la muestra	<p>Para los análisis que se realizarán posteriormente en el laboratorio se necesita conservar la muestra entre 1-5 °C. Para mantener estas condiciones haremos el uso de hiel y el cooler.</p>
Transporte de la muestra	<p>Durante el transporte el cooler debe protegerse de la luz solar.</p>
Instrumentos para el análisis de campo	<ul style="list-style-type: none"> • Multiparámetro • Turbidímetro • GPS

	<ul style="list-style-type: none">• pH-metro
Análisis de campo	<ul style="list-style-type: none">• Oxígeno disuelto• pH• Temperatura de captación• Conductividad• Turbidez <p>Preservantes: Ácido nítrico y ácido sulfúrico.</p> <p>Anotar los resultados en un informe de muestreo.</p>

ANEXO IV. Cálculo de caudales

Turistas registrados en el uso del Inodoro en la Hostería Cuicocha, datos proporcionados desde los registros de la Hostería:

Días	Turistas		Promedio
Viernes	40	50	45
Sábado	90	100	95
Domingo	125	140	133

Usuarios que usan el inodoro: 91

Usuarios que usan el restaurante: 32

Usuarios Totales: 123

Criterios bibliográficos:

Aportes biológicos:

1	Orina	2	L/hab*día	
2	Heces	100	gramos	Densidad: 1,05 Kg/L 0,095 L

$$\text{Orina: } 2 \frac{L}{\text{hab} \cdot \text{día}} * 91 \text{ hab} = 181,67 \frac{L}{\text{día}}$$

$$\text{Heces: } 0,095 \frac{L}{\text{día}} * 91 \text{ hab} = 8,65 \frac{L}{\text{día}}$$

Caudal de ingreso a la Hostería: $18560 \frac{L}{\text{día}}$

3	V. de agua que se descarga de los inodoros	6	L
	# de veces que va una persona al baño	1	vis/día
	# de visitantes al día	91	vis/día

545 L

$$6 L * 1 \frac{\text{vis}}{\text{día}} * 91 \frac{\text{vis}}{\text{día}} = 545 L$$

- $Q \text{ aguas negras} = 181,67 L + 8,65 L + 545 L$

$$Q \text{ aguas negras} = 735,32 \frac{L}{\text{día}} \rightarrow 0,74 \frac{m^3}{\text{día}}$$

- $Q \text{ aguas grises} = 18560 \frac{L}{\text{día}} - 545 L$

$$Q \text{ aguas grises} = 18015 \frac{L}{\text{día}} \rightarrow 18,02 \frac{m^3}{\text{día}}$$

$$Q \text{ Total} = 18.75 \frac{m^3}{\text{día}}$$

ANEXO V. Cálculos para determinar coliformes fecales, sólidos totales, disueltos y suspendidos, alcalinidad, acidez y dureza.

En las presentes tablas se muestran los resultados de los análisis microbiológicos en los 5 puntos de muestreo de la Hostería Cuicocha.

Tabla 25: Determinación del Número Más Probable

Punto 1

10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
(-)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	
(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	Resultados
(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	350000
		R	2	2	2		

Punto 2

10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	
(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	Resultados
(+)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	120000
	R	3	1	2			

Punto 3

10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	
(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	Resultados
(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	350000
		R	2	2	2		

Punto 4

10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	
(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	Resultados
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	150000
		R	2	2	2		

Punto 5

10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
			R	2	2	0

Resultados
2100000

Punto 1

Para calcular el número más probable se lo realizó de la siguiente manera:

R= 2 2 2 → NMP 35

$$NMP = \frac{35}{100 \text{ mL}} * \frac{10}{10^{-3}} = \frac{350000}{100 \text{ mL}}$$

$$NMP = \frac{3,5 * 10^5}{100 \text{ mL}}$$

Para poder calcular el NMP se tomó en cuenta el factor más bajo de dilución, este resultado que nos dio, se debe expresar en notación científica. Este procedimiento realizado se hizo para las diferentes áreas de muestreo.

- **Determinación de Sólidos Totales y Disueltos**

A continuación, se realizará un ejemplo sobre los cálculos que se realizaron para determinar los sólidos totales.

$$\frac{(P_f - P_o)}{Vm} * 1000$$

Peso inicial = 47,7557 (g)

Peso Final = 48,6234 (g)

Vm= 0,03 (L)

$$ST = \frac{(48,6234 - 47,7557)}{0,03} * 1000$$

$$ST = 28923,3 \text{ mg/L}$$

27/03/2024		31/03/2024	
ST	Unidades	ST	Unidades
28923,3	mg/L	2660	mg/L
1370	mg/L	1250	mg/L

933,3	mg/L		936,7	mg/L
660	mg/L		896,7	mg/L
653,3	mg/L		693,3	mg/L

A continuación, se realizará un ejemplo sobre los cálculos que se realizaron para determinar los sólidos disueltos.

Peso inicial = 47,5771 (g)

Peso Final = 47,6113 (g)

Vm= 0,03 (L)

$$SD = \frac{(47,6113 - 47,5771)}{0,03} * 1000$$

$$SD = 1140 \text{ mg/L}$$

27/03/2024		31/03/2024	
SD	Unidades	SD	Unidades
946,7	mg/L	1140	mg/L
1000	mg/L	1166,7	mg/L
830	mg/L	900	mg/L
633,3	mg/L	740	mg/L
716,7	mg/L	630	mg/L

- **Determinación de Sólidos Suspendidos**

$$SS = ST - SD$$

ST = 28923,3

SD = 946,7

$$SS = 28923,3 - 946,7$$

$$SS = 27976,7 \text{ mg/L}$$

27/03/2024		31/03/2024	
SS	Unidades	SS	Unidades
27976,7	mg/L	1520	mg/L
370	mg/L	83,3	mg/L

103,3	mg/L		36,7	mg/L
26,7	mg/L		156,7	mg/L
63,3	mg/L		63,3	mg/L

- **Determinación de Alcalinidad a la fenolftaleína**

$$\text{Alcalinidad a la fenolftaleína} = \frac{A * N * 50000}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde:

$$A = 7,1 \text{ (mL)}$$

$$N = 0,02$$

$$V_m = 30 \text{ (mL)}$$

$$\text{Alcalinidad} = \frac{7,1 * 0,02 * 50000}{30}$$

$$\text{Alcalinidad} = 236,7 \text{ mg/L}$$

27/03/2024		31/03/2024	
Alcalinidad	Unidades	Alcalinidad	Unidades
250	mg/L	236,7	mg/L
226,7	mg/L	216,7	mg/L
243,3	mg/L	230	mg/L
250	mg/L	236,7	mg/L
316,7	mg/L	283,3	mg/L

- **Determinación de Acidez**

$$\text{Acidez} = \frac{C * N * 50000}{\text{Alcalinidad}}$$

Donde:

$$C = 11,4$$

$$N = 0,02$$

$$Acidez = \frac{11,4 * 0,02 * 50000}{236,7}$$

$$Acidez = 48,2 \text{ mg/L}$$

27/03/2024		31/03/2024	
Alcalinidad	Unidades	Alcalinidad	Unidades
50	mg/L	48,2	mg/L
28	mg/L	25,4	mg/L
23,4	mg/L	21,7	mg/L
5,2	mg/L	4,2	mg/L
9,2	mg/L	8,8	mg/L

- **Determinación de la Dureza**

$$Dureza \text{ total} = \frac{V_{EDTA} * M_{EDTA} * 100000}{V_{muestra}}$$

Donde:

$$V_{EDTA} = 3,2 \text{ mL}$$

$$M_{EDTA} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$V_m = 25 \text{ mL}$$

$$Dureza \text{ total} = \frac{3,2 * 0,01 * 100000}{25}$$

$$Dureza \text{ total} = 128 \text{ mg/L}$$

27/03/2024		31/03/2024	
Dureza	Unidades	Dureza	Unidades
128	mg/L	180	mg/L
128	mg/L	136	mg/L
200	mg/L	172	mg/L
128	mg/L	140	mg/L
72	mg/L	172	mg/L