



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PROCESO
PARA REDUCIR LAS MERMAS EN UNA PLANTA POTABILIZADORA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Ambiental

AUTORES:

BOURNE MORAN ARIEL RICCARDO

HERNÁNDEZ CANDELARIO CARLOS JOEL

TUTOR:

ORDOÑEZ RAMIREZ VIRGILIO ALONSO

Guayaquil-Ecuador

2024

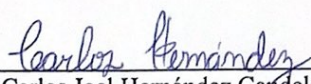
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, **CARLOS JOEL HERNÁNDEZ CANDELARIO** con documento de identificación N° **0943124867** y **ARIEL RICCARDO BOURNE MORÁN** con documento de identificación N° **0930523386**, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

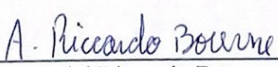
Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Carlos Joel Hernández Can delario

CI: 0943124867



Ariel Riccardo Bourne Morán

CI: 0930523386

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

Nosotros, **CARLOS JOEL HERNÁNDEZ CANDELARIO** con documento de identificación No. **0943124867** y **ARIEL RICCARDO BOURNE MORÁN** con documento de identificación No. **0930523386**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental **DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PROCESO PARA REDUCIR LAS MERMAS EN UNA PLANTA POTABILIZADORA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AMBIENTAL**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

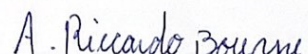
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,


Carlos Joel Hernández Can delario

CI: 0943124867


Ariel Riccardo Bourne Morán

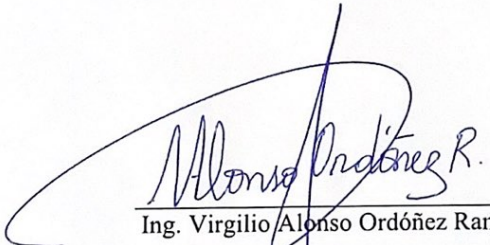
CI: 0930523386

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez con documento de identificación N° 0909780850, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PROCESO PARA REDUCIR LAS MERMAS EN UNA PLANTA POTABILIZADORA**, realizado por Carlos Joel Hernández Candelario con documento de identificación N° 0943124867 y por Ariel Riccardo Bourne Morán con documento de identificación N° 0930523386, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez, PHD
CI: 0909780850

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

Nosotros, **CARLOS JOEL HERNÁNDEZ CANDELARIO** con documento de identificación N° **0943124867** y **ARIEL RICCARDO BOURNE MORÁN** con documento de identificación N° **0930523386**, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,

Carlos Joel Hernández Candelario

CI: 0943124867

Ariel Riccardo Bourne Morán

CI: 0930523386

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

Nosotros, **CARLOS JOEL HERNÁNDEZ CANDELARIO** con documento de identificación No. **0943124867** y **ARIEL RICCARDO BOURNE MORÁN** con documento de identificación No. **0930523386**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental **DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PROCESO PARA REDUCIR LAS MERMAS EN UNA PLANTA POTABILIZADORA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AMBIENTAL**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,

Carlos Joel Hernández Candelario

CI: 0943124867

Ariel Riccardo Bourne Morán

CI: 0930523386

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez con documento de identificación N° 0909780850, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE PROCESO PARA REDUCIR LAS MERMAS EN UNA PLANTA POTABILIZADORA**, realizado por Carlos Joel Hernández Candelario con documento de identificación N° 0943124867 y por Ariel Riccardo Bourne Morán con documento de identificación N° 0930523386, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero del año 2024

Atentamente,

Ing. Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez, PHD

CI: 0909780850

DEDICATORIA

A Dios que me ha guardado y cuidado hasta el día de hoy, que me ha abierto puertas de bendición para mi vida.

A mi madre Mary Osorio Candelario y a mi padre Carlos Hernández Cornejo que me dieron la oportunidad de estudiar para llegar hasta aquí, quienes han sido mi faro y mi guía a lo largo de este arduo viaje académico. Su amor, apoyo y enseñanzas han sido mi impulso detrás de cada logro alcanzado. A ustedes les dedico este trabajo con total agradecimiento por su sacrificio y paciencia que han depositado en mí, muchas gracias mis grandes guerreros, los amo mucho.

A mis hermosas hermanas que en cada momento han estado para mí y no me dejaron solo ante los desafíos que se me ponían de frente, mis compañeras de risas, confidentes y amigas incondicionales.

Esta obra es un testimonio de nuestro vínculo indestructible y de la luz que su presencia ha arrojado sobre mi camino.

Carlos Joel Hernández Candelario

AGRADECIMIENTO

Quiero Expresar mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma han contribuido a mi vida de manera significativa. A Dios, a mi familia, a mi tutor, a mis amigos y compañeros. Agradezco por su respaldo, comprensión y amor. Su apoyo me ha dado impulso en momentos difíciles y mi mayor alegría en los triunfos alcanzados.

Gracias a todos por haber sido parte de este viaje académico. Su influencia y contribuciones han dejado una huella en este trabajo.

Carlos Joel Hernández Candelario

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicarlo a Dios por darme la oportunidad de estudiar un tema que empecé a amar mucho.

A mi Madre Sandra Moran y a mi Padre Alfredo Bourne, quienes desde un principio a pesar de las dificultades estuvieron apoyándome y dándome consejos que me sirvieron para llegar a donde estoy.

Mi hermana María Bourne y mi hermano Erick Bourne, que debido a la distancia no siempre pudieron compartir este camino conmigo, sin embargo, eso no afecta la manera en la que ellos desearon mis buenos deseos en terminar un camino de los muchos que puedo llegar a tener en mi vida.

También a mi mejor Amigo Neil Vélez quien estuvo apoyándome desde que nos conocimos, en las buenas y en las malas, eres mi hermano de otra madre.

Ariel Riccardo Bourne Morán

AGRADECIMIENTO

Quiero Agradecer a todas las personas que de alguna manera han aportado un grano de arena y que, para mí, aunque haya sido poco es valioso e importante seguir y escuchar cualquier consejo de compañeros, amigos, familiares y personas que he conocido durante mucho tiempo, les agradezco a todos por su aporte comprensión y ayuda durante todo este tiempo.

Ariel Riccardo Bourne Morán

RESUMEN

Ecuador, a pesar de contar con una abundancia de recursos hídricos, enfrenta desafíos significativos relacionados con el desperdicio del agua debido a diversas actividades humanas, lo que conlleva al mal uso y la pérdida de grandes cantidades de este recurso vital. Esta situación puede desencadenar escasez de agua, inseguridad alimentaria, tensiones políticas y daños ambientales. Con el fin de abordar esta problemática, este trabajo de investigación se enfoca en diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas de proceso para reducir las mermas en una planta potabilizadora. El análisis detallado de los procedimientos dentro de la planta potabilizadora revela que las principales causas de pérdida de agua se originan en los procesos de purga de los decantadores y retro lavado de los filtros. Es imperativo identificar las raíces de estas mermas para desarrollar estrategias efectivas de mitigación. Además, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva del agua de proceso mediante análisis fisicoquímicos, lo que proporciona datos fundamentales para el diseño del sistema de aprovechamiento. El diseño del sistema de aprovechamiento implica la selección cuidadosa de tecnologías adecuadas, como sistemas de tratamiento, y su integración con los procesos existentes en la planta. Se realiza un análisis detallado de los costos y beneficios para evaluar la viabilidad económica del sistema, teniendo en cuenta los gastos de inversión, operación y mantenimiento, así como los potenciales ahorros en agua y recursos hídricos. Además, se consideran las consideraciones ambientales y regulatorias para garantizar el cumplimiento de las normativas pertinentes sobre agua potable y protección del medio ambiente. Se llevan a cabo pruebas simuladoras del sistema en condiciones reales de funcionamiento, seguidas de un seguimiento continuo para evaluar su rendimiento y realizar ajustes según sea necesario, asegurando así una gestión eficiente y sostenible del agua en la planta potabilizadora.

Palabras claves: Agua potable, Sistema de aprovechamiento de agua, Retro lavado de los filtros, Purga de los decantadores.

ABSTRACT

Ecuador, despite its abundant water resources, faces significant challenges related to waste of water due to various human activities, resulting in the misuse and loss of large amounts of this vital resource. This situation can trigger water scarcity, food insecurity, political tensions and environmental damage. In order to address this problem, this research work focuses on designing a process water utilization system to reduce debris in a drinking plant. The detailed analysis of the procedures within the drinking plant reveals that the main causes of water loss originate in the purge processes of the decanters and retrowashing of the filters. It is imperative to identify the roots of these declines in order to develop effective mitigation strategies. In addition, a comprehensive evaluation of process water is carried out using physicochemical analyses, which provides key data for the design of the sewage system. The design of the sewage system involves the careful selection of suitable technologies, such as treatment systems, and their integration with existing processes in the plant. A detailed cost-benefit analysis is carried out to assess the economic viability of the system, taking into account investment, operating and maintenance costs, as well as potential savings in water and water resources. In addition, environmental and regulatory considerations are considered to ensure compliance with relevant regulations on drinking water and environmental protection. Simulative testing of the system under real operating conditions is carried out, followed by continuous monitoring to evaluate its performance and make adjustments as needed, thereby ensuring efficient and sustainable water management in the drinking plant.

Keywords: Drinking water, Water recovery system, Retro washing of filters, Purge of decanters, Drinking plant.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA.....	3
1.2 DELIMITACIÓN.....	5
1.2.1 Delimitación Geográfica	5
1.2.2 Delimitación Temporal	5
1.2.3 Delimitación Sectorial	5
1.2.4 Delimitación Institucional.....	5
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	5
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 HIPÓTESIS	6
1.5.1 Hipótesis General	6
1.5.2 Hipótesis Específicas	6
CAPÍTULO II.....	7
2. FUNDAMENTOS.....	7
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1.1 Agua Potable.....	7
2.1.2 Plantas de tratamiento de agua potable	7
2.1.3 Reutilización del agua	8
2.1.4 Importancia de la calidad de agua potable	9

2.1.5 Sistemas de aprovechamiento de agua en el Ecuador y eficiencia de procesos y reducción de pérdidas	9
2.1.5.1 Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo	9
2.1.5.2 Análisis energético y estrategias de optimización para el sistema de abastecimiento de agua potable de los sectores Virgen del Cisne y 25 de Julio de la ciudad de Guayaquil (Ecuador).	10
2.1.6 Referencias Históricas	10
2.2 FUNDAMENTACIÓN LEGAL	12
2.2.1 Constitución	12
2.2.1.1 Constitución de la República del Ecuador	12
2.2.2 Leyes	12
2.2.2.1 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	12
2.2.3 Acuerdos Ministeriales	12
2.2.3.1 Acuerdo Ministerial 097-A Anexos TULSMA	12
2.2.4 Normativas	14
2.2.4.1 NTE-INEN 1108	14
2.2.4.2 NTE-INEN 2469	15
CAPÍTULO III	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 MATERIALES	16
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	17
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	17
3.4 VARIABLES	17
3.5 METODOLOGÍA DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	18
3.5.1 Cloro Libre	18
3.5.2 Bario	19
3.5.3 Hierro Total	20
3.5.4 Sulfatos	20
3.5.5 Cobre	21
3.5.6 Color	22
3.5.7 Arsénico	22
3.5.8 Oxígeno Disuelto	23
3.5.9 pH y Temperatura	24
3.5.10 Conductividad	24

3.5.11 Turbidez	25
3.5.12 Sólidos Sedimentables	25
3.5.13 Dureza	26
3.6 RECOLECCIÓN DE DATOS	27
3.6.1 Cuantificación de la cantidad de agua desaprovechada	27
3.6.2 Caracterización del agua de purga y de retro lavado	28
3.6.2.1 Caracterizaciones de las aguas de proceso sin tratamiento previo	29
3.6.2.2 Caracterización de las aguas de proceso con tratamiento	29
3.6.3 Diseño De Tratamiento	30
3.6.4 Análisis Costo – Beneficio	30
CAPÍTULO IV	30
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA	31
4.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA DESCARGADA EN LOS PROCESOS DE PURGA DE LOS DECANTADORES Y RETROLAVADO DE LOS FILTROS	33
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PURGA Y RETROLAVADO SIN TRATAMIENTO PREVIO	34
4.3.1 Resultados de la caracterización de cada muestreo de las aguas de proceso	34
4.3.2 Tablas estadísticas de los resultados de la caracterización de las aguas de proceso	42
4.3.3 Análisis de los resultados de la caracterización de las aguas de proceso sin tratamiento previo	44
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DE PROCESO CON TRATAMIENTO	49
4.4.1 Diagrama del tratamiento de sedimentación y filtración de las aguas de proceso	49
4.4.2 Análisis de los resultados de la caracterización de las aguas de proceso con tratamiento	50
4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	51
4.6 EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO	39
4.6.1 Plan financiero	39
4.6.1.1 Terrenos y obras civiles	40
4.6.1.2 Maquinarias, mobiliarios y equipos	40
4.6.1.3 Inversión fija inicial	40
4.6.1.4 Mano de obra directa	41
4.6.1.5 Materiales directos	41

4.6.1.6 Costo directo de producción.....	41
4.6.1.7 Capital de trabajo.....	41
4.6.2 Tabla costo-beneficio.....	42
CAÍTULO V	43
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1 CONCLUSIONES.....	43
5.2 RECOMENDACIONES.....	44
6. BIBLIOGRAFÍA.....	45
7. ANEXOS	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – AM097A Anexo1. Tabla 1 de Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.	13
Tabla 2 – Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.	14
Tabla 3 – Rango de pH del agua para consumo humano.	15
Tabla 4 – Químicos inorgánicos.	15
Tabla 5 – Parámetros, instrumentos y metodología aplicada.	29
Tabla 6 - Pérdida diaria de agua en el proceso.	33
Tabla 7 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo A).	35
Tabla 8 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo A).	36
Tabla 9 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo B).	37
Tabla 10 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo B).	38
Tabla 11 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo A).	39
Tabla 12 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo B)	40
Tabla 13 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo B).	41
Tabla 14 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo B)	42
Tabla 15 – Estadística de los resultados de la caracterización de agua de Purga.	43
Tabla 16 – Estadística de los resultados de la caracterización de agua de Retro lavado.	43
Tabla 17 – Cumplimiento y no cumplimiento del promedio de los parámetros de agua de Purga.	47
Tabla 18 - Cumplimiento y no cumplimiento del promedio de los parámetros de agua de Retro lavado.	48
Tabla 19 – Cumplimiento y no cumplimiento de los parámetros de agua de proceso con tratamiento.	50
Tabla 20 – Cumplimiento de los parámetros de agua de proceso con tratamiento restantes.	51
Tabla 21 - Plan financiero: Terrenos y obras civiles.	40
Tabla 22 - Plan financiero: Maquinarias, mobiliarios y equipos.	40
Tabla 23 - Plan financiero: Inversión fija inicial total.	40
Tabla 24 - Plan financiero: Mano de obra directa.	41
Tabla 25 - Plan financiero: Material directo.	41
Tabla 26 - Plan financiero: Costo directo de producción.	41
Tabla 27 - Plan financiero: Capital de trabajo.	42
Tabla 28 - Análisis Costo beneficio.	42

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Diagrama de flujo del procesamiento de potabilización.	32
Ilustración 2 – Comparación de promedios de la caracterización de agua de purga y retro lavado de parámetros metales.....	44
Ilustración 3 - Comparación de promedios de la caracterización de agua de purga y retro lavado de parámetros físicos.....	45
Ilustración 4 - Comparación de promedios de la caracterización de agua de purga y retro lavado de parámetros	45
Ilustración 5 – Pasos del tratamiento de las aguas de proceso.	49
Ilustración 6 - Sistema de aprovechamiento de agua	33
Ilustración 7 - Sistema de aprovechamiento de agua	34
Ilustración 8 - Diseño final del sistema aprovechamiento en la planta potabilizadora	38
Ilustración 9 - Vista cercana del sistema de aprovechamiento en la planta potabilizadora..	39

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un líquido vital que está constituido por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, formando la molécula de H_2O y puede presentarse en otros estados aparte del líquido, como: hielo y vapor (Aqua, 2021). Las características físicas y químicas de este elemento constitutivo junto con otras aseguran la supervivencia de los ecosistemas. El agua es esencial para la vida en su totalidad, dado que desempeña un papel importante en la supervivencia de los organismos vivos, preservación de ecosistemas y progreso de las actividades humanas.

La supervivencia de los organismos vivos: El agua representa el 80% de la composición de la mayoría de los seres vivos y juega un papel importante en el funcionamiento de los tejidos y órganos, así como en el mantenimiento de los procesos corporales esenciales. Este alto porcentaje nos destaca la importancia del agua para la biología y la salud de los organismos, porque contribuye significativamente a la estabilidad y vitalidad de sus funciones internas,

Preservación de ecosistemas: El agua es crucial para mantener la biodiversidad y regular los procesos esenciales de los ecosistemas, como la flora y fauna que están directamente influenciadas por la disponibilidad y calidad del agua que puede afectar de forma positiva o negativa en sus hábitats y comportamientos. El ciclo hidrológico ayuda a los ecosistemas naturales y en la regulación del clima, el cual consiste en la evaporación del agua desde la superficie terrestre, su condensación en las nubes y la precipitación en procesos cíclicos que contribuyen a la distribución y renovación constante del recurso hídrico. El ciclo hidrológico, además de mantener la hidratación de los ecosistemas, juega un papel importante en la estabilidad climática al afectar los patrones de precipitación y la temperatura global,

Progreso de las actividades humanas: Muchos describen al agua como un sinónimo de vida y desarrollo, a causa de que este recurso ha impulsado el crecimiento de las civilizaciones humanas por sus múltiples usos para diversas actividades. Entre sus principales y más comunes usos actualmente está: el consumo, la agricultura y uso industrial. El aumento

de la población está generando que la demanda de este recurso limitado crezca (Valdivielso, 2023).

A lo largo de la historia el agua ha sido un recurso muy valioso para la humanidad. Durante el surgimiento de las civilizaciones o tribus, la proximidad a las fuentes de agua era esencial para garantizar el desarrollo y evolución, ya que un asentamiento no podría avanzar si no tenía acceso a este recurso vital. Los Sumerios fueron una civilización antigua que data de los años 4100 y 1750 a.C., situándose entre los ríos Tigris y Éufrates, de modo que el agua fue determinante para ellos, porque ayudaba principalmente en su transporte y comercio. Otra de las civilizaciones muy importantes es la egipcia, esta se desarrolló en las orillas del río Nilo, creando canales y lagunas para usar el agua cada que la corriente crecía. Por último, la Civilización Romana, la cual tuvo una relación significativa con el agua, marcando avances notables en su uso y manejo. La vida cotidiana de los grandes pensadores romanos giraba en torno al agua y su sabio empleo en las distintas actividades que desarrollaban, de modo que incluso hoy en día usamos inventos creados por esta civilización, como: Piscinas, tuberías, fuentes decorativas, molinos de agua, cisternas, acueductos, entre otros (Fundación Aquae, 2022).

En tiempos antiguos, la tierra tenía recursos abundantes y sin cambios causados por la actividad humana. Sin embargo, debido al crecimiento y desarrollo de las poblaciones, las circunstancias cambiaron con el tiempo. Con el aumento de la demanda, el agua ha sido explotada de manera intensiva, lo que ha provocado cambios en su entorno por facilitar su recolección y procesamiento. Por ello el uso eficaz del agua se ha vuelto crucial en la actualidad, especialmente en las industrias, las cuales buscan reducir y prevenir la pérdida de este recurso prolongando su existencia con estrategias y soluciones, ya que los objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial incluyen el uso eficiente de los recursos vitales y uno de estos elementos es el agua (Grupo Acura, 2021).

En el caso de los procesos de potabilización, se prefiere el agua dulce porque su tratamiento es más económico que el agua salada. Según Aquae (2022) *“Nuestro planeta dispone de, aproximadamente, 1.386 millones de kilómetros cúbicos de agua distribuidos por toda la superficie terrestre. El 97,5% de esta cantidad corresponde a agua salada y el 2,5% restante es agua dulce”*. El agua dulce representa solo el 2,5% del total de recursos

hídricos del planeta, frente al 97,5% del agua salada. Sin embargo, su escasez y su relevancia para los procesos industriales y la vida humana lo convierten en un recurso crucial. Por lo tanto, es imperativo tratarla de la mejor manera posible para garantizar su uso eficiente y sostenible en un contexto donde la gestión adecuada del agua se vuelve cada vez más importante.

1.1 PROBLEMA

Ecuador, siendo un país con abundancia de recursos hídricos, enfrenta desafíos asociados al desperdicio de agua en diferentes actividades, como el tratamiento de agua potable, la agricultura y la industria. Este problema ha llevado a un incremento en el desperdicio de este recurso, sin posibilidad de someterlo a procesos de tratamiento y reciclaje para usos como limpieza, lavado o incluso riego, dependiendo del propósito posterior al reciclaje. La determinación del suministro no puede realizarse sin un preprocesamiento adecuado. Actualmente, la gestión eficiente del agua se ha vuelto esencial para aquellos responsables de manejar este recurso crucial para la supervivencia humana. En cuanto a las empresas, buscan evitar el tratamiento inadecuado del agua, ya que esto conlleva pérdidas debido a prácticas no sostenibles en el manejo del recurso (Vila, 2023). El mal uso del agua puede traer varios conflictos y problemas consigo, ya que al tener una mala gestión de este recurso en algún determinado momento habrá escasez, produciendo hambre, conflictos e impactos ambientales.

Hambre: el agua es importante en el desarrollo de la industria alimenticia y en la agricultura, porque para que los cultivos germinen y produzcan necesitan de un riego constante de agua, los animales necesitan hidratarse y los cultivos asignados para su nutrición como el heno y forraje dependen del agua para crecer, para la higiene y saneamiento se necesita del agua para mantener en estado óptimo en las instalaciones, utensilios y personal obrero, e incluso este recurso se lo necesita para el control de las plagas y enfermedades, debido a que el agua se usa para la aplicación de los pesticidas y herbicidas,

Conflictos: la principal disputa que puede traer la carencia de agua son los conflictos entre países, porque en varios países los ríos o cuencas son compartidos, lo que puede generar enfrentamientos entre naciones, lo cual ya tiene antecedentes históricos. La escasez de agua

ha obligado a muchas personas a trasladarse a diferentes zonas en busca de una fuente segura de agua, lo que a menudo crea tensiones políticas y conflictos por derechos de uso del agua,

Impactos Ambientales: los impactos que puede generar la disminución del agua recae sobre los ecosistemas generando la desaparición o reducción de hábitats acuáticos y terrestres por la merma en los caudales de los cuerpos hídricos que alteran el entorno y comportamiento de los seres vivos que habitan en ellos, la acumulación de sales en el suelo por la falta de agua para la irrigación, cambios en la flora y fauna dándose lugar a la desaparición de especies animales y vegetales, incremento de incendios forestales y cambios en el clima local, ya que dependen potencialmente de este bien para poder subsistir (Euroinnova Business School, 2023).

La empresa de agua potable, objeto de investigación, lleva a cabo dos procesos principales. Uno de ellos, denominado "purga de los decantadores", que implica abrir los grifos y canalizar agua desde los decantadores. La razón para realizar este proceso de purga es porque los flóculos formados durante la fase de floculación adquieren una consistencia esponjosa y no se sedimentan correctamente, en consecuencia, los flóculos entran por los decantadores e impide que el agua clarificada fluya correctamente por las tuberías determinadas. El otro proceso es el "retro lavado de los filtros", en el cual se invierte el flujo del agua a través del filtro para aflojar y eliminar las partículas retenidas, permitiendo la limpieza de la superficie y los espacios del medio filtrante. La razón de realizar este proceso con frecuencia radica en que los filtros tienden a acumular grandes cantidades de partículas y sedimentos durante el proceso de filtración, disminuyendo su capacidad para retener contaminantes y afectando su eficiencia en el proceso de la planta. Esto resulta en un desperdicio aproximado del 30% del agua producida diariamente.

Por lo tanto, este trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de tratamiento de agua que evite el desperdicio de la considerable cantidad de agua liberada durante la purga de los decantadores y el retro lavado de los filtros. El propósito es lograr la potabilización del agua y reducir las pérdidas en la planta potabilizadora, estableciendo un proceso sostenible y rentable que garantice la utilización eficiente de este recurso vital.

1.2 DELIMITACIÓN

1.2.1 Delimitación Geográfica

El lugar de investigación se encuentra en las siguientes coordenadas:

X: 567478.40

Y: 9718019.98

1.2.2 Delimitación Temporal

Esta investigación será durante dos meses de trabajo experimental y de investigación.

1.2.3 Delimitación Sectorial

El enfoque principal será la conservación del agua, teniendo en cuenta la cantidad de agua que se desperdicia durante el proceso de potabilización.

1.2.4 Delimitación Institucional

Participación de la carrera Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, así como sus recursos de investigación como son la biblioteca y laboratorios.

1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

"¿Cómo puede diseñarse un sistema de aprovechamiento de agua de proceso en una planta de tratamiento de agua potable para reducir las mermas, maximizar la eficiencia del uso del agua y mejorar la sostenibilidad ambiental, teniendo en cuenta consideraciones técnicas, económicas y ambientales?"

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento de las aguas de purga de los decantadores y del retro lavado de los filtros mediante cálculos estequiométricos para el aprovechamiento del agua en una planta potabilizadora.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de agua descargada en los procesos de purga y retro lavado mediante medición volumétrica para cuantificar la magnitud del desperdicio.
- Caracterizar la calidad del agua purgada y de retro lavado mediante análisis fisicoquímico para determinar las concentraciones de las variables.
- Diseñar el sistema de tratamiento de agua mediante métodos apropiados para establecer los mecanismos de tratabilidad.
- Evaluar la rentabilidad mediante un análisis costo-beneficio para establecer la viabilidad del sistema de tratamiento.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

¿Diseñando un sistema de tratamiento de las aguas de purga de los decantadores y del retro lavado de los filtros permitirá el aprovechamiento del agua en una planta potabilizadora?

1.5.2 Hipótesis Específicas

- ¿Determinando la cantidad de agua descargada en los procesos de purga y retro lavado permitirá cuantificar la magnitud del desperdicio?
- ¿Caracterizando la calidad del agua purgada y de retro lavado permitirá determinar las concentraciones de las variables?
- ¿Diseñando un sistema de tratamiento de agua permitirá establecer los mecanismos de tratabilidad?
- ¿Evaluando la rentabilidad permitirá establecer la viabilidad del sistema de tratamiento?

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 Agua Potable

El agua potable se caracteriza como aquella de calidad adecuada para el consumo humano sin riesgos para la salud. Diversas organizaciones a nivel global tienen la responsabilidad de establecer propiedades y parámetros del agua, así como normativas y regulaciones para evaluar su idoneidad para el consumo. Con el fin de evaluar la idoneidad del agua para el consumo humano, es esencial tener en cuenta varias características, tales como la necesidad de que sea limpia y segura, incolora, inodora, insípida, libre de suspensiones y sin contaminantes (Fundación Aquae, 2021).

2.1.2 Plantas de tratamiento de agua potable

Las instalaciones de tratamiento de agua desempeñan un papel fundamental en la purificación y desinfección del agua cruda o contaminada, con el objetivo de convertirla en un recurso seguro y adecuado para el consumo y uso humano. El proceso llevado a cabo por estas plantas consta de diversas etapas, cuya naturaleza puede variar en función del nivel tecnológico, recursos disponibles y la ubicación geográfica de la planta. Sin embargo, entre los procesos más destacados se encuentran los siguientes:

- **Captación:** Se realiza la extracción de agua desde fuentes como ríos, lagos, embalses o pozos,
- **Coagulación y floculación:** Al unir partículas suspendidas y sustancias coloidales presentes en el agua, se producen flóculos más grandes utilizando productos químicos como el sulfato de aluminio,
- **Sedimentación:** Los flóculos se caen en el fondo de los tanques de sedimentación, separando el agua clara en la parte superior,
- **Filtración:** El agua pasa a través de materiales filtrantes, tales como arena, grava y carbón activado, con el fin de remover partículas diminutas que podrían haber permanecido suspendidas,
- **Desinfección:** Se añade un desinfectante, comúnmente cloro o cloramina, para eliminar o inactivar microorganismos como bacterias y virus presentes en el agua,

- **Ajuste de pH:** Se regula el pH del agua para asegurar que se encuentre dentro de los límites permitidos.
- **Almacenamiento y distribución:** El agua tratada se almacena en tanques de almacenamiento y posteriormente se distribuye a través de la red de tuberías para llegar a los consumidores (Fundación Aquae, 2021).

2.1.3 Reutilización del agua

La reutilización del agua, también conocida como reciclaje del agua, es un proceso completo que trata y purifica el agua que ya ha sido utilizada, lo que permite su reutilización para su uso en lugar de ser desechada o liberada al medio ambiente sin ser aprovechada por completo. El objetivo principal de este enfoque es preservar y maximizar el uso del agua, especialmente en situaciones en las que la adquisición de este recurso se vuelve costosa o su disponibilidad es limitada (Teamb & Teamb, 2023).

Los procesos de reutilización del agua utilizan tecnologías de tratamiento avanzado que pueden eliminar una variedad de contaminantes, lo que permite que el agua reciclada cumpla con estándares de calidad apropiados para usos específicos. Este método ha ganado popularidad en varios campos, como la agricultura, la industria y la gestión del agua urbana, y se presenta como una solución sostenible para la gestión eficiente de este recurso crucial. Este método de reutilización del agua no solo preserva los recursos hídricos, sino que también reduce los efectos negativos que tiene la liberación indiscriminada de agua tratada en el medio ambiente. Además, se destaca como una estrategia útil en situaciones donde la escasez de agua o los costos de tratamiento y suministro son importantes (Telwesa, 2023).

La reutilización del agua tiene un impacto positivo en la disponibilidad de los recursos hídricos y conlleva a beneficios ambientales significativos. No obstante, evaluar estas ventajas suele representar un desafío, lo cual dificulta la justificación de políticas de inversión y la implementación de los necesarios mecanismos de financiamiento para impulsar proyectos de esta índole. La realización de una cuantificación económica de estos beneficios mediante diversos métodos se convierte en un aspecto esencial para demostrar la eficacia y viabilidad de estas iniciativas (De Alicante Departamento De Análisis Económico Aplicado, 2020).

2.1.4 Importancia de la calidad de agua potable

Debido a su impacto directo en la salud pública, la calidad del suministro de agua potable es un tema de gran preocupación a nivel global, que afecta tanto a naciones desarrolladas como en desarrollo. Los agentes biológicos infecciosos, los productos químicos peligrosos y la contaminación radiológica que pueden estar presentes en el agua destinada al consumo humano son algunos de los diversos factores que pueden representar un peligro para la salud de la población. Las enfermedades causadas por bacterias, virus y parásitos son muy peligrosas y comunes, y con frecuencia están relacionadas con el consumo de agua que no cumple con los estándares mínimos de potabilidad. Para garantizar un suministro seguro de agua potable y proteger la salud de la población en todo el mundo, es esencial abordar estos obstáculos (Herrera Trujillo, 2022).

2.1.5 Sistemas de aprovechamiento de agua en el Ecuador y eficiencia de procesos y reducción de pérdidas

2.1.5.1 Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo

Este artículo presenta un plan estratégico detallado para disminuir las pérdidas de agua potable en la ciudad de Portoviejo, enfocándose en la gestión de las pérdidas reales y aparentes para asegurar la sostenibilidad del sistema de potabilización. En la región abastecida por el tanque, se espera una disminución del nivel de agua no contabilizada entre el 35 y el 30 %. Se investigaron las causas de la pérdida y se propusieron varias soluciones que ayudaron a reducir el nivel. Estas estrategias incluyen la instalación de medidores, la sectorización hidráulica, la gestión de presiones, la gestión de datos comerciales y la estimación de reducción de pérdidas en términos financieros.

Parece que el método basado en la ecuación FAVAD (por el significado de sus siglas en inglés: *Fixed and Variable Area Discharges*) es una estrategia prometedora para abordar tanto la reducción de la presión de agua potable como el control de las fugas en el sistema de suministro de agua. La instalación de medidores y sistemas de gestión de presión también parece ser una medida prudente para maximizar el retorno de la inversión en el proyecto.

El estudio de la cantidad de agua perdida en el sistema de tratamiento de agua de Portoviejo muestra un problema importante que requiere una solución. Para mejorar la

eficiencia del sistema y garantizar un suministro de agua más sostenible en el futuro, es fundamental proponer soluciones para reducir estas pérdidas.

En resumen, la investigación parece ofrecer un enfoque completo para abordar los problemas del sistema de suministro de agua de Portoviejo relacionados con la reducción de la presión, el control de fugas y la gestión de pérdidas. (Cedeño Farfán et al., 2021).

2.1.5.2 Análisis energético y estrategias de optimización para el sistema de abastecimiento de agua potable de los sectores Virgen del Cisne y 25 de Julio de la ciudad de Guayaquil (Ecuador).

El trabajo de grado "Análisis energético y estrategias de optimización para el sistema de abastecimiento de agua potable de los sectores Virgen del Cisne y 25 de Julio de la ciudad de Guayaquil (Ecuador)" analiza en detalle la gestión hídrica y energética de un sistema de abastecimiento de agua potable en dos sectores de la ciudad de Guayaquil. El objetivo del documento es presentar opciones de optimización que puedan mejorar la eficiencia hídrica y energética del sistema.

El análisis se llevó a cabo en cuatro etapas: diagnóstico de la red, auditoría del sistema de abastecimiento, propuesta de soluciones correctivas y análisis costo-beneficio de estas soluciones. Se desarrolló y calibró un modelo matemático para el sistema de abastecimiento de agua potable de los sectores Virgen del Cisne y 25 de Julio, y se descubrió que los sectores hidráulicos no se han configurado en función de pisos altimétricos homogéneos. También se encontró que ningún sector hidráulico tiene problemas para cumplir con la presión de servicio; sin embargo, para evitar daños a la red y el desperdicio de agua y energía, se debe reducir el exceso de presión en nodos. El objetivo de las soluciones propuestas es mejorar la calidad del agua y la eficiencia energética del sistema (Montoya & Alberto, 2022).

2.1.6 Referencias Históricas

Desde la era colonial, Quito ha establecido normas para la gestión del agua. En 1535, el gobierno de Quito autorizó la utilización de las aguas que emanaban del río Pichincha y del agua presente en las lagunas, con el fin de garantizar que no fueran utilizadas de manera indiscriminada o según la voluntad de los agricultores. En 1887, se construyó la primera instalación hidráulica en El Atacazo. Esta acequia, posteriormente conocida como El Canal

Urbano, transportaba el agua a manantiales públicos y luego la llevaba a las casas a través de un estanque de tierra pesada.

En 1902 el Congreso de la República impuso 5 centavos al consumo de aguardiente y 2 centavos por cada kilo de cuero exportado para la construcción de instalaciones que proporcionarían agua potable. El estudio sobre el suministro y canalización de agua en Quito fue financiado gracias a esto. Aunque se realizaron investigaciones sobre el diseño de la red de distribución, la gestión de agua potable y aguas residuales no fue priorizada hasta mayo de 1906, durante el reinado del General Eloy Alfaro. La primera Autoridad de Agua Potable y Alcantarillado de Quito fue establecida y se encargó de llevar a cabo los proyectos relacionados con la prestación de estos servicios hasta noviembre de 1915. Cuando el Congreso decidió transferir la gestión de los recursos hídricos a Quito, la planta de tratamiento de aguas residuales “El Placer” fue construida e inaugurada en 1913 durante el mandato de la Junta de Aguas.

Debido al aumento significativo de la demanda de agua potable en la ciudad entre 1925 y 1940, la Compañía se vio obligada a buscar fuentes de agua adicionales para aumentar el suministro de agua para la planta “El Placer”. Entonces el Canal de Lloa ya había sido construido en 1947, brindando a la ciudad una solución adecuada.

La Empresa Municipal de Abastecimiento de Agua Potable fue establecida en junio de 1960 y desde entonces se han llevado a cabo importantes proyectos en la ciudad. La planta Puengasi recibe energía del sistema Pita-Tambo, que también sirve al centro y al sur de la ciudad. El agua del proyecto La Mica en Quito Sur se distribuye al sur de la ciudad a través de la planta El Troje.

El sistema que se integra Papallacta proporciona agua cruda a la fábrica Bellavista, así como al norte de la ciudad, así como a los valles de Tumbaco y Cumbayá. A 56 años de su fundación, la Compañía proporciona agua potable al 98,53% de la población del área metropolitana y aguas residuales al 92,73% del DMQ. Nuestros servidores son más de dos mil. Hoy 55 años después, continuamos mejorando los sistemas de gestión y manejo de nuestra empresa para reafirmar nuestro compromiso con el servicio y la calidad. Nuestro trabajo es brindar agua potable y saneamiento a la ciudad, pero ahora también debemos tratar

las aguas residuales para que el agua sea más limpia para el medio ambiente (EPMAPS, 2023).

2.2 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.2.1 Constitución

2.2.1.1 Constitución de la República del Ecuador

En la constitución está presente el Artículo 318 que nos establece “*el agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua*”.

2.2.2 Leyes

2.2.2.1 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Establecer un marco legal que proteja los derechos humanos al agua y regule y supervise el licenciamiento, manejo, protección, conservación, recuperación, uso y explotación de los recursos hídricos en Ecuador. Esta ley tiene como objetivo garantizar la buena vida y los derechos naturales establecidos en la Constitución, también conocidos como "sumak kausay". Además, establece tasas estatales para la gestión integrada de los recursos hídricos y prohíbe la privatización del agua.

La ley aborda temas importantes como la gestión de los recursos hídricos, la seguridad alimentaria, los derechos de agua, la gestión de las aguas subterráneas, la calidad del agua dulce, la acuicultura y otros. Además, incluye medidas para proteger el agua, prevenir y controlar la contaminación.

2.2.3 Acuerdos Ministeriales

2.2.3.1 Acuerdo Ministerial 097-A Anexos TULSMA

Esta norma tiene como objetivo prevenir y controlar la contaminación ambiental de los recursos hídricos. Para proteger y preservar este recurso ambiental y social, el acuerdo establece regulaciones detalladas para la calidad del agua y la descarga de aguas residuales.

Tabla 1 – AM097A Anexo1. Tabla 1 de Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,01
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	4
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	mg/l	2
Hierro Total	Fe	mg/l	1
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial de Hidrogeno	pH	Unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2

Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100
-----------	--------------------------------------	-----	-----

Fuente: Ministerio del Ambiente 097-A, 2015.

2.2.4 Normativas

2.2.4.1 NTE-INEN 1108

La norma NTE INEN 1108 determina las condiciones que debe cumplir el agua potable para uso humano en Ecuador. Con el objetivo de garantizar la calidad y la seguridad del agua para el ser humano, esta norma regula los aspectos físicos, químicos y microbiológicos del agua. Los metales pesados, los nitritos, los nitratos, la turbidez, el cloro libre, el color visible, el flúor y otros parámetros se pueden ajustar. Además, esta norma establece límites para las radiaciones alfa y beta y los subproductos de desinfección en aguas destinadas al consumo humano. La INEN 1108 es la normativa actual que regula el uso de agua para consumo humano en Ecuador y se aplica a los sistemas de abastecimiento de agua, tanto públicos como privados, a través de redes de distribución y embalses. La norma NTE INEN 1108 es esencial para asegurar la calidad del agua potable en Ecuador, proteger la salud pública y fomentar el acceso seguro a recursos vitales para los consumidores.

Tabla 2 – Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.

Parámetro	Unidad	Límite permitido
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,003
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5
Cobre	mg/L	2
Color aparente	Pt-Co	15
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05
Fluoruro	mg/L	1,5
Mercurio	mg/L	0,006
Nitratos (como NO ₃)	mg/L	50
Nitritos (como NO ₂)	mg/L	3
Plomo	mg/L	0,01
Turbiedad	NTU	5

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, Sexta revisión, 2020.

Tabla 3 – Rango de pH del agua para consumo humano.

Parámetro	Unidad	Rango
pH	Unidades de pH	6,5-8,0

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, Sexta revisión, 2020.

Tabla 4 – Químicos inorgánicos.

Parámetro	Límite permitido (mg/l)
Antimonio	0,02
Bario	1,3
Boro	2,4
Níquel	0,07
Selenio	0,04

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, Sexta revisión, 2020.

2.2.4.2 NTE-INEN 2469

La NTE INEN 2469 establece estándares para la recolección, procesamiento y conservación de muestras de agua para garantizar la calidad de este. Esta norma proporciona pautas detalladas sobre los procedimientos de muestreo, que incluyen la selección del punto, la frecuencia y los contenedores de muestreo, así como el manejo y transporte de las muestras y las condiciones de almacenamiento. La norma también cubre la identificación, el etiquetado y el registro de muestras de agua.

La NTE INEN 2169 es necesaria para garantizar la recolección, procesamiento y almacenamiento adecuados de muestras de agua, garantizando su representatividad e integridad para su posterior análisis y evaluación de la calidad del agua.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Los materiales principalmente son usados dentro del laboratorio, los cuales son los necesarios para poder realizar los análisis y caracterización de las muestras de agua, los cuales estarán detallados en la metodología de los análisis de laboratorio con cada parámetro y metodología en donde se aplicaron. No obstante, también se usaron materiales para la toma de muestras y recolección de datos, entre los cuales están los siguientes:

Seguridad para Planta:

- Casco de seguridad
- chaleco de seguridad
- Botas industriales
- Pantalón Jean
- Camiseta manga larga

Toma de muestras:

- Botella Van Dorn
- Contenedores o recipientes de muestreo
- Etiquetas
- Marcadores

Recolección de datos:

- Metro o Cinta métrica
- Hojas de registro
- Bolígrafo

- Cámara fotográfica

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La metodología empleada para el desarrollo de esta tesis de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua de proceso para reducir las mermas en una planta potabilizadora será mediante una investigación de tipo experimental, la unidad de análisis será en el área de una planta de tratamiento en una empresa de agua potable que se ubica en la comuna San Antonio, Playas. La recolección de los datos se los realizará por medio del análisis de las muestras de agua purga de los decantadores y las muestras del retro lavado de los filtros, las cuales serán 8 en total donde 4 muestras serán de agua purga y 4 de retro lavado. Las evaluaciones se realizarán en el laboratorio de la unidad de análisis.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de estudio estará compuesta por una planta potabilizadora que se visitó para realizar este trabajo de investigación. La empresa se encuentra ubicada en la Comuna San Antonio, Playas. Esta presenta varias ineficiencias en su producción, los cuales están presentes en los procesos de purga de decantadores y retro lavado de los filtros.

La muestra estará compuesta por dos tipos de agua que son el agua de purga de los decantadores y el agua de retro lavado de los filtros. Las muestras serán usadas para llevar a cabo pruebas de caracterización y análisis de calidad para determinar el procedimiento de tratamiento que se aplicará para el diseño de un sistema de aprovechamiento de las aguas de proceso de una planta potabilizadora para reducir sus mermas.

3.4 VARIABLES

Las variables significan los valores de los resultados de los parámetros que elegimos para realizar la caracterización, también supone los valores económicos y volumétricos de los cuales vamos a trabajar.

3.5 METODOLOGÍA DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para la metodología de los análisis de laboratorio se hizo el uso de los siguientes materiales para seguridad personal y limpieza de los instrumentos:

Seguridad para laboratorio:

- Mandil Blanco para laboratorio
- Guantes quirúrgicos o guantes de nitrilo
- Mascarillas
- Lentes protectores

Limpieza de los instrumentos:

- Agua
- Agua destilada
- Jabón neutro
- Cepillos tubulares
- Esponjas

Para realizar los análisis de cada parámetro de manera correcta se seguirán una serie de pasos, que están detallados en las siguientes metodologías que serán aplicadas.

3.5.1 Cloro Libre

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Celda
- Reactivo Dpd

Metodología:

USEPA DPD Method

1. Empezar el programa **80 Chlorine F&T PP**.
2. **Prepare el cero:** Llenar la celda de la muestra con 10ml de muestra.
3. Limpie la celda con la muestra preparada.
4. Inserte el blanco en el porta celdas.

5. Presionar **ZERO** la pantalla mostrará 0,00mg/L.
6. **Preparar la muestra:** Llenar una segunda celda de muestra con 10ml de muestra.
7. Agregar el contenido del sobre con reactivo en la celda con la muestra.
8. Agite la celda por 20 segundos para mezclar. Se tornará de color rosado si hay presencia de cloro. Siga con el siguiente paso inmediatamente.
9. Limpie la celda con la muestra preparada.
10. Dentro de los 60 segundos posteriores a la adición del reactivo inserte la muestra en el porta celda.
11. Presionar **READ**.
12. Los resultados se mostrarán en mg/L Cl₂.

3.5.2 Bario

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Celda
- Reactivo BariVer™ 4

Metodología:

Turbidimetric Method

1. Empezar el programa **20 Bario**.
2. **Preparar el cero:** Agregar 10 ml de la muestra.
3. Si el volumen de la muestra es menor a 10 ml, agregar agua destilada hasta la línea de 10 ml.
4. Agitar para mezclar.
5. Limpiar la celda del cero.
6. Insertar la celda en el porta celda.
7. Presionar **ZERO**. La pantalla mostrará 0 mg/L Ba²⁺.
8. Remover la celda del cero del porta celda.
9. **Preparar la muestra:** Agregar un sobre de reactivo BariVer™ 4 a la celda con muestra. La muestra se tornará turbia si presenta Bario.
10. Agitar para mezclar. Si la muestra se torna turbia significa que hay presencia de bario.

11. Esperar 5 minutos sin mover la muestra.
12. Limpiar la celda con la muestra.
13. Después del tiempo insertar la celda en el porta celda.
14. Presionar **READ**. Los resultados se mostrarán en mg/L Ba²⁺.
15. Limpiar la celda inmediatamente después de cada test que se realice con agua, jabón y esponja.

3.5.3 Hierro Total

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Celdas
- Reactivo FerroVer

Metodología:

USEPA1 FerroVer® Method

1. Iniciar el programa **265 FerroVer**.
2. **Preparar la muestra:** Llenar la celda con 10 ml de muestra.
3. Agregar un sobre de reactivo FerroVer a la celda con la muestra.
4. Agitar la celda para mezclar. El polvo no disuelto no afectará.
5. Esperar 3 minutos. Si se muestra un color naranja hay presencia de hierro.
6. **Preparar el cero:** Llenar una segunda celda con 10 ml de la muestra.
7. Limpiar la celda.
8. Cuando el tiempo termine insertar la celda en el porta celda.
9. Presionar **ZERO**. La pantalla mostrará 0,00 mg/L.
10. Limpiar la celda con la muestra preparada.
11. Insertar la celda en el porta celda.
12. Presionar **READ**. Los resultados se mostrarán en mg/L Fe.

3.5.4 Sulfatos

Materiales:

- Vasos de precipitación

- Celdas
- Reactivo SulfaVer 4

Metodología:

USEPA1 SulfaVer 4 Method

1. Empezar el programa **680 Sulfate**.
2. **Preparar la muestra:** Llenar la muestra con 10 ml de la muestra.
3. Agregar el contenido del sobre con el reactivo SulfaVer 4 a la celda con la muestra.
4. Agitar para mezclar. El polvo no disuelto no afectará. Si hay presencia de sulfato se podrá presenciar una turbidez blanca.
5. Esperar 5 minutos sin mover la muestra.
6. **Preparar el cero:** Llenar una segunda celda con 10 ml de la muestra.
7. Cuando termine el tiempo de espera limpiar la celda.
8. Insertar el cero en el porta celda.
9. Presionar **ZERO**. La pantalla mostrará 0 mg/L SO₄²⁻.
10. Limpiar la celda con la muestra preparada.
11. Durante los 5 minutos posteriores de espera, insertar la celda preparada en el porta celda.
12. Presionar **ZERO**. Los resultados se mostrarán en mg/L SO₄²⁻.
13. Después de cada uso limpiar las celdas con agua, jabón y esponja.

3.5.5 Cobre

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Celdas
- Reactivo CuVer 1

Metodología:

USEPA1,2 Bicinchoninate Method

1. Empezar el programa **135 Cobre Bicin**.
2. **Preparar la muestra:** Llenar la celda con 10 ml de la muestra.

3. Agregar un sobre de reactivo CuVer 1.
4. Agitar para mezclar.
5. Esperar 2 minutos para la reacción.
6. **Preparar el cero:** Llenar una segunda celda con 10 ml de muestra.
7. Limpiar la celda.
8. Insertar la celda en el porta celda.
9. Presionar **ZERO**. La pantalla mostrará 0,00 mg/L Cu.
10. Limpiar la celda preparada.
11. Dentro de los 30 minutos posteriores a la expiración del tiempo, inserte la muestra preparada en el porta celda.
12. Presionar **READ**. Los resultados se mostrarán en mg/L Cu.

3.5.6 Color

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Celda

Metodología:

Platinum-Cobalt Method

1. Empezar el programa **120 Color 455 nm**
2. **Preparar el cero:** Llenar la celda con 10 ml de agua destilada.
3. Limpiar la celda.
4. Insertar la celda en el porta celda.
5. Presionar **ZERO**. La pantalla mostrará 0 Pt-Co Units.
6. **Preparar la muestra:** Llenar la celda con 10 ml de muestra.
7. Limpiar la celda.
8. Insertar la celda en el porta muestra.
9. Presionar **READ**. Los resultados se mostrarán en Pt-Co Units.

3.5.7 Arsénico

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Kit de reactivos

Metodología:

1. Introduzca una tira de control en la tapa de manera que la almohadilla cubra el pequeño orificio por completo. Cierre la pestaña y presione para asegurar.
2. Llene el recipiente de reacción con muestra hasta la línea de llenado (50 ml)
3. Agregue un sobre del reactivo n.º 1 a la muestra. Gire lentamente hasta la total disolución
4. Agregue un sobre del reactivo n.º 2 a la muestra. Gire lentamente hasta la total disolución. Es posible que la solución se torne turbia.
5. Espere 3 minutos (como mínimo).
6. Agregue un sobre del reactivo n.º 3 a la muestra. Gire lentamente hasta la total disolución. Parte del polvo no se disolverá.
7. Espere 2 minutos (como mínimo). Gire suavemente para mezclar.
8. Utilice la cuchara de plástico para añadir 2g del reactivo n.º 4 a la muestra. Gire lentamente hasta la total disolución. La mayor parte del polvo se disolverá.
9. Agregue un sobre del reactivo n.º 5 a la muestra.
10. Coloque inmediatamente la tapa en el recipiente de reacción. Haga girar lentamente el recipiente durante aproximadamente 3 segundos. No agite ni invierta la muestra y evite que esta toque la tira.
11. Espere 30 minutos, pero no más de 35 minutos. No toque el recipiente de reacción durante el periodo de reacción completo de 30 minutos.
12. Retire la tira de control y compare inmediatamente el color desarrollado con el gráfico del recipiente de la tira de control (rango de 0 – 500 ppb). Interprete el resultado de las tiras a la sombra.

3.5.8 Oxígeno Disuelto**Materiales:**

- Vasos de precipitación
- Agua destilada

- Paño

Metodología:

1. Enjuague la sonda con agua desionizada. Secar la sonda con un paño sin pelusa.
2. Prueba de laboratorio: Poner la sonda en un vaso de precipitados que contiene la solución. No dejar que la sonda toque el agitador, barra, fondo o lados del envase. quitar el aire, burbujas de debajo de la punta de la sonda. Agite la muestra a un ritmo lento a moderado.
3. Presione read. Se muestra una barra cuando la medición es estable. Se muestra un icono de candado
4. Cuando haya terminado anotar el valor.

3.5.9 pH y Temperatura**Materiales:**

- Vasos de precipitación
- Agua destilada
- Paño

Metodología:

1. Enjuague la sonda con agua desionizada. Secar la sonda con un paño sin pelusa.
2. Prueba de laboratorio: Poner la sonda en un vaso de precipitados que contiene la solución. No dejar que la sonda toque el agitador, barra, fondo o lados del envase. quitar el aire, burbujas de debajo de la punta de la sonda. Agite la muestra a un ritmo lento a moderado.
3. Presione read. Se muestra una barra cuando la medición es estable. Se muestra un icono de candado
4. Cuando haya terminado anotar el valor.

3.5.10 Conductividad**Materiales:**

- Vasos de precipitación
- Agua destilada

- Paño

Metodología:

1. Enjuague la sonda con agua desionizada. Secar la sonda con un paño sin pelusa.
2. Prueba de laboratorio: Poner la sonda en un vaso de precipitados que contiene la solución. No dejar que la sonda toque el agitador, barra, fondo o lados del envase. quitar el aire, burbujas de debajo de la punta de la sonda. Agite la muestra a un ritmo lento a moderado.
3. Presione read. Se muestra una barra cuando la medición es estable. Se muestra un icono de candado
4. Cuando haya terminado anotar el valor.

3.5.11 Turbidez**Materiales:**

- Vasos de precipitación
- Agua destilada
- Celda

Metodología:

1. Limpiar la celda y llenar con la muestra hasta la línea.
2. Insertar la celda en el equipo.
3. Presionar read.
4. El resultado se mostrará en pantalla con uno o dos decimales.

3.5.12 Sólidos Sedimentables**Materiales:**

- Vasos de precipitación
- Agua destilada
- Cono Imhoff
- Temporizador

Metodología:

1. Limpiar el cono Imhoff con agua destilada.
2. Se vierte la muestra en el cono de sedimentación graduado (Cono Imhoff), hasta completar los 1000 ml (1 litro).
3. Se empieza a medir el volumen de sólidos sedimentados a partir del momento en que se llena la muestra y se lo deja en reposo, por una hora.
4. Una vez terminada la hora, se procede a cuantificar la cantidad sedimentada con el gradual del cono.

3.5.13 Dureza

Materiales:

- Vasos de precipitación
- Bureta
- Probeta
- Matraz
- Agitador
- Agua destilada
- Valorante
- Tampón de Dureza
- Reactivo ManVer 2
- Calculadora

Metodología:

Method 8226

1. Seleccione un volumen de muestra y valorante.
2. Llene una bureta de 25 ml hasta la marca cero con el valorante.
3. Utilice una probeta graduada o pipeta¹ para medir el volumen de muestra.
4. Vierta la muestra en un matraz limpio de 250 ml.
5. Si el volumen de la muestra es menos de 50 ml, diluir a aproximadamente 50 ml con agua desionizada.
6. Añadir 1 mL del Tampón de Dureza.
7. Agite para mezclar.

8. Añade el contenido de un sobre de Dureza ManVer 2.
9. Agite para mezclar.
10. Coloque el matraz debajo de la bureta, agite el matraz. Agregar valorante hasta que el color cambie de rosa hasta azul.
11. Usa el multiplicador para calcular la concentración. mL de valorante \times multiplicador = mg/L de dureza total como CaCO₃.

3.6 RECOLECCIÓN DE DATOS

Hay que tener en cuenta que los datos que se necesitan tienen que ver con los objetivos específicos dispuestos, en este caso son cuatro partes distintas para adquirir los resultados, que son: la cuantificación de agua desaprovechada, caracterización del agua (Se llevarán a cabo 2 fases), diseño del sistema de tratamiento y además los valores económicos para realizar el análisis costo-beneficio.

3.6.1 Cuantificación de la cantidad de agua desaprovechada

Para calcular la cantidad de agua debemos conocer la altura del agua en el tiempo en que se abren las llaves de descarga pasado 3 minutos (Este es el tiempo que duran las llaves de descarga abiertas), el ancho del lugar del proceso, es decir, piscina, canal o cuadrante, y el largo de este y multiplicarlos por 3 para obtener el volumen de agua que se ha descargado, el producto de la multiplicación será para cada lugar de almacenamiento, para las medidas de la piscina, cuadrante y canal flocculante obteniendo así un volumen de agua en cada uno. Una vez hallados esos valores, se multiplicaron por las veces que se realizó este proceso, y luego de eso para obtener el volumen de agua total se hará una sumatoria del resultado entre el valor del volumen de agua y las veces que se realizó.

Ecuación 1:

$$V_{\text{agua (piscina)}} = L * A * H_{\text{agua}}$$

(La misma ecuación será para canal de ingreso y también para los cuadros)

Donde:

V agua = Volumen del agua

$L = \text{Largo}$

$A = \text{Ancho}$

$H \text{ AGUA} = \text{Altura del Agua}$

Ecuación 2:

$$Vagua(\text{veces}) = Vagua \text{ piscina} * \text{Veces realizadas}$$

Ecuación 3:

$$Vagua(\text{Total Purga}) = Vagua(\text{Veces piscina}) + Vagua(\text{veces cuadros}) + \\ Vagua(\text{veces canal})$$

Estas ecuaciones también son iguales con el retro lavado de los filtros la única diferencia es que las piscinas de los filtros no están divididas y es un solo lugar, es decir, que para el volumen total del retro lavado se realizará de forma más directa, si es una sola vez solo se deberá calcular mediante la primera ecuación y si fueron varias veces, realizar la primera y la segunda ecuación, la segunda ecuación solo es necesaria para el agua purga.

Para determinar el volumen total de agua desperdiciada entre los dos procesos, se usará la siguiente ecuación:

Ecuación 4:

$$Vagua(\text{Total desperdiciada}) = Vagua(\text{Total purga}) + \\ Vagua(\text{Total Retro lavado})$$

Estas son las ecuaciones necesarias para determinar y cuantificar el volumen total del agua que se descarga, el agua que es desaprovechada y también desperdiciada en esta planta potabilizadora.

3.6.2 Caracterización del agua de purga y de retro lavado

Para la caracterización de las muestras sin tratamiento previo y de la muestra con tratamiento en el laboratorio, se evaluarán 14 parámetros en cada muestra tomada con su equipo, instrumento y metodología correspondiente como se podrá observar en la siguiente tabla:

Tabla 5 – Parámetros, instrumentos y metodología aplicada.

No.	Parámetros	Equipos e Instrumentos	Metodologías
1	pH	Medidor de pH	Electrodos
2	Temperatura		Electrodos
3	Turbidez	Turbidímetro	Sistema óptico de dos detectores RATIO
4	Cloro	Colorímetro	USEPA DPD Method
5	Dureza Total	Bureta	Titration Method with EDTA
6	Sólidos Suspendidos totales	Cono de Imhoff	Sedimentación de sólidos en 1h
7	Conductividad	Conductivímetro	Sonda
8	Oxígeno Disuelto	Oxígenómetro	Sensor de oxígeno
9	Arsénico	Kit de reactivos	Reactivos
10	Bario	Espectrofotómetro	Turbidimetric Method
11	Color		Platinum-Cobalt Standard Method I
12	Hierro		USEPA FerroVer® Method
13	Sulfatos		USEPA SulfaVer 4 Method
14	Cobre		USEPA Bicinchoninate Method

Fuente: Elaborada por los autores.

3.6.2.1 Caracterizaciones de las aguas de proceso sin tratamiento previo

En esta parte es donde se realizan los análisis de laboratorio sin tratamiento previo, de los cuales se realizarán 4 muestras de retro lavado y 4 de purga dando un total de 8 muestras que serán analizadas y caracterizadas. Una vez realizados los análisis de las muestras con sus respectivas metodologías por parámetro explicadas anteriormente (Metodología de los análisis de laboratorio), se procederá a evaluar resultados obtenidos en dos tablas (Una de las muestras de purga y otra de las muestras de retro lavado) con los promedios de los parámetros evaluados, para lo cual se tomará como referencia la NTE INEN 1108 con el fin de observar sus variaciones.

3.6.2.2 Caracterización de las aguas de proceso con tratamiento

Según los resultados que se obtengan del análisis del agua de purga y de retro lavado sin tratamiento previo, se determinará que tratamiento puede ser factible para ambas, por ende, en este apartado de ser posible se realizará una simulación del proceso de tratamiento

que se escoja según los resultados del punto anterior, para decidir si ese proceso será viable para el diseño del sistema de aprovechamiento. Los resultados serán evaluados de la misma forma que el punto anterior (Caracterizaciones de las aguas de proceso sin tratamiento previo) con el fin de decidir si el tratamiento simulado es el apropiado para el sistema.

3.6.3 Diseño De Tratamiento

Para desarrollar este diseño se usará la herramienta de diseño AutoCAD, el cual es un programa de diseño asistido que nos permite crear planos, dibujos, estructuras, piezas y bocetos para proyectos arquitectónicos, industriales, mecánicos, de diseño gráfico y de ingeniería. Este software facilitará el diseño de la estructura y las medidas necesarias para tener el mejor resultado posible (Quispe, 2020).

La metodología sintetizada, sería:

1. Análisis del sitio y estructuras presentes.
2. Recopilación de información de necesidades para idear un sistema de tratamiento óptimo (Con datos obtenidos de los análisis para saber que tratamiento requieren estas aguas).
3. Diseño de la estructura en el software AutoCAD.

3.6.4 Análisis Costo – Beneficio

Para realizar el análisis costo – beneficio hay que tener en cuenta los valores que se generan con la producción de agua, una vez obtenidos se deberá realizar el análisis tomando en cuenta el dinero que se debe invertir en implementar el proyecto, por consiguiente, se realizarán los cálculos mediante tablas, cabe mencionar los ingresos que se obtendrían y los egresos también. Una vez determinada la viabilidad de este proyecto se puede decidir si implementarlo o no.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

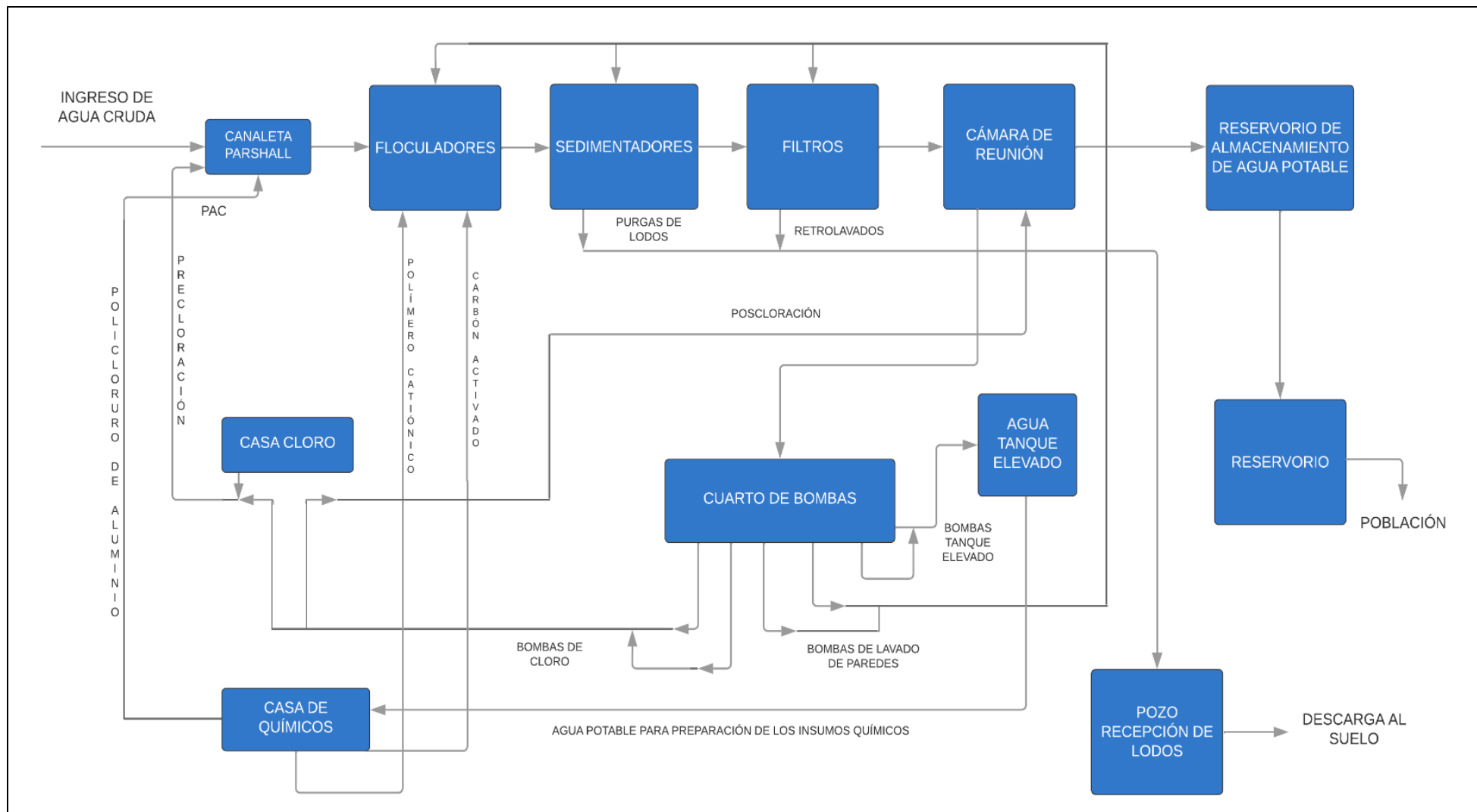
Este segmento presenta los hallazgos de la investigación llevada a cabo en el marco del proyecto de Diseño de un sistema de aprovechamiento de agua de proceso para reducir las mermas en una planta potabilizadora. La investigación se enfocó en las operaciones de

una planta potabilizadora situada en la comuna de San Antonio, Playas. En este capítulo, se expondrán detalladamente los resultados obtenidos en los distintos componentes evaluados.

4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESAMIENTO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

En la siguiente ilustración se puede contemplar el diagrama de flujo del procesamiento de potabilización del agua.

Ilustración 1 – Diagrama de flujo del procesamiento de potabilización.



Fuente: Elaborada por autores.

4.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA DESCARGADA EN LOS PROCESOS DE PURGA DE LOS DECANTADORES Y RETROLAVADO DE LOS FILTROS

En la unidad de potabilización se presentan pérdidas de agua por las purgas en los decantadores y en las unidades de filtración. Se realizó un cuadro donde se establece el volumen de pérdida en función de las descargas diarias, por el número de purgas realizadas, la altura de agua que descendiendo en las etapas del proceso. Los resultados obtenidos los expresamos en la tabla resultado diario de la pérdida de agua en el proceso, que proyectamos a continuación.

Tabla 6 - Pérdida diaria de agua en el proceso.

Resultado diario de la pérdida de Agua en el Proceso				
Etapas	No. De descargas	Tiempo de la descarga (min)	Altura de la descarga (m)	Volumen (m³)
Sedimentador	4	3	0,3	23,08
Cuadros Floculantes	4	3	0,3	47,9
Canal de Floculantes	4	3	0,3	9,58
Filtro	8	5	3	241,92
Volumen Total de la pérdida por día				322,48

Fuente: Elaborada por autores.

Una vez obtenidos los valores totales de cada proceso, podemos reemplazar los valores de las veces que se realizó el retro lavado y purga para darnos una sumatoria de los dos totales y como resultado el volumen total que se desaprovecha entre los dos procesos.

Este resultado se refiere al volumen total diario desaprovechado. Para determinar el volumen total desperdiciado en un mes y en un año, realizamos los siguientes cálculos:

$$Total\ de\ agua\ dia = 322,48$$

$$Total\ de\ agua\ mes = 322,48 * 30 = 9674,4\ m^3$$

$$Total\ de\ agua\ año = 9674,4 * 12 = 116092,8\ m^3$$

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE PURGA Y RETROLAVADO SIN TRATAMIENTO PREVIO

Para determinar los resultados de la caracterización del agua de purga de los decantadores y del agua de retro lavado de los filtros se tomaron un total 8 muestras (4 muestras de purga y 4 de retro lavado), durante un periodo de 3 meses (noviembre, diciembre y enero). En cada muestra se evaluaron 14 parámetros con sus debidas metodologías mencionadas anteriormente (Metodología de los análisis de laboratorio y tabla 5), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

4.3.1 Resultados de la caracterización de cada muestreo de las aguas de proceso

Los Procesos de purga y retro lavado se realizan en dos Módulos que vienen a ser A y B, el funcionamiento de estos módulos es el mismo, es decir el proceso de potabilización, sin embargo, en caso de que en un módulo se necesite realizar mantenimiento el otro módulo puede seguir trabajando de manera continua y viceversa.

Las siguientes tablas nos detallan el módulo en el que se tomaron las muestras y el tipo de muestra ya sea de purga o de retro lavado, el número de parámetros, los parámetros y por último el valor obtenido de cada uno de los parámetros analizados. Adicionalmente, también se agregó la fecha en que se realizó el análisis y el tiempo que duró el mismo.

Muestra 1

Tiempo de análisis: 8:17 am – 5:03 pm

Tabla 7 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo A).

Módulo A		
Muestra De Agua De Retro Lavado		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,15
2	Temperatura	25,7°C
3	Turbidez	9,99 NTU
4	Cloro	1,9 mg/l
5	Dureza Total	324 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	23 ml
7	Conductividad	155,2 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	6,36 mg/l
9	Color	163 Pt Co
10	Arsénico	10 ppb
11	Bario	22 mg/l
12	Hierro	1,18 mg/l
13	Sulfatos	22 mg/l
14	Cobre	0,07 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 2

Tiempo de análisis: 9:05 am – 4:41 pm

Tabla 8 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo A).

Módulo A		
Muestra De Agua De Purga		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,41
2	Temperatura	26,1°C
3	Turbidez	9,99NTU
4	Cloro	0,09 mg/l
5	Dureza Total	58 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	190 ml
7	Conductividad	150,9 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	7,88 mg/l
9	Color	1004 Pt Co
10	Arsénico	30 ppb
11	Bario	31 mg/l
12	Hierro	3,25 mg/l
13	Sulfatos	29 mg/l
14	Cobre	0,06 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 3

Tiempo de análisis: 10:30 am – 4:37 pm

Tabla 9 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo B).

Módulo B		
Muestra De Agua De Retro Lavado		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,93
2	Temperatura	25,4°C
3	Turbidez	9,99 NTU
4	Cloro	2,20 mg/l
5	Dureza Total	80 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	29 ml
7	Conductividad	221 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	8,06 mg/l
9	Color	420 Pt Co
10	Arsénico	10 ppb
11	Bario	3 mg/l
12	Hierro	0,32 mg/l
13	Sulfatos	20 mg/l
14	Cobre	0,10 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 4

Tiempo de análisis: 10:30 am – 4:37 pm

Tabla 10 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo B).

Módulo B		
Muestra De Agua De Purga		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,39
2	Temperatura	25,9°C
3	Turbidez	9,99NTU
4	Cloro	0,10 mg/l
5	Dureza Total	48 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	125 ml
7	Conductividad	157,6 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	7,49 mg/l
9	Color	653 Pt Co
10	Arsénico	10 ppb
11	Bario	22 mg/l
12	Hierro	2,29 mg/l
13	Sulfatos	28 mg/l
14	Cobre	0,18 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 5

Tiempo de análisis: 10:34 am – 4:50 pm

Tabla 11 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo A).

Módulo A		
Muestra De Agua De Retro Lavado		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,25
2	Temperatura	25,5°C
3	Turbidez	9,99 NTU
4	Cloro	1,89 mg/l
5	Dureza Total	38 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	14 ml
7	Conductividad	150,9 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	7,85 mg/l
9	Color	166 Pt Co
10	Arsénico	0 ppb
11	Bario	4 mg/l
12	Hierro	0,05 mg/l
13	Sulfatos	19 mg/l
14	Cobre	0,16 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 6

Tiempo de análisis: 10:34 am – 4:50 pm

Tabla 12 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo B)

Módulo B		
Muestra De Agua De Purga		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,16
2	Temperatura	25,3°C
3	Turbidez	9,99NTU
4	Cloro	0,18 mg/l
5	Dureza Total	96 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	650 ml
7	Conductividad	153,9 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	7,39 mg/l
9	Color	2127 Pt Co
10	Arsénico	0 ppb
11	Bario	66 mg/l
12	Hierro	3,77 mg/l
13	Sulfatos	66 mg/l
14	Cobre	1,84 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 7

Tiempo de análisis: 10:31 am – 3:05 pm

Tabla 13 - Caracterización de la muestra de Retro lavado (Módulo B).

Módulo B		
Muestra De Agua De Retro Lavado		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,20
2	Temperatura	24,4°C
3	Turbidez	9,99 NTU
4	Cloro	0,29 mg/l
5	Dureza Total	152 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	98 ml
7	Conductividad	233 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	8,23 mg/l
9	Color	456 Pt Co
10	Arsénico	0 ppb
11	Bario	1 mg/l
12	Hierro	0 mg/l
13	Sulfatos	11 mg/l
14	Cobre	0,05 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

Muestra 8

Tiempo de análisis: 10:31 am – 3:05 pm

Tabla 14 - Caracterización de la muestra de Purga (Módulo B)

Módulo B		
Muestra De Agua De Purga		
No.	Parámetros	Valor
1	pH	7,12
2	Temperatura	25,3°C
3	Turbidez	9,99 NTU
4	Cloro	0,09 mg/l
5	Dureza Total	82 mg/l
6	Solidos suspendidos totales	375 ml
7	Conductividad	154 mg/l
8	Oxígeno Disuelto	7,68 mg/l
9	Color	787 Pt Co
10	Arsénico	0 ppb
11	Bario	1 mg/l
12	Hierro	0,01 mg/l
13	Sulfatos	18 mg/l
14	Cobre	0,07 mg/l

Fuente: Elaborada por autores.

4.3.2 Tablas estadísticas de los resultados de la caracterización de las aguas de proceso

En las siguientes tablas estadísticas se detalla el tipo de muestra (ya sea de agua de Purga o de Retro lavado), los parámetros, el número de estos, los resultados de los análisis ubicados en las fechas que se realizaron, los promedios, máx., min., mediana y desviación estándar de cada parámetro.

Tabla 15 – Estadística de los resultados de la caracterización de agua de Purga.

TABLA ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA DE PURGA										
No.	Parámetros	17/nov/23	24/no/23	22/dic/23	19/ene/24	Promedio	Máx.	Min.	Mediana	Desviación estándar
1	pH	7,41	7,39	7,16	7,12	7,27	7,41	7,12	7,28	0,15
2	Temperatura (°C)	26,10	25,90	25,30	25,30	25,65	26,10	25,30	25,60	0,41
3	Turbidez (NTU)	+9,99	+9,99	+9,99	+9,99	+9,99	9,99	9,99	9,99	0,00
4	Cloro (mg/l)	0,09	0,10	0,18	0,09	0,12	0,18	0,09	0,10	0,04
5	Dureza Total (mg/l)	58,00	48,00	96,00	82,00	71,00	96,00	48,00	70,00	21,94
6	Solidos suspendidos totales (ml)	190,00	125,00	650,00	375,00	335,00	650,00	125,00	282,50	235,19
7	Conductividad (mg/l)	150,90	157,60	153,90	154,00	154,10	157,60	150,90	153,95	2,74
8	Oxígeno Disuelto (mg/l)	7,88	7,49	7,39	7,68	7,61	7,88	7,39	7,59	0,22
9	Color (Pt-Co)	1004,00	653,00	2127,00	787,00	1142,75	2127,00	653,00	895,50	671,92
10	Arsénico (ppb)	30,00	10,00	0,00	0,00	10,00	30,00	0,00	5,00	14,14
11	Bario (mg/l)	31,00	22,00	66,00	1,00	30,00	66,00	1,00	26,50	27,09
12	Hierro (mg/l)	3,25	2,29	3,77	0,01	2,33	3,77	0,01	2,77	1,66
13	Sulfatos (mg/l)	29,00	28,00	66,00	18,00	35,25	66,00	18,00	28,50	21,09
14	Cobre (mg/l)	0,06	0,18	1,84	0,07	0,54	1,84	0,06	0,13	0,87

Fuente: Elaborada por autores.

Tabla 16 – Estadística de los resultados de la caracterización de agua de Retro lavado

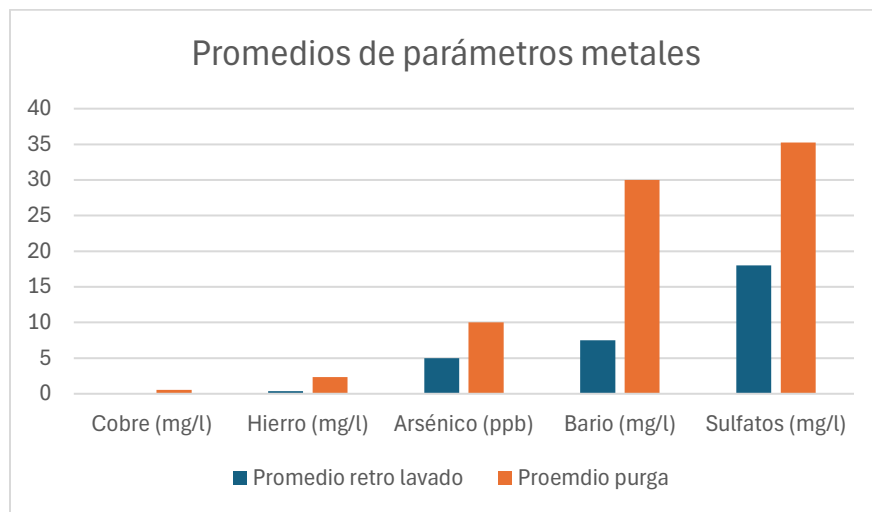
TABLA ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA DE RETRO LAVADO										
No.	Parámetros	10/nov/23	24/nov/23	22/12/23	19/ene/24	Promedio	Máx.	Min.	Mediana	Desviación estándar
1	pH	7,15	7,93	7,25	7,20	7,38	7,93	7,15	7,23	0,37
2	Temperatura (°C)	25,70	25,40	25,50	24,40	25,25	25,70	24,40	25,45	0,58
3	Turbidez (NTU)	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	9,99	0,00
4	Cloro (mg/l)	1,90	2,20	1,89	0,29	1,57	2,20	0,29	1,90	0,87
5	Dureza Total (mg/l)	324,00	80,00	38,00	152,00	148,50	324,00	38,00	116,00	126,12
6	Solidos suspendidos totales (ml)	23,00	29,00	14,00	98,00	41,00	98,00	14,00	26,00	38,50
7	Conductividad (mg/l)	155,20	221,00	150,90	233,00	190,03	233,00	150,90	188,10	43,01
8	Oxígeno Disuelto (mg/l)	6,36	8,06	7,85	8,23	7,63	8,23	6,36	7,96	0,86
9	Color (Pt-Co)	163,00	420,00	166,00	456,00	301,25	456,00	163,00	293,00	158,59
10	Arsénico (ppb)	10,00	10,00	0,00	0,00	5,00	10,00	0,00	5,00	5,77
11	Bario (mg/l)	22,00	3,00	4,00	1,00	7,50	22,00	1,00	3,50	9,75
12	Hierro (mg/l)	1,18	0,32	0,05	0,00	0,39	1,18	0,00	0,19	0,55
13	Sulfatos (mg/l)	22,00	20,00	19,00	11,00	18,00	22,00	11,00	19,50	4,83
14	Cobre (mg/l)	0,07	0,10	0,16	0,05	0,10	0,16	0,05	0,09	0,05

Fuente: Elaborada por autores.

4.3.3 Análisis de los resultados de la caracterización de las aguas de proceso sin tratamiento previo

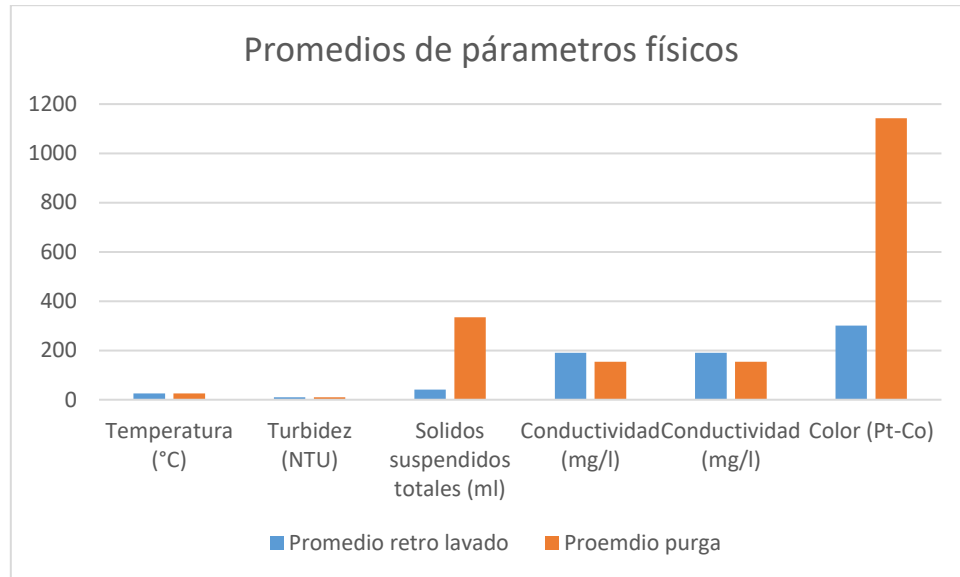
En la siguiente gráfica se puede observar la comparación entre los promedios de los resultados de la caracterización de agua de purga y de retro lavado sin tratamiento previo. Con el análisis de estos resultados identificamos un tratamiento que podría ser viable para el sistema de aprovechamiento de aguas.

Ilustración 2 – Comparación de promedios de la caracterización de agua de purga y retro lavado de parámetros metales



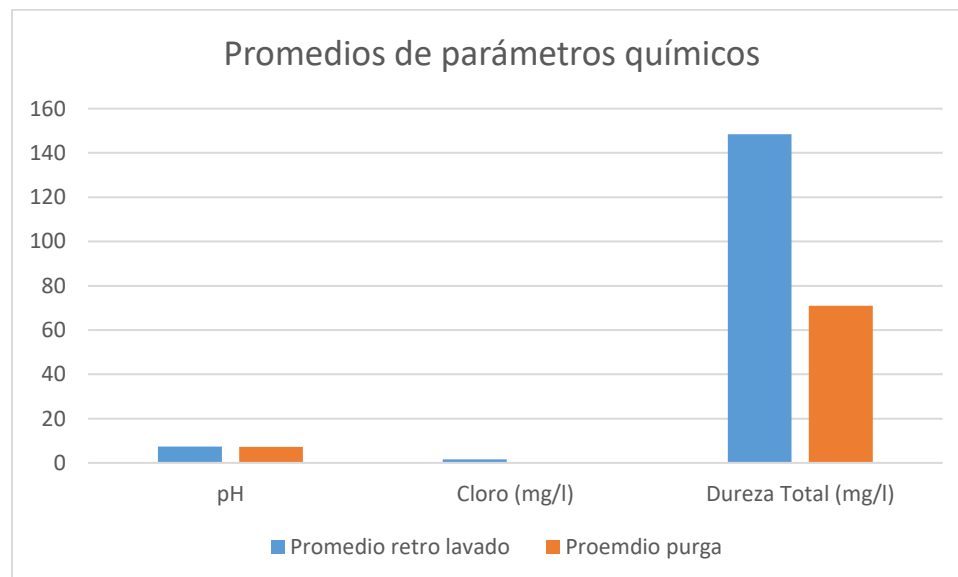
Fuente: Elaborada por autores

Ilustración 3 - Comparación de promedios de la caracterización de agua de purga y retro lavado de parámetros físicos



Fuente: Elaborada por autores

Ilustración 4 - Comparación de promedios de la caracterización de agua de purga y retro lavado de parámetros



Fuente: Elaborada por autores

Como la NTE INEN 1108 nos da los límites máximos permisibles del arsénico en mg/l y nuestros resultados están expresados en ppb (partes por billón), debido a la metodología que se aplicó se hará una conversión para que los resultados queden expresados en las mismas unidades y poder realizar la evaluación.

Conversión 1 (Arsénico del agua de purga):

$$1 \text{ mg/l} = 1 \text{ ppm}$$

$$\text{ppm} = \frac{\text{ppb}}{1000}$$

$$\text{ppm} = \frac{10}{1000}$$

$$\text{ppm} = 0,01 = 0,01 \text{ mg/l}$$

Conversión 2 (Arsénico del agua de retro lavado):

$$1 \text{ mg/l} = 1 \text{ ppm}$$

$$\text{ppm} = \frac{\text{ppb}}{1000}$$

$$\text{ppm} = \frac{5}{1000}$$

$$\text{ppm} = 0,005 = 0,005 \text{ mg/l}$$

A continuación, tenemos dos tablas que nos permiten observar si los resultados promediados tanto de las muestras del agua de purga y del agua de retro lavado sin tratamiento previo, están dentro o no de los límites máximos permisibles de la NTE INEN 1108.

Tabla 17 – Cumplimiento y no cumplimiento del promedio de los parámetros de agua de Purga.

AGUA DE PURGA					
No.	Parámetros	Valores (Promedios)	NTE INEN 1108		Cumple (Si o No)
			LMP (Límites máximos permisibles)	Unidades	
1	pH	7,27	6,5 – 8,0	Unidades de Ph	Si
2	Turbidez	9,99	5	NTU	No
3	Cloro	0,12	0,3 a 1,5	mg/l	Si
4	Color	1142,75	15	Pt Co	No
5	Arsénico	0,01	0,01	mg/l	Si
6	Bario	30	1,3	mg/l	No
7	Cobre	0,54	2	mg/l	Si

Fuente: Elaborada por autores.

Tabla 18 - Cumplimiento y no cumplimiento del promedio de los parámetros de agua de Retro lavado.

AGUA DE RETRO LAVADO					
No.	Parámetros	Valores (Promedios)	NTE INEN 1108		Cumple (Si o No)
			LMP (Límites máximos permisibles)	Unidades	
1	pH	7,38	6,5 – 8,0	Unidades de Ph	Si
2	Turbidez	9,99	5	NTU	No
3	Cloro	1,57	0,3 a 1,5	mg/l	No
4	Color	301,25	15	Pt Co	No
5	Arsénico	0,005	0,01	mg/l	Si
6	Bario	7,5	1,3	mg/l	No
7	Cobre	0,1	2	mg/l	Si

Fuente: Elaborada por autores.

Nota: Se adicionó información correspondiente a los parámetros evaluados en esta investigación de la tabla 1 de los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico del Acuerdo Ministerial 097-A TULSMA, con el objetivo de comparar los Criterios de calidad con los LMP de la NTE INEN 1108, pero el cumplimiento o no cumplimiento de los parámetros serán evaluados solo con los LMP de la NTE INEN 1108, los demás parámetros que no estén dentro de la norma se los especificará como no aplicables (N/A).

Según los datos obtenidos podemos apreciar que los parámetros exceden ciertos límites máximos permisibles expuestos en la NTE INEN 1108 que se tomaron como referencia, por ende, se aplicó una simulación de un tratamiento de sedimentación y filtración para disminuir la cantidad de excedentes de los parámetros y determinar si es el proceso idóneo para el sistema de tratamiento.

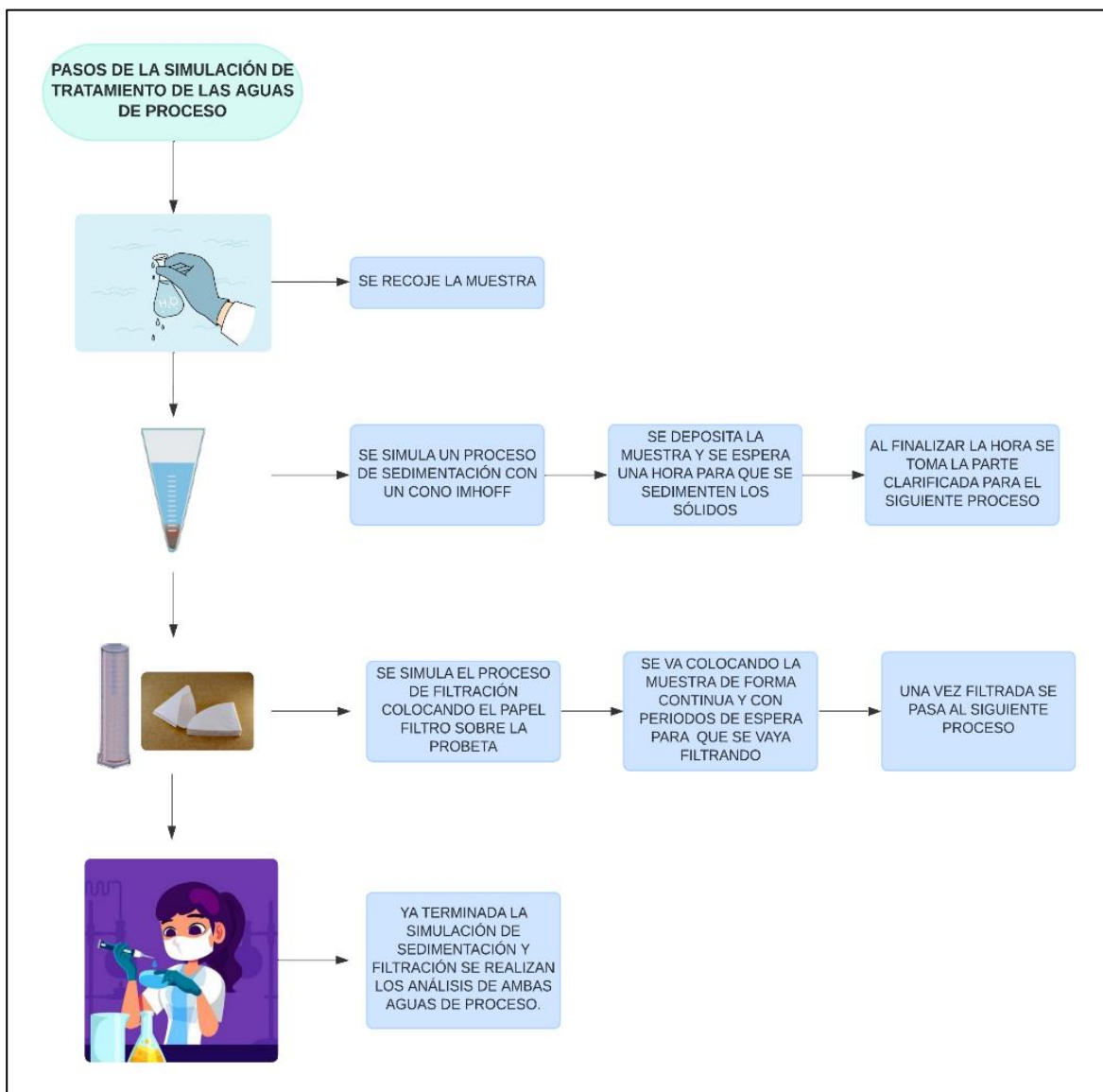
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DE PROCESO CON TRATAMIENTO

Para el tratamiento y caracterización de las aguas de proceso se unieron ambas muestras de agua (Purga y retro lavado), ya que en el sistema de aprovechamiento de aguas se van a juntar de la misma forma.

4.4.1 Diagrama del tratamiento de sedimentación y filtración de las aguas de proceso

Para la simulación del tratamiento antes de caracterizar las aguas de proceso se realizaron los siguientes pasos:

Ilustración 5 – Pasos del tratamiento de las aguas de proceso.



Fuente: Elaborada por autores.

4.4.2 Análisis de los resultados de la caracterización de las aguas de proceso con tratamiento

Ahora en base a los resultados mostrados anteriormente se hizo una evaluación de cumplimiento y no cumplimiento de los límites máximos permisibles de la NTE INEN 1108, como se hizo anteriormente (Análisis de los promedios de la caracterización de las aguas de proceso sin tratamiento previo).

Recordemos que, debemos hacer una conversión para pasar las unidades de arsénico obtenidas en la caracterización de ppb (partes por billón) a mg/l. Pero en este caso no es necesario, ya que el valor del arsénico nos dio un resultado de 0 ppb.

Tabla 19 – Cumplimiento y no cumplimiento de los parámetros de agua de proceso con tratamiento.

No.	Parámetros	Valor	NTE INEN 1108		Cumple (Si, No o No aplica)
			LPM (Límites máximos permisibles)	Unidades	
1	pH	7,25	6,5 - 8	Unidades de Ph	Si
2	Temperatura	26,4			N/A
3	Turbidez	1,63	5	NTU	Si
4	Cloro	0,06	0,3 a 1,5	mg/l	Si
5	Dureza Total	98			N/A
6	Conductividad	172,6			N/A
7	Oxígeno Disuelto	7,93			N/A
8	Color	21	15	Pt Co	No
9	Arsénico	0	0,01	mg/l	Si
10	Bario	2	1.3	mg/l	No
11	Hierro	0,04			N/A
12	Sulfatos	14			N/A
13	Cobre	0,04	2	mg/l	Si

Fuente: Elaborada por autores.

Como se puede observar hubo 2 parámetros que no cumplieron los límites máximos permisibles expresados en la normativa, de manera que, con la ayuda de un filtro de antracita, la cual, se usa como medio granular filtrante para mejorar la calidad del agua y eliminar

impurezas, se logró que los parámetros entren en el cumplimiento de la normativa. Dando los siguientes resultados:

Tabla 20 – Cumplimiento de los parámetros de agua de proceso con tratamiento restantes.

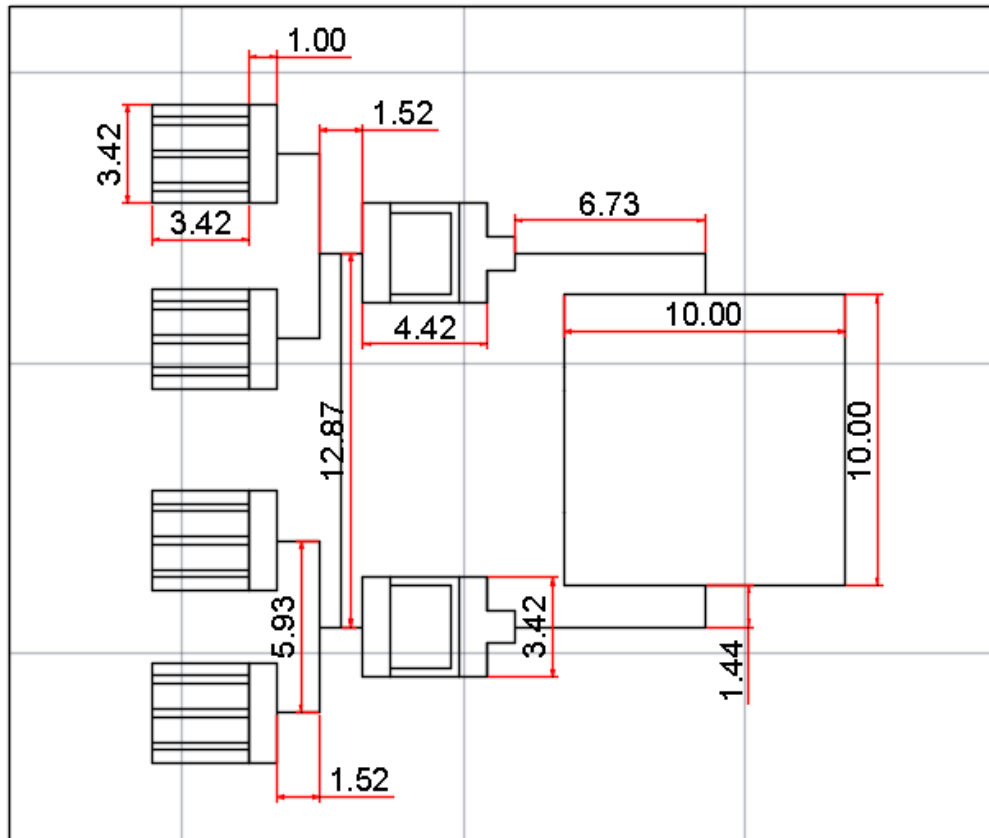
No.	Parámetros	Valor	NTE INEN 1108		Cumple (Si, No o No aplica)
			LPM (Límites máximos permisibles)	Unidades	
1	Color	7	15	Pt Co	Si
2	Bario	1	1.3	mg/l	Si

Fuente: Elaborada por autores.

4.5 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

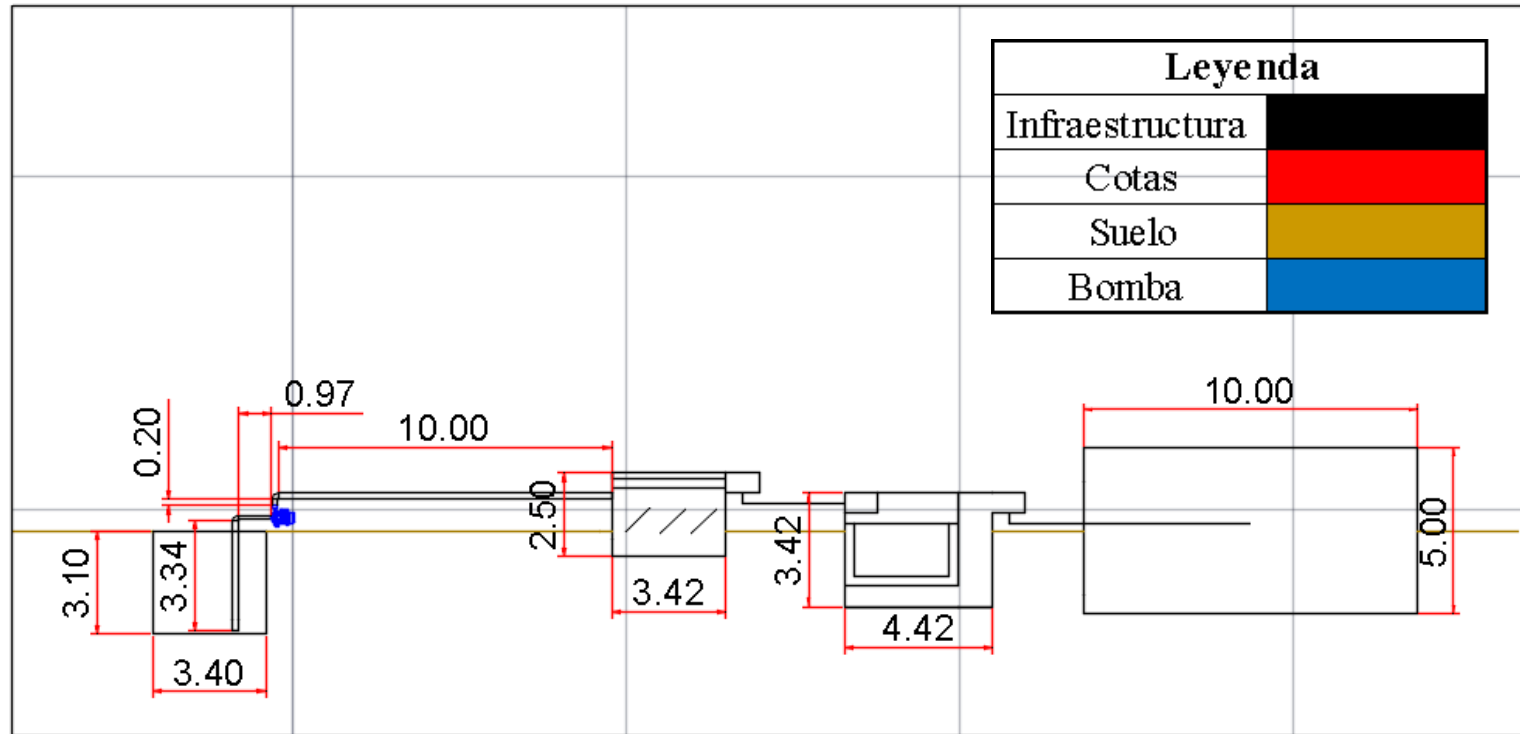
Según los datos obtenidos de los análisis, se determina que el tratamiento más adecuado para aprovechar el agua de purga y de retro lavado es por medio de sedimentadores y luego proceso de filtrado, debido a que los datos nos demuestran una mejora en la mayoría de los parámetros que se analizaron, teniendo como resolución que en su mayoría cumplen con la normativa aplicable y vigente. Por lo tanto, se generó el siguiente diseño con la herramienta AutoCAD y demostrar un diseño de cómo sería el sistema.

Ilustración 6 - Sistema de aprovechamiento de agua



Fuente: Elaborada por autores.

Ilustración 7 - Sistema de aprovechamiento de agua



Fuente: Elaborada por autores.

En las ilustraciones mostradas en la parte de arriba es una representación del diseño de lo que sería el sistema de tratamiento y recuperación, la primera imagen es una representación con una vista desde arriba con un módulo que incluye 4 piscinas de decantación, conectadas mediante tuberías y con válvulas de abertura y cerrado a dos piscinas de filtración conectadas también por tuberías al reservorio de almacenamiento final.

La siguiente imagen muestra una vista horizontal del proceso a seguir, desde la captación de agua, el transporte de esta al módulo con una bomba, y una mejor comprensión del funcionamiento del proceso, ya que los decantadores y piscinas tienen un mismo diseño.

Criterios de Diseño

La bomba que se eligió para la captación de agua tiene las siguientes características:

- Potencia 1/2 HP = 0.5 HP
- Altura máxima 45 m
- Caudal máximo 42 L/min = 0.0007 m³/s
- Profundidad máxima de succión 8 m
- Diámetro de Entrada / Salida 1" NPT

Con el caudal y el diámetro de salida podemos calcular la velocidad de la bomba, y calcular la velocidad en una conexión de 0,17 m en este caso vendría a ser la tubería.

Entonces:

$$D_1 = 0,0254 \text{ m}$$

$$D_2 = 0,17 \text{ m}$$

$$A_1 = \pi \cdot (0,0254)^2 / 4 = 0,0005067 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi \cdot (0,17)^2 / 4 = 0,022 \text{ m}^2$$

$$V_1 = Q/A = 0,0007 \text{ m}^3 / 0,0005067 \text{ m}^2 = 1,38 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,0007 \text{ m}^3 / 0,022 \text{ m}^2 = 0,031 \text{ m/s}$$

$$V = 1,38 - 0,031 = 1,349 \text{ m/s}$$

Teniendo en cuenta lo mencionado debemos usar distintas fórmulas para determinar la Perdida de carga de la bomba determinar el caudal total que llegaría a la piscina de decantación

La fórmula para la perdida de carga es la siguiente

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde

$hf =$ Perdida de carga

$f =$ Factor de fricción

$L =$ Longitud de la tubería

$V =$ Velocidad

$D =$ Diámetro de la tubería

$g =$ Gravedad (9,81 m/s²)

Para poder realizar este cálculo, antes debemos de realizar otra ecuación para encontrar el factor de fricción f con la siguiente ecuación

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \left(\frac{1}{3,7 * \frac{\emptyset}{\varepsilon}} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)^2}$$

Donde:

$f =$ Factor de fricción

$\emptyset =$ Diámetro de la tubería

$\varepsilon =$ Rugosidad

$Re =$ Número de Reynolds

Para la rugosidad tomamos en cuenta el material de acero y su coeficiente de rugosidad es de 0,045

Ahora necesitaremos calcular el número de Reynolds con la siguiente ecuación

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde

$Re = \text{Número de Reynolds}$

$V = \text{Velocidad}$

$\nu = \text{Viscosidad del agua (1,002)}$

Remplazamos valores

$$Re = \frac{1,349 * 0,17}{1,002} = 0,22$$

Ahora reemplazamos valores para f

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \left(\frac{1}{3,7 * \frac{0,17}{0,045}} \right) + \frac{5,74}{0,22^{0,9}} \right)^2} = 0,000552$$

Teniendo el valor de f podemos calcular el valor de la pérdida de carga, remplazamos valores:

$$hf = 0,000552 * \frac{10}{0,17} * \frac{(1,349)^2}{2 * (9,81)} = 0,003011m$$

Teniendo la pérdida de carga podemos el volumen total que se transportaría hacia la piscina de decantación para su posterior tratamiento:

$$V(\text{perdida}) = \text{Área tubería} * hf$$

$$V(\text{perdida}) = 0,022 * 0,003011$$

$$V(\text{perdida}) = 0,000066 \text{ m}^3$$

Este resultado es el volumen de pérdida, entonces debemos restar este valor por el volumen que se va a transportar

$$V(\text{total}) = V - V(\text{perdida})$$

$$V(\text{total}) = 322,48 - 0,000066$$

$$V(\text{total}) = 322,479934 \text{ m}^3$$

Sedimentador

Para el diseño y el tamaño del sedimentador hay que tener en cuenta la velocidad de sedimentación que obtuvimos en el laboratorio teniendo ese valor, la velocidad de sedimentación es de 0,00006m/s.

Ahora debemos calcular el Área superficial que tendrá el sedimentador:

$$As = \frac{Q}{A} = \frac{0,0007 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00006 \text{ m}/\text{s}} = 11,67 \text{ m}^2$$

Encontrado este valor la profundidad del sedimentador deberá ser entre 1,5 m – 2,5 m, y así mismo determinar el largo y ancho para cumplir con el criterio del Área superficial.

$$L = 3,42 \text{ m}$$

$$A = 3,42 \text{ m}$$

$$H = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de capacidad} = 29,24 \text{ m}^3$$

Tuberías de flauta

$$L = 3,30 \text{ m}$$

$$D = 0,3 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que los tubos están colocados 0,45 m por debajo de la base de la estructura, el volumen que va a pasar a los filtros con respecto al volumen de entrada es de $298,50 \text{ m}^3$ y el volumen que quedaría en los sedimentadores sería de $23,97 \text{ m}^3$, y desde los tubos pasa a un pequeño canal para repartirlo en el filtro.

Filtros

El volumen de agua que llega a los filtros es de $298,50 \text{ m}^3$. Los filtros con las siguientes medidas tienen una tasa de filtración de $6393,6 \text{ m}^3/\text{día}$.

$$L = 2,82 \text{ m}$$

$$A = 2,82 \text{ m}$$

$$H = 1,6 \text{ m}$$

Luego que pasa por el filtro debajo de este habrá un canal que conecte con el reservorio de almacenamiento, las medidas de ese canal son:

$$A = 3,42 \text{ m}$$

$$L = 3,42 \text{ m}$$

$$H = 0,62 \text{ m}$$

Este canal queda debajo de la piscina, y justo al lado hay un canal de altura para que se vaya almacenando el reservorio, este siguiente canal de altura tiene las medidas de:

$$A = 1 \text{ m}$$

$$L = 3,42 \text{ m}$$

$$H = 2,8 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta las medidas de los dos canales podemos determinar que el volumen final que llegará a almacenarse en el reservorio es de $281,68 \text{ m}^3$ y entre los dos canales quedaría retenido un volumen de agua de $16,82 \text{ m}^3$. Y como parte final de este diseño del reservorio es de almacenamiento es de:

$$L = 10 \text{ m}$$

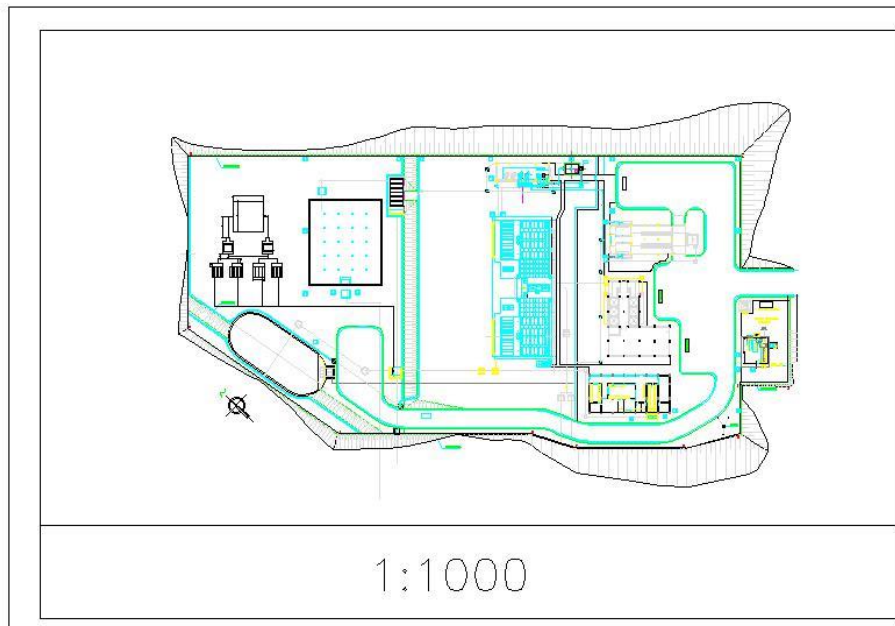
$$A = 10 \text{ m}$$

$$H = 5 \text{ m}$$

Con una capacidad de 500 m^3 y en un solo proceso se llegue a almacenar más de la mitad del reservorio.

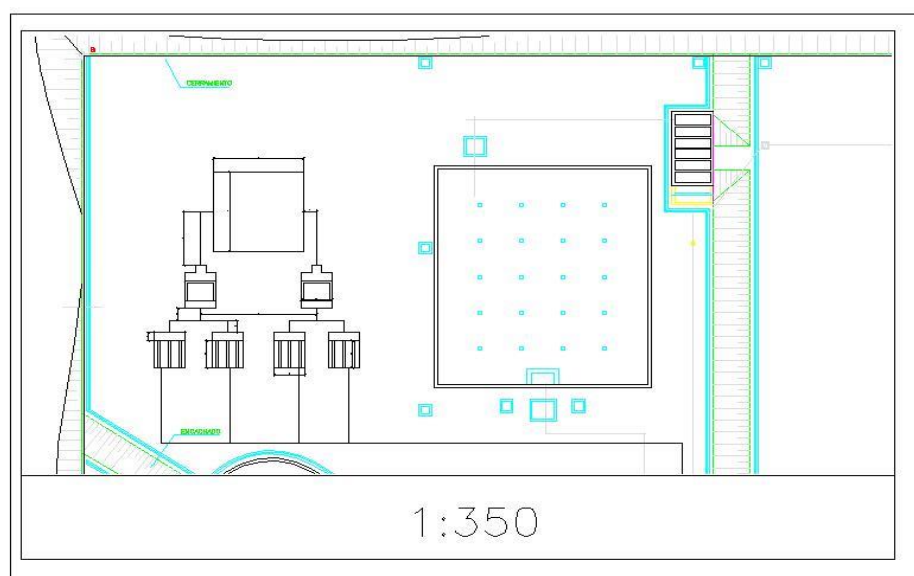
Diseño final en la planta potabilizadora

Ilustración 8 - Diseño final del sistema aprovechamiento en la planta potabilizadora



Vista más cercana

Ilustración 9 - Vista cercana del sistema de aprovechamiento en la planta potabilizadora



Fuente: Elaborada por autores.

4.6 EVALUACIÓN DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO

El análisis de costo-beneficio considerará inicialmente todos los valores que se destinarán al proyecto antes de su implementación, tales como los costos de construcción, mano de obra, entre otros.

Esos valores son los primeros en ser determinados para poder saber cuánto se va a invertir y también si esa inversión es conveniente. Tenemos los siguientes puntos y precios de la inversión en el siguiente plan financiero:

4.6.1 Plan financiero

Para la implementación del sistema de recuperación de agua del proceso se realizó el plan financiero para verificar la viabilidad, para lo cual determinaremos todas las variables requeridas de acuerdo a los valores del mercado.

4.6.1.1 Terrenos y obras civiles

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

Tabla 21 - Plan financiero: Terrenos y obras civiles.

Terrenos y Obras civiles			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad (metros cuadrados)	Costo Total
Construcción Infraestructura	\$ 15.538,92	1	\$ 15.538,92
Terreno	\$ 0,00	0	\$ 0,00
Contrapiso	\$ 100,00	100	\$ 10.000,00
Puntos de agua	\$ 150,00	20	\$ 3.000,00
Instalación de puntos eléctricos	\$ 50,00	50	\$ 2.500,00
Total			\$ 31.038,92

Fuente: Elaborada por autores.

4.6.1.2 Maquinarias, mobiliarios y equipos

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

Tabla 22 - Plan financiero: Maquinarias, mobiliarios y equipos.

Maquinarias, Mobiliarios y Equipos			
Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Tubos de acero	\$ 109,53	3	\$ 328,59
Bomba	\$ 815,00	1	\$ 815,00
Tubería para agua	\$ 126,70	12	\$ 1.520,40
Tuberías PVC presión, accesorios, válvulas y mano de obra	\$ 70,00	14	\$ 980,00
Total			\$ 3.643,99

Fuente: Elaborada por autores.

4.6.1.3 Inversión fija inicial

La inversión fija inicial total del proyecto es la siguiente:

Tabla 23 - Plan financiero: Inversión fija inicial total.

Inversión Fija Inicial			
Ref.	Concepto	Valor	%
Anexo 1	Terrenos y obras civiles	\$ 31.038,92	89,50%
Anexo 2	Maquinarias, mobiliarios y equipos	\$ 3.643,99	10,50%
Total		\$ 34.682,91	100%

Fuente: Elaborada por autores.

4.6.1.4 Mano de obra directa

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

Tabla 24 - Plan financiero: Mano de obra directa.

Mano de obra directa			
Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo Total
Trabajadores de obra	\$ 505,94	5	\$ 2.529,70
Supervisor de obra	\$ 533,97	1	\$ 533,97
Asistentes de obra	\$ 505,94	2	\$ 1.011,88
Empleados	\$ 900,00	1	\$ 900,00
Operarios	\$ 400,00	1	\$ 400,00
Total			\$ 5.375,55

Fuente: Elaborada por autores.

4.6.1.5 Materiales directos

El costo total para el material directo del proyecto es el siguiente:

Tabla 25 - Plan financiero: Material directo.

Material Directo			
Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo Total
Antracita	\$ 175,00	5	\$ 875,00
Total			\$ 875,00

Fuente: Elaborada por autores.

4.6.1.6 Costo directo de producción

El costo directo total de producción del proyecto es el siguiente:

Tabla 26 - Plan financiero: Costo directo de producción.

Costos directos de producción			
Descripción	Costo unitario	Cantidad	Costo Total
Mantenimiento	\$ 670,00	9	\$ 6.030,00
Energía	\$ 300,00	2	\$ 600,00
Total			\$ 6.630,00

Fuente: Elaborada por autores.

4.6.1.7 Capital de trabajo

El valor total del capital de trabajo del proyecto es el siguiente:

Tabla 27 - Plan financiero: Capital de trabajo.

Capital de trabajo		
Concepto	Valor	%
Materiales directos	\$ 875,00	6,59%
Labor directa	\$ 5.375,55	38,18%
Costo directo de producción	\$ 6.630,00	47,08%
Gastos administrativos	\$ 1.200,00	8,52%
Total	\$ 14.080,55	100%

Fuente: Elaborada por autores.

Ya tenemos el valor total de la inversión expresado en el punto Inversión fija inicial, ahora solo tenemos que usar la tabla para el análisis costo-beneficio, reemplazar valores y se determinará si el proyecto es rentable a largo plazo.

4.6.2 Tabla costo-beneficio

Finalmente, una vez que se cuenta con el valor total de la inversión, se procede a realizar un análisis costo-beneficio detallado. Este análisis busca determinar la viabilidad del proyecto presentado. Para ello, se compara el costo total de la inversión con los beneficios esperados a lo largo del tiempo. En este contexto, es fundamental que el resultado del análisis costo-beneficio, expresado como un cociente, sea mayor que 1 para considerar que el proyecto es viable. Esto indica que los beneficios esperados superan los costos, lo que justifica la inversión y garantiza un rendimiento satisfactorio.

Tabla 28 - Análisis Costo beneficio.

X	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
Inversión	34682,92						
Ingresos		196.196,83	196.196,83	196.196,83	196.196,83	196.196,83	980984,16
Egresos		14080,55	14080,55	14080,55	14080,55	14080,55	70402,75
Flujo		182116,28	182116,28	182116,28	182116,28	182116,28	
Costos + Inversión							105085,67
Costo - beneficio							9,335089742

Fuente: Elaborada por autores.

Mayor a 1

Como se evidencia en la tabla adjunta, el índice de rentabilidad, representado por el valor del análisis costo-beneficio, es mayor a 1, lo que indica que la realización del proyecto, junto con la inversión requerida, es rentable.

CAÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En conclusión:

- Se determinó que la cantidad de agua descargada en los procesos de purga de los decantadores y retro lavado de los filtros, es de 322,48 m^3 por día, flujo que podría abastecer aproximadamente a 538 familias.
- A través del análisis fisicoquímico realizado para caracterizar la calidad del agua purgada y de retro lavado, se logró determinar las concentraciones de las variables. Este estudio proporcionó la información para el diseño del sistema de aprovechamiento de agua.
- El diseño del sistema de tratamiento de agua desarrollado demostró ser efectivo en la remoción de los contaminantes, así lo evidencian los resultados de los análisis de laboratorio.
- El análisis costo-beneficio realizado proporciona una evaluación integral de la viabilidad económica del sistema de tratamiento propuesto, al considerar tanto los costos asociados con la implementación y operación del sistema como los beneficios derivados de la mejora en la calidad del agua tratada y los impactos positivos en la salud y el ambiente, se ha demostrado que el proyecto es económicamente viable. Los resultados muestran claramente que los beneficios esperados superan los costos incurridos a lo largo del ciclo de vida del sistema de tratamiento. Este análisis proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas y la asignación eficiente de recursos, garantizando así la rentabilidad y la sostenibilidad a largo plazo del sistema de tratamiento de agua.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Identificar los posibles procesos adicionales que podrían estar ocasionando una disipación de recursos en la infraestructura de suministro de agua potable de la empresa, con el fin de elaborar estrategias de acción destinadas a mitigar tales ineficiencias y promover un proceso de potabilización sin impactos adversos.
- Realizar un análisis selectivo exclusivamente de los parámetros que se encuentren dentro de los estándares de calidad pertinentes, con el propósito de facilitar una comparativa exhaustiva de todos los parámetros y determinar si estos cumplen con los límites máximos permisibles establecidos.
- Investigar y aplicar estrategias innovadoras para mejorar la eficiencia del proceso de recuperación de agua, como la optimización de los sistemas de filtración y tratamiento, la reutilización de aguas grises, y la captación de agua de lluvia. Además, es fundamental mantener un monitoreo continuo del sistema para identificar posibles áreas de mejora y ajustar las estrategias en consecuencia. Al implementar estas medidas, se puede optimizar el uso y la gestión del recurso hídrico, promoviendo la sostenibilidad ambiental y económica a largo plazo.
- Realizar un análisis exhaustivo de los aspectos financieros al evaluar cualquier proyecto. Es esencial considerar tanto los costos iniciales de implementación como los gastos recurrentes a lo largo del tiempo para obtener una perspectiva completa del costo-beneficio. Se sugiere realizar proyecciones financieras realistas y detalladas que incluyan todos los posibles costos asociados con el proyecto, desde la adquisición de equipos hasta los costos operativos y de mantenimiento. Además, se recomienda realizar evaluaciones periódicas del desempeño financiero del proyecto para identificar y abordar cualquier desviación o cambio en los costos previstos. Al tomar decisiones informadas y precisas basadas en una evaluación cuidadosa de los aspectos financieros, se puede mejorar la efectividad y la viabilidad a largo plazo del proyecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acura, G. (2021, 25 junio). Uso eficiente del agua en la industria: ganancias, procesos y prácticas. Grupo Acura. <https://grupoacura.com/es/blog/uso-eficiente-del-agua/#:~:text=El%20uso%20eficiente%20del%20agua%20se%20define%20como%20la%20reducci%C3%B3n,un%20sentido%20social%20y%20econ%C3%B3mico.>
- Aquae. (2022, 17 marzo). ¿Cuánta agua dulce hay en el planeta? - Fundación AQUAE. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/que-cantidad-de-agua-dulce-hay-en-el-planeta/#:~:text=Nuestro%20planeta%20dispone%20de%2C%20aproximadamente,5%25%20restante%20es%20agua%20dulce.>
- Aquae. (2021, 15 junio). Los estados del agua: experimento | Fundación Aquae. Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/los-estados-del-agua/>
- De Alicante Departamento De Análisis Económico Aplicado, U. (2020). Reutilización de agua: estado actual y perspectivas. <http://hdl.handle.net/10045/119387>
- EPMAPS, Agua de Quito. (2023), Nuestra Historia. <https://www.aguaquito.gob.ec/nuestra-historia/>
- Equipo de Comunicación Aconsa. (2021, 25 agosto). Parámetros de calidad del agua de consumo humano: ¿Cuáles son y cómo se miden? - Aconsa. Aconsa. Recuperado 22 de febrero de 2024, de <https://aconsa-lab.com/parametros-calidad-agua-consumo-humano/>
- Euroinnova Business School. (2023, diciembre 28). Importancia de la inclusión en la escuela. <https://www.euroinnova.ec/blog/consecuencias-del-desperdicio-del-agua>
- Farfán, C. E. C., Arce, X. S. M., & Intriago, M. S. P. (2021). Plan estratégico para la reducción de pérdidas de agua potable en Portoviejo. Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2736>

- Fundación Aquae. (2021, diciembre 15). Características del agua potable - Fundación AQUAE. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/caracteristicas-agua-potable/>
- Fundación Aquae. (2021a, agosto 10). Potabilización del agua: características y fases |Fundación AQUAE. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/potabilizacion-agua/>
- Fundación Aquae. (2021, marzo 1). El agua en la historia de la humanidad - Fundación AQUAE. <https://www.fundacionaquae.org/historia-del-agua/#:~:text=La%20presencia%20del%20agua%20en,y%20como%20v%C3%ADa%20de%20comunicaci%C3%B3n.>
- Herrera Trujillo, Y. H. T. (2022, 4 enero). Importancia del análisis para determinar la Calidad del Agua de Consumo (NOM-127, NOM-201 y WHO) Parte 1. Mérieux NutriSciences. Recuperado 22 de febrero de 2024, de <https://www.merieuxnutrisciences.com/na/es/importancia-calidad-del-agua/>
- Manuel, O. S. M. J. (2019). Diseño de un sistema de reutilización de aguas grises y aprovechamiento de aguas pluviales para un proyecto urbanístico de 12 hectáreas Ubicado en el distrito de Pimentel - Chiclayo - Lambayeque. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6033>
- Montoya, C. M., & Alberto, R. (2022, 30 noviembre). Análisis energético y estrategias de optimización para el sistema de abastecimiento de agua potable de los sectores Virgen del cisne y 25 de Julio de la ciudad de Guayaquil (Ecuador). Recuperado 20 de febrero de 2024, de <http://hdl.handle.net/10251/190324>
- OPS, (2020). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. OPS/CEPIS/05.158 UNATSABAR
- Quispe, I. (2020, 1 septiembre). ¿Qué es AutoCAD y para qué sirve? Arcux. <https://arcux.net/blog/que-es-autocad-y-para-que-sirve/>
- Rátiva Algarra, N., & Moreno Hernández, M. F. (2020). Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para abastecimiento en la planta de producción de

una empresa ubicada en Cota Cundinamarca. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1867

Teamb, & Teamb. (2023, 8 agosto). El reciclaje del agua como única solución sostenible | TeamB. Teamb | Teamb, Equipo de profesionales con amplia experiencia en el tratamiento de aguas residuales. Ofrecen soluciones integrales de alta ingeniería y calidad en diseño, construcción, rehabilitación y operación de plantas de tratamiento, así como en materia ambiental y de seguridad e higiene. <https://teamb.com.mx/el-reciclaje-del-agua-como-unica-solucion-sostenible/>

Telwesa. (2023, 16 agosto). Los beneficios de reutilizar el agua residual. Telwesa. <https://telwesa.com/beneficios-reutilizar-agua-residual/#:~:text=La%20reutilizaci%C3%B3n%20del%20agua%20residual%20en%20las%20industrias%20permite%20un,adecuados%20para%20cada%20aplicaci%C3%B3n%20espec%C3%ADfica.>

Valdivielso, A. (2023, 26 abril). ¿Qué es el agua? iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua>

Valenzuela, C. (2019). Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia bajo criterios de Eficiencia Hídrica en Edificios. Caso de estudio: Edificio de Clases y Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central. *INGENIO*, 2(2), 25–37. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1700>

Cámara de Comercio de Valencia, M. O. (2022, 26 mayo). Qué es un plan financiero y cómo hacerlo | MBA online. MBA Online. Recuperado 2 de marzo de 2024, de <https://www.master-mbaonline.com/finanzas/plan-financiero/>

7. ANEXOS

ANEXO 1. Entrada de agua cruda a la planta potabilizadora



ANEXO 2. Piscina de decantación



ANEXO 3. Salida de agua del proceso de retro lavado



ANEXO 4. Abertura de llaves de salida del proceso de purga



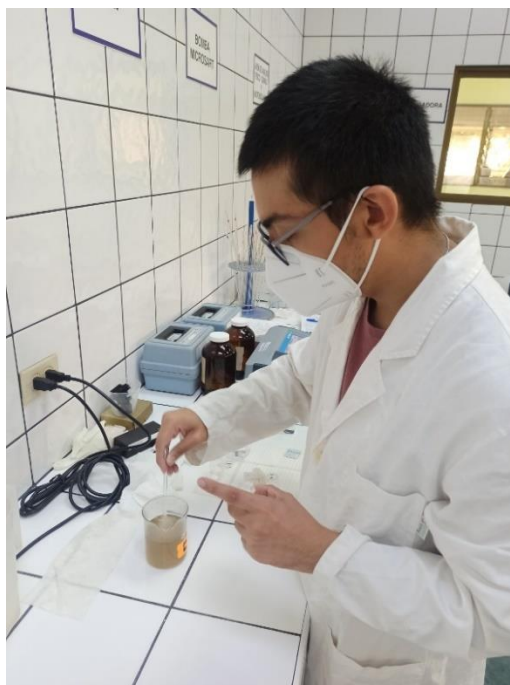
ANEXO 5. Piscina de filtración



ANEXO 6. Muestras de agua de purga y retro lavado



ANEXO 7. Muestra de retro lavado en vaso de precipitación para el análisis



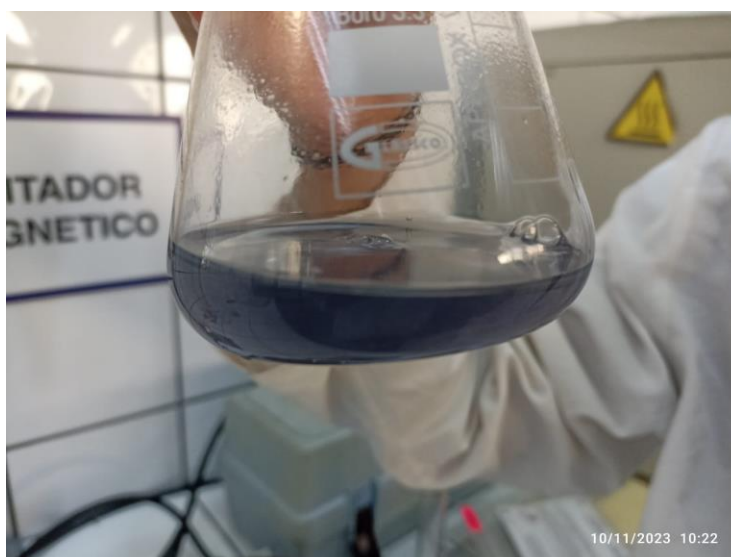
ANEXO 8. Procedimiento de análisis de sólidos suspendidos totales



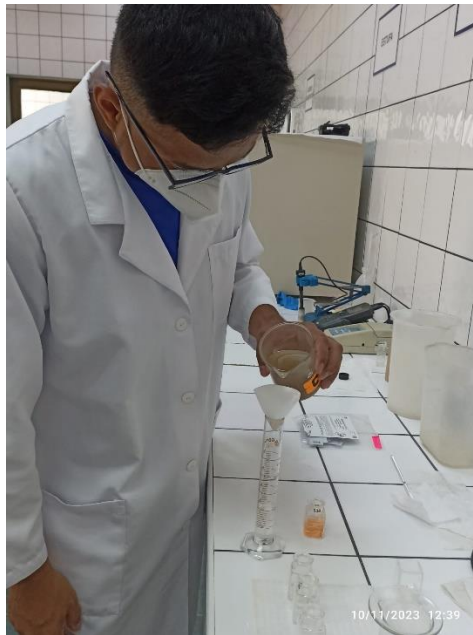
ANEXO 9. Análisis de dureza antes del proceso de titulación



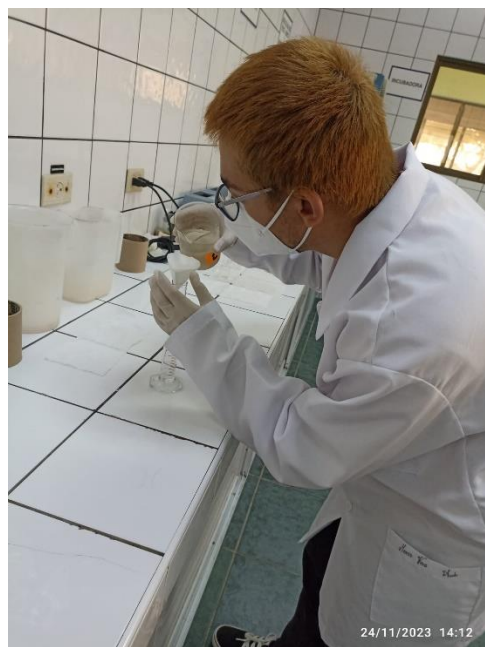
ANEXO 10. Análisis de dureza después de realizar el proceso de titulación



ANEXO 11. Preparación de la muestra cero para los análisis



ANEXO 12. Preparación de muestra cero para los análisis



ANEXO 13. Mezcla de la muestra con reactivo en la celda para el análisis



ANEXO 14. Mezcla de la muestra junto al reactivo para el análisis



ANEXO 15. Lectura del resultado en el espectrofotómetro de sulfatos



ANEXO 16. Preparación de la muestra para análisis de arsénico



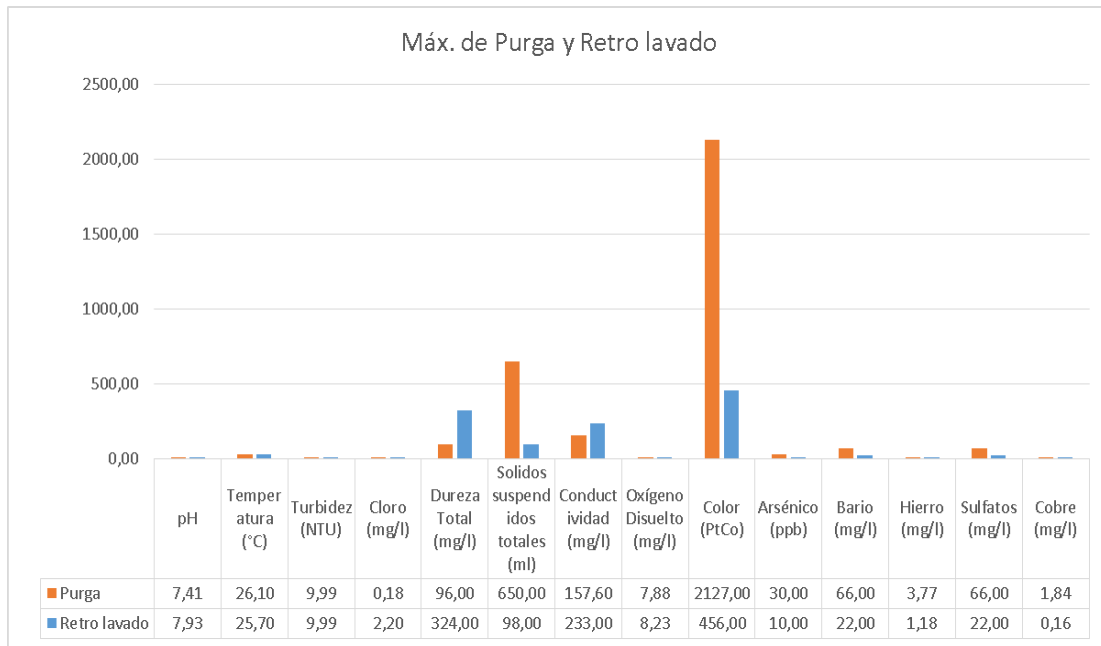
ANEXO 17. Comparación de resultados de Arsénico



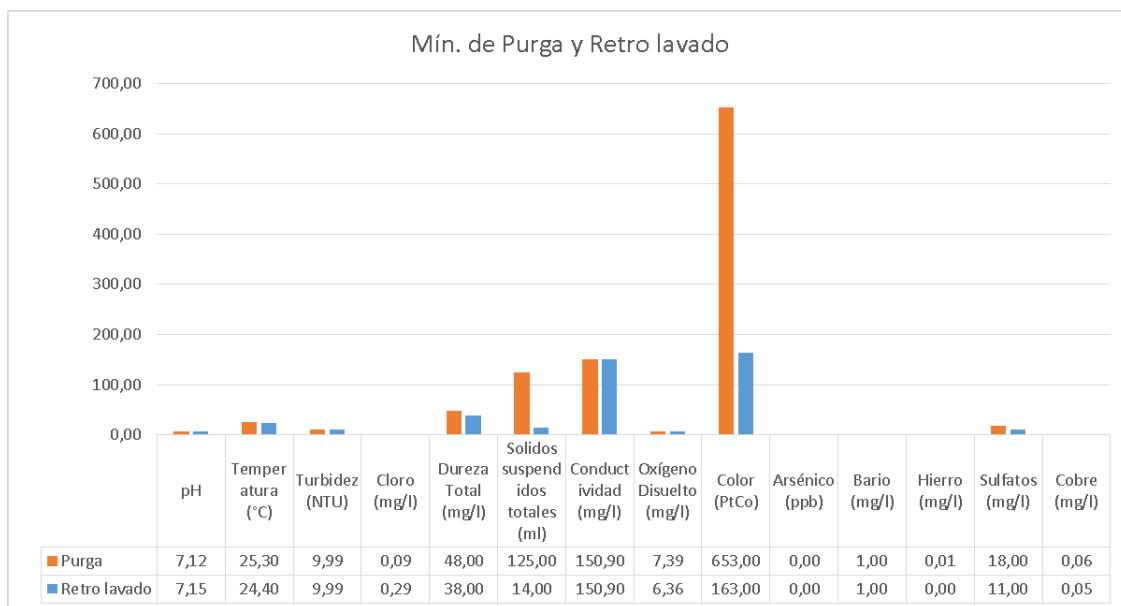
ANEXO 18. Tratamiento del agua de purga y retro lavado por filtración



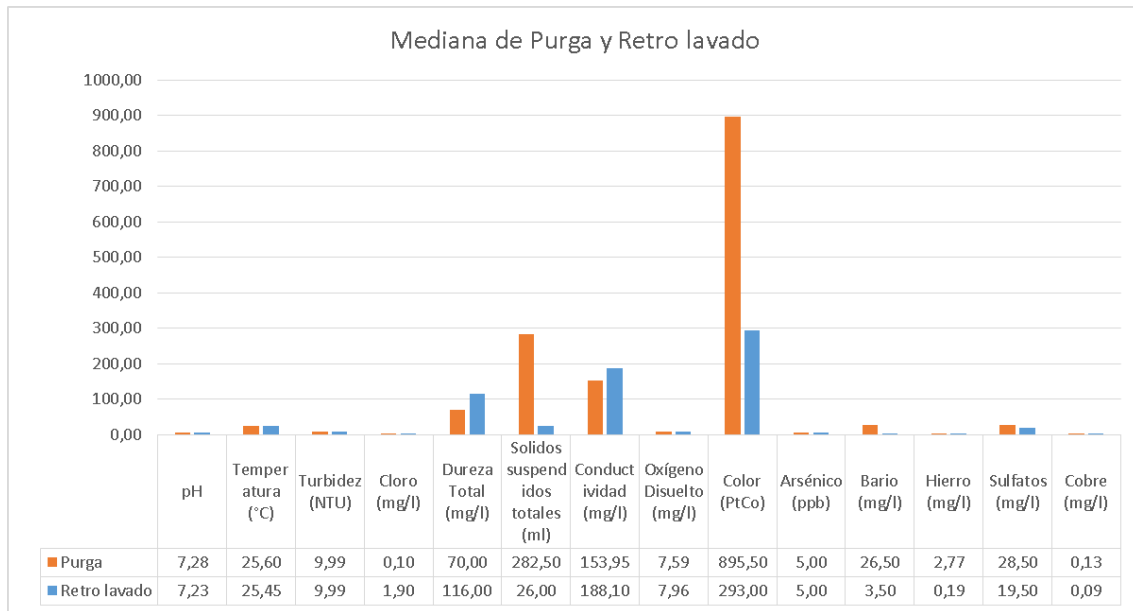
ANEXO 19. Fuente: Elaborada por autores.



ANEXO 20. Fuente: Elaborada por autores.



ANEXO 21. Fuente: Elaborada por autores.



ANEXO 22. Fuente: Elaborada por autores.

