



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**MEJORA DEL SISTEMA DE PURIFICACION DEL AGUA DE CONSUMO**

**HUMANO DE UN BUQUE DE 500 TRB**

**Trabajo de titulación a la obtención del Título de**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

**Álvaro Jesús Borbor Pérez Roberto**

**Javier Nevárez Velez**

**TUTOR:**

**PhD. Virgilio Ordoñez Ramírez**

**Guayaquil - Ecuador**

**2026**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Alvaro Jesús Borbor Pérez** con documento de identificación No. **0952422392** y **Roberto Javier Nevárez Velez** con documento de identificación No. **0930373410**, 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 2026

Atentamente,



Alvaro Jesús Borbor Pérez

C.C No.: 0952422392



Roberto Javier Nevarez Velez

C.C No.: 0930373410

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIADA POLITECNICA SALESIANA**

Nosotros, **Alvaro Jesús Borbor Pérez** con documento de identificación No. **0952422392** y **Roberto Javier Nevárez Velez** con documento de identificación No. **0930373410**, 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 **MEJORA DEL SISTEMA DE PURIFICACION DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE UN BUQUE DE 500 TRB**, en el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIEROS AMBIENTALES**, 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 de 2026

Atentamente,



Alvaro Jesús Borbor Pérez

C.C No.: 0952422392



Roberto Javier Nevárez Velez

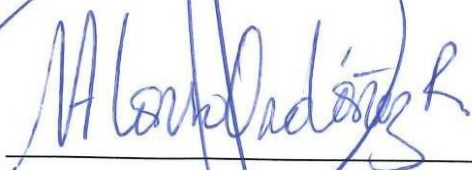
C.C No.: 0930373410

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, **Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez** con documento de identificación No. 0909780850, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación **MEJORA DEL SISTEMA DE PURIFICACION DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE UN BUQUE DE 500 TRB**, realizado por **Alvaro Jesús Borbor Pérez** con documento de identificación No. 0952422392 y **Roberto Javier Nevárez Velez** con documento de identificación No. 0930373410, obtenido como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 26 de febrero de 2026

Atentamente,



Ing. Virgilio Alonso Ordóñez Ramírez, PhD

C.C. No. 0909780850

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, por su amor incondicional y por enseñarme que el esfuerzo, la responsabilidad y la constancia son el camino para salir adelante. Este logro no solo refleja sus valores y su apoyo, sino también mi trabajo, sacrificio y perseverancia para alcanzar este objetivo tan anhelado.

Alvaro Jesús Borbor Pérez

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por acompañarme en cada uno de los días difíciles, por brindarme fortaleza cuando el camino no fue sencillo, y por regalarme salud, paciencia y una guía constante para no rendirme.

A las personas que me acompañaron durante estos años dentro de mi formación académica y que hoy puedo llamar grandes amigos, gracias por su apoyo incondicional y por caminar a mi lado en este proceso.

A los profesionales que me orientaron hacia valiosas oportunidades de aprendizaje, quienes dejaron en mí enseñanzas distintas y significativas. De manera especial, agradezco a la Ing. Elizabeth Granja y al Ing. Christian Molineros, quienes estuvieron presentes a lo largo de mi trayectoria académica, brindándome su apoyo, consejos y motivación constante.

Finalmente, a los docentes que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional, por sus enseñanzas y orientación para superarnos cada día. En especial, a la Ing. Carmen Palacios y al Ing. Virgilio Ordoñez, por compartir su conocimiento, experiencia y apoyo durante todo mi proceso educativo, siendo verdaderos guías y maestros.

Alvaro Jesús Borbor Perez

**DEDICATORIA**

A mi Padre y Madre que hicieron posible mi educación y me alentaron durante mi vida como apoyo incondicional.

Roberto Javier Nevarez Velez

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Carmen Palacios, Virgilio Ordoñez, Kevin Cedeño, José Luis Ballesteros, Gabriela Andrade por estar en todo momento, por ser más que una buena guía, un buen amigo. Gracias por enseñarme día a día y a cualquier hora, que todo problema tiene una solución y toda duda tiene respuesta, por ayudarme en mi camino de formación y enseñarme a perseverar.

A el futuro Ing. Ambiental Alvaro Borbor, no hay palabras para agradecerte.

A mi familia, amigos y compañeros que sin condiciones me brindaron su apoyo y me animaron cuando las fuerzas para seguir se agotaban.

Roberto Javier Nevarez Velez

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo mejorar el sistema de purificación del agua de consumo humano de un buque de 500 TRB, con el fin de garantizar condiciones adecuadas de calidad sanitaria para la tripulación y cumplir con los límites establecidos por la normativa vigente. El estudio se desarrolló bajo un enfoque de investigación experimental, aplicándose directamente en un buque como unidad de análisis.

La metodología consistió en la evaluación del sistema de tratamiento existente y en la implementación de un sistema mejorado compuesto por etapas sucesivas de filtración mediante arena, zeolita y carbón activado, seguido de un proceso de desinfección por cloración. Se realizaron muestreos y análisis de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua antes y después de la mejora del sistema, entre los que se consideraron pH, turbidez, cloro y presencia de microorganismos indicadores de contaminación.

Los resultados obtenidos evidenciaron una mejora significativa en la calidad del agua tratada, observándose una reducción de los niveles de turbidez y la eliminación de contaminantes microbiológicos, alcanzando valores que se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos por la normativa INEN y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua destinada al consumo humano.

Asimismo, se determinó que el sistema mejorado presenta mayor eficiencia operativa y confiabilidad respecto al sistema original, al optimizar el proceso de purificación y fortalecer la barrera sanitaria frente a posibles contaminaciones durante el almacenamiento y distribución a bordo.

Se concluye que la implementación de filtros de arena, zeolita y carbón activado, combinados con desinfección por cloración, constituye una alternativa técnica viable para mejorar la calidad del agua de consumo humano en buques de características similares, contribuyendo a la protección de la salud de la tripulación y al cumplimiento de las disposiciones sanitarias nacionales e internacionales.

**Palabras Clave:** *Tratamiento de agua, filtros de arena, zeolita, carbón activado, cloración, normativa INEN, OMS.*

## ABSTRACT

The objective of this research was to improve the drinking water purification system of a 500 GT vessel, in order to ensure adequate sanitary quality conditions for the crew and to comply with the limits established by current regulations. The study was conducted under an experimental research approach and was applied directly on board a vessel as the unit of analysis.

The methodology consisted of evaluating the existing treatment system and implementing an improved system composed of successive filtration stages using sand, zeolite, and activated carbon, followed by a chlorination disinfection process. Water samples were collected and analyzed for several physicochemical and microbiological parameters before and after the system improvement, including pH, turbidity, chlorine, and the presence of indicator microorganisms of contamination.

The results showed a significant improvement in the quality of the treated water, with a reduction in turbidity levels and the elimination of microbiological contaminants, achieving values within the permissible ranges established by the INEN standards and the recommendations of the World Health Organization (WHO) for drinking water.

Furthermore, the improved system demonstrated greater operational efficiency and reliability compared to the original system, by optimizing the purification process and strengthening the sanitary barrier against possible contamination during on-board storage and distribution.

It is concluded that the implementation of sand, zeolite, and activated carbon filters combined with chlorination disinfection represents a technically viable alternative to improve drinking water quality on vessels with similar characteristics, contributing to the protection of crew health and compliance with national and international sanitary regulations.

**Keywords:** *Water treatment; sand filters; zeolite; activated carbon; chlorination; INEN standards; WHO.*

## INDICE DE CONTENIDO

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 .....	VI
DEDICATORIA .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCION .....	1
1.1 Situación del problema.....	1
Definición del Problema .....	2
1.3 Formulación del Problema .....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivo.....	3
1.5.1 Objetivo General .....	4
1.5.2 Objetivo Específico .....	4
1.6 Marco Hipotético.....	4
1.6.1 Hipótesis General .....	4
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	4
CAPITULO II.....	5
2. Marco teórico .....	5
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Bases teóricas .....	5
2.2.2 Características de los insumos.....	6
2.2.3 Principios y tecnologías de tratamiento relevantes a bordo: .....	7
2.2.3.1 Pretratamiento físico: filtración y separación de aceites.....	7
2.2.3.2 Procesos de membrana (Osmosis inversa - RO) .....	7
2.2.3.3 Desinfección: cloro residual, dióxido de cloro y UV .....	7
2.2.3.4 Adsorción y pulido: carbón activado, lechos adsorbentes .....	8

2.2.3.5	Tecnologías emergentes y control de biofouling .....	8
2.2.3.6	Gestión de redes internas y biofilm.....	8
2.3	Definiciones Matriz de Riesgo.....	8
2.4	Marco Legal .....	9
2.4.1	Normativa Internacional.....	9
2.4.2	Organización Mundial de la Salud (OMS).....	9
2.4.3	Organización Marítima Internacional (OMI) .....	9
2.4.4	Vessel Sanitation Program 2025 Environmental Public Health Standards (CDC, 2025).....	10
2.5	Normativa Nacional .....	10
2.5.1	Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA).....	10
2.5.2	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2020 – Agua Potable. ....	10
CAPITULO III .....		11
3.	Metodología .....	11
3.1	Población y muestra .....	11
3.2	Muestra.....	11
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.4	Procedimiento metodológico.....	12
3.4.1	Diagnóstico del sistema actual: .....	12
3.4.2	Análisis normativo y técnico:.....	12
3.4.3	Propuesta de mejora: .....	12
3.4.4	Validación técnica: .....	12
3.5	Análisis de los datos .....	13
3.6	Consideraciones éticas.....	13
3.7	Limitaciones .....	13
3.10	Variables del estudio .....	13
CAPITULO IV .....		14
4.	RESULTADOS.....	14
4.1	Descripción del Sistema de tratamiento actual.....	14
4.1.1	Abastecimiento.....	14
4.1.2	Almacenamiento.....	14
4.1.3	Sistema de Tratamiento .....	14
4.1.4	Sistema de Distribución.....	14
4.1.5	Diagrama de flujo.....	15
4.1.6	Uso del Agua en el Buque .....	15
4.2	Caracterización del agua potable.....	17

4.2.1	Parámetros físicos.....	18
4.2.2	Caracterización previa parámetros físicos.....	18
4.2.3	Análisis de Resultados Físicos.....	19
4.2.4	Parámetros químicos.....	19
4.2.5	Caracterización previa parámetros químicos.....	20
4.2.6	Análisis de Resultados Químicos.....	21
4.2.7	Parámetros microbiológicos.....	22
4.2.8	Caracterización previa parámetros microbiológicos.....	22
4.2.9	Análisis de Resultados Microbiológicos.....	22
4.3	Tratabilidad del agua.....	23
4.3.1	Capacidad del Sistema Experimental.....	23
4.3.2	Toma de muestra.....	23
4.3.3	Características de la Unidad Experimental.....	23
4.3.3.1	Capacidad del filtro.....	23
4.3.3.2	Medio Filtrante.....	24
4.3.3.3	Profundidad del Medio Filtrante.....	25
4.3.3.4	Velocidad de filtración.....	25
4.3.3.5	Preparación del medio filtrante.....	26
4.3.4	Prueba Experimental.....	26
4.4	Evaluación del sistema propuesto.....	28
4.4.1	Caracterización del agua tratada.....	28
4.4.1.1	Análisis de los Parámetros físicos.....	29
4.4.1.2	Análisis de los Parámetros químicos.....	30
4.4.1.3	Análisis de los Parámetros microbiológicos.....	31
4.4.2	Evaluación de la eficiencia de remoción.....	31
4.4.3	Evaluación de la eficiencia de remoción.....	31
4.4.4	Evaluación Operativa.....	33
4.4.4.1	Disponibilidad de insumos.....	33
4.4.4.2	Simplicidad operativa.....	34
4.4.4.3	Requerimientos de mantenimiento Lavados de filtros.....	34
	Cambio de medios filtrantes.....	34
4.5	Evaluación Económica.....	35
4.5.1	Costos de inversión.....	35
4.5.1.1	Costos actuales sin el sistema.....	35
4.6	Análisis de riesgos.....	38

5	CONCLUSIONES .....	41
6	RECOMENDACIONES .....	42
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	43
8.	Anexos .....	46

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de evaluación del nivel de riesgo según probabilidad y severidad. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de nivel de riesgo y acción de control. ....	9
<b>Tabla 3.</b> Consumo de agua potable.....	16
<b>Tabla 4.</b> Agua para el consumo humano. ....	17
<b>Tabla 5.</b> Resultados de los análisis de parámetros físicos 2025 – 1er semestre. ....	18
<b>Tabla 6.</b> Resultados de los análisis de parámetros físicos 2025 – 2do semestre. ....	19
<b>Tabla 7.</b> Resultados de los análisis de parámetros químicos 2025 – 1er semestre. ....	20
<b>Tabla 8.</b> Resultados de los análisis de parámetros químicos 2025 – 2do semestre. ....	20
<b>Tabla 9.</b> Resultados de los análisis de parámetros microbiológicos 2025 – 1er semestre.....	22
<b>Tabla 10.</b> Resultados de los análisis de parámetros microbiológicos 2025 – 2do semestre.....	22
<b>Tabla 11.</b> Características de Filtros. ....	23
<b>Tabla 12.</b> Capacidad de los filtros. ....	24
<b>Tabla 13.</b> Características del medio filtrante. ....	24
<b>Tabla 14.</b> Velocidad de Filtración. ....	25
<b>Tabla 15.</b> Resultados de pruebas 1er Filtro. ....	27
<b>Tabla 16.</b> Resultados de Pruebas 2do Filtro. ....	27
<b>Tabla 17.</b> Resultados de pruebas 3er Filtro. ....	28
<b>Tabla 18.</b> Resultados del análisis de laboratorio ups - 1er filtro. ....	28
<b>Tabla 19.</b> Resultados del análisis de laboratorio ups – 2do filtro.....	28
<b>Tabla 20.</b> Resultados del análisis de laboratorio ups – 3re filtro.....	29
<b>Tabla 21.</b> Resultados de los análisis de laboratorio acreditado – 1er Filtro. ....	29
<b>Tabla 22.</b> Análisis de Remoción.....	32
<b>Tabla 23.</b> Análisis comparativo internacional. ....	32
<b>Tabla 24.</b> Costo de inversión para la mejora del sistema. ....	35
<b>Tabla 25.</b> Costos mensuales compra de botellones de agua potable. ....	36
<b>Tabla 26.</b> Costo total de consumo de agua potable. ....	36
<b>Tabla 27.</b> Gastos semestrales.....	37

**INDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Proceso de Abastecimiento.....	15
<b>Figura 2.</b> Consumo de agua potable.....	16
<b>Figura 3.</b> Agua para el consumo humano.....	17
<b>Figura 4.</b> Proceso de pruebas experimental.....	26
<b>Figura 5.</b> Gastos mensuales.....	36
<b>Figura 6.</b> Gastos del 1er semestre.....	37
<b>Figura 7.</b> Gastos del 2do semestre.....	37
<b>Figura 8.</b> Matriz de riesgo operativo.....	39

**INDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Sistema actual de potabilización.....	46
<b>Anexo 2.</b> Planos de los tanques de almacenamiento.....	47
<b>Anexo 3.</b> Visualización del sistema de tratamiento. ....	48
<b>Anexo 4.</b> Acceso a tanques de almacenamiento. ....	48
<b>Anexo 5.</b> Punto de muestreo – Tanques de almacenamiento. ....	48
<b>Anexo 6.</b> Diseño de filtros. ....	49
<b>Anexo 7.</b> Equipos de monitoreos. ....	50
<b>Anexo 8.</b> Materiales para elaboración de filtros. ....	51
<b>Anexo 9.</b> Fórmula de densidades .....	51
<b>Anexo 10.</b> Densidades del medio filtrante. ....	52
<b>Anexo 11.</b> Fichas técnicas de material filtrante. ....	53
<b>Anexo 12.</b> Pruebas de tratabilidad. ....	55
<b>Anexo 13.</b> Pruebas de tratabilidad en los equipos medibles. ....	56
<b>Anexo 14.</b> Resultados de Monitoreos. ....	57
<b>Anexo 15.</b> Norma Técnica Ecuatoria NTE INEN 2169 – Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras (Referencia Técnica).....	61
<b>Anexo 16.</b> Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 -Agua potable (Referencia Técnica). ....	62
<b>Anexo 17.</b> Parámetros de calidad del agua según la organización mundial de la salud (OMS). ....	63
<b>Anexo 18.</b> Clasificación del nivel de riesgo según su acción y plazo de implantación. ....	64

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCION

#### 1.1 Situación del problema

El acceso a agua potable segura a bordo de los buques constituye un aspecto esencial de la seguridad, salud y bienestar de la tripulación. La Organización Marítima Internacional (IMO) establece, en el Código Internacional de Gestión de la Seguridad (ISM Code), que los armadores y operadores deben garantizar condiciones adecuadas de habitabilidad, incluyendo la provisión de agua de consumo humano en cantidad y calidad suficiente (IMO, 2018).

En los buques mercantes de mediano porte, como aquellos de 500 toneladas de registro bruto (TRB), los sistemas de purificación de agua desempeñan un papel crítico en el suministro de agua apta para consumo. No obstante, factores como la antigüedad de los equipos, deficiente mantenimiento o uso de tecnologías obsoletas pueden generar ineficiencias en la potabilización, afectando la salubridad del recurso y la operatividad de la embarcación (Fernández, 2020).

A nivel internacional, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece en sus Guías para la calidad del agua de consumo humano que el agua a bordo debe cumplir los mismos estándares que la suministrada en tierra, garantizando parámetros microbiológicos, fisicoquímicos y organolépticos adecuados (OMS, 2017).

En el contexto ecuatoriano, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2014 (revisada 2020) define los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable para consumo humano. Esta norma especifica los límites permisibles de turbidez, color, cloro residual, pH, conductividad, entre otros parámetros, y sirve como referencia obligatoria para todo sistema de potabilización que suministre agua a personas, sin importar el entorno geográfico o funcional (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2020).

Sin embargo, en diversos buques que operan en aguas nacionales e internacionales, se han evidenciado deficiencias en la eficiencia de los sistemas de purificación, tales como la falta de redundancia en el tratamiento, insuficiente control automatizado y ausencia de monitoreo continuo de la calidad del agua (García & López, 2021). Estas falencias pueden derivar en riesgos para la salud de la tripulación, incumplimiento normativo y pérdida de eficiencia operativa.

Por tanto, el problema radica en la ineficiencia del sistema de purificación para garantizar

la calidad del agua potable a bordo, situación que pone en riesgo la salud de la tripulación, el cumplimiento normativo y la operatividad del buque.

### **Definición del Problema**

Durante las inspecciones rutinarias al sistema de agua potable del buque tanquero, se evidenció que las muestras de agua extraídas de los tanques de almacenamiento presentaron valores superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana para agua de consumo humano (INEN 1108).

A pesar de que la embarcación cuenta con un sistema de tratamiento que incluye filtración, desinfección mediante radiación ultravioleta (UV) y ósmosis inversa, los resultados analíticos evidencian deficiencias en la calidad del agua tratada. Estas desviaciones podrían estar asociadas a diversos factores técnicos y operativos, entre ellos la posible contaminación cruzada en las líneas de distribución, acumulación de sedimentos en los tanques de almacenamiento, fallas en la operación o mantenimiento de los equipos de purificación, o tiempos inadecuados de retención hidráulica.

- Falta de mantenimiento preventivo en filtros y membranas, que reduce su capacidad de retención.
- Contaminación cruzada por hidrocarburos debido a la proximidad de las líneas de combustible o a un deficiente sellado de tanques.
- Abastecimiento de agua en puertos con calidad inferior o sin certificación sanitaria.
- Fallas en el sistema de distribución de agua potable.

Estos factores provocan que el sistema no cumpla su función de eliminar adecuadamente la materia orgánica, sedimentos y aceites presentes en el agua, generando niveles de DQO por encima de 25 mg/L y DBO mayores a 10 mg/L, cuando en agua potable estos valores deben ser prácticamente nulos o indetectables según los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017).

Asimismo, la presencia de aceites y grasas en concentraciones mayores a 0.1 mg/L sugiere contaminación química proveniente de hidrocarburos o lubricantes, situación que además de alterar el sabor y olor del agua, puede representar un riesgo tóxico para el consumo humano y una no conformidad con las regulaciones marítimas (Convenio MARPOL Anexo I).

Esta problemática refleja la necesidad de optimizar el sistema de purificación mediante la revisión de su diseño, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, la

modernización de componentes filtrantes y la mejora de los controles de calidad del agua.

De no realizarse las correcciones necesarias, el buque podría enfrentar riesgos sanitarios, incumplimiento normativo, sanciones ambientales e incluso restricciones operativas por parte de las autoridades marítimas competentes.

### **1.3 Formulación del Problema**

Teniendo en cuenta que la calidad del agua destinada al consumo humano a bordo de los buques tanques constituye un factor esencial para preservar la salud y el bienestar de la tripulación, así como para asegurar el cumplimiento de las normas internacionales de seguridad sanitaria y operativa, surge la necesidad de analizar los factores que comprometen dicha calidad. En este contexto, ¿Cuáles son las causas técnicas y operativas que originan la presencia de valores elevados de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y concentraciones de aceites y grasas en el sistema de agua de consumo del buque tanquero? Además, ¿cómo puede optimizarse el sistema de purificación existente a fin de incrementar su eficiencia funcional, reducir los costos de operación y mantenimiento, minimizar los impactos derivados de la acumulación de sedimentos y la corrosión de componentes, y garantizar el cumplimiento de los estándares internacionales de potabilidad y seguridad sanitaria establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI, 2020) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022)?

### **1.4 Justificación**

El desarrollo de una mejora del sistema de purificación del agua de consumo humano en un buque de 500 TRB es fundamental para asegurar el cumplimiento de los estándares sanitarios y marítimos internacionales, así como para garantizar la salud y bienestar de la tripulación.

De acuerdo con la IMO (2018) y la OMS (2017), el agua de consumo humano debe mantenerse libre de contaminantes microbiológicos y químicos, asegurando condiciones de potabilidad en todo momento. En este sentido, optimizar el sistema existente permitirá reducir los costos de mantenimiento, incrementar la confiabilidad del suministro y fortalecer la sostenibilidad de las operaciones marítimas.

La investigación aportará además una guía técnica replicable en otras embarcaciones de similar porte, contribuyendo a la modernización de la flota y al cumplimiento de las normativas internacionales y nacionales vigentes.

### **1.5 Objetivo**

### **1.5.1 Objetivo General**

Proponer una optimización del sistema existente de purificación de agua potable del buque, mediante un estudio técnico que permita mostrar la viabilidad del tratamiento en la unidad de análisis.

### **1.5.2 Objetivo Específico**

- Diagnosticar las condiciones actuales del sistema de tratamiento de aguas del buque, mediante la evaluación de los parámetros físicos químicos y microbiológicos identificando las fuentes de contaminación, los parámetros que exceden los límites normativos y las principales deficiencias del proceso existente.
- Realizar la tratabilidad del agua con el respaldo del diagnóstico inicial mediante tratamientos que permitan remover los contaminantes identificados.
- Evaluar experimentalmente la eficiencia del sistema propuesto, midiendo los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para verificar el cumplimiento de la normativa ambiental.

## **1.6 Marco Hipotético**

### **1.6.1 Hipótesis General**

Será que proponiendo una optimización del sistema existente de purificación de agua potable del buque, permitirá mostrar la viabilidad del tratamiento en la unidad de análisis.

### **1.6.2 Hipótesis Específicas**

- Diagnosticando las condiciones actuales del sistema de tratamiento de aguas del buque, permitirá identificar las fuentes de contaminación y los parámetros que exceden los límites normativos y las principales deficiencias del proceso existente.
- Realizando la tratabilidad del agua con el respaldo del diagnóstico inicial permitirá remover los contaminantes identificados.
- Evaluando experimentalmente la eficiencia del sistema propuesto, se podrá verificar el cumplimiento de la normativa ambiental.

## CAPITULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1 Antecedentes

El agua potable a bordo de buques tanque provienen típicamente de varias fuentes: agua de tierra cargada en puerto, agua producida por plantas a bordo (desalación por ósmosis inversa — RO, destilación) y agua almacenada en tanques de servicio. La calidad del agua se ve afectada por: contaminación por aceites y grasas (contaminación cruzada desde tanques/bombas/bilges), crecimiento microbiano (biofilm) en redes y tanques, entrada de materia orgánica (aumento de DQO/DBO), y fallas en operación y mantenimiento del sistema. La optimización busca garantizar el cumplimiento de normativas de salud pública y operativas, minimizar riesgos de salud a la tripulación y reducir costos energéticos y de operación. (Soportes: guías y revisiones técnicas recientes).

#### 2.2 Bases teóricas

##### 2.2.1 Parámetros de calidad

##### **Parámetros Físicos:**

- **Turbidez:**

Indicador de la presencia de partículas suspendidas en el agua, tales como sedimentos, óxidos o materia orgánica. Valores elevados de turbidez pueden afectar la eficiencia del proceso de desinfección y evidenciar deficiencias en el sistema de almacenamiento, tratamiento o distribución del agua (OMS, 2017; APHA, 2018).

##### **Parámetros Químicos:**

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):**

Permite estimar la cantidad de materia orgánica y sustancias oxidables presentes en el agua, lo cual puede evidenciar contaminación de origen orgánico o químico (Metcalf & Eddy, 2014; APHA, 2018).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):**

Indica la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, siendo un parámetro relevante para evaluar la carga orgánica y posibles procesos de degradación (Metcalf & Eddy, 2014; Tchobanoglous et al., 2014).

- **Aceites y Grasas:**

Determina la presencia de residuos oleosos, los cuales pueden provenir de

contaminación cruzada con sistemas operativos del buque o deficiencias en el almacenamiento y distribución del agua (EPA, 2017; APHA, 2018).

- **Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP):**

Permite identificar contaminación asociada a combustibles o lubricantes, lo cual representa un riesgo tanto para la salud como para el cumplimiento de la normativa ambiental (EPA, 2017; OMS, 2017).

- **Cobre:**

Metal que puede encontrarse en el agua como resultado de la corrosión de tuberías o componentes metálicos del sistema de distribución.

- **Hierro:**

Su presencia suele asociarse a procesos de corrosión en tanques y tuberías, pudiendo afectar el color, sabor y calidad general del agua (OMS, 2017; APHA, 2018).

- **Mercurio:**

Metal pesado considerado altamente tóxico, cuya presencia en el agua representa un riesgo significativo para la salud humana, incluso en concentraciones bajas (OMS, 2017; EPA, 2017).

### **Parámetros Microbiológicos:**

- **Coliformes Fecales (*Escherichia coli*):**

Indicador de contaminación de origen fecal y de posibles fallas en los procesos de desinfección o en la integridad del sistema de almacenamiento y distribución. La presencia de *E. coli* evidencia que el agua no es apta para consumo humano y representa un riesgo directo para la salud de la tripulación (OMS, 2017; APHA, 2018).

### **2.2.2 Características de los insumos**

#### **Arena filtrante:**

Utilizada como medio filtrante primario para la remoción de sólidos, partículas finas y turbidez presentes en el agua cruda (Yu et al., 2025; Tjhajanti & Ernanda, 2024).

#### **Función principal:**

- Primera etapa de filtración.
- Reducción de turbidez y sólidos en suspensión.
- Protección de los medios filtrantes posteriores.

#### **Zeolita:**

Empleada como medio filtrante intermedio con alta capacidad de adsorción e

intercambio iónico (MDPI Water, 2024).

**Función principal:**

- Remoción de amonio y metales ligeros.
- Reducción de compuesto inorgánicos disueltos.
- Mejora de la eficiencia del proceso de filtración.

**Carbón activado:**

Utilizado como medio filtrante para la adsorción de materia orgánica, aceites y grasas, olores, sabores y subproductos de desinfección (Lozano-Rios et al., 2024; Tjhajanti & Fernanda, 2024).

**Función principal:**

- Etapa de pulimento del tratamiento.
- Mejora organoléptica del agua potable.

**2.2.3 Principios y tecnologías de tratamiento relevantes a bordo:**

**2.2.3.1 Pretratamiento físico: filtración y separación de aceites**

Filtros de sedimentos, separadores gravimétricos/oleofílicos: eliminan sólidos, materiales que repelen el agua, pero absorben aceites. Su correcto dimensionado y mantenimiento reduce DQO/DBO y protege membranas RO. (Soporte: estudios técnicos sobre pretratamiento y manejo de aceites).

**2.2.3.2 Procesos de membrana (Osmosis inversa - RO)**

El RO en plantas de producción a bordo es común para desalación. Ventajas: produce permeado de baja salinidad. Desventajas operativas: sensibilidad a incrustación, fouling y aceites (que requieren pretratamiento eficiente); consumo energético; necesidad de control de permeabilidad y limpieza química (CIP). Revisión reciente sobre RO y mejoras de membranas destaca materiales antifouling y estrategias energéticas.

**2.2.3.3 Desinfección: cloro residual, dióxido de cloro y UV**

Cloración (hipoclorito/Cl<sub>2</sub>) y mantenimiento de residual libre en red es la práctica más extendida para control microbiológico a bordo; requiere control de demanda de cloro (aumenta con DQO/DBO/contaminantes orgánicos) y gestión de subproductos. CDC ofrece procedimientos de choque y mantenimiento.

UV-C: desinfección sin añadir químicos, útil como barrera secundaria; su eficacia depende de turbidez y materia orgánica; cada vez más usada en aplicaciones POU y sostenibles. Estudios recientes analizan impactos de UV en la calidad del agua distribuida.

#### **2.2.3.4 Adsorción y pulido: carbón activado, lechos adsorbentes**

Remoción de subproductos orgánicos, color y compuestos que generan olor/sabor; útil para reducir DQO disuelto que causa consumo de cloro y formación de subproductos.

#### **2.2.3.5 Tecnologías emergentes y control de biofouling**

Membranas antifouling (nuevos materiales, recubrimientos) y estrategias de monitoreo en línea permiten reducción de limpiezas frecuentes y mejor control de calidad. Revisión 2024 sobre membranas y 2024–2025 sobre antifouling muestran avances aplicables a sistemas.

#### **2.2.3.6 Gestión de redes internas y biofilm**

El biofilm en tuberías y tanques es fuente continua de contaminación microbiológica y puede incrementar DQO/DBO. La estrategia efectiva combina: diseño higiénico (mínimos tramos muertos), limpieza y desinfección periódica (p. ej. protocolos de cloración al 50 mg/L para secciones), monitoreo microbiológico (HPC) y control de temperatura/estancamiento. CDC y WHO recomiendan planes de gestión del riesgo y procedimientos de descontaminación.

### **2.3 Definiciones Matriz de Riesgo**

La matriz de riesgos es una herramienta metodológica utilizada para identificar, analizar y clasificar los riesgos asociados a una actividad, proceso o sistema, a partir de la relación entre la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias. Esta metodología permite establecer niveles de riesgo y priorizar la implementación de medidas de control, contribuyendo a una gestión preventiva más eficaz (Coordinacae, s. f.).

De acuerdo con Coordinacae (s. f.), la evaluación del riesgo se basa en la combinación de dos variables fundamentales: la probabilidad, entendida como la posibilidad de que un evento peligroso se materialice, y la severidad, definida como el grado de daño o impacto que dicho evento puede generar. La interacción de estos factores permite clasificar el riesgo en diferentes categorías, tales como trivial, tolerable, moderado, alto y muy alto, facilitando la toma de decisiones respecto a las acciones correctivas y preventivas.

Asimismo, cada nivel de riesgo se asocia a un tipo de acción y a un plazo de implantación específico, lo que permite orientar la gestión del riesgo de manera sistemática. Los riesgos clasificados como triviales no requieren acciones inmediatas, mientras que los riesgos muy altos exigen la suspensión inmediata de las actividades hasta que se implementen medidas eficaces de control (Coordinacae, s. f.).

**Tabla 1.** *Matriz de evaluación del nivel de riesgo según probabilidad y severidad.*

<b>Probabilidad \ Severidad</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
Baja	Trivial	Tolerable	Moderado
Media	Tolerable	Moderado	Alto
Alta	Moderado	Alto	Muy alto

Adaptado de *Matriz de riesgos: la herramienta clave para optimizar la evaluación de riesgos*, por Coordinacae (s. f.).

**Tabla 2.** *Clasificación de nivel de riesgo y acción de control.*

<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Acción</b>	<b>Plazo de implantación</b>
Trivial	No se requiere acción específica.	N/A
Tolerable	Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar la eficacia de las medidas de control.	Hasta 2 años
Moderado	Se deben implementar acciones para reducir el riesgo en un periodo determinado.	Hasta 1 año
Alto	No debe iniciarse el trabajo hasta que el riesgo haya sido reducido.	Hasta 6 meses
Muy alto	No debe iniciarse ni continuarse el trabajo hasta que el riesgo sea reducido.	Inmediato

**Fuente:** Adaptado de Coordinacae (s. f.).

## **2.4 Marco Legal**

### **2.4.1 Normativa Internacional**

La gestión de la calidad del agua de consumo humano a bordo de embarcaciones se rige principalmente por estándares y directrices internacionales que buscan garantizar la salud pública y la seguridad sanitaria en contextos marítimos.

### **2.4.2 Organización Mundial de la Salud (OMS)**

Establece los lineamientos fundamentales mediante su publicación *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition incorporating the first and second addenda* (OMS, 2022). Este documento constituye la referencia global en materia de calidad del agua potable, definiendo criterios microbiológicos, químicos y organolépticos, así como el enfoque preventivo basado en los Planes de Seguridad del Agua (Water Safety Plans). Dicho enfoque promueve la identificación de peligros desde la captación hasta el consumo final, incluyendo los sistemas embarcados, donde se deben controlar factores como la corrosión, el almacenamiento prolongado, la cloración y la presencia de materia orgánica (OMS, 2022).

### **2.4.3 Organización Marítima Internacional (OMI)**

En conjunto con la OMS, publica la Guide to Ship Sanitation (3ª edición, 2011), documento que especifica las condiciones higiénico-sanitarias requeridas en los buques, incluyendo la obligación de asegurar que el agua potable cumpla con los estándares internacionales de potabilidad definidos por la OMS o con los establecidos por las autoridades nacionales competentes. Esta guía además aborda aspectos técnicos como el mantenimiento de tanques, redes de distribución y procedimientos de desinfección, constituyendo un marco operativo para el diseño, supervisión y control de los sistemas de agua a bordo.

#### **2.4.4 Vessel Sanitation Program 2025 Environmental Public Health Standards (CDC, 2025)**

Aporta un marco operativo y práctico aplicable a embarcaciones con alojamiento, incluyendo buques tanqueros. Este programa establece valores de referencia para el control de los residuales de halógenos (como el cloro libre), pautas de desinfección de tuberías, limpieza de tanques, y monitoreo de contaminantes microbiológicos, contribuyendo al mantenimiento de los estándares sanitarios y a la prevención de brotes asociados al agua potable en ambientes marítimos.

En conjunto, estos instrumentos internacionales conforman el marco normativo de referencia para la gestión integral de la calidad del agua en buques, al articular criterios de potabilidad, gestión del riesgo, eficiencia operativa y protección de la salud de la tripulación.

### **2.5 Normativa Nacional**

#### **2.5.1 Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA)**

Regulación DIR-ARCA-RG-012-2022 de la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA): Esta norma técnica de control de la calidad del agua para consumo humano menciona explícitamente que toma como referencia al Acuerdo Ministerial 097-A.

#### **2.5.2 Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2020 – Agua Potable.**

Requisitos, establece los límites máximos permisibles para los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y organolépticos del agua de consumo humano. Esta norma puede aplicarse a sistemas públicos, privados o especializados, por lo que resulta pertinente para el control de la calidad del agua embarcada en buques tanqueros, garantizando su inocuidad y compatibilidad con las directrices de la OMS.

## CAPITULO III

### 3. Metodología

La investigación propuesta de mejora del sistema de purificación del agua de consumo humano de un buque de 500 TRB, se la realizo mediante una investigación experimental de manera transversal o sincrónica, debido a que se la realizo en un período corto, porque nuestro período de estudio para desarrollar la investigación está limitada a dos meses de experimentación, en este tiempo se analizaron los parámetros técnicos del sistema de purificación de agua de un buque de 500 TRB, y, a la vez, proponen mejoras basadas en criterios normativos y técnicos (Hernández, Fernández & Baptista, 2022). La información se obtuvo directamente a bordo del buque mediante inspecciones técnicas.

#### 3.1 Población y muestra

La población está constituida por los sistemas de purificación de agua de buques mercantes de pequeña y mediana escala.

La muestra fue el sistema de purificación de agua del buque objeto de estudio, con capacidad de 49.4 metros cúbicos.

#### 3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por muestras puntuales de agua recolectadas en puntos críticos del sistema de purificación, que incluyen:

- Agua cruda de entrada
- Puntos intermedios de tratamiento
- Agua potable final

El muestreo se realizó a intervalos regulares durante el período experimental, y bajo distintas condiciones operativas del sistema optimizado. La selección de estos puntos represento de forma integral el comportamiento fisicoquímico y microbiológico del proceso de purificación y consumo. Según la normativa INEN 1108 seleccionamos varios parámetros para determinar el nivel de tratabilidad que opera el sistema actual.

Laboratorio de análisis UPS, parámetros seleccionados:

- Temperatura
- Potencial de hidrogeno (pH)
- Turbidez
- Color aparente

- Cloro libre

Laboratorio de análisis acreditado, parámetros seleccionados:

- Mercurio
- Hidrocarburos totales
- Coliformes fecales

La selección de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerados en el presente análisis se realizó en función de su relevancia para la evaluación de la calidad del agua destinada al consumo humano.

### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

- Observación directa: mediante inspección técnica del sistema actual.
- Mediciones de laboratorio: determinación de parámetros de calidad del agua (pH, turbidez, conductividad, cloro residual, bacteriología), siguiendo los criterios de la normativa INEN 1108
- Entrevistas semiestructuradas: a oficiales de máquinas y personal técnico, para conocer el mantenimiento, fallas frecuentes y desempeño operativo.
- Revisión documental: planos, manuales técnicos, fichas de equipos, y registros de mantenimiento.

## **3.4 Procedimiento metodológico**

### **3.4.1 Diagnóstico del sistema actual:**

- Levantamiento de información técnica del sistema de purificación.
- Medición de la calidad del agua producida.

### **3.4.2 Análisis normativo y técnico:**

Comparación de los resultados obtenidos con las normas internacionales:

- OMS – Guías para la calidad del agua de consumo humano (4.<sup>a</sup> edición, 2017)

### **3.4.3 Propuesta de mejora:**

Se propone corregir el sistema de tuberías de suministro de agua, filtros, reservorios, entre otros. (incorporación de filtración avanzada, control automático, tratamiento UV o remineralización).

### **3.4.4 Validación técnica:**

- Presentación de la propuesta a expertos navales y sanitarios.

- Revisión de cumplimiento normativo y cálculo de eficiencia proyectada.

### **3.5 Análisis de los datos**

Los datos cuantitativos (resultados de laboratorio, caudales, presiones, consumo energético) se procesarán mediante análisis estadístico descriptivo, utilizando medidas de tendencia central y dispersión (p. ej., promedio, desviación estándar). Los datos cualitativos provenientes de entrevistas se analizarán mediante análisis de contenido (Miles, Huberman & Saldaña, 2014).

### **3.6 Consideraciones éticas**

La investigación respeta los principios de confidencialidad, veracidad y consentimiento informado. No se realizaron modificaciones experimentales que pongan en riesgo la seguridad del buque o su tripulación. Se garantizó el cumplimiento del Código Internacional de Gestión para la Seguridad Operacional de los Buques (ISM Code, IMO, 2018).

### **3.7 Limitaciones**

La población del estudio corresponde a la totalidad del agua de consumo humano generada por el sistema de purificación del buque tanque durante el tiempo para la experimentación. Esta población incluye todas las etapas del tratamiento desde la captación de agua cruda hasta el almacenamiento y distribución del agua potable a bordo. El experimento consistió en someter al agua a diversos procesos de tratabilidad hasta precisar la mejor alternativa que permita presentar una propuesta para la mejora del sistema.

### **3.10 Variables del estudio**

#### **3.10.1 Variable Independiente**

Los tratamientos

#### **3.10.1 Variables Dependiente**

Resultados de los parámetros de calidad obtenidos en las diferentes tratabilidades:

- Potencial de hidrogeno (pH)
- Turbidez
- Color aparente
- Cloro libre

Laboratorio de análisis acreditado, parámetros seleccionados:

- Mercurio
- Hidrocarburos totales
- Coliformes fecales

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Descripción del Sistema de tratamiento actual

El buque, con un arqueo bruto aproximado de 500 TRB, dispone de un sistema de abastecimiento, almacenamiento, tratamiento y distribución de agua dulce destinado al consumo humano y servicios generales a bordo.

##### 4.1.1 Abastecimiento

El abastecimiento de agua dulce del buque se realiza principalmente mediante suministro desde instalaciones portuarias autorizadas. En caso de no disponibilidad del servicio en puerto, el agua puede ser abastecida mediante barcazas o cisternas debidamente autorizadas.

No obstante, durante el proceso de abastecimiento no se dispone de registros documentados de monitoreos ni de análisis fisicoquímicos o microbiológicos previos que permitan garantizar que el agua suministrada se encuentre en condiciones óptimas de calidad, tanto por parte de la autoridad portuaria como de las barcazas o cisternas proveedoras. Esta situación contraviene lo establecido en la NTE INEN 1108 y en la Regulación Nacional DIR-ARCA- RG-012-2022 emitida por la Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), las cuales disponen que toda agua destinada al consumo humano debe ser objeto de control preventivo y operativo, mediante análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como del mantenimiento de registros técnicos que evidencien el cumplimiento de los límites máximos permisibles antes de su distribución al usuario final.

##### 4.1.2 Almacenamiento

El agua abastecida es almacenada en dos tanques de acero inoxidable de 24.7 metros cúbicos cada uno lo que da un total de capacidad de almacenamiento de 49.4 metros cúbicos de agua potable (Anexo 2).

##### 4.1.3 Sistema de Tratamiento

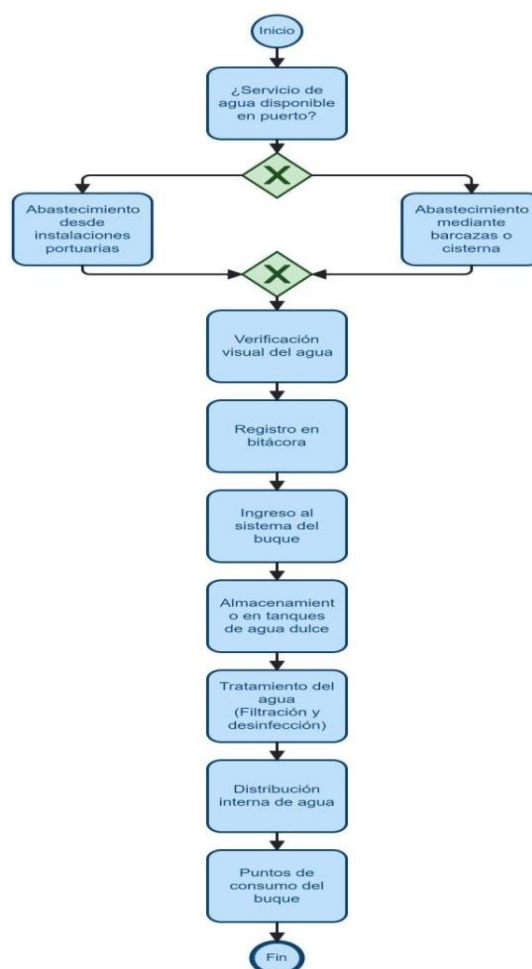
El sistema de tratamiento a bordo (Anexo 1) contempla procesos básicos de filtración las cuales están constituidas por: 1 filtro de carbón activado de 10.000 litros con capacidad de 3 litros x min. aprox; 2 filtros de Zeolita de 10.000 litro, con capacidad de 3 litros x min. Aprox. y desinfección constituida por lampara UV con una capacidad de 6 galones x min. 55w.

##### 4.1.4 Sistema de Distribución

La distribución inicia desde los tanques de almacenamiento dirigiéndose hacia la unidad de tratamiento que se encuentra obsoleta, pasando por los tanques mantenedores de presión, luego pasa por los filtros de carbón, zeolita, lampara UV para desinfección, para así empezar la distribución de agua potable mediante una red interna de tuberías obsoletas donde también puede existir la contaminación cruzada por su deterioro.

#### 4.1.5 Diagrama de flujo

Figura 1. *Proceso de Abastecimiento.*



Elaborado: Borbor y Nevarez, (2026)

#### 4.1.6 Uso del Agua en el Buque

El buque de 500 TRB cuenta con una capacidad total de almacenamiento para agua potable de 49.4 m<sup>3</sup>, volumen que abastece las diferentes actividades operativas y de consumo a bordo. Del total de agua almacenada, únicamente 4 m<sup>3</sup> (4.000 litros) están destinados al consumo humano directo, comprendiendo las actividades de beber y cocción y preparación de alimentos, mientras que el volumen restante se utiliza para otros fines, tales como aseo personal,

limpieza y servicios sanitarios.

**Tabla 3.** Consumo de agua potable.

Actividad	Subactividad	Consumo Diario	Consumo Mensual	Porcentaje (%)
Agua de consumo humano	Beber y Cocinar	133	3990	7%
Higiene personal	Duchas	590	17706	36%
Higiene personal	Lavado de manos / aseo	145	4358	9%
Servicios sanitarios	Inodoros (Ajustado)	451	13539	28%
Lavandería	Lavado de ropa	132	3950	8%
Limpieza general	Camarotes y baños	136	4086	8%
Limpieza general	Áreas comunes / comedor	59	1771	4%

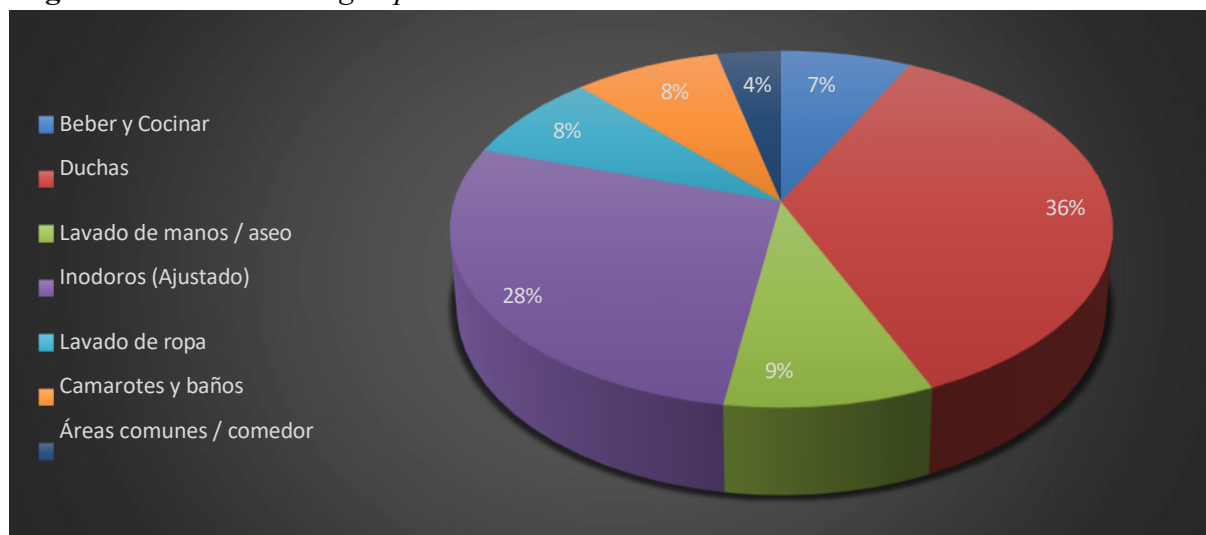
**Elaborado:** Borbor y Nevarez, (2026)

El análisis revela un dato estratégico: solo el 52% del agua tratada (868 litros diarios) se destina al consumo humano directo (ingesta, cocina y aseo personal). El desglose específico para esta categoría se compone de 80 litros para beber, 53 litros para la preparación de alimentos y en aseo personal 735 litros.

Este hallazgo tiene dos implicaciones directas en la propuesta de mejora del sistema de tratamiento:

1. El 52% requiere el grado de pureza más alto.
2. El 48% restante del agua se utiliza en actividades de servicios sanitarios, lavandería y limpieza general.

**Figura 2.** Consumo de agua potable.



**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

En este contexto, la capacidad del sistema existente fue definida considerando la totalidad del volumen de agua almacenado a bordo (49.4 m<sup>3</sup>) como universo de análisis de la

calidad del agua.

**Tabla 4.** *Agua para el consumo humano.*

Actividad	Subactividad	Consumo Diario (Litros)	Consumo Mensual (Litros)
Agua de consumo humano	Beber	80	2.400
	Cocinar / preparación de alimentos	53	1.600
	Duchas	590	17.706
	Lavado manos	145	4.358
<b>TOTAL</b>		<b>868</b>	<b>26.064</b>

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

El consumo del volumen de agua para beber y cocinar fue determinado a partir del consumo real de agua embotellada utilizada a bordo, el cual asciende aproximadamente a 4.000 litros mensuales, equivalentes a un consumo diario promedio de 133 L/día, distribuido en un 60 % para bebida (80 L/día) y un 40 % para cocción y preparación de alimentos (53 L/día).

Asimismo, se considera el consumo de agua utilizado en las duchas y en el lavado de manos, ya que estas actividades son esenciales para garantizar la higiene personal de la tripulación. Para estos rubros, el consumo ha sido estimado en función de los requerimientos operativos diarios a bordo, obteniéndose valores de 590 L/día para duchas y 145 L/día para lavado de manos, los cuales representan los volúmenes necesarios para mantener condiciones adecuadas de salubridad e higiene durante la permanencia del personal.

**Figura 3.** *Agua para el consumo humano.*



**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

#### 4.2 Caracterización del agua potable

Con el fin de evaluar la calidad del agua potable utilizada a bordo del buque de 500

TRB, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua, previo al desarrollo de la experimentación para definir la tratabilidad requerida.

Los resultados presentados corresponden a los análisis obtenidos durante las inspecciones realizadas en el marco de los monitoreos semestrales del sistema de abastecimiento de agua potable a bordo. Dichos análisis permitieron identificar el estado inicial del agua de consumo humano y verificar su cumplimiento con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la normativa nacional vigente (INEN 1108).

Los resultados de la caracterización inicial se presentan en las siguientes tablas de manera diferenciada en físicos, químicos y microbiológicos junto a su respectivo análisis de resultados.

#### 4.2.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos permiten evaluar las características visuales y sensoriales del agua, así como su aptitud para el consumo y uso a bordo. Estos parámetros proporcionan información sobre la presencia de partículas en suspensión y posibles alteraciones en el sistema de tratamiento y distribución del agua. Los parámetros físicos considerados se encuentran en la tabla 5 y 6, que corresponden a los resultados correspondientes al primer y segundo semestre del año 2025, permitiendo verificar su cumplimiento con los criterios de calidad establecidos.

#### 4.2.2 Caracterización previa parámetros físicos

**Tabla 5.** Resultados de los análisis de parámetros físicos 2025 – 1er semestre.

1er semestre - RESULTADOS DE ANALISIS 2025			
Parámetro	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Turbidez	10.00	5 NTU	No Cumple
Color	18	15 unidades Pt/Co	No cumple
Olor	Aroma hidrocarburos	Ninguno	No cumple
Sabor	Desagradable	Ninguno	No cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

**Tabla 6.** Resultados de los análisis de parámetros físicos 2025 – 2do semestre.

2do Semestre - RESULTADOS DE ANALISIS TANQUES 2025			
Parámetro	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Turbidez	10.00	5 NTU	No Cumple
Color	16	15 unidades Pt/Co	No Cumple
Olor	Aroma hidrocarburo	Ninguno	No Cumple
sabor	Desagradable	Ninguno	No Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

#### 4.2.3 Análisis de Resultados Físicos

Los resultados correspondientes al análisis del parámetro turbidez, obtenidos durante los monitoreos semestrales realizados en el año 2025, se presentan en las (Tabla 5–6). En ambos períodos de evaluación (primer y segundo semestre), el valor de turbidez registrado fue de 10 NTU, encontrándose por encima del límite máximo permisible de 5 NTU establecido por la normativa nacional INEN 1108 y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que establece un rango entre 1 y 5 NTU.

El color presenta un valor de 18 y de 16 unidades de Pt/Co para ambos semestres los cuales se encuentran fuera de las especificaciones establecidas.

Olor y sabor presentan una característica organoléptica no apropiadas debido a que es notorio el aroma y sabor a hidrocarburos y plástico.

Estos resultados indican que, desde el punto de vista físico, el agua potable utilizada a bordo del buque de 500 TRB presenta resultados fuera de especificaciones, lo cual refleja condiciones visuales no aceptables para el consumo humano.

#### 4.2.4 Parámetros químicos

Los parámetros químicos permiten identificar la presencia de sustancias que pueden afectar la calidad del agua, su potabilidad.

Los resultados obtenidos para cada uno de estos parámetros se presentan en las tablas 7 y 8 que corresponden al primer y segundo semestre del año 2025, donde se evidencian las variaciones registradas y su cumplimiento con los límites establecidos en la normativa aplicable

para parámetros químicos.

#### 4.2.5 Caracterización previa parámetros químicos

**Tabla 7.** Resultados de los análisis de parámetros químicos 2025 – 1er semestre.

1er semestre - RESULTADOS DE ANALISIS 2025			
Parámetro	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Cobre	0.539	2 mg/L	Cumple
Hierro	No detectado	1,0 mg/L	No detectado
DQO	<29.81	<4 mgO <sub>2</sub> /L	No Cumple
DBO	6.87	<2 mgO <sub>2</sub> /L	No Cumple
Aceites y Grasas	<7.00	0.3 mg/L	No Cumple
Hidrocarburos Totales de Petróleo	<5.00	0.2 mg/L	No Cumple
Mercurio	No Detectado	0,006 mg/L	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

**Tabla 8.** Resultados de los análisis de parámetros químicos 2025 – 2do semestre.

2do Semestre - RESULTADOS DE ANALISIS TANQUES 2025			
Parámetro	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Cobre	0.1095	2 mg/L	Cumple
Hierro	0.34858	1,0 mg/L	Cumple
DQO	< 29.81	<4 mgO <sub>2</sub> /L	No Cumple
DBO	9.70	<2 mgO <sub>2</sub> /L	No Cumple
Aceites y Grasas	7.00	0.3 mg/L	No Cumple
Hidrocarburos Totales de Petróleo	5.00	0.2 mg/L	No Cumple
Mercurio	No Detectado	0,006 mg/L	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

#### 4.2.6 Análisis de Resultados Químicos

Los resultados muestran la presencia de metales, compuestos orgánicos y sustancias asociadas a contaminación química del agua de consumo humano a bordo del buque de 500 TRB.

En relación con los metales analizados, las concentraciones de cobre registradas en el primer y segundo semestre fueron de 0,539 mg/L y 0,1095 mg/L, respectivamente, valores que se encuentran por debajo del límite máximo permisible de 2 mg/L, evidenciando cumplimiento normativo en ambos períodos. Por su parte, el hierro no fue detectado durante el primer semestre y presentó una concentración de 0,34858 mg/L en el segundo semestre, manteniéndose dentro del límite establecido de 1,0 mg/L. Asimismo, el mercurio no fue detectado en el análisis correspondiente, cumpliendo con el valor máximo permisible de 0,006 mg/L.

En cuanto a los parámetros indicadores de carga orgánica, se observó que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentó valores  $< 29,81 \text{ mgO}_2/\text{L}$  en ambos semestres, suponiendo valores superiores al límite máximo permisible de  $4 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , lo cual indica no cumplimiento normativo. De manera similar, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) registró concentraciones de  $6,87 \text{ mgO}_2/\text{L}$  en el primer semestre y  $9,70 \text{ mgO}_2/\text{L}$  en el segundo semestre, excediendo el valor permitido de  $< 2 \text{ mgO}_2/\text{L}$ .

Respecto a los compuestos asociados a contaminación por hidrocarburos, los resultados de aceites y grasas fueron inferiores a  $7,00 \text{ mg/L}$  en el primer semestre y de  $7,00 \text{ mg/L}$  en el segundo semestre, superando el límite máximo permisible de  $0,3 \text{ mg/L}$ . De igual forma, los hidrocarburos totales de petróleo (HTP) presentaron concentraciones inferiores a  $5,00 \text{ mg/L}$  en el primer semestre y de  $5,00 \text{ mg/L}$  en el segundo semestre, valores que exceden el límite permitido de  $0,2 \text{ mg/L}$ , evidenciando no cumplimiento en ambos períodos evaluados.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten establecer que, previo a la implementación de la mejora del sistema de purificación, si bien es cierto que los parámetros metálicos cumplen con la normativa vigente, existe un incumplimiento reiterado en los parámetros relacionados con carga orgánica e hidrocarburos, lo cual constituye una línea base crítica para la evaluación posterior de la efectividad del sistema mejorado.

#### 4.2.7 Parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos permiten evaluar la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal y el riesgo sanitario asociado al consumo del agua. Estos parámetros constituyen un criterio fundamental para determinar la inocuidad del agua destinada al consumo humano. La caracterización microbiológica se presenta en las tablas 9 Y 10 correspondientes al primer y segundo semestre, lo que permite analizar su comportamiento y verificar el incumplimiento de los límites establecidos por la normativa vigente.

#### 4.2.8 Caracterización previa parámetros microbiológicos

**Tabla 9.** Resultados de los análisis de parámetros microbiológicos 2025 – 1er semestre.

1 semestre - RESULTADOS DE ANALISIS 2025			
Parámetro	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Coliformes Fecales ( <i>E. coli</i> )	1	Ausencia	No Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

**Tabla 10.** Resultados de los análisis de parámetros microbiológicos 2025 – 2do semestre.

2 semestre - RESULTADOS DE ANALISIS 2025			
Parámetro	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Coliformes Fecales ( <i>E. coli</i> )	1.1	Ausencia	No Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

#### 4.2.9 Análisis de Resultados Microbiológicos

Los resultados de los análisis microbiológicos del agua potable, obtenidos durante los monitoreos semestrales realizados en el año 2025, se presentan en las (Tablas 9-10).

Estos análisis permitieron evaluar que se evidenció la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal y el riesgo sanitario asociado al consumo de agua a bordo del buque de 500 TRB.

En relación con los coliformes fecales (*Escherichia coli*), los resultados obtenidos en ambos períodos de evaluación registraron valores de 1 y 1.1 NMP/100 mL, que superan lo establecido por la normativa nacional INEN 1108 y las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el que establecen ausencia de Coliformes fecales. En consecuencia, el parámetro evaluado no cumple con los criterios microbiológicos para agua de consumo

humano.

### 4.3 Tratabilidad del agua

#### 4.3.1 Capacidad del Sistema Experimental

El volumen del sistema experimental se determinó mediante la relación entre el caudal y el tiempo de filtrado aplicado en cada ensayo. A partir de esta relación, se obtuvieron volúmenes de 1 L para una altura de lecho filtrante de 0,5 m, 2 L para una altura de 1,0 m y aproximadamente 1 galón (3,78 L) para una altura de 1,5 m.

#### 4.3.2 Toma de muestra

El muestreo se efectuó a la salida del sistema de tratamiento y purificación existente en el buque, directamente desde las líneas de consumo, asegurando que el agua muestreada representara las condiciones reales del agua utilizada en la unidad de análisis, con el fin de caracterizar la calidad inicial del agua destinada al consumo humano a bordo, de conformidad con lo establecido en la NTE INEN 2169: Calidad del agua – Muestreo.

Para los análisis fisicoquímicos, las muestras se recolectaron en frascos plásticos de polietileno previamente lavados con detergente neutro y agua caliente para la eliminación de residuos. Posteriormente, los recipientes fueron enjuagados con abundante agua desionizada o destilada, secados y esterilizados en autoclave a 121 °C durante 15 minutos, conforme a los procedimientos recomendados por la NTE INEN 2169 y los criterios de calidad establecidos en la NTE INEN 1108: Agua potable – Requisitos.

#### 4.3.3 Características de la Unidad Experimental

Los filtros fueron elaborados con tubos de PVC de igual diámetro y alturas diferenciadas de 0,5 m, 1,0 m y 1,5 m, con el propósito de evaluar la influencia de la longitud del medio filtrante sobre el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia del proceso. Cada filtro fue rellenado con el medio filtrante correspondiente, previamente lavado y acondicionado, y se dispuso un sistema de soporte inferior para evitar la pérdida del material durante la operación.

**Tabla 11.** *Características de Filtros.*

Características de Filtros	
Característica	Metros
Tubo 2"	0.5 metros
Tubo 2"	1 metros
Tubo 2"	1.5 metros

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

##### 4.3.3.1 Capacidad del filtro

La capacidad del filtro, con alimentación de agua a presión atmosférica, se determinó experimentalmente, y los resultados obtenidos, junto con las especificaciones técnicas, se detallan en la Tabla 12.

**Tabla 12.** *Capacidad de los filtros.*

Medio Filtrante	Area Circular	Altura Material Filtrante	Caudal
Carbon Activo	20,27cm <sup>2</sup>	0.5 metros	0,3 L/min
			0,5 L/min
			1,0 L/min
Zeolita		1 metros	0,3 L/min
			0,5 L/min
			1,0 L/min
Arena		1.5 metros	0,3 L/min
			0,5 L/min
			1,0 L/min

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

#### 4.3.3.2 Medio Filtrante

Se elaboró un sistema de filtración compuesto por filtros de arena, zeolita y carbón activado, utilizando tubos de PVC de igual diámetro y de diferentes longitudes, con el propósito de disminuir progresivamente el grado de contaminación presente en la muestra de agua. La variación en la altura de los filtros permitió incrementar la capacidad del medio filtrante, favoreciendo un mayor tiempo de retención hidráulica, lo cual contribuye a mejorar la eficiencia global del proceso de filtración.

**Tabla 13.** *Características del medio filtrante.*

Medio filtrante	Masa (kg)	Volumen Masa (L)
Carbón activado	0,45	0,9
Carbón activado	0,9	1,8
Carbón activado	1,35	2,7
Zeolita	0,9	0,75
Zeolita	1,8	1,5
Zeolita	2,7	2,25
Arena	1,5	0,94
Arena	3	1,88
Arena	4,5	2,81

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

Los resultados obtenidos muestran la relación entre la masa del medio filtrante y el volumen que este ocupa dentro del filtro. Para el carbón activado, masas de 0,45 kg, 0,90 kg y 1,35 kg corresponden a volúmenes de 0,9 L, 1,8 L y 2,7 L, respectivamente, lo que evidencia

su baja densidad aparente y mayor ocupación de espacio en comparación con los otros materiales (Anexo 9).

En el caso de la zeolita, las masas de 0,9 kg, 1,8 kg y 2,7 kg presentan volúmenes de 0,75 L, 1,5 L y 2,25 L, indicando un comportamiento intermedio en términos de ocupación volumétrica.

Por su parte, la arena, con masas de 1,5 kg, 3,0 kg y 4,5 kg, ocupa volúmenes de 0,94 L, 1,88 L y 2,81 L, reflejando su mayor densidad y menor volumen específico en relación con la masa utilizada.

El filtro de arena constituye la etapa de filtración primaria, actuando como una barrera física para la retención de sólidos suspendidos y la reducción de la turbidez. Posteriormente, el filtro de zeolita cumple una función de filtración secundaria, permitiendo la remoción de partículas más finas y la reducción de compuestos inorgánicos, mediante procesos de adsorción e intercambio iónico. Finalmente, el filtro de carbón activado actúa como una etapa de filtración terciaria o de pulido, funcionando como un medio adsorbente para la remoción de compuestos orgánicos.

#### 4.3.3.3 Profundidad del Medio Filtrante

La profundidad del medio filtrante constituye un parámetro determinante en la eficiencia del proceso de filtración, ya que influye directamente en el tiempo de retención hidráulica y en el grado de contacto entre el agua y el material filtrante. En el presente estudio, los filtros fueron construidos con profundidades de medio filtrante de 0,5 m, 1,0 m y 1,5 m, con el objetivo de evaluar la influencia de la altura del lecho sobre el desempeño del sistema.

El incremento de la profundidad del medio filtrante permitió aumentar el recorrido del agua a través del filtro, favoreciendo la retención de partículas y la adsorción de contaminantes, especialmente en los filtros de zeolita y carbón activado.

#### 4.3.3.4 Velocidad de filtración

**Tabla 14.** *Velocidad de Filtración.*

Medio Filtrante	Caudal	Velocidad de Filtración
Carbón activo	0,3 L/m	8,9 m/h
Zeolita	0,5 L/m	14,8 m/h
Arena	1,0 L/min	29,6 m/h

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

A partir de los ensayos experimentales realizados con los distintos medios filtrantes (carbón activado, zeolita y arena), se determinó la velocidad de filtración en función del caudal

aplicado.

Los resultados obtenidos evidencian que, para el medio filtrante de carbón activado, operando a un caudal de 0,3 L/min, se alcanzó una velocidad de filtración de 8,9 m/h, lo cual indica un régimen de operación adecuado para este material, favoreciendo un mayor tiempo de contacto entre el agua y el medio filtrante.

En el ensayo correspondiente a la zeolita, con un caudal de 0,5 L/min, se obtuvo una velocidad de filtración de 14,8 m/h, valor superior al registrado para el carbón activado, reflejando un incremento en la tasa de paso del agua a través del medio filtrante.

Por su parte, el sistema con arena trabajó a un caudal de 1,0 L/min, alcanzando una velocidad de filtración de 29,6 m/h, representando el mayor valor registrado entre los ensayos. Este resultado evidencia un flujo más rápido del agua a través del medio filtrante, asociado a un menor tiempo de contacto.

#### 4.3.3.5 Preparación del medio filtrante.

Previo a la puesta en operación del sistema de filtración, los medios filtrantes (arena, zeolita y carbón activado) fueron lavados y acondicionados con el fin de eliminar partículas finas, polvo y residuos provenientes de su manipulación y almacenamiento. El lavado inicial se realizó utilizando agua limpia, hasta obtener un efluente visualmente claro, asegurando así condiciones adecuadas para el inicio de los ensayos de filtración.

#### 4.3.4 Prueba Experimental

El proceso de la prueba experimental cumplió las siguientes fases:

**Figura 4.** *Proceso de pruebas experimental.*



**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

El proceso de la prueba experimental cumplió las fases citadas, orientadas a evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua. En primer lugar, se recolectó agua cruda, la cual se hizo pasar a través de un filtro de arena, encargado de remover sólidos suspendidos y partículas de mayor tamaño. Posteriormente, el agua ingresó al filtro de zeolita, cuya función es reducir turbiedad, amonio y compuestos orgánicos livianos. En la tercera etapa, el agua fue tratada mediante un filtro de carbón activado, donde se adsorbieron compuestos orgánicos, olores y sustancias químicas residuales. Una vez completado este proceso físico– químico, se obtuvo agua filtrada, la cual finalmente pasó por una etapa de desinfección utilizando

hipoclorito de sodio al 1%, necesaria para la eliminación de microorganismos patógenos y para garantizar la calidad sanitaria del agua tratada.

### Resultados de pruebas de 1er Filtro:

**Tabla 15.** Resultados de pruebas 1er Filtro.

Resultado de prueba experimental										
Ensayos	Diámetro	Altura	Medio Filtrante	Tiempo de saturación del medio filtrante	Cantidad de medio filtrante	Tiempo de Filtrado	Hipoclorito Sodio (1%)	Volumen agua	Caudal	Resultados remoción
1	2"	0.5 metros	Carbon activo	2 a 4 meses	0.45 kg	3.4 min	1 mg/L	1 litro	0.3 L/m	80%
2			Zeolita	6 a 12 meses	0.9 kg	2 min	1 mg/L	1 litro	0.5 L/m	
3			Arena	12 a 24 meses	1.5 kg	1 min	1 mg/L	1 litro	1.0 L/min	

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

Los ensayos realizados con carbón activado, zeolita y arena mostraron diferencias en el tiempo de filtrado, la durabilidad del medio filtrante y la eficiencia de remoción. El carbón activado presentó el mayor tiempo de filtrado (3,4 min) y una eficiencia de remoción del 80 %, aunque con un menor tiempo de saturación (2 a 4 meses). La zeolita mostró un tiempo de filtrado intermedio (2 min) y una mayor durabilidad (6 a 12 meses). La arena registró el menor tiempo de filtrado (1 min) y el mayor tiempo de saturación (12 a 24 meses), siendo más eficiente para la remoción de sólidos suspendidos.

### Resultados de pruebas de 2do Filtro:

**Tabla 16.** Resultados de Pruebas 2do Filtro.

Resultado de prueba experimental										
Ensayos	Diámetro	Altura	Medio Filtrante	Tiempo de saturación del medio filtrante	Cantidad de medio filtrante	Tiempo de Filtrado	Hipoclorito Sodio (1%)	Volumen agua	Caudal	Resultados remoción
1	2"	1 metros	Carbon activo	2 a 4 meses	0,90 kg	6,7 min	1 mg/L	2 litros	0.3 L/m	90%
2			Zeolita	6 a 12 meses	1,80 kg	4,0 min	1 mg/L	2 litros	0.5 L/m	
3			Arena	12 a 24 meses	3,00 kg	2 min	1 mg/L	2 litros	1.0 L/min	

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

Los ensayos realizados con filtros de 1 metro de altura y 2 pulgadas de diámetro, utilizando carbón activado, zeolita y arena, evidencian diferencias en el tiempo de filtrado, capacidad del medio filtrante y eficiencia de remoción. El carbón activado presentó el mayor tiempo de filtrado (6,7 min) y la mayor eficiencia de remoción (90 %), aunque con un menor tiempo de saturación (2 a 4 meses). La zeolita mostró un comportamiento intermedio, con un tiempo de filtrado de 4,0 min y una durabilidad de 6 a 12 meses. La arena registró el menor tiempo de filtrado (2 min) y la mayor vida útil del medio filtrante (12 a 24 meses), con un mayor caudal de operación (1,0 L/min).

### Resultados de pruebas de 3er Filtro:

**Tabla 17. Resultados de pruebas 3er Filtro.**

Resultado de prueba experimental										
Ensayos	Diámetro	Altura	Medio Filtrante	Tiempo de saturación del medio filtrante	Cantidad de medio filtrante	Tiempo de Filtrado	Hipoclorito Sodio (1%)	Volumen agua	Caudal	Resultados remoción
1	2"	1.5 metros	Carbon activo	2 a 4 meses	1,35 kg	9 min	1 mg/L	1 galon	0,3 L/m	100%
2			Zeolita	6 a 12 meses	2,70 kg	6 min	1 mg/L	1 galon	0,5 L/m	
3			Arena	12 a 24 meses	4,50 kg	3,8 min	1 mg/L	1 galon	1,0 L/min	

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

Los resultados de los ensayos realizados con filtros de 1,5 metros de altura y 2 pulgadas de diámetro, empleando carbón activado, zeolita y arena, evidencian que el incremento en la altura del filtro influye en el tiempo de filtración, la cantidad de medio filtrante requerida y la eficiencia del proceso. El carbón activado presentó el mayor tiempo de filtrado (9 min) y una eficiencia de remoción del 100 %, aunque con un menor tiempo de saturación (2 a 4 meses). La zeolita mostró un desempeño intermedio, con un tiempo de filtrado de 6 min y una vida útil de 6 a 12 meses. Por su parte, la arena registró el menor tiempo de filtración (3,8 min) y la mayor durabilidad del medio filtrante (12 a 24 meses), operando además con el mayor caudal (1,0 L/min). Estos resultados confirman que el carbón activado ofrece mayor eficiencia de remoción, mientras que la arena proporciona mayor estabilidad operativa y la zeolita se mantiene como una alternativa de rendimiento intermedio.

#### 4.4 Evaluación del sistema propuesto

La evaluación de un sistema de tratabilidad de agua propuesto tiene como objetivo determinar si el esquema de tratamiento seleccionado es técnicamente viable, eficiente, económico, seguro y capaz de cumplir la normativa de agua potable. Esta evaluación es fundamental antes de proponer las opciones de mejora para el sistema existente.

##### 4.4.1 Caracterización del agua tratada

**Tabla 18. Resultados del análisis de laboratorio ups - 1er filtro.**

RESULTADOS DE ANALISIS - 1er FILTRO				
Parámetro	Laboratorio de análisis	Resultado de Laboratorio	Limite maximo permisible	Cumple/No Cumple
Color	Laboratorio UPS	14	<15 Unidades de Color	Cumple
TDS		340	<1000 mg/L	Cumple
Turbidez		0.14	<5 UNT	Cumple
Temperatura		24.5	<30° C	Cumple
pH		7.9	6.5 - 8.5 Uph	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Tabla 19. Resultados del análisis de laboratorio ups – 2do filtro.**

RESULTADOS DE ANALISIS - 2do FILTRO				
-------------------------------------	--	--	--	--

Parámetro	Laboratorio de análisis	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Color	Laboratorio UPS	12.5	<15 Unidades de Color	Cumple
TDS		280	<1000 mg/L	Cumple
Turbidez		0.10	<5 UNT	Cumple
Temperatura		24.5	<30° C	Cumple
pH		7.9	6.5 - 8.5 Uph	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

**Tabla 20.** Resultados del análisis de laboratorio ups – 3re filtro.

RESULTADOS DE ANALISIS - 3re Filtro				
Parametro	Laboratorio de analisis	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Color	Laboratorio UPS	10.9	<15 Unidades de Color	Cumple
TDS		100	<1000 mg/L	Cumple
Turbidez		0.08	<5 UNT	Cumple
Temperatura		24.5	<30° C	Cumple
pH		7.9	6.5 - 8.5 Uph	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

**Tabla 21.** Resultados de los análisis de laboratorio acreditado – 1er Filtro.

RESULTADOS DE ANALISIS 2025 - 1er FILTRO				
Parámetro	Laboratorio de análisis	Resultado de Laboratorio	Límite máximo permisible	Cumple/No Cumple
Cobre	Laboratorio acreditado	No detectado	2 mg/L	Cumple
Hierro		No detectado	1,0 mg/L	Cumple
DQO		<3.15	<4 mgO <sub>2</sub> /L	Cumple
DBO		1.90	<2 mgO <sub>2</sub> /L	Cumple
Turbidez		0.14	5 NTU	Cumple
Aceites y Grasas		<0.27	0.3 mg/L	Cumple
Hidrocarburos Totales de Petróleo		<0.15	0.2 mg/L	Cumple
Coliformes Fecales ( <i>E. coli</i> )		Ausencia	NMP/100ml	Cumple
Mercurio		No Detectado	0.006 mg/L	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

#### 4.4.1.1 Análisis de los Parámetros físicos

Los parámetros físicos analizados en el laboratorio de aguas de la Universidad Politécnica Salesiana nos permitieron evaluar las condiciones generales del agua tratada a lo largo de las diferentes etapas del sistema de filtración.

El color presentó una disminución progresiva desde 14 unidades de color Pt/Co en el primer filtro, 12.5 unidades de color Pt/Co en el segundo filtro, hasta

10.9 unidades de color PT/Co en el resultado final, manteniéndose en todos los casos por debajo del límite máximo permisible de 15 unidades de color Pt/Co, lo que evidencia la efectividad del sistema en la remoción de sustancias responsables de la coloración del agua.

La turbidez mostró valores bajos en todas las etapas del tratamiento, registrándose 0.14 NTU en el primer filtro, 0.10 NTU en el segundo filtro y 0.08 NTU en el agua final. Estos valores se encuentran ampliamente por debajo del límite normativo de 5 UNT, dentro de los resultados obtenidos mediante el laboratorio acreditado (tabla 14) reflejo una caracterización similar a los análisis realizados en los laboratorios de la universidad, estos nos demuestran una alta eficiencia en la remoción de partículas suspendidas y sólidos finos, favoreciendo la calidad visual y la efectividad de las etapas posteriores de tratamiento.

Las características organolépticas sabor y olor cumplieron las características para el consumo humano.

La temperatura se mantuvo constante en 24.5 °C en todas las muestras analizadas, dentro del rango permisible (<30 °C), lo que sugiere que el proceso de filtración no altera significativamente esta variable y no genera condiciones adversas para la calidad del agua potable.

#### **4.4.1.2 Análisis de los Parámetros químicos**

Dentro de los parámetros químicos evaluados en el laboratorio de aguas de la universidad politécnica salesiana, se analizó el pH y los sólidos disueltos totales (TDS), siendo indicadores fundamentales de la estabilidad química del agua tratada.

El pH presentó un valor constante de 7.9 en las tres etapas del sistema, encontrándose dentro del rango permitido de 6.5 a 8.5, lo que indica que el proceso de filtración no genera alteraciones químicas significativas y mantiene condiciones adecuadas para el consumo humano.

En cuanto a los sólidos disueltos totales (TDS), se observó una reducción progresiva desde 340 mg/L en el primer filtro, 280 mg/L en el segundo filtro, hasta 100 mg/L en el resultado final. Estos valores están muy por debajo del límite máximo permitido de 1000 mg/L, lo que

demuestra una adecuada remoción de sales y compuestos disueltos, contribuyendo a una mejor calidad organoléptica del agua.

Dentro de los resultados obtenidos mediante el laboratorio acreditado, permitió una mejor validez de los resultados. Los análisis evidencian el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos para agua destinada al consumo humano.

El cobre presentó una concentración no detectable, reflejando un valor inferior al límite máximo permitido de 2 mg/L, lo que indica una remoción efectiva de este metal. De igual manera, el hierro no fue detectado en la muestra analizada, encontrándose por debajo del valor normativo de 1,0 mg/L.

La demanda química de oxígeno (DQO) registró un valor menor a 3,15 mg O<sub>2</sub>/L, cumpliendo con el límite máximo permisible de 4 mg O<sub>2</sub>/L, lo que refleja una baja presencia de materia orgánica oxidable en el agua tratada. Por su parte, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) alcanzó un valor de 1,90 mg O<sub>2</sub>/L, inferior al máximo permitido de 2 mg O<sub>2</sub>/L, evidenciando una reducción significativa de la carga orgánica biodegradable.

#### **4.4.1.3 Análisis de los Parámetros microbiológicos**

En cuanto a los parámetros microbiológicos obtenidos mediante el laboratorio acreditado, los coliformes fecales (*Escherichia coli*) registraron ausencia, confirmando la adecuada calidad microbiológica del agua tratada.

#### **4.4.2 Evaluación de la eficiencia de remoción**

La eficiencia de remoción del sistema se evidencia en la disminución progresiva de los valores analizados entre las diferentes etapas del tratamiento. En términos generales, el sistema alcanzó reducciones significativas en los parámetros físicos y químicos, destacándose la remoción de turbidez superior al 90 % respecto a los valores iniciales, así como una disminución notable del color y de los sólidos disueltos totales.

Los resultados finales obtenidos cumplen en su totalidad con los límites máximos permisibles establecidos para agua potable, lo que demuestra que el sistema a proponer para mejora es técnicamente viable, eficiente y adecuado para mejorar la calidad del agua destinada al consumo humano.

#### **4.4.3 Evaluación de la eficiencia de remoción**

**Tabla 22. Análisis de Remoción.**

Parámetro	Inicio	Final	%Remoción
Cobre	0.1095	No detectado	100%
Hierro	0.3486	No detectado	100%
DQO	<29.81	<3.15	89.4%
DBO	9.70	1.90	80.4%
Turbidez	10.00	0.14	98.6%
Aceites y Grasas	7.00	0.27	96.1%
Hidrocarburos Totales de Petróleo	5.00	0.15	97%
Coliformes fecales	1.1	Ausencia	100 %
Mercurio	No detectado	No detectado	No aplica

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

Los resultados obtenidos evidencian una alta eficiencia del sistema de tratamiento, observándose porcentajes de remoción superiores al 80 % para los parámetros orgánicos (DBO) y mayores al 95 % para turbidez, aceites y grasas e hidrocarburos totales de petróleo. Los metales como cobre y hierro presentaron concentraciones finales no detectables, lo que indica una remoción cercana al 100 % dentro de los límites del método analítico empleado. Asimismo, los valores de DQO mostraron una reducción mínima del 89 %, confirmando la efectividad del proceso de filtración en serie compuesto por arena, zeolita y carbón activado.

**Tabla 23. Análisis comparativo internacional.**

RESULTADOS DE ANALISIS				
COMPARATIVA INTERNACIONAL OMS - INEN 1108				
Parámetro	Límite máximo permisible		Resultados Evaluado	Cumple No Cumple
	OMS	INEN 1108		
pH	6.5 – 8.5	6.0 – 9.0	7.9	Cumple
Turbidez	< 5 NTU	5 NTU	0.14	Cumple
Coliformes totales ( <i>E. Coli</i> )	0 UFC/100 ml	100 ml	<0.2	Cumple
Mercurio	≤ 0.006 mg/L	≤ 0.001 mg/L	No Detectado	Cumple
Hierro	≤ 0.3 mg/L	≤ 0.3 mg/L	No detectado	Cumple
Hidrocarburos Totales	No específico valor 0 mg/L	0.5 mg/L	<0.15	Cumple
Color aparente	Aceptable	15 UC	14	Cumple

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

Al comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos por la OMS (Anexo 15) y la norma INEN 1108 (Anexo 14), se determina que la muestra de agua analizada cumple

con todos los parámetros evaluados y es apta para el consumo humano. No se detectó presencia de *Escherichia coli*, lo que indica ausencia de contaminación fecal y seguridad microbiológica. La turbidez registrada (0.14 NTU) muestra una alta eficiencia del proceso de filtración y una buena claridad del agua; el color aparente (14 unidades de color Pt/Co), aunque cercano al valor máximo permitido, se mantiene dentro del rango aceptable. En cuanto a los parámetros químicos, no se evidenció la presencia de metales pesados como mercurio y hierro, y el pH de 7.9 se encuentra dentro de los valores adecuados. Respecto a los hidrocarburos, aunque el límite de detección del análisis es mayor que el valor normativo, no se reportó su presencia, por lo que el agua se considera conforme para consumo humano.

#### **4.4.4 Evaluación Operativa**

La evaluación operativa se propone como un mecanismo para analizar el desempeño del sistema de tratamiento de agua durante su funcionamiento continuo, considerando aspectos técnicos, operativos y de control del proceso. Esta evaluación permitirá verificar la estabilidad del sistema, la facilidad de operación y la efectividad de las actividades de mantenimiento, así como identificar posibles limitaciones que puedan afectar su rendimiento. Para ello, se contempla el monitoreo periódico de los principales parámetros de calidad del agua, el control del caudal de operación y la verificación del estado de los medios filtrantes (arena, zeolita y carbón activado). Los resultados obtenidos permitirán establecer ajustes operativos y definir un esquema de mantenimiento preventivo, garantizando que el sistema propuesto opere de manera eficiente y sostenible, y cumpla con los requisitos establecidos en la normativa vigente para agua destinada al consumo humano.

##### **4.4.4.1 Disponibilidad de insumos**

La disponibilidad de los insumos que se van a utilizar es de un amplio alcance en nuestro país y ciudad, en diferentes ferreterías, pequeñas y medianas, también en tiendas especializadas en materiales para el tratamiento de purificación y tratamientos de agua.

La arena es un material ampliamente disponible a nivel local y nacional, comercializado a través de distribuidores autorizados de materiales de construcción, entre los que se encuentra Disensa, empresa con cobertura en las principales ciudades del Ecuador y oferta permanente de agregados pétreos para uso en obras civiles y aplicaciones técnicas.

La zeolita natural es un material de origen mineral que se comercializa en el país a través de empresas especializadas en productos para filtración, agricultura, acuicultura y tratamiento de agua. En Ecuador, este material puede adquirirse mediante distribuidores como Sanitron

Ingeniería de Purificación y Representaciones Cía. Ltda., empresa que oferta medios filtrantes minerales y suministra sus respectivas fichas técnicas para aplicaciones en sistemas de tratamiento de agua.

El carbón activado se encuentra disponible en el mercado nacional a través de distribuidores de productos químicos industriales y empresas especializadas en tratamiento de agua potable e industrial. Entre los proveedores disponibles en el país se incluye Sanitron Ingeniería de Purificación y Representaciones Cía. Ltda.

#### **4.4.4.2 Simplicidad operativa**

Se vuelve efectivo el uso o la operación del sistema por el fácil manejo de los insumos, como el intercambio de medios filtrantes, filtros, y manejo de los equipos eléctricos, previamente recibiendo una capacitación para el o los operadores del sistema

##### **Nivel de control requerido**

El análisis de los resultados operativos muestra que el sistema requiere un bajo nivel de control, limitado principalmente al seguimiento de parámetros básicos como presión diferencial en filtros y cloro residual.

La estabilidad de los resultados analíticos obtenidos (turbidez, materia orgánica y desinfección) indica que los controles rutinarios realizados fueron suficientes para asegurar la eficiencia del tratamiento, sin necesidad de instrumentación avanzada ni procedimientos analíticos complejos. Esto evidencia que el sistema puede mantenerse operativo con controles simples y periódicos, compatibles con la dinámica de trabajo a bordo.

##### **Capacitación del personal**

La capacitación requerida no demanda de un personal técnico especializado, dado que las operaciones a realizar no son complejas.

#### **4.4.4.3 Requerimientos de mantenimiento Lavados de filtros**

De acuerdo con los resultados del análisis experimental, se observó una disminución del desempeño del filtro luego de aproximadamente 20 horas de operación continua, evidenciada por la reducción del caudal y el aumento del tiempo de filtración.

Por ello, se recomienda realizar el lavado del filtro cada 20 horas de funcionamiento, con el fin de recuperar su eficiencia y mantener una adecuada calidad del agua tratada. Esta frecuencia podrá adelantarse si se presentan aumentos en la turbidez del agua de entrada.

##### **Cambio de medios filtrantes**

Se recomienda reemplazar el medio filtrante cuando se observe una disminución en la

eficiencia de remoción o un aumento del tiempo de filtración aun después del lavado del filtro.

El cambio de los materiales filtrantes deberá realizarse de acuerdo con las especificaciones técnicas del proveedor para cada medio (carbón activado, zeolita y arena), con el fin de garantizar el correcto desempeño del sistema de filtración.

- Carbon activado se recomienda cambiarlo cada 12 meses.
- Zeolita se recomienda cambiarla cada 12 meses.
- Arena se recomienda cambiarla cada 12 meses.

#### **Mantenimiento de tanques de almacenamiento y tanque mantenedores de presión**

La implementación de actividades de mantenimiento preventivo debe ser cada seis meses mediante limpieza, desinfección y mantenimiento estructural de los tanques, esto nos permite eliminar la acumulación de sedimentos, la formación de biofilm, incrustaciones y posibles focos de contaminación.

### **4.5 Evaluación Económica**

#### **4.5.1 Costos de inversión**

En este apartado se detalla la inversión de capital necesaria para la implementación de las mejoras en el sistema de potabilización de agua del buque. El presupuesto ha sido diseñado considerando las normativas de seguridad marítima y la necesidad de utilizar materiales de alta resistencia a la corrosión, dado el entorno de operación de la embarcación de 500 TRB.

**Tabla 24.** Costo de inversión para la mejora del sistema.

<b>COSTO DE INVERSION</b>		
<b>EQUIPOS</b>	<b>CARACTRISTICAS</b>	<b>PRECIO</b>
TANQUES	Tanques de almacenamiento: Acero inoxidable, AISI 316	\$ 2.500,00
FILTRO CARBON	Capacidad 70–100 kg / Caudal 2–4 m3/día	\$ 1.200,00
FILTRO ZEOLITA	Capacidad 60–100 kg / Flujo 2–4 m3/hora	\$ 1.000,00
FILTRO PULIDOR	Cartuchos de 1 a 2 micras (Protección UV)	\$ 500,00
FILTRO DE OSMOSIS INVERSA	Membranas 0.0001 micras / 60-100 psi	\$ 2.500,00
ABLONDADRO	Capacidad 45 kg / Regeneración cada 1-2 días	\$ 1.200,00
BOMBA DE AGUA	Centrífuga de acero inoxidable 1.5 HP	\$ 700,00
PRESOSTATO	Activador de ajuste de presión	\$ 50,00
MANOMETRO	Manómetro visual para revisión de presiones	\$ 50,00
MEDIDOR DE CAUDAL	Instrumentos para medir volúmenes	\$ 100,00
VALVULAS	Accesorios para apertura y cierre del sistema	\$ 200,00
TUBERIAS	Redes de distribución en acero inoxidable AISI 316	\$ 3.000,00
<b>TOTAL, INVERSION</b>		<b>\$ 13.000,00</b>

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

#### **4.5.1.1 Costos actuales sin el sistema**

Debido a la inoperatividad actual del sistema de purificación, la organización se ve obligada a mantener un esquema de abastecimiento alternativo mediante la compra de botellones. Esto genera un modelo de gasto duplicado, donde se costea tanto el suministro básico de red (Puerto) como el agua segura para consumo humano.

Sobrecosto por Abastecimiento de Botellones a proveedores externos, la falta del sistema propio implica la adquisición de aproximadamente a 210 botellones mensuales, lo que acarrea costos directos de producto y logístico de transporte.

**Tabla 25.** Costos mensuales compra de botellones de agua potable.

RESUMEN DE COSTOS MENSUAL		
Cuadro Gastos de botellones de agua		
Concepto	Cantidad	Costo
Botellones de Agua	65 a 70 Aprox. (Unidad \$1.50)	\$300
Logística	\$35 (Por Vuelta)	\$105
<b>Total</b>		<b>\$405</b>

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

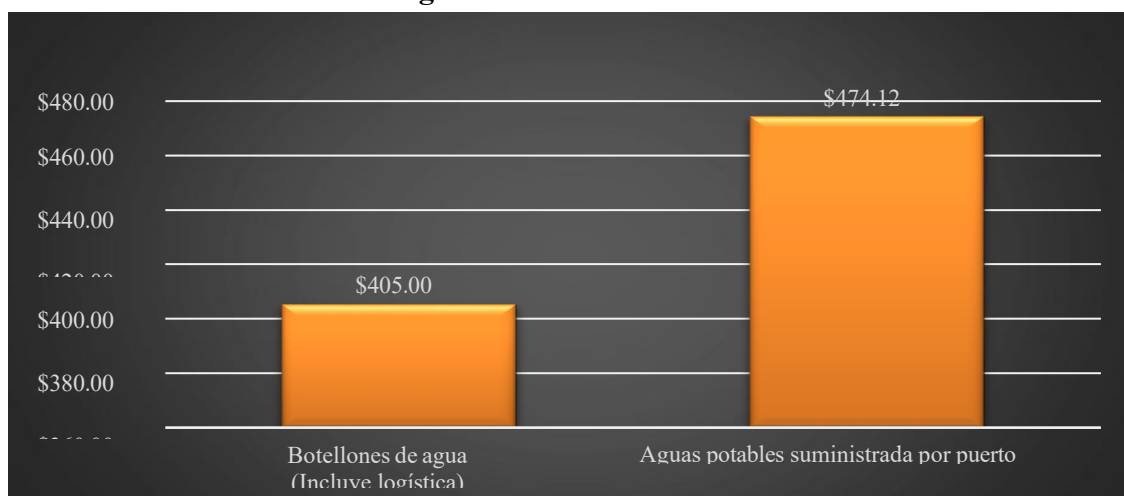
Los costos totales de operación de agua incrementan ya que también adquieren agua suministrada del puerto la cual influye directamente en el gasto mensual:

**Tabla 26.** Costo total de consumo de agua potable.

Gastos Mensuales	
Concepto	Costo Mensual
Botellones de agua (Incluye logística)	\$ 405,00
Aguas potables suministrada por puerto	\$ 474,12
<b>Total</b>	<b>\$ 879,12</b>

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

**Figura 5.** Gastos mensuales.



**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

La proyección de los costos al mantener el sistema fuera de servicio proyecta un gasto

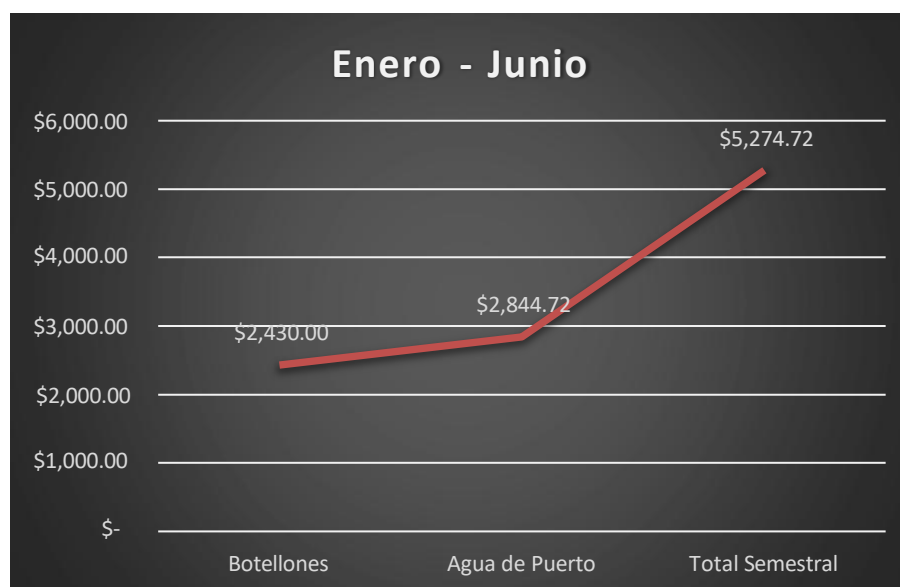
anual significativo que no genera valor agregado, sino que cubre una deficiencia operativa.

**Tabla 27.** *Gastos semestrales.*

Gastos Semestrales			
Periodo	Botellones	Agua de Puerto	Total Semestral
Enero - Junio	\$ 2.430,00	\$ 2.844,72	\$ 5.274,72
Julio - Diciembre	\$ 2.430,00	\$ 2.844,72	\$ 5.274,72
Total, de Gasto Anual			\$ 10.549,44

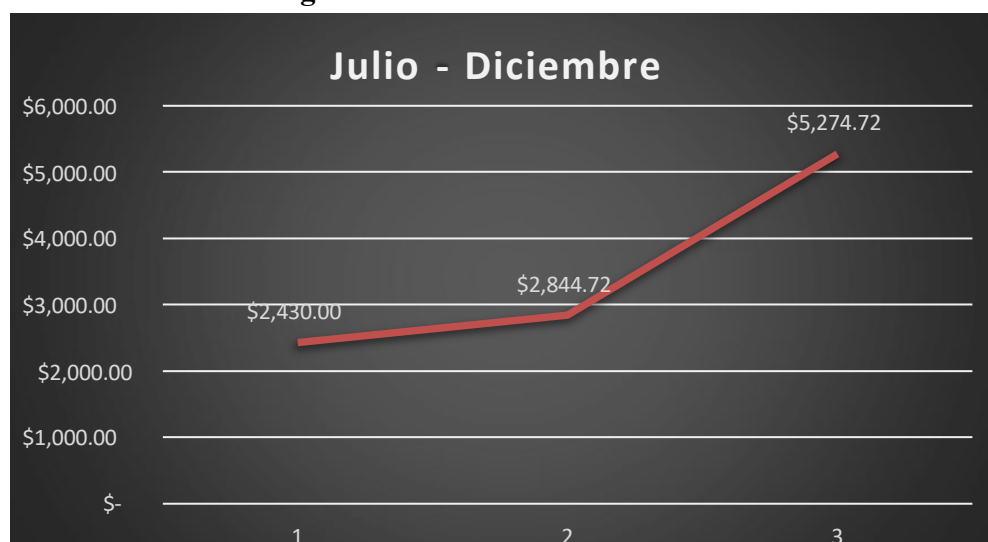
Elaborado por: Borbor y Nevarez, (2026).

**Figura 6.** *Gastos del 1er semestre.*



Elaborado por: Borbor y Nevarez, (2026)

**Figura 7.** *Gastos del 2do semestre*



Elaborado por: Borbor y Nevarez, (2026)

Actualmente el 46% del presupuesto total de agua, se destina cubrir la ineficiencia de

no tener un sistema operativo. Rehabilitar o implementar el sistema permitirá eliminar directamente el gasto anual de \$4,860.00 en botellones y logística.

### **Ahorro económico generados**

La implementación del sistema de potabilización de agua a bordo tiene como finalidad reducir los costos operativos asociados al suministro de agua potable mediante botellones, manteniendo únicamente el abastecimiento de agua cruda proporcionada por el puerto para su posterior tratamiento.

En la situación actual, el buque incurre en un gasto mensual total de USD 879,12, correspondiente a la adquisición de botellones de agua (USD 405,00) y al suministro de agua potable proporcionado por el puerto (USD 474,12). Este gasto representa un costo anual de USD 10.549,44, de acuerdo con los registros de consumo presentados en la Tabla de Gastos Mensuales y Semestrales.

Con la puesta del sistema de potabilización, se elimina la necesidad de adquirir botellones de agua, dado que el agua suministrada por el puerto será sometida a un proceso de tratamiento a bordo, garantizando su calidad para consumo humano. En consecuencia, el gasto mensual se reduce en USD 405,00, correspondiente al rubro de botellones, generando un ahorro anual de: USD 4.860,00.

De acuerdo con la normativa marítima vigente, los buques deben ingresar a dique seco cada tres años para la ejecución de trabajos de mantenimiento mayor, periodo en el cual se contempla la instalación y reparación del sistema de potabilización. Considerando este intervalo, el ahorro económico acumulado durante un periodo de tres años asciende a: USD 14.580,00.

La inversión inicial requerida para la implementación del sistema es de USD 13.000,00, conforme a la estimación presentada en la Tabla de Costos de Inversión. Por lo tanto, el ahorro generado durante el periodo de tres años permite recuperar la inversión inicial y obtener un beneficio económico neto aproximado de: USD 1.580,00.

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación del sistema de potabilización de agua a bordo no solo contribuye a mejorar la seguridad sanitaria del recurso hídrico destinado al consumo humano, sino que también representa una alternativa económicamente viable, al disminuir los costos operativos relacionados con la compra de agua embotellada y optimizar el uso del agua suministrada por el puerto.

## **4.6 Análisis de riesgos**

El análisis de riesgos del sistema de tratamiento de agua potable a bordo del buque de 500 TRB, permitió identificar los principales eventos que podrían afectar la continuidad del servicio y la calidad del agua producida (Anexo 16).

**Figura 8.** *Matriz de riesgo operativo.*

<b>Matriz de Riesgo Operativa</b>				
<b>Actividad</b>	<b>Riesgo</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Severidad</b>	<b>Criterio</b>
Limpieza del área	Resbalamiento	Baja	Media	Tolerable
Mantenimiento	Atrapamiento	Baja	Baja	Trivial
Operación del Sistema	Daño físico al operador	Baja	Baja	Trivial
Retro lavado	Contaminación química	Baja	Media	Tolerable
Mantenimiento eléctrico	Electrocución	Baja	Media	Tolerable
Mantenimiento electrónicos	Fallos electrónicos	Baja	Media	Tolerable
Cambio de filtros	Perdida de medio filtrante	Baja	Baja	Trivial
Aperturas de válvulas	Fugas de agua	Baja	Baja	Trivial
Cargar filtros	Daño físico del operador	Baja	Media	Tolerable
Inspección de tuberías	Caída del personal	Baja	Media	Tolerable

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la matriz de riesgo operativa evidencian que los riesgos se encuentran en la categoría de triviales y tolerables.

En particular, el riesgo de actividades de limpieza fue clasificado como trivial, debido a que presenta una probabilidad baja con una severidad media, lo que indica que se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

De igual manera la actividad de mantenimiento fue clasificado como trivial, debido a que presenta una probabilidad baja con una severidad baja, lo que indica que no se requiere acción específica.

Por otro lado, la operación del sistema fue clasificado como trivial, debido a que presenta una probabilidad y una severidad baja, lo que indica que no se requiere acción específica.

Asimismo, la actividad de retro lavado del sistema fue clasificando como tolerable, lo que indica que se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia

de las medidas de control.

Mantenimiento eléctrico, la actividad fue clasificada como tolerable, debido a que presenta probabilidad baja con una severidad media, lo que indica que se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

Mantenimiento electrónico, la actividad fue clasificada como tolerable, debido a que presenta probabilidad baja con una severidad media, lo que indica que se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

Cambio de filtros, fue clasificado como trivial, debido a que presenta una probabilidad baja con una severidad baja, lo que indica que no se requiere acción específica.

Aperturas de válvulas, fue clasificado como trivial, debido a que presenta una probabilidad baja con una severidad baja, lo que indica que no se requiere acción específica.

Cargar filtros, la actividad fue clasificada como tolerable, debido a que presenta probabilidad baja con una severidad media, lo que indica que se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

Inspección de tuberías, la actividad fue clasificada como tolerable, debido a que presenta probabilidad baja con una severidad media, lo que indica que se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.

En términos generales, la matriz de riesgo operativa permitió identificar los riesgos, los cuales deben ser priorizados dentro del plan de gestión de riesgos. Los riesgos clasificados como triviales no requieren medidas de acción específica, orientadas a la prevención y a la reducción progresiva de su nivel de impacto, los riesgos clasificados como tolerables requieren comprobación periódica para asegurar que se mantenga la eficiencia de las medidas de control.

## 5 CONCLUSIONES

- Se diagnosticaron las condiciones actuales del sistema de tratamiento de agua para el consumo humano del buque de 500 TRB, mediante la evaluación de los parámetros físicos químicos y microbiológicos identificando que las fuentes de contaminación se deben a que el sistema existente se encuentra defectuoso, por lo que los parámetros exceden los límites máximos permisibles de la normativa NTE INEN 1108 y de la OMS.
- El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos permitió identificar valores que superan los límites permisibles establecidos en la normativa vigente, confirmando la necesidad de optimizar el sistema de tratamiento de agua potable a bordo.
- Mediante el estudio de tratabilidad del agua, se comprobó que la aplicación de procesos adecuados de filtración y desinfección permitirá mejorar significativamente la calidad del agua, logrando una reducción efectiva de los contaminantes detectados en el diagnóstico inicial.
- La evaluación experimental del sistema propuesto demostró una mejora en la eficiencia del tratamiento, obteniendo valores de los parámetros analizados dentro de los límites máximos permisibles por la normativa ambiental NTE INEN 1108 y OMS, lo que garantiza condiciones seguras para el consumo humano.

## 6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el sistema de purificación propuesto en el buque de 500 TRB, considerando los procesos de tratamiento definidos en el estudio de tratabilidad, con el fin de asegurar el cumplimiento permanente de los parámetros de calidad del agua para consumo humano.
- Es necesario establecer un programa de monitoreo periódico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua tratada, que permita verificar el desempeño del sistema y detectar oportunamente posibles fallas en el proceso.
- Se requiere realizar mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos del sistema de purificación, especialmente en los componentes de filtración y desinfección, con el propósito de mantener su eficiencia operativa.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia de Regulación y Control del Agua. (2022). *Regulación Nro. DIR ARCA RG 012 2022: Norma técnica para el control de la calidad del agua de consumo humano*.
- ARCA. [https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/Regulacio%CC%81n-DIR-ARCA-RG-012-2022-Calidad-del-agua\\_-signed.pdf](https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/Regulacio%CC%81n-DIR-ARCA-RG-012-2022-Calidad-del-agua_-signed.pdf)
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). APHA-AWWA-WEF.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación científica*. Editorial Episteme.
- Carbotecnia. (s.f.). *Procesos de filtración y tratamiento de agua*. <https://www.carbotecnia.info>
- Carletti, E., Polimeno, L., Donato, F., C Corsini, A. (2008). Chemical contamination of potable water in ship tanks. *Occupational and Environmental Medicine*, c5(7), 542–547. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18350978/>
- Centers for Disease Control and Prevention. (2025). *Vessel Sanitation Program 2025 Environmental Public Health Standards*. CDC. [https://www.cdc.gov/vessel-sanitation/media/pdfs/2025/06/2025\\_VSP\\_Environmental\\_Public\\_Health\\_Standards-508.pdf](https://www.cdc.gov/vessel-sanitation/media/pdfs/2025/06/2025_VSP_Environmental_Public_Health_Standards-508.pdf)
- Dirección General Marítima.(2013). *Normas técnicas para el agua de consumo humano a bordo de buques*. Gobierno de Colombia.
- Fernández, L. (2020). Evaluación de sistemas de tratamiento de agua en embarcaciones menores. *Revista Ingeniería Naval*, 45(3), 22–31.
- Fernández, M., Torres, R., & Silva, P. (2023). Optimization of marine water purification systems using energy recovery methods. *Ocean Engineering*, 281, 115373.
- Filtrashop. (2020). *Guía técnica sobre tratamientos químicos para sistemas de agua potable*.
- García, P., CLópez, D. (2021). Análisis del desempeño de sistemas de agua potable en entornos marítimos. *Revista de Tecnología Naval*, 12(4), 55–67.
- Hernández, R., Fernández, C., CBaptista, P. (2022). *Metodología de la investigación* (7.ª ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). *NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos*. INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2014). *NTE INEN 2169: Calidad del agua –*

- Muestreo*. Quito, Ecuador: INEN.
- International Maritime Organization. (2010). *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*. IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (2012). *Resolution A.1047(27): Principles of Safe Manning*. IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (2018). *International Safety Management (ISM) Code*. IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (2020). *International Safety Management (ISM) Code and Guidelines on Implementation*. IMO Publishing.
- International Maritime Organization. (2020). *Guidelines for the Control of Oil Discharges from Ships*. IMO Publishing.
- International Organization for Standardization. (2002). *ISO 15748-1: Ships and marine technology — Potable water supply on ships — Part 1: Planning and design*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 5cc7-5: Water quality— Sampling — Part 5: Guidance on sampling of drinking water from treatment works and piped distribution systems*. ISO.
- Justiniano-Gallardo, R., Pérez, J., C Ramírez, M. (2025). Optimización de sistemas de tratamiento de agua en ambientes marítimos. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Ambiental*, 12(3), 55–67.
- Kim, J., Park, H., C Lee, S. (2021). Biofilm formation in ship water systems and its control. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102067.
- Metcalf C Eddy. (2021). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*(6thed.). McGraw-Hill Education.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., C Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (4.9 ed.). OMS.
- Ruiz, M., C Herrera, J. (2022). Gestión técnica de los sistemas de purificación de agua en buques mercantes medianos. *Revista de Ingeniería Marítima*, 18(2), 80–94.
- SenTec. (s.f.). *Instrumentación para monitoreo de calidad de agua*. <https://www.sentec.com>
- Sergas.(s.f.). *Manual de control de calidad del agua de consumo humano*. Servicio Galego de

Saúde.

Tamayo y Tamayo, M. (2019). *El proceso de la investigación científica*. Limusa.

Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2021). *Wastewater Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.

World Health Organization. (2011). *Guide to Ship Sanitation* (3rd ed.). WHO.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK310823/>

World Health Organization. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition incorporating the first addendum*. WHO.

World Health Organization. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition incorporating the first and second addenda*. WHO.

Zhou, L., Zhang, X., & Chen, Y. (2023). Advances in shipboard desalination and water treatment systems. *Marine Engineering Review*, 45(2), 102–117.

United States Environmental Protection Agency. (2017). *Water quality standards handbook*. EPA

Lozano-Rios, K., Mego-Flores, G. J., Ordoñez-Sánchez, L. A., & Lozano-Chung, A. (2024). Eficiencia de filtros de carbón activado a base de capirona, bambú y cáscara de coco en la remoción de contaminantes del agua. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(2), e841.

Tjhajanti, P. H., & Ernanda, R. R. (2024). Silica sand, activated carbon, and manganese zeolite for clean water filtration. *Indonesian Journal of Cultural and Community Development*, 15(3).

Yu, P., Baker, M. C., Taslakyan, L., Strawn, D. G., & Möller, G. (2025). Reactive filtration water treatment: A retrospective review of sustainable sand filtration .... *Sustainability*, 17(13), 5799.

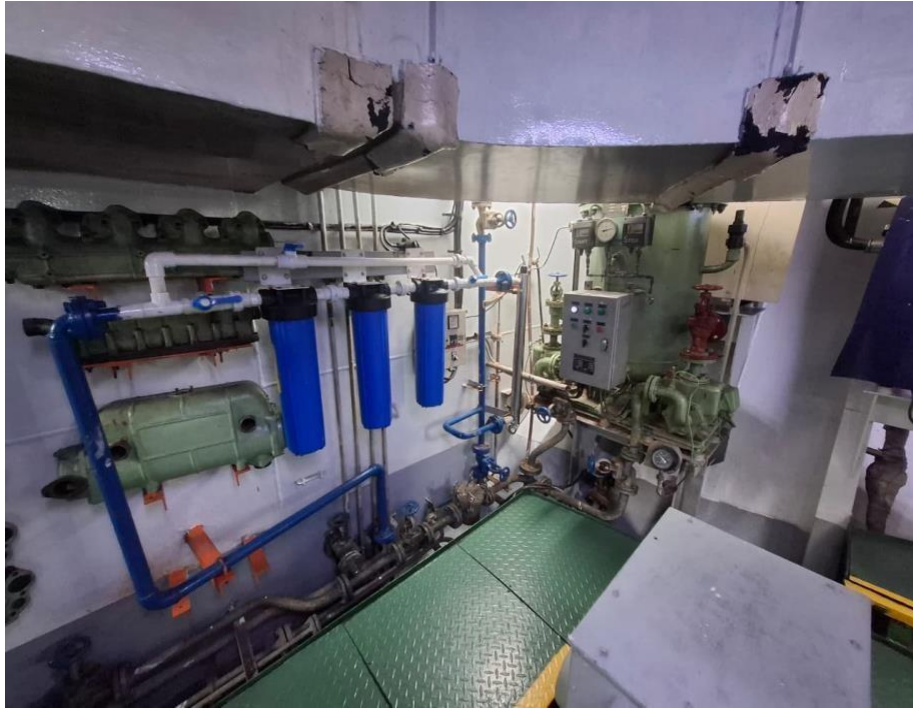
MDPI Water (2024). Performance of a zeolite-filled slow filter for dye removal and turbidity reduction. *Water*, 17(24), 3557.

Coordinacae. (s. f.). *Matriz de riesgos: la herramienta clave para optimizar la evaluación de riesgos*.

Disensa Ecuador. (s.f.). *Materiales de construcción – agregados pétreos (arena)*.

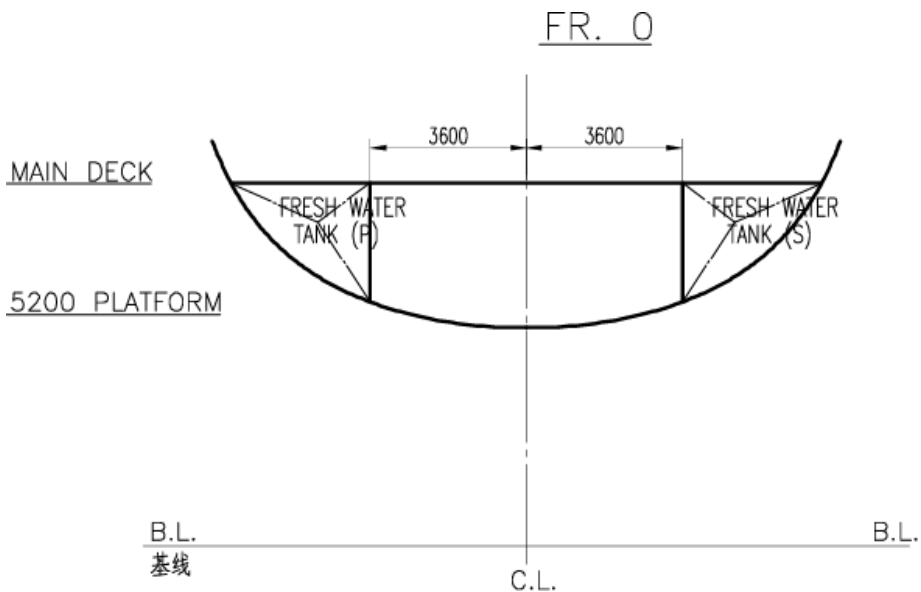
Sanitron Ingeniería de Purificación y Representaciones Cía. Ltda. (s.f.). *Medios filtrantes y carbón activado para tratamiento de agua*. Recuperado de:

**8. Anexos**  
**Anexo 1. Sistema actual de potabilización.**

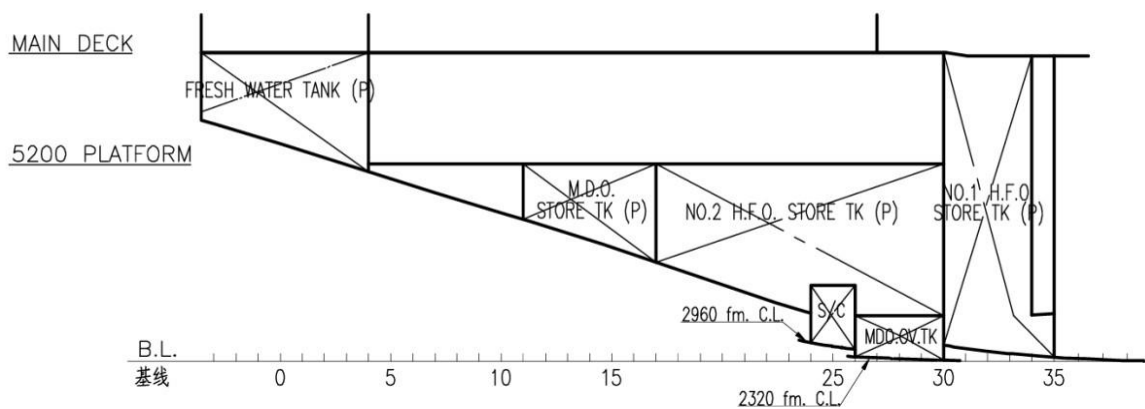


**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 2. Planos de los tanques de almacenamiento.**



4240mm FROM C.L. (P.S.)



CAPACITY OF FRESH WATER TANKS						SG = 1.0		
COMPARTMENTS	FRAME	LOAD (%)	VOLUME (m <sup>3</sup> )	WEIGHT (tonnes)	T.C.G (m)	V.C.G (m)	L.C.G (m)	MAXFSM (MT-M)
FWTK.P	AE- 4	100%	24.7	24.68	4.842p	7.061	0.461f	12.30
FWTK.S	AE- 4	100%	24.7	24.68	4.842s	7.061	0.461f	12.30
Subtotals:			49.4	49.35	0	7.061	0.461f	24.61

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 3. Visualización del sistema de tratamiento.**



**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 4. Acceso a tanques de almacenamiento.**



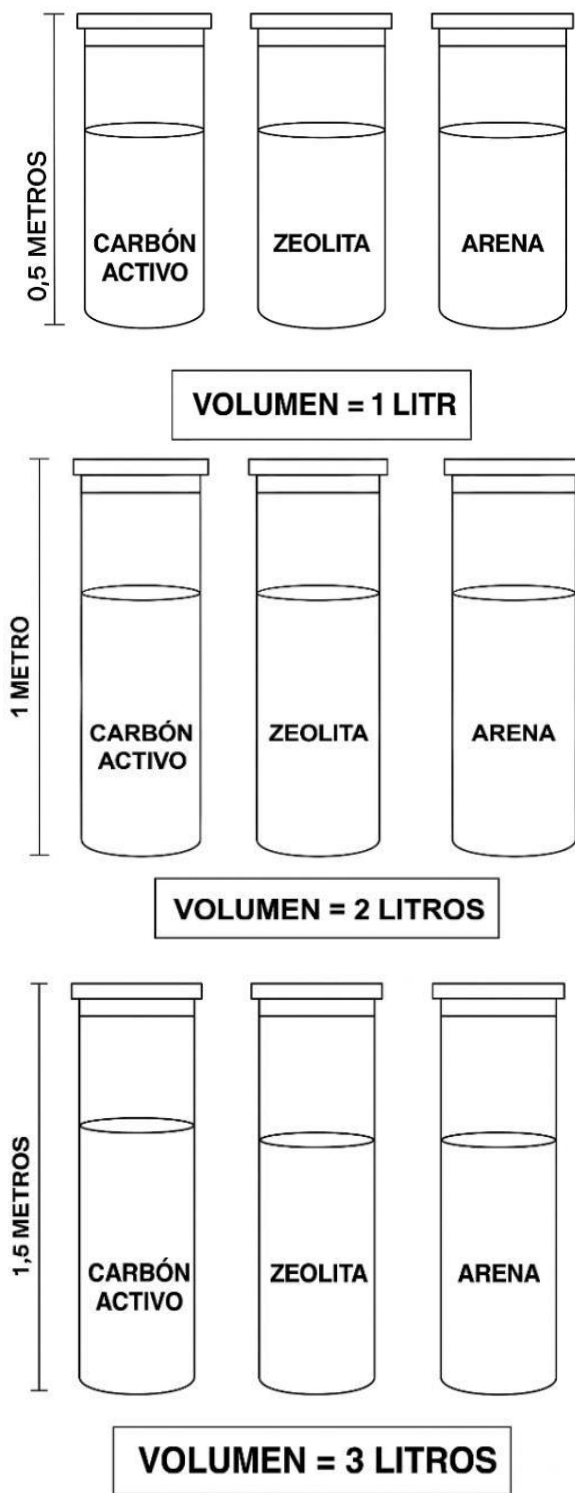
**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 5. Punto de muestreo – Tanques de almacenamiento.**







**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

*Anexo 6. Diseño de filtros.*







Elaborado por: Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 7. Equipos de monitoreos.**

<b>EQUIPOS</b>	
pH-metro portátil	
Medidor multiparámetro portátil de calidad de agua	
Turbidímetro portátil	
Espectrofotómetro de laboratorio	

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 8. Materiales para elaboración de filtros.**

<b>MATERIALES</b>	
<b>Carbon Activo</b>	
<b>Zeolita</b>	
<b>Arena</b>	
<b>Tubos de PVC 2°</b>	

Fuente: Borbor y Nevarez, (2026)

**Anexo 9. Fórmula de densidades**

$$p = \frac{m}{V} \text{ —}$$

P = densidad (kg/L) m = masa (kg) V= volumen (L)

**Fuente:** (Hernández, Fernández & Baptista, 2022).

**Anexo 10. Densidades del medio filtrante.**

<b>Densidades del medio filtrante</b>	
<b>Medio filtrante</b>	<b>Fórmula</b>
Carbón Activo	$V = \frac{0,45 \text{ kg}}{0,50}$ $V = 0,90 \text{ L}$
	$V = \frac{0,90 \text{ kg}}{0,50}$ $V = 1,80 \text{ L}$
	$V = \frac{1,35 \text{ kg}}{0,50}$ $V = 2,70 \text{ L}$
Zeolita	$V = \frac{0,90 \text{ kg}}{1,20}$ $V = 0,75 \text{ L}$
	$V = \frac{1,80 \text{ kg}}{1,20}$ $V = 1,50 \text{ L}$
	$V = \frac{2,70 \text{ kg}}{1,20}$ $V = 2,25 \text{ L}$
Arena	$V = \frac{1,50 \text{ kg}}{1,60}$ $V = 0,94 \text{ L}$
	$V = \frac{3,00 \text{ kg}}{1,60}$ $V = 1,88 \text{ L}$
	$V = \frac{4,50 \text{ kg}}{1,60}$ $V = 2,85 \text{ L}$

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026)

## Anexo 11. Fichas técnicas de material filtrante.



### TurbiMax 101

Medio filtrante de reducción de turbidez y sedimentos de gran rendimiento.  
Tamaño uniforme de partícula.

Para agua potable, aguas superficiales, aguas subterráneas, tratamiento de aguas de remediación, aguas residuales industriales, líquidos, aplicaciones químicas, municipales, comerciales y residenciales.

**TurbiMax 101** es un mineral natural seleccionado, que por sus características fisicoquímicas garantiza la retención de sólidos en suspensión por debajo de los 5 micrones a altas tasas de filtración, superando por amplio margen los rendimientos de otras arenas granulares comunes y filtros multimedia utilizados para la reducción de sólidos suspendidos. Está especialmente diseñado para el tratamiento de agua potable, así como agua para materia prima en procesos industriales. Su especificación cumple con la certificación **NSF** y la certificación **WQA Gold Seal** según el estándar **61 de NSF / ANSI**.

#### PRESENTACIÓN: SACO DE 29.6 KG (65.3 LB) 1 FT<sup>3</sup> PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma física		Gránulos micro porosos de color verde claro
Composición		Silicato de aluminio de alta pureza >97%
Carga superficial		Negativo neto
Absorción superficial		Hidrófilo
Eficiencia de filtración	Micrones (nominal)	3-5
Dureza	Escala de Mohs	4 -5
Área superficial	m <sup>2</sup> /gr	759
Coeficiente de uniformidad		1.8
Tamaño efectivo (malla)	mm	1.5 – 0.50 (Aprox. 14x3)
Densidad de partículas secas	gr/ml	1.129
Condiciones de operación sugeridas		
Temperatura máxima de operación		<100°C (212°F)
Rango pH		2-13
Profundidad de la cama		600-914 mm (24-36 pulgadas)
Tasas de flujo: servicio/enjuague rápido		14.67 -48.89 m <sup>3</sup> /h / m <sup>2</sup> (6-12 gpm/ft <sup>2</sup> )
Retrolavado		36.67 – 48.89 m <sup>3</sup> /h / m <sup>2</sup> (15-20 qpm/ft <sup>2</sup> )
Borde libre recomendado		50% profundidad de cama
Expansión recomendada del lecho de retrolavado		30-40% profundidad de cama

**NOTA:** Deje que la cama se sature con agua antes del retrolavado inicial. Las condiciones específicas pueden requerir tasas de flujo más bajas; consulte con algunos de nuestros especialistas. **TurbiMax 101** es un producto totalmente natural y seguro para el medio ambiente.

ECUADOR: De los Eucaliptos E8-70 y calle E9 170307 - Quito.

US Headquarters: 9995 NW 9th St. Circle. Suite # 3, 33172 Miami, FL.

+593 2 2808126 / +593 95 993 7424 [www.sanitronEC.com](http://www.sanitronEC.com) [info@sanitronEC.com](mailto:info@sanitronEC.com)



## SaniCarb CSC 850

Carbón activado a base de cáscara de coco granular

Para agua potable, aguas superficiales, aguas subterráneas, tratamiento de aguas de remediación, aguas residuales industriales, líquidos, aplicaciones químicas, municipales, comerciales y residenciales.

SaniCarb CSC 850 es un carbón activado granular de alta actividad, fabricado en base a carbón vegetal de cáscara de coco seleccionado de alta calidad y activado por procesos a vapor a altas temperaturas. Su microporosidad mejorada hace que SaniCarb CSC 850 sea especialmente adecuado para la eliminación de compuestos orgánicos de bajo peso molecular y sus subproductos clorados como el cloroformo y otros trihalometanos; incluyendo compuestos orgánicos, carbono orgánico total (TOC), color, olor y sabores indeseables, así como productos químicos industriales. También es ideal para la eliminación de agentes oxidantes como el cloro o el ozono.

### PRESENTACIÓN: SACO DE 15 KG (33 LB) 1 FT<sup>3</sup> PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS TÍPICAS

Tamaño de partícula	US malla (mm)	8x30 (2.36 mm x 0.60 mm)
Índice de yodo	mg/gr	850 min.
Ceniza	wt%	4 máx.
Humedad (empaquetado)	wt%	5 máx.
Dureza de especie	%	96
Densidad (aparente)	gr/cc	0.50-0.55
Área de superficie específica	m <sup>2</sup> /gr	1050

**NOTA:** Deje que la cama se sature con agua antes del retrolavado inicial. Las condiciones específicas pueden requerir tasas de flujo más bajas; consulte a su experto en agua. **SaniCarb 850** es un producto totalmente natural y seguro para el medio ambiente.

**NOTA DE SEGURIDAD:** El carbón activado húmedo puede agotar el oxígeno de los espacios cerrados con aire. Si se requiere el uso en un espacio cerrado, se deben seguir los procedimientos para trabajar en un ambiente con deficiencia de oxígeno.

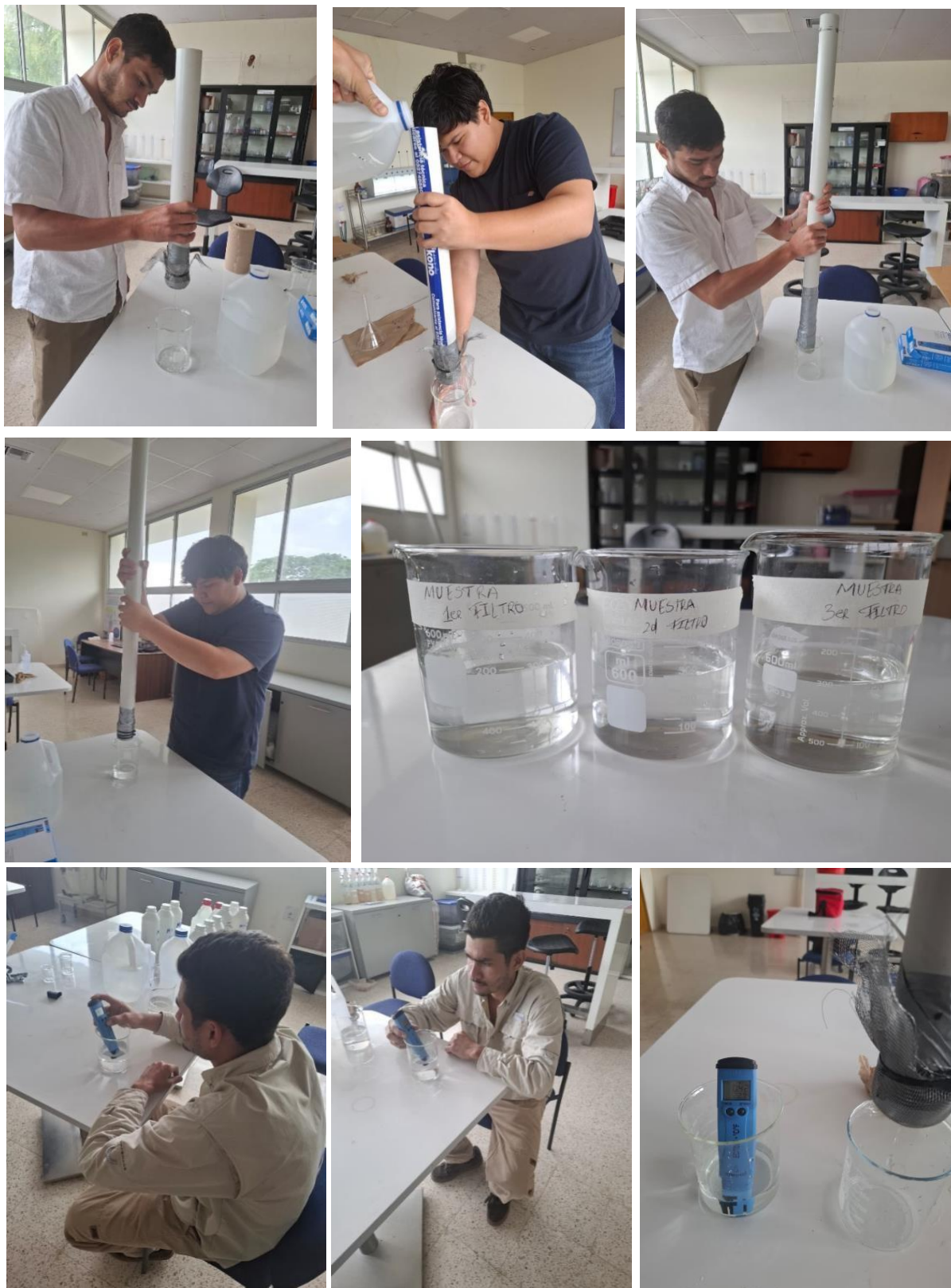
ECUADOR: De los Eucaliptos E8-70 y calle E9 170307 - Quito.

US Headquarters: 9995 NW 9th St. Circle, Suite # 3, 33172 Miami, FL.

+593 2 2808126 / +593 95 993 7424

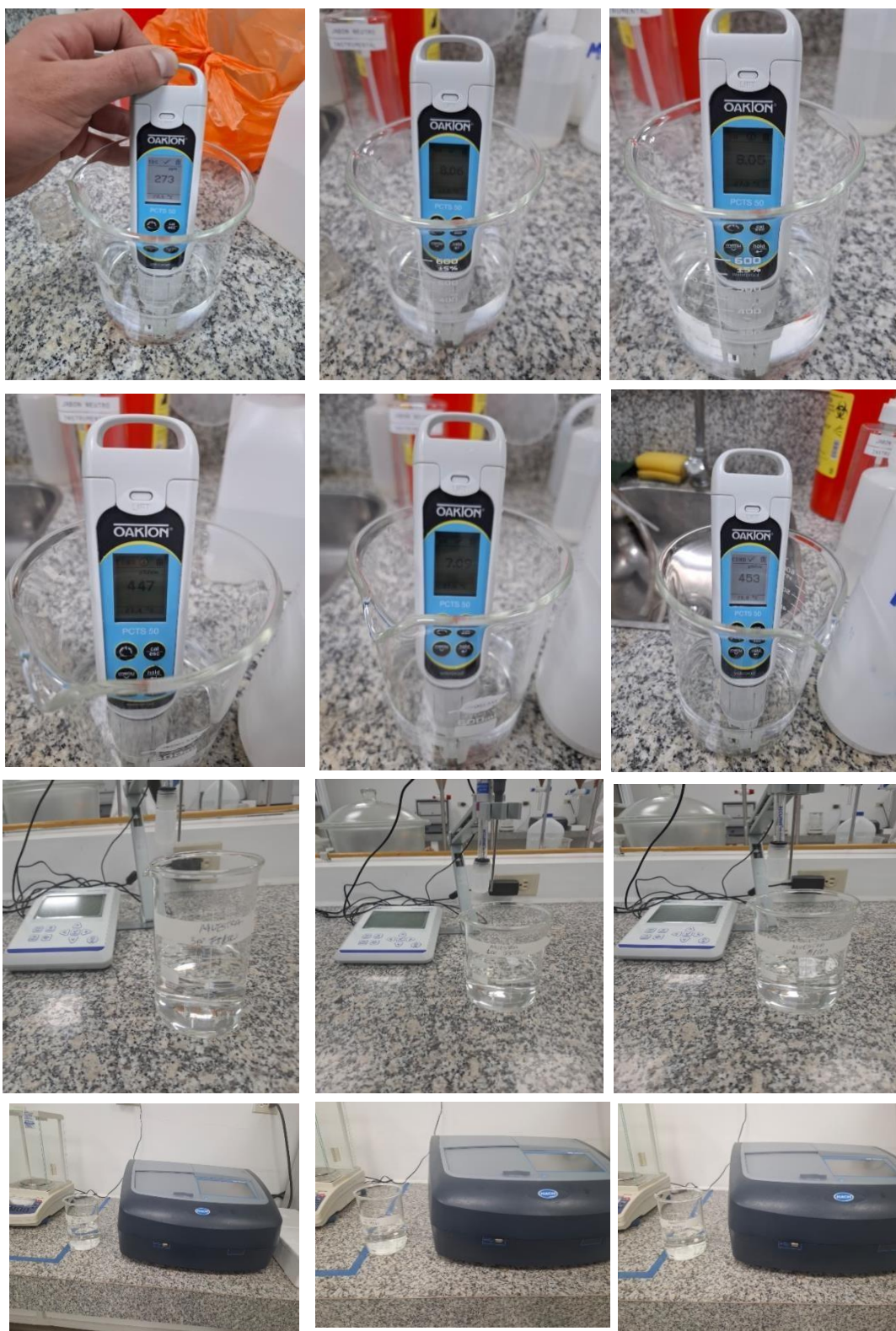
[www.sanitronEC.com](http://www.sanitronEC.com)

[info@sanitronEC.com](mailto:info@sanitronEC.com)

**Anexo 12. Pruebas de tratabilidad.**

**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

**Anexo 13. Pruebas de tratabilidad en los equipos medibles.**



**Elaborado por:** Borbor y Nevarez, (2026).

## Anexo 14. Resultados de Monitoreos.



INFORME DE ENSAYO  
ANÁLISIS AGUAS  
25-942-AG03



DATOS DEL CLIENTE						
Empresa(3): BUQUE TANQUE						
Dirección(3): La Libertad - Terminal Petrolero de la Libertad, Suinli						
Persona de Contacto(3): Ing. Alvaro Borbor						
DATOS DE LA MUESTRA						
Tipo de Muestra/Ítem de Ensayo: Agua de consumo humano y uso doméstico			Fecha/Hora Toma de Muestra: 31 de marzo de 2025/ 15:48			
Tipo toma de Muestra/Procedimiento: Puntual Simple Norma INEN 2169:2013 / INEN 2176:2013			Cantidad de Muestra / Condición del Ítem de ensayo: 2100 ml / Muestra transparente			
Lugar/Punto de Toma de Muestra: Cocina 17M 0512618E-9759276N ±3			Muestra Tomada por: Kevin García			
Código de Identificación de la Muestra: 1474-24			Fecha/Hora de Ingreso de Muestra al laboratorio: 02 de abril de 2025/ 08:28			
RESULTADOS DE LOS ANALISIS						
Desviaciones/Adiciones/Exclusiones a los Procedimientos:N/A			Con. Amb. del Laboratorio: 23.9°C 30.1%HR			
Parámetro	Resultados Unidades	Incert. K=2± Unidad	(4) Valores de Referencia	(4) Declaración de Conformidad	Método de Ensayo	Fecha de Análisis
Demanda Química de Oxígeno	< 29.81 mgO2/L	1.89 mgO2/L	< 4 mgO2/L	NO ES POSIBLE ESTABLECER CUMPLIMIENTO	PEE/IPSOMARY/12-18 S.M. Ed. 23th 5220 D, 2017	02/04/2025
Demanda Bioquímica de Oxígeno	6.87 mgO2/L	0.39 mgO2/L	< 2 mgO2/L	NO CUMPLE	PEE/IPSOMARY/13-11 S.M. Ed. 23th 5210 B, 2017	02/04/2025 al 07/04/2025
Turbidez	< 10.00 NTU	1 NTU	100 NTU	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/14-15 S.M. Ed. 23th 2130 B, 2017	02/04/2025
Aceites y Grasas	< 7.00 mg/L	0.59 mg/L	0.3 mg/L	NO ES POSIBLE ESTABLECER CUMPLIMIENTO	PEE/IPSOMARY/19-10 S.M. Ed. 23th 5520 D, 2017	03/04/2025
Hidrocarburos totales de Petróleo	< 5.00 mg/L	0.44 mg/L	0.2 mg/L	NO ES POSIBLE ESTABLECER CUMPLIMIENTO	PEE/IPSOMARY/19-10 S.M. Ed. 23th 5520 F, 2017	04/04/2025
Cobre	0.0539 mg/L	0.0046 mg/L	2 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	09/04/2025
(2) Hierro	No Detectado	-	1 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	09/04/2025
(1) Mercurio	No Detectado	-	0.006 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	15/04/2025
(1) Coliformes Fecales (E. Coli)	<1 NMP/100ml	-	1000 NMP/100ml	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/26-08 S.M. Ed. 23th 9223 B, 2017	02/04/2025 al 03/04/2025
(1) Dioxido de Carbono Libre	29.920 mg/L	-	-	-	S.M.Ed. 23th 4500 CO <sub>2</sub> -D, 2017	02/04/2025



**INFORME DE ENSAYO**  
**ANÁLISIS AGUAS**  
**25-646-AG04**



DATOS DEL CLIENTE						
Empresa(3): BUQUE TANQUE						
Dirección(3): La Libertad - Terminal Petrolero de la Libertad, Suinli						
Persona de Contacto(3): Ing. Alvaro Borbor						
DATOS DE LA MUESTRA						
Tipo de Muestra/Ítem de Ensayo: Agua de consumo humano y uso doméstico			Fecha/Hora Toma de Muestra: 16 de agosto de 2025 / 12:40			
Tipo toma de Muestra/Procedimiento: Puntual Simple NTE INEN-ISO 5667-3:2024 / INEN-ISO 5667-1:2022			Cantidad de Muestra / Condición del ítem de ensayo: 2200 mL / Muestra turbia			
Lugar/Punto de Toma de Muestra: Tanque Reservorio de Agua 17M 0509610E-9756138N ±3			Muestra Tomada por: Ing. Kevin García			
Código de Identificación de la Muestra: 1101-25			Fecha/Hora de Ingreso de Muestra al laboratorio: 18 de agosto de 2025 / 08:00			
RESULTADOS DE LOS ANALISIS						
Desviaciones/Adiciones/Exclusiones a los Procedimientos:N/A			Con. Amb. del Laboratorio: 23.1°C 31.0%HR			
Parámetro	Resultados Unidades	Incert. K=2t Unidad	(4) Valores de Referencia	(4) Declaración de Conformidad	Método de Ensayo	Fecha de Análisis
Demanda Química de Oxígeno	< 29.81 mgO2/L	1.93 mgO2/L	< 4 mgO2/L	NO ES POSIBLE ESTABLECER CUMPLIMIENTO	PEE/IPSOMARY/12-18 S.M. Ed. 23th 5220 D, 2017	20/08/2025
Demanda Bioquímica de Oxígeno	9.70 mgO2/L	0.78 mgO2/L	< 2 mgO2/L	NO CUMPLE	PEE/IPSOMARY/13-11 S.M. Ed. 23th 5210 B, 2017	20/08/2025 al 25/08/2025
Turbidez	< 10.00 NTU	1 NTU	100 NTU	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/14-15 S.M. Ed. 23th 2130 B, 2017	18/08/2025
Aceites y Grasas	< 7.00 mg/L	0.59 mg/L	0.3 mg/L	NO ES POSIBLE ESTABLECER CUMPLIMIENTO	PEE/IPSOMARY/19-10 S.M. Ed. 23th 5220 D, 2017	21/08/2025
Hidrocarburos totales de Petróleo	< 5.00 mg/L	0.44 mg/L	0.2 mg/L	NO ES POSIBLE ESTABLECER CUMPLIMIENTO	PEE/IPSOMARY/19-10 S.M. Ed. 23th 5520 F, 2017	22/08/2025
Cobre	0.1095 mg/L	0.0093 mg/L	2 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	01/09/2025
Hierro	3.4858 mg/L	0.3991 mg/L	1 mg/L	NO CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	01/09/2025
(1) Mercurio	No Detectado	-	0.006 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	01/09/2025
(1) Coliformes Fecales (E. Coli)	<1.1 NMP/100ml	-	1000 NMP/100ml	CUMPLE	Standard Methods 9221F-C	18/08/2025 al 20/08/2025
(1) Dióxido de Carbono Libre	66.880 mg/L	-	-	-	S.M.Ed. 23th 4500 CO <sub>2</sub> -D, 2017	18/08/2025



**INFORME DE ENSAYO**  
**ANÁLISIS AGUAS**  
**26-382-AG03**  
**Modificación 1**

DATOS DEL CLIENTE						
Empresa (3): BUQUE TANQUE						
Dirección (3): La Libertad - Terminal Petrolero de la Libertad, Suinli						
Persona de Contacto (3): Ing. Alvaro Borbor						
DATOS DE LA MUESTRA						
Tipo de Muestra/ítem de Ensayo: Agua de consumo humano y uso doméstico			Fecha/Hora Toma de Muestra: 16 de enero de 2026 / 12:29			
Tipo toma de Muestra/Procedimiento: Puntual Simple			Cantidad de Muestra / Condición del ítem de ensayo: 2100 mL / Muestra transparente			
Lugar/Punto de Toma de Muestra: Unidad de Tratamiento 17M 0509745E-9756280N ±3			Muestra Tomada por: Muestra proporcionada el cliente			
Código de Identificación de la Muestra: 346-25			Fecha/Hora de Ingreso de Muestra al laboratorio: 17 de enero de 2026 / 08:30			
RESULTADOS DE LOS ANALISIS						
Desviaciones/Adiciones/Exclusiones a los Procedimientos:N/A			Con. Amb. del Laboratorio: 21.3°C 31.4%HR			
Parámetro	Resultados Unidades	Incert. K=2± Unidad	(4) Valores de Referencia	(4) Declaración de Conformidad	Método de Ensayo	Fecha de Análisis
Demanda Química de Oxígeno	< 3.15 mgO <sub>2</sub> /L	1.93 mgO <sub>2</sub> /L	-	-	PEE/IPSOMARY/12-18 S.M. Ed. 23th 5220 D, 2017	17/01/2026
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.90 mgO <sub>2</sub> /L	0.22 mgO <sub>2</sub> /L	-	-	PEE/IPSOMARY/13-11 S.M. Ed. 23th 5210 B, 2017	17/01/2026 al 23/01/2026
(2) Turbidez	0.14 NTU	-	5 NTU	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/14-15 S.M. Ed. 23th 2130 B, 2017	18/01/2026
Aceites y Grasas	< 0.27 mg/L	0.59 mg/L	-	-	PEE/IPSOMARY/19-10 S.M. Ed. 23th 5520 D, 2017	18/01/2026
Hidrocarburos totales de Petróleo	< 0.15 mg/L	0.44 mg/L	-	-	PEE/IPSOMARY/19-10 S.M. Ed. 23th 5520 F, 2017	19/01/2026
(2) Cobre	No Detectado	-	2 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	17/01/2026
(2) Hierro	No Detectado	-	-	-	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	17/01/2026
(1) Mercurio	No Detectado	-	0.006 mg/L	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/38-07 S.M. Ed. 23th 3120 B, 2017	18/01/2026
(1) Coliformes Fecales (E. Coli)	<1 NMP/100ml	-	Ausencia	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/26-08 S.M. Ed. 23th 9223 B, 2017	18/01/2026 al 19/01/2026
(1) Dioxido de Carbono Libre	22.88 mg/L	-	-	-	S.M.Ed. 23th 4500 CO <sub>2</sub> -D, 2017	19/01/2026



**INFORME DE ENSAYO**  
**ANÁLISIS AGUAS**  
**26-382-AG03**  
**Modificación 1**

DATOS DEL CLIENTE						
<b>Empresa (3):</b> BUQUE TANQUE						
<b>Dirección (3):</b>						
<b>Persona de Contacto (3):</b> Ing. Alvaro Borbor						
DATOS DE LA MUESTRA						
<b>Tipo de Muestra/Ítem de Ensayo:</b> Agua de consumo humano y uso doméstico			<b>Fecha/Hora Toma de Muestra:</b> 28 de enero de 2026 / 12:29			
<b>Tipo toma de Muestra/Procedimiento:</b> Puntual Simple			<b>Cantidad de Muestra / Condición del Ítem de ensayo:</b> 2100 mL / Muestra transparente			
<b>Lugar/Punto de Toma de Muestra:</b> Unidad de Tratamiento 17M 0509745E-9756280N ±3			<b>Muestra Tomada por:</b> Muestra proporcionada el cliente			
<b>Código de Identificación de la Muestra:</b> 346-25			<b>Fecha/Hora de Ingreso de Muestra al laboratorio:</b> 29 de enero de 2026 / 08:30			
RESULTADOS DE LOS ANALISIS						
<b>Desviaciones/Adiciones/Exclusiones a los Procedimientos:</b> N/A			<b>Con. Amb. del Laboratorio:</b> 21.3°C    31.4%HR			
Parámetro	Resultados Unidades	Incert. K=2± Unidad	(4) Valores de Referencia	(4) Declaración de Conformidad	Método de Ensayo	Fecha de Análisis
(1) Coliformes Fecales (E. Coli)	<0.2 NMP/100ml	-	1000 NMP/100ml	CUMPLE	PEE/IPSOMARY/26-08 S.M. Ed. 23th 9223 B, 2017	29/02/2026 al 30/02/2026

**Anexo 15. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 – Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras (Referencia Técnica)**

La presente norma fue utilizada como referencia técnica para el desarrollo de la metodología y criterios de evaluación de la calidad del agua de consumo humano en esta investigación.

**Muestro**

**Llenado del Recipiente**

Para las muestras destinadas al análisis de parámetros físicos y químicos, los frascos fueron llenados completamente y cerrados herméticamente, evitando la presencia de aire en su interior. Este procedimiento permitió minimizar la interacción entre la fase líquida y la fase gaseosa durante el transporte, reduciendo posibles alteraciones en la composición de la muestra, tales como variaciones en el pH, modificaciones en la concentración de dióxido de carbono, oxidación de hierro y cambios en el color del agua, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169.

**Manejo y Conservación Tipos de Recipientes**

La selección y preparación de los recipientes utilizados para la recolección de las muestras se realizó cuidadosamente, considerando que tanto el envase como su tapa no debían generar contaminación ni alterar las características de la muestra.

Los recipientes empleados no presentaron riesgos de lixiviación de compuestos inorgánicos ni de liberación de metales u otras sustancias provenientes del material del envase. Asimismo, se evitó el uso de materiales capaces de absorber o adsorber los constituyentes a ser analizados, especialmente hidrocarburos y metales traza.

De igual manera, se consideró que los recipientes no reaccionaran químicamente con los componentes del agua, y que su superficie permitiera una limpieza y acondicionamiento adecuados para reducir el riesgo de contaminación cruzada por metales pesados u otros compuestos. Estos criterios se establecieron conforme a las recomendaciones técnicas de la NTE INEN 2169.

**Anexo 16. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 -Agua potable (Referencia Técnica).**

La presente tabla resume los principales parámetros y límites máximos permisibles considerados en esta investigación, conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108.

<b>Tipo de parámetro</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permitido</b>
Físico	Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Físico	Turbidez	NTU	5
Físico	Olor	—	No objetable
Físico	Sabor	—	No objetable
Inorgánico	Antimonio (Sb)	mg/L	0,02
Inorgánico	Arsénico (As)	mg/L	0,01
Inorgánico	Bario (Ba)	mg/L	0,7
Inorgánico	Boro (B)	mg/L	2,4
Inorgánico	Cadmio (Cd)	mg/L	0,003
Inorgánico	Selenio (Se)	mg/L	0,04
Orgánico	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	mg/L	0,0007
Microbiológico	Coliformes fecales (tubos múltiples NMP/100 mL)	NMP/100 mL	< 1
Microbiológico	Coliformes fecales (filtración por membrana ufc/100 mL)	UFC/100 mL	< 1
Microbiológico	<i>Cryptosporidium</i> (ooquistes)	ooquistes/L	Ausencia
Microbiológico	<i>Giardia</i> (quistes)	quistes/L	Ausencia

**Anexo 17. Parámetros de calidad del agua según la organización mundial de la salud (OMS).**

Los valores de referencia para la calidad del agua destinada al consumo humano, de acuerdo con las guías establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se presentan en la siguiente tabla:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor guía (OMS)</b>
pH	6,5 – 8,5
Turbidez	< 5 NTU
Coliformes totales / <i>Escherichia coli</i>	0 UFC/100 mL
Mercurio (Hg)	≤ 0,006 mg/L
Hierro (Fe)	≤ 0,3 mg/L
Hidrocarburos totales	No se establece un valor guía específico
Color aparente	Acceptable (sin alteraciones visibles)

**Anexo 18. Clasificación del nivel de riesgo según su acción y plazo de implantación.**

Tabla 1:

		SEVERIDAD		
		Baja	Media	Alta
PROBABILIDAD	Baja	Trivial	Tolerable	Moderado
	Media	Tolerable	Moderado	Alto
	Alta	Moderado	Alto	Muy alto

Fuente: Coordinación CAE (2023)

Tabla 2:

Nivel de riesgo	Acción	Plazo implantación
Riesgo trivial	No se requiere acción específica	NA
Riesgo tolerable	No se necesita la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.	Hasta 2 años
Riesgo moderado	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.	Hasta 1 año
Riesgo alto	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.	Hasta 6 meses, pero mientras medidas de control
Riesgo muy alto	No debe comenzarse ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.	Inmediato

Fuente: Coordinación CAE (2023)