



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO: INGENIERO CIVIL

TEMA

"ANÁLISIS Y EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL CANAL GUABITAL

DEL CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ"

AUTOR:


RUEDA JACOME IVÁN RODRIGO

TUTOR:

ING. HORACIO CEDEÑO MUÑOZ, MSC.

DICIEMBRE 2024

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

 Uleam UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-01-F-010
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO	REVISIÓN: 2 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

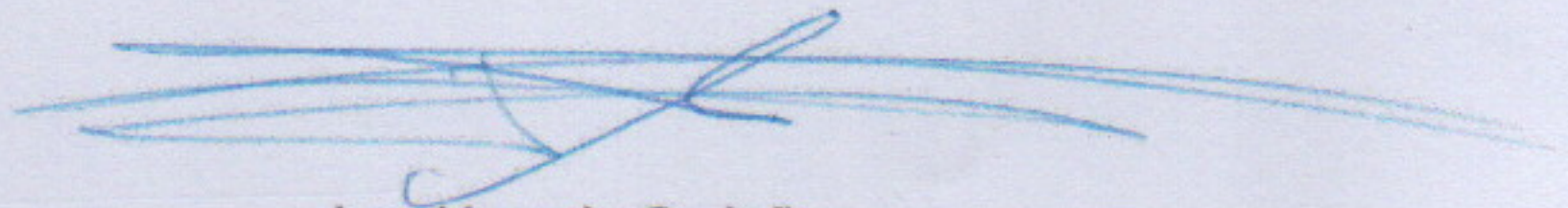
Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría del estudiante Rueda Jácome Iván Rodrigo, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Civil, cumpliendo el total de 420 horas, bajo la opción de titulación de investigación, cuyo tema del proyecto es *"Análisis y evaluación hidráulica del canal Guabital del cantón Rocafuerte, provincia de Manabí"*.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 02 de diciembre de 2024.

Lo certifico,



Ing. Horacio Cedeño
Docente Tutor
Área: Sanitaria-Hidráulica

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que el siguiente trabajo de titulación en la modalidad "Proyecto de Investigación" es de nuestra autoría. Las concepciones tomadas de diferentes autores se encuentran debidamente citados y se incluyen en las referencias bibliográficas. El análisis de resultados y las conclusiones expuestas son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Manta, Diciembre de 2024



Nombre: Rueda Jacome Iván Rodrigo
CI. 172075848-9

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL CANAL GUABITAL DEL CANTÓN ROCAFUERTE, MANABÍ" elaborado por el egresado: RUEDA JÁCOME IVÁN RODRIGO de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERO CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. Carlos Delgado Castro. Mg
Miembro del tribunal

Ing. Javier Baque Solís. Mg
Miembro del tribunal

Ing. Alex Junqui Cedeño. Mg
Miembro del tribunal

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con mucho cariño y gratitud a mis padres, quienes me han brindado su apoyo incondicional, amor y sabiduría a lo largo de toda mi vida. Sin su guía, paciencia y sacrificio, este logro no habría sido posible.

A mis profesores y compañeros de la universidad, gracias por su colaboración, enseñanzas y por los momentos compartidos que han enriquecido esta etapa tan significativa de mi vida.

Finalmente, a todos los que, de alguna forma, me han impulsado a continuar persiguiendo mis sueños y a nunca rendirme ante los obstáculos, esta tesis es un reflejo de su apoyo constante.

Rueda Jacome Iván Rodrigo

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), por brindarme la oportunidad de formar parte de su comunidad académica. A lo largo de mi formación, he recibido no solo conocimientos valiosos, sino también una excelente formación humana que me ha permitido crecer tanto profesional como personalmente.

Mi agradecimiento especial va dirigido a todos mis profesores, cuya dedicación y pasión por la enseñanza han sido fuente constante de inspiración. Gracias por compartir su sabiduría y por su incansable apoyo a lo largo de mi carrera, especialmente durante el proceso de elaboración de esta tesis.

Agradezco también a mis familiares y amigos, por su paciencia, comprensión y aliento en todo momento. Su apoyo incondicional ha sido fundamental para llegar hasta aquí.

Finalmente, mi reconocimiento a todos los que, de alguna manera, han contribuido al éxito de este proyecto.

Rueda Jacome Iván Rodrigo

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo realizar un análisis y evaluación hidráulica del Canal Guabital, ubicado en el cantón Rocafuerte, provincia de Manabí, con el fin de determinar su capacidad de conducción, eficiencia en el manejo del recurso hídrico y su impacto en las actividades agrícolas de la zona. Este canal es de gran importancia para la irrigación de las tierras agrícolas locales, por lo que es esencial garantizar su óptimo funcionamiento.

Para llevar a cabo el análisis, se utilizaron métodos de cálculo hidráulico aplicados a la medición de variables como el caudal, la velocidad del flujo. Asimismo, se realizaron estudios sobre la distribución y la calidad del agua, teniendo en cuenta parámetros físicos, químicos y biológicos.

Los resultados obtenidos permitieron identificar diversas áreas de mejora en cuanto a la eficiencia del canal, como la necesidad de mantenimiento en tramos específicos, la optimización del flujo para evitar pérdidas por filtración, y la implementación de estrategias para reducir el impacto ambiental causado por el canal.

Este estudio también proporcionó recomendaciones para mejorar la gestión del agua, optimizando su uso en las actividades agrícolas y contribuyendo a la sostenibilidad del sistema de riego. Se concluye que, a través de un adecuado mantenimiento y de la implementación de medidas técnicas, el Canal Guabital puede mejorar significativamente su desempeño hidráulico, garantizando una mayor eficiencia en el uso del agua para los cultivos en la región.

PALABRAS CLAVES: Agua, Aguas residuales, Parámetros de calidad de agua.

ABSTRACT

The objective of this research is to carry out a hydraulic analysis and evaluation of the Guabital Canal, located in the Rocafuerte canton, province of Manabí, in order to determine its conduction capacity, efficiency in the management of water resources and its impact on agricultural activities. of the area. This canal is of great importance for the irrigation of local agricultural lands, so it is essential to ensure its optimal functioning.

To carry out the analysis, hydraulic calculation methods were used applied to the measurement of variables such as flow rate and flow speed. Likewise, studies were carried out on the distribution and quality of water, taking into account physical, chemical and biological parameters.

The results obtained allowed us to identify various areas of improvement in terms of the efficiency of the canal, such as the need for maintenance in specific sections, the optimization of the flow to avoid losses due to filtration, and the implementation of strategies to reduce the environmental impact caused by the canal.

This study also provided recommendations to improve water management, optimizing its use in agricultural activities and contributing to the sustainability of the irrigation system. It is concluded that, through adequate maintenance and the implementation of technical measures, the Guabital Canal can significantly improve its hydraulic performance, guaranteeing greater efficiency in the use of water for crops in the region.

KEYWORDS: Water, Wastewater, Water quality parameters.

INDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
CAPITULO I.....	16
1. ESTADO DEL ARTE.....	16
1.1. Agua.....	16
1.2. Calidad del Agua.....	16
1.2.1. Factores que afectan la calidad del agua:	16
1.2.2. Normativas y estándares.....	17
1.3. Parámetros Físicos del Agua.....	17
1.4. Parámetros Químicos del Agua.....	19
1.5. Definición de Agua Residual.....	21
1.5.1. Clasificación de Aguas Residuales.....	21
1.6. Hidráulica de Canales Abiertos.....	23
1.7. Marco Legal.....	24
CAPITULO II.....	27
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1. Metodología de la Investigación.....	27

2.1.1.	Tipo de Investigación	27
2.1.2.	Diseño de la Investigación.....	27
2.2.	Área de Estudio	28
2.3.	Característica de la Zona de estudio.....	29
2.4.	Análisis físicos y químicos del canal Guabital.....	29
2.4.1.	Materiales y Equipos.....	29
2.5.	Plan de Muestreo.....	30
2.5.1.	Frecuencia de Muestreo.....	31
2.5.2.	Análisis de Laboratorio.....	31
2.5.3.	Tipo de Muestras y Condiciones De Muestreo.....	31
2.5.3.1.	Condiciones para la recolección de Muestreo.....	32
2.5.3.2.	Manejo de Muestra.....	32
2.6.	Procedimiento de Laboratorio.....	33
CAPÍTULO III		37
3.	RESULTADO.....	37
3.1.	Resultados Físicos-Químicos y Biológicos del canal Guabital.....	37
3.2.	Interpretación de Resultados.....	38
3.2.1.	Solidos Totales Disueltos.....	38
3.2.2.	Dureza Total.....	39
3.2.3.	Hierro.....	40
3.2.4.	PH.....	41
3.2.5.	Cloruros.....	41

3.2.6. Sodio.....	42
3.2.7. Manganeso.....	43
3.2.8. Magnesio.	44
3.2.9. Fosfato.	45
3.2.10. Calcio.....	46
3.2.11. Sólidos Totales Suspendidos.	47
3.2.12. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	47
3.2.13. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	48
3.3. Evaluación de la capacidad de los factores críticos canal.	49
3.3.1. Factores Críticos Identificados	49
3.4. Análisis de los factores críticos del canal Guabital.	52
CAPITULO IV	54
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	54
4.1. Conclusiones.....	54
4.2. Recomendaciones	55
REFERENCIA.....	56
ANEXO	59

ÍNDICE DE TABLA.

Tabla 1: Indicadores de conductividad eléctrica en el agua.	18
Tabla 2: Ubicación del Sector El Guabital.	29
Tabla 3: Materiales y equipos empleados.	30
Tabla 4: Frecuencia de Muestreo.	31
Tabla 5: Manejo de Muestras.	32
Tabla 6: Resultados de Laboratorio.	37
Tabla 7: Resultado de parámetros Solidos Disueltos.	39
Tabla 8: Resultados de parámetros Dureza total.	39
Tabla 9: Resultados de parámetros de Hierro.	40
Tabla 10: Resultados de parámetros de PH.	41
Tabla 11: Resultados de parámetros de Cloruro.	42
Tabla 12: Resultados de parámetros de Sodio.	43
Tabla 13: Resultados de parámetros de Manganeso.	44
Tabla 14: Resultados de parámetros de Magnesio.	44
Tabla 15: Resultados de parámetros de Fosfato.	45
Tabla 16: Resultados de parámetros de Calcio.	46
Tabla 17: Resultados de parámetros de Solidos Totales Suspendidos.	47
Tabla 18: Resultados de parámetros de DQO.	48
Tabla 19: Resultados de parámetros de DQO5.	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1: Sector El Guabital.	29
Ilustración 2: Sector Canal Guabital.	59
Ilustración 3: Recolección de muestras.	59

INTRODUCCIÓN

El canal Guabital, ubicado en el cantón Rocafuerte, provincia de Manabí, desempeña un papel crucial en la distribución de agua para riego agrícola y otras actividades económicas en la región. Como parte de una infraestructura hidráulica esencial, el canal no solo asegura el abastecimiento hídrico para cultivos, sino que también contribuye al desarrollo socioeconómico local, beneficiando a comunidades rurales cuya economía depende principalmente de la agricultura.

En los últimos años, las demandas crecientes de agua, junto con factores como el cambio climático, la sedimentación y el deterioro de la infraestructura, han planteado desafíos significativos para el manejo y operación del canal. Estas problemáticas afectan tanto la eficiencia hidráulica como la calidad del agua transportada, generando repercusiones negativas en la productividad agrícola y el equilibrio ambiental. Por ello, es fundamental realizar un análisis técnico que permita evaluar el estado hidráulico del canal y proponer medidas correctivas o preventivas que optimicen su funcionamiento.

Este estudio tiene como objetivo analizar y evaluar los parámetros hidráulicos del canal Guabital, considerando tanto su capacidad de conducción como las condiciones de operación actuales. Asimismo, se examinará la calidad del agua, tomando en cuenta parámetros físico-químicos y biológicos, y comparándolos con normativas nacionales e internacionales aplicables. La investigación no solo busca generar un diagnóstico detallado, sino también proporcionar recomendaciones prácticas que garanticen el uso sostenible del recurso hídrico en la zona.

En este contexto, el análisis y evaluación del canal Guabital representan una oportunidad para fortalecer la gestión integrada de los recursos hídricos en el cantón Rocafuerte, promoviendo el desarrollo agrícola y ambiental sostenible.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El canal Guabital, localizado en el cantón Rocafuerte de la provincia de Manabí, constituye una infraestructura hidráulica esencial para el suministro de agua destinada a actividades agrícolas, que representan el principal sustento económico de la región. Sin embargo, en los últimos años, el canal ha enfrentado diversos desafíos que comprometen su capacidad de operación y el aprovechamiento óptimo del recurso hídrico.

Entre los principales problemas detectados se encuentran la acumulación de sedimentos, pérdidas de agua por infiltraciones, y una disminución en la calidad del agua debido a la incorporación de contaminantes de origen agrícola, doméstico e incluso industrial. Estas problemáticas no solo reducen la eficiencia hidráulica del canal, sino que también afectan directamente a la productividad agrícola, incrementando los costos operativos para los agricultores y generando un impacto negativo en el equilibrio ambiental.

Adicionalmente, la falta de mantenimiento periódico, el deterioro de la infraestructura, y el manejo inadecuado del recurso hídrico han intensificado los conflictos por el uso del agua en épocas de escasez, perjudicando tanto a los productores agrícolas como a las comunidades que dependen de este canal. Esta situación se ve agravada por el cambio climático, que provoca alteraciones en los patrones de precipitación y aumenta la vulnerabilidad de los sistemas de riego.

Frente a este contexto, surge la necesidad de realizar un análisis detallado y una evaluación integral del canal Guabital. Esto implica no solo identificar las deficiencias hidráulicas y de calidad del agua, sino también proponer soluciones técnicas y sostenibles que permitan optimizar su funcionamiento. Abordar estos problemas es esencial para garantizar un uso eficiente y equitativo del recurso hídrico, contribuyendo al desarrollo agrícola y al bienestar de las comunidades locales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar un análisis y evaluación hidráulica del canal Guabital en el Cantón Rocafuerte, Manabí, con el fin de diagnosticar su estado actual, identificar limitaciones en su capacidad de distribución de agua.

Objetivos Específicos

- Recopilar datos en campo y bibliográficos sobre la capacidad hidráulica actual del canal Guabital.
- Identificar los factores críticos que afectan la eficiencia del canal, como la acumulación de sedimentos, filtraciones, erosión de las orillas, y problemas estructurales que interfieren con la distribución adecuada del agua.
- Determinar el impacto del estado actual del canal en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico para la comunidad y las áreas agrícolas del Cantón Rocafuerte, analizando el suministro durante diferentes épocas del año.

JUSTIFICACIÓN

El canal Guabital, ubicado en el Cantón Rocafuerte, Manabí, constituye una infraestructura fundamental para el abastecimiento de agua en esta región, especialmente para la actividad agrícola que sustenta la economía local. Sin embargo, el deterioro progresivo de este canal, junto con los desafíos de mantenimiento, ha generado serias limitaciones en su capacidad para distribuir el recurso hídrico de manera eficiente y sostenible. En épocas de escasez de agua, la falta de una infraestructura óptima intensifica la competencia por este recurso, lo que afecta tanto a la producción agrícola como a la calidad de vida de las comunidades locales que dependen del canal para sus necesidades básicas.

Realizar un análisis y evaluación hidráulica del canal Guabital es fundamental para comprender las condiciones actuales de esta infraestructura, detectar los problemas críticos que limitan su funcionamiento y diseñar soluciones técnicas efectivas. Este estudio permitirá obtener datos específicos sobre el estado estructural, el caudal, la velocidad del flujo y las pérdidas de agua, y brindará una base sólida para planificar intervenciones de mejora que incrementen su capacidad y eficiencia.

Además, esta evaluación contribuirá a una gestión sostenible del recurso hídrico en el Cantón Rocafuerte, lo cual es vital en un contexto de cambio climático y variabilidad de las precipitaciones, factores que agravan los problemas de disponibilidad de agua. Implementar mejoras en el canal beneficiará directamente a los agricultores locales, incrementando la productividad agrícola y la seguridad alimentaria de la región, además de fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a posibles crisis hídricas futuras.

Por lo tanto, este trabajo no solo aporta soluciones prácticas para mejorar el rendimiento hidráulico del canal Guabital, sino que también representa un paso hacia una gestión integral y sostenible de los recursos hídricos en Manabí, impactando positivamente la economía local y la calidad de vida de sus habitantes.

CAPITULO I

1. ESTADO DEL ARTE.

1.1. Agua.

El **agua** es una sustancia esencial para la vida en la Tierra. Compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O), se encuentra en diferentes estados físicos: líquido, sólido y gas. El agua cumple múltiples funciones en los ecosistemas, incluyendo la regulación del clima, el transporte de nutrientes y la provisión de un hábitat para una variedad de especies. Además, es indispensable para el consumo humano, la agricultura, la industria y la generación de energía. "El agua es una sustancia fundamental para la vida en el planeta, pues no solo compone la mayor parte del cuerpo de los seres vivos, sino que también es indispensable para procesos ecológicos, sociales y económicos" (Fernández, 2020, p. 45).

1.2. Calidad del Agua.

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas del agua que determinan su adecuación para un propósito específico, como el consumo humano, la agricultura, la recreación o los procesos industriales. Factores como el pH, la turbidez, la presencia de metales pesados, microorganismos y nutrientes (por ejemplo, nitratos y fosfatos) son esenciales para evaluar su calidad.

1.2.1. Factores que afectan la calidad del agua:

- **Contaminación química:** Por pesticidas, metales pesados (como plomo y mercurio) y contaminantes industriales.

- **Contaminación biológica:** Bacterias, virus y parásitos que pueden causar enfermedades.
- **Parámetros físicos:** Temperatura y turbidez, que afectan el uso del agua.
- **Contaminantes emergentes:** Micro plásticos y residuos de medicamentos que representan nuevos desafíos ambientales.

1.2.2. Normativas y estándares.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece lineamientos globales para la calidad del agua potable, considerando la presencia de contaminantes que afectan la salud humana. Por ejemplo, el límite máximo de nitratos en agua potable es de 50 mg/Lco, la NOM-127-SSA1-2021 regula la calidad del agua destinada para consumo humano, abordando tanto contaminantes químicos como microbiológicos. (OMS,2017)

1.3. Parámetros Físicos del Agua.

Los parámetros físicos del agua son características que pueden observarse o medirse sin alterar la composición química del agua. Son esenciales para determinar su calidad, especialmente en términos de su uso para consumo humano, agricultura o recreación. Entre los más importantes se incluyen:

1. Temperatura

La temperatura afecta significativamente la solubilidad de gases como el oxígeno y la velocidad de las reacciones químicas en el agua. Altas temperaturas disminuyen la cantidad de oxígeno disuelto, lo que puede perjudicar los ecosistemas acuáticos (Chapman & Kimstach, 1996).

2. Turbidez

La turbidez mide la claridad del agua, influenciada por partículas suspendidas como sedimentos, microorganismos y materia orgánica. Altos niveles de turbidez pueden reducir la penetración de luz, afectando la fotosíntesis en ecosistemas acuáticos (WHO, 2017).

3. Color

El color del agua puede ser indicador de contaminantes naturales, como materia orgánica disuelta, o de contaminación antropogénica, como descargas industriales. Aunque el color no siempre afecta directamente la salud, puede influir en la aceptabilidad estética del agua (Secretaría de Salud, 2021).

4. Olor y sabor

El agua debe ser incolora, insípida e inodora para considerarse apta para el consumo humano. La presencia de olores o sabores desagradables puede indicar contaminación por compuestos orgánicos o inorgánicos (WHO, 2017).

5. Conductividad eléctrica

Este parámetro mide la capacidad del agua para conducir electricidad, directamente relacionada con la concentración de sales disueltas. Valores altos pueden indicar contaminación por sales o minerales (Chapman & Kimstach, 1996).

Tabla 1: Indicadores de conductividad eléctrica en el agua.

Nivel	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Aplicación
Agua ultrapura	< 0.1	Uso en laboratorios y procesos industriales.
Agua potable	50 – 500	Indicador de agua segura para consumo humano.

Agua de riego	250 – 2000	Según tolerancia de los cultivos.
Agua salobre	2000 – 10000	Uso limitado, como para ciertos sistemas agrícolas
Agua de mar	~50000	Naturalmente rica en sales y minerales.

1.4. Parámetros Químicos del Agua.

Los parámetros químicos del agua son esenciales para evaluar su calidad y garantizar que sea apta para diversos usos, como consumo humano, riego, actividades industriales y protección de ecosistemas acuáticos. A continuación, se describen los principales parámetros químicos:

1. pH

El pH mide la acidez o alcalinidad del agua. Un pH entre 6.5 y 8.5 es ideal para la mayoría de los usos humanos. Fuera de este rango, puede ser perjudicial para los organismos acuáticos y afectar la corrosión de tuberías. (APHA,2017)

2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua. Es un indicador clave de contaminación orgánica. (Metcalf & Eddy,2014).

3. Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es vital para la vida acuática. Su concentración óptima es mayor a 5 mg/L; niveles más bajos pueden causar hipoxia y la muerte de organismos. (Wetzel, R,2001).

4. Nitratos y Nitritos (NO_3^- y NO_2^-)

Estos compuestos indican contaminación por actividades agrícolas o aguas residuales. Concentraciones elevadas pueden causar eutrofización y problemas de salud como el "síndrome del bebé azul". (WHO, 2017)

5. Fosfatos (PO_4^{3-})

Los fosfatos son un nutriente esencial, pero en exceso promueven el crecimiento descontrolado de algas (eutrofización). Su origen suele estar relacionado con fertilizantes y detergentes. (Chapra S, 1997).

6. Cloruros (Cl^-)

Los cloruros en exceso pueden conferir un sabor salado al agua y ser indicativos de contaminación industrial o intrusión salina. El límite recomendado es de 250 mg/L. (EPA, 2023).

7. Metales Pesados (Pb, Hg, Cd, Cr, As)

Incluso en bajas concentraciones, los metales pesados pueden ser tóxicos para la salud humana y los ecosistemas. La exposición prolongada puede provocar enfermedades crónicas. (Alloway, B, 2013)

8. Alcalinidad

La alcalinidad mide la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Valores óptimos ayudan a mantener un pH estable y proteger los ecosistemas acuáticos. (Sawyer C & Parkin G., 2003).

9. Dureza

La dureza del agua se debe a la presencia de iones de calcio y magnesio. Aunque no es peligrosa para la salud, puede causar incrustaciones en tuberías y equipos.

(Stumm W & Morgan, 2012).

1.5. Definición de Agua Residual.

El agua residual es aquella que, después de ser utilizada en diversas actividades humanas, presenta una alteración en su calidad debido a la incorporación de contaminantes. Estas aguas pueden clasificarse en función de su origen, como domésticas (provenientes de viviendas y establecimientos residenciales), industriales (generadas por procesos productivos) y agrícolas (derivadas de actividades relacionadas con el riego y manejo de cultivos). Los contaminantes presentes en las aguas residuales incluyen sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes (como nitrógeno y fósforo), metales pesados, productos químicos peligrosos y microorganismos patógenos, lo que puede representar riesgos significativos para la salud pública y el medio ambiente si no se tratan adecuadamente.

El tratamiento de aguas residuales es esencial para remover estos contaminantes y garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos antes de ser reutilizada o devuelta a cuerpos de agua naturales. Este proceso incluye diversas etapas, como tratamientos físicos, químicos y biológicos, dependiendo del nivel de contaminación y del uso posterior previsto para el agua. *(Metcalf & Eddy, 2014).*

1.5.1. Clasificación de Aguas Residuales.

a) Según su origen

Aguas residuales domésticas:

- Proviene de actividades humanas en hogares, oficinas y establecimientos residenciales.
- Contienen materia orgánica, detergentes, grasas y microorganismos patógenos.
- Ejemplo: Efluentes de baños, cocinas y lavanderías.

Aguas residuales industriales:

- Generadas por procesos industriales y productivos.
- Composición variable según el tipo de industria, incluyendo metales pesados, ácidos, bases y sustancias químicas específicas.
- Ejemplo: Efluentes de fábricas, talleres mecánicos y plantas químicas.

Aguas residuales agrícolas:

- Derivan de actividades agrícolas, como riego, drenaje de cultivos y ganadería.
- Contienen pesticidas, fertilizantes, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y materia orgánica.
- Ejemplo: Escorrentías de campos cultivados.

Aguas pluviales contaminadas:

- Agua de lluvia que recoge contaminantes al pasar por superficies urbanas o industriales.
- Puede contener hidrocarburos, sedimentos y metales pesados.

b) Según su composición

Aguas residuales orgánicas:

- Contienen altos niveles de materia orgánica biodegradable.
- Ejemplo: Residuos de alimentos, aceites y grasas.

Aguas residuales inorgánicas:

- Predominan los contaminantes inorgánicos, como sales, metales pesados y productos químicos.
- Ejemplo: Efluentes de la industria minera o química.

Aguas residuales mixtas:

- Combinan contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- Ejemplo: Efluentes municipales que mezclan aguas domésticas e industriales.

1.6. Hidráulica de Canales Abiertos.

La hidráulica de canales abiertos estudia el comportamiento de flujos donde el agua está en contacto con la atmósfera, lo cual influye en variables como el caudal, la pendiente, y la rugosidad del lecho del canal (*Chow, 1959*). Los principios de flujo en canales abiertos, que incluyen el flujo uniforme, subcrítico y supercrítico, son esenciales para analizar y diseñar canales de riego como el canal Guabital. El tipo de flujo está determinado por el número de Froude (Fr), que relaciona la energía cinética y la energía gravitacional del flujo. Un flujo se considera subcrítico si $Fr < 1$, crítico si $Fr = 1$, y supercrítico si $Fr > 1$ (*Henderson, 1966*).

Para evaluar el caudal en canales abiertos, se utiliza ampliamente la **Ecuación de Manning**, que permite estimar la velocidad del flujo en función de la rugosidad del lecho (n), el radio hidráulico (R) y la pendiente del canal (S). Esta ecuación se expresa como:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

donde V es la velocidad promedio del flujo (Chow, 1959). La ecuación de Manning se emplea comúnmente en el diseño de canales de riego debido a su simplicidad y precisión para diversas condiciones de flujo y características de canales no revestidos o revestidos (Arcement & Schneider, 1989).

1.7. Marco Legal.

El agua es un recurso estratégico y esencial para la vida, reconocido como un derecho fundamental en el Ecuador. La Constitución de la República, promulgada en 2008, establece un marco legal amplio para garantizar la calidad del agua, promover su uso sostenible y regular su gestión en diferentes contextos, como el agua potable, las aguas residuales y el agua de riego. Este marco legal integra principios de justicia hídrica, sostenibilidad ambiental y participación comunitaria en la gestión de los recursos hídricos. (*Constitución de la República, 2008*).

a) Calidad del Agua

La Constitución destaca que la calidad del agua debe ser suficiente para satisfacer las necesidades humanas y ambientales.

- **Artículo 12:** Declara al agua como un derecho humano irrenunciable y fundamental, destacando que todas las personas tienen derecho a acceder a este recurso en cantidad y calidad suficiente. Este derecho está intrínsecamente ligado a la dignidad humana y al bienestar social.
- **Artículo 318:** Define al agua como un patrimonio estratégico del Estado, garantizando su gestión pública o comunitaria. El Estado tiene la obligación de implementar políticas que aseguren la preservación de la calidad del agua, priorizando su disponibilidad para el consumo humano. Esto implica la regulación de actividades que puedan contaminar las fuentes hídricas, como la minería, la industria y la agricultura.

b) Agua Residual

Las aguas residuales representan un desafío significativo para la calidad del agua y el equilibrio ambiental. La Constitución establece principios claros para su manejo y control:

- **Artículo 14:** Reconoce el derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, lo que incluye la protección de los cuerpos de agua contra la contaminación por descargas de aguas residuales. Este principio se traduce en la responsabilidad del Estado y de las empresas privadas de prevenir, controlar y mitigar los impactos ambientales causados por la contaminación hídrica.
- **Artículo 396:** Dispone que toda actividad que genere daño ambiental, incluida la contaminación de fuentes hídricas por aguas residuales, debe ser remediada. Además, las personas o entidades responsables están obligadas a asumir los costos de la reparación. Esto incluye la construcción y operación de plantas de

tratamiento de aguas residuales para mitigar el impacto en ríos, canales y otros cuerpos de agua.

La gestión de las aguas residuales es esencial no solo para proteger los ecosistemas, sino también para garantizar la salud pública y el desarrollo sostenible.

c) Agua de Riego

El agua de riego tiene una importancia estratégica en el Ecuador, especialmente en zonas rurales donde la agricultura es la principal fuente de sustento. La Constitución establece disposiciones claras para asegurar la disponibilidad de agua de calidad para actividades agrícolas:

- **Artículo 281:** En el marco de la soberanía alimentaria, se garantiza el acceso al agua para riego, priorizando a los pequeños y medianos productores. Este acceso debe ser equitativo y sostenible, asegurando que el agua destinada al riego cumpla con estándares de calidad que no comprometan la productividad agrícola ni la salud de los consumidores.
- **Artículo 282:** Prohíbe prácticas agrícolas que degraden los suelos o contaminen el agua utilizada para riego. Esto incluye el uso desmedido de fertilizantes y agroquímicos que puedan filtrarse hacia los cuerpos de agua.

El agua para riego debe estar libre de contaminantes que puedan dañar los suelos o los cultivos, contribuyendo a una agricultura sostenible y a la seguridad alimentaria del país.

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Metodología de la Investigación.

La metodología para realizar un Análisis y evaluación hidráulica del canal Guabital del Cantón Rocafuerte, Manabí debe estructurarse en fases que incluyan la recopilación de información de campo, análisis de datos, propuestas de mejora. Este proceso sistemático garantiza que el análisis sea exhaustivo y que los resultados sean aplicables para el diseño y optimización del canal de riego. A continuación, se describe una metodología.

2.1.1. Tipo de Investigación

a) **Enfoque:** Mixto (cualitativo y cuantitativo).

- **Cuantitativo:** Para recopilar y analizar datos hidráulicos y físicos del canal.
- **Cualitativo:** Para evaluar factores socioeconómicos y aspectos subjetivos relacionados con el uso del canal.

b) **Tipo de investigación:** Aplicada y descriptiva.

- Aplicada porque busca resolver un problema específico relacionado con el manejo del canal.
- Descriptiva porque analiza y evalúa características hidráulicas del sistema.

2.1.2. Diseño de la Investigación

El diseño se estructura en cuatro fases principales:

a) **Fase exploratoria**

- Revisión bibliográfica y documental para contextualizar el estado actual del canal y sus antecedentes históricos.
- Reconocimiento preliminar del área de estudio para identificar problemas visibles (sedimentación, fugas, obstrucciones).
- b) Fase de recolección de datos**
 - Trabajo de campo para recopilar información técnica y social.
 - Aplicación de instrumentos de medición y encuestas.
- c) Fase de análisis**
 - Procesamiento de datos mediante herramientas especializadas.
 - Modelación hidráulica para evaluar la capacidad y eficiencia del canal.
- d) Fase de validación**
 - Contraste de los resultados con estándares técnicos y opiniones de expertos.

2.2. Área de Estudio

El área de estudio abarca el canal Guabital, localizado en el Cantón Rocafuerte, provincia de Manabí. Las características clave del área incluyen:

- **Clima:** Tropical seco con períodos de lluvias estacionales que afectan el caudal del canal.
- **Uso del agua:** Mayormente agrícola, con algunos usos secundarios como el abastecimiento doméstico.
- **Problemas conocidos:** Sedimentación, pérdida de capacidad de conducción y deterioro estructural.

2.3. Característica de la Zona de estudio.

El sector El Guabital pertenece a la región litoral o Costa, situada en el Cantón Rocafuerte Provincia de Manabí, Zona de Planificación 4, cuenta con 1.72 HA, podemos visualizar en la tabla 2, las coordenadas geo-referenciales del sector.

Ilustración 1: Sector El Guabital.



Fuente: Google Earth.

Tabla 2: Ubicación del Sector El Guabital.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
Guabital	0°53'54.23"S	80°27'12.30"O	13m

Elaborado por: Rueda Jacome Iván

2.4. Análisis físicos y químicos del canal Guabital.

2.4.1. Materiales y Equipos.

Los materiales y equipos utilizados en la investigación in situ, además se tomó en cuenta para las pruebas de laboratorio y oficina se detallan a continuación, visualizaremos en la tabla 3.

Tabla 3: Materiales y equipos empleados.

MATERIALES DE CAMPO	LABORATORIO	OFICINA	INSTRUMENTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Mascarillas • Baldes • Botas • Guantes quirúrgicos • Guantes de caucho • Frasco plástico • Apoya manos • Hielera portátil • Materiales de aforo 	<ul style="list-style-type: none"> • Reactivos para análisis de aguas • Espectrofotómetro • Placas Petri • Cámara de flujo • Laminar Digestor para DQO • Respirometro para DBO5 • Incubadora para DBO5. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Celulares • G.P.S.

Elaborado por: Rueda Jacome Iván

2.5. Plan de Muestreo.

El plan de muestreo es esencial para garantizar que los datos recolectados en el canal Guabital sean representativos y permitan un análisis técnico confiable. Este plan incluye la determinación de las áreas de estudio, las variables a medir, los métodos de selección de muestra y los recursos necesarios.

La selección de puntos de muestreo es crucial para obtener datos representativos que permitan evaluar de manera adecuada las condiciones hidráulicas y estructurales del canal Guabital. La metodología para identificar estos puntos sigue criterios geográficos, hidráulicos y operativos.

2.5.1. Frecuencia de Muestreo.

La frecuencia de muestreo es clave para garantizar que los datos recolectados representen adecuadamente las variaciones temporales y espaciales en las condiciones hidráulicas del canal Guabital. Se estableció de manera que, al obtener el primer resultado del lote analizado, sea posible tomar decisiones clave para determinar los parámetros necesarios destinados a la reutilización. Estos parámetros se basan en los criterios de calidad del agua y los estándares para su uso en riego, considerando un intervalo de 15 días entre cada muestra.

Tabla 4: Frecuencia de Muestreo.

FRECUENCIA DE MUESTREO.		
Horario de muestreo	Fecha de muestreo	
(10:00 – 10:30)	Viernes 4 de octubre del 2024	Lote # 1
(10:00 – 10:30)	Viernes 18 de octubre del 2024	Lote # 2

Elaborado por: Rueda Jacome Iván

2.5.2. Análisis de Laboratorio.

Los análisis realizados a las muestras tomadas en el efluente fueron realizados en la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí específicamente en los laboratorios del centro de servicios para el control de calidad “CE.SE.C.CA” perteneciente a la facultad de Ingeniería Industrial.

2.5.3. Tipo de Muestras y Condiciones De Muestreo.

En la investigación se utilizó un tipo de muestra compuesta, ya que este método permite obtener valores más representativos y precisos, minimizando alteraciones en los resultados.

2.5.3.1. Condiciones para la recolección de Muestreo.

Para la recolección de muestras in situ, se siguió un procedimiento estandarizado para evitar alteraciones que pudieran afectar los análisis posteriores en el laboratorio. Se emplearon recipientes plásticos con una capacidad de cuatro litros, previamente esterilizados y sellados para prevenir la contaminación de las muestras. Durante la toma de muestras en el lugar designado, se utilizó un recipiente plástico que fue enjuagado con la misma agua residual, desechando el contenido fuera del sitio de muestreo. Este recipiente fue destinado exclusivamente a esa muestra específica.

2.5.3.2. Manejo de Muestra.

Una vez recolectadas las muestras, se procedió a su manejo siguiendo los protocolos estandarizados para garantizar una manipulación adecuada.

Tabla 5: Manejo de Muestras.

PARÁMETRO	ENVASE	TAMAÑO DE MUESTRA (ML)	TIPO DE MUESTRA	PRESERVACIÓN
DBO	P, V	1000	p, c	Refrigerar
DQO	P, V	100	p, c	Analizar lo más pronto posible
Hierro	P, V	100	p, c	Refrigerar
Zinc	P, V	100	p, c	Analizar inmediatamente
pH	P, V	50	p, c	Analizar inmediatamente
Conductividad	P, V	500	p, c	Refrigerar
Fosfato	P, V	100	p, c	Refrigerar
Nitrito	P, V	200	p, c	Agregar H ₂ SO ₄
Nitrato	P, V	100	p, c	Agregar H ₂ SO ₄
Solidos Suspendidos	P, V	200	p, c	Refrigerar
Solidos totales disueltos	P, V	200	p, c	Refrigerar

Solitos totales	P, V	200	p, c	Refrigerar
Aluminio	P, V		p, c	
Cloruro	P, V	50	p, c	No requiere refrigerar
Manganeso	P, V	100	p, c	Analizar inmediatamente
Níquel	P, V	100	p, c	Refrigerar
Sodio	P, V		p, c	

Fuente: GREENBERG Arnold E. Standard Methods 22 Edition, Apha Awwawef. Washington 2012.

2.6. Procedimiento de Laboratorio.

Detallaremos de la siguiente manera:

1. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- **Método:** Método del dicromato.
- **Materiales:** Tubos de digestión, reactor térmico, espectrofotómetro.
- **Procedimiento:**
 1. Añadir una cantidad medida de muestra a un tubo de digestión.
 2. Agregar ácido sulfúrico con dicromato de potasio como oxidante.
 3. Calentar en el reactor térmico a 150 °C durante 2 horas.
 4. Dejar enfriar y medir la absorbancia en el espectrofotómetro a 600 nm.
- **Cálculo:** Determinar la concentración de DQO usando la curva de calibración.

2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

- **Método:** Método de incubación (5 días).
- **Materiales:** Botellas de incubación de 300 mL, oxímetro o titulador.
- **Procedimiento:**
 1. Llenar una botella de incubación con la muestra diluida.
 2. Medir el oxígeno disuelto inicial (OD0) usando un oxímetro.

3. Incubar la botella a 20 °C durante 5 días en la oscuridad.
4. Medir el oxígeno disuelto final (OD5).

- **Cálculo:**

$$DBO=OD0-OD5$$

3. Cobre (Cu)

- **Método:** Espectrofotometría de absorción atómica.
- **Materiales:** Espectrofotómetro, solución estándar de Cu.
- **Procedimiento:**
 1. Filtrar la muestra si es necesario.
 2. Ajustar el espectrofotómetro a la longitud de onda de 324.8 nm.
 3. Medir la absorbancia de la muestra y compararla con estándares.
- **Cálculo:** Determinar la concentración de Cu mediante la curva de calibración.

4. Potencial Hidrógeno (pH)

- **Método:** Medición directa con potenciómetro.
- **Materiales:** pH-metro calibrado, solución buffer de calibración (pH 4, 7 y 10).
- **Procedimiento:**
 1. Calibrar el pH-metro con las soluciones buffer.
 2. Sumergir el electrodo en la muestra.
 3. Registrar el valor una vez que se estabilice.

5. Sólidos Totales (ST)

- **Método:** Gravimétrico.
- **Materiales:** Crisol de porcelana, balanza analítica, horno de secado.
- **Procedimiento:**

1. Filtrar la muestra y recolectar el residuo en un crisol previamente pesado.
2. Secar el crisol en el horno a 103-105 °C hasta peso constante.
3. Pesar el crisol con el residuo.

- **Cálculo:**

$$ST\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{\text{Peso del residuo (mg)}}{\text{Volumen de la muestra (L)}}$$

6. Cloruros

- **Método:** Titulación con nitrato de plata (método de Mohr).
- **Materiales:** Nitrato de plata 0.0141 N, cromato de potasio, bureta.
- **Procedimiento:**
 1. Añadir cromato de potasio como indicador a la muestra.
 2. Titrar con nitrato de plata hasta que la solución cambie a un color rojizo.

- **Cálculo:**

$$\text{Cloruro}\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{\text{mL de nitrato de plata usados} \times N \times 35.45}{\text{Volumen de la muestra (L)}}$$

7. Sólidos Suspendidos (SS)

- **Método:** Gravimétrico.
- **Materiales:** Filtro de fibra de vidrio, balanza analítica, horno de secado.
- **Procedimiento:**
 1. Filtrar la muestra a través de un filtro prepesado.
 2. Secar el filtro en un horno a 103-105 °C hasta peso constante.
 3. Pesar el filtro con los sólidos retenidos.

- **Cálculo:**

$$SS\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{\text{Peso de sólidos en el filtro (mg)}}{\text{Volumen de la muestra (L)}}$$

Estos métodos son estándares ampliamente utilizados y recomendados en el **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22^a edición, 2012)**.

CAPÍTULO III

3. RESULTADO.

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del canal Guabital es crucial para determinar su calidad de agua y su capacidad para cumplir con los objetivos de riego, abastecimiento y preservación del entorno ecológico. Basados en los resultados obtenidos de los análisis realizados, se presenta una propuesta orientada a mejorar y mantener la calidad del agua del canal.

3.1. Resultados Físicos-Químicos y Biológicos del canal Guabital.

Se realizó el respectivo análisis de los parámetros con el objetivo de evaluar la calidad del agua y determinar su cumplimiento con los estándares establecidos para cuerpos de agua dulce según la normativa vigente en el Ecuador, como el TULSMA. A continuación, se presentan los resultados de los principales parámetros analizados.

Tabla 6: Resultados de Laboratorio.

ENSAYO	UNIDADES	RESULTADOS			LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA RIEGO AGRICOLA	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA AGUA POTABLE
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3		
Coliformes fecales	NMP/100 ml	15	1,8	17	1000	600
Solidos totales disueltos	mg/l	1653	392	821	3000	1000
Dureza Total	mg/l	720	300	400	700	500
Hierro	mg/l	0.03	0.03	0.7	1,0	1,0
Ph a 20 °C	mg/l	7	7.10	7.33	5 a7	6 a 9

Cloruros	mg/l	358	97	139	300	250
Sodio	mg/l	225	32	88	200	200
Sulfatos	mg/l	190	78	100	250	400
Nitratos	mg/l	0.9	0.3	0.25	50,0	10,0
Nitritos	mg/l	0.04	0.02	0.04	0,2	1,0
Manganeso	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	0,1	0,1
Zinc	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	5,0	5,0
Magnesio	mg/l	280	55	130	30	50
Fosfato	mg/l	0.85	0.28	0.57	0,2	0,5
Calcio	mg/l	263	40	181	200	500
Solidos totales suspendidos	mg/l	115	30	70	100	0,45
DQO	mg/l	155	<100	115	150	100
DBO5	mg/l	104	<100	<100	100	2,0

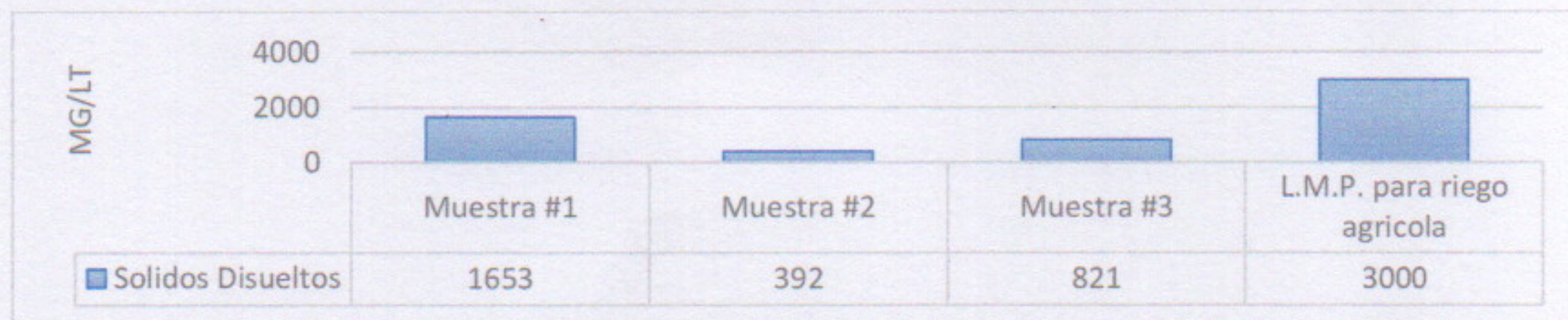
3.2. Interpretación de Resultados.

Este estudio se evaluó los parámetros fisicoquímicos del agua, tomando como referencia los valores estipulados para cuerpos de agua dulce según las normas TULSMA. Los resultados obtenidos se contrastarán con los estándares establecidos en estas regulaciones donde proporciona una visión integral de su calidad, identificando las condiciones actuales y su idoneidad para el riego, el mantenimiento de ecosistemas, y otros usos.

3.2.1. Solidos Totales Disueltos.

Los sólidos totales disueltos (TDS, por sus siglas en inglés) son una medida de la cantidad total de sustancias inorgánicas y orgánicas disueltas en el agua. Estos incluyen sales minerales, metales, y compuestos orgánicos que permanecen en solución después de filtrar partículas suspendidas. Los TDS se expresan comúnmente en miligramos por litro (mg/L) y son un indicador clave de la calidad del agua para usos como el consumo humano, la agricultura y los procesos industriales. (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabla 7: Resultado de parámetros Sólidos Disueltos.



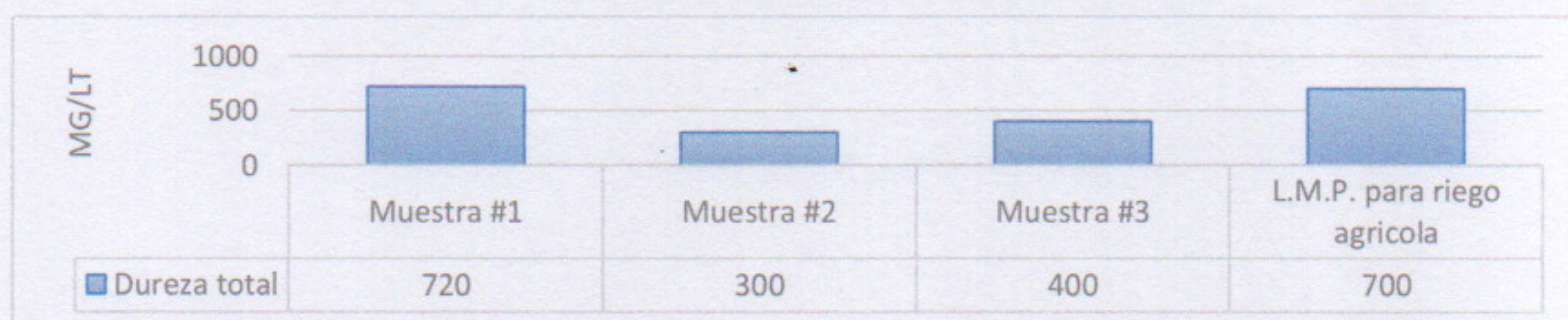
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de sólidos disueltos presentes en el agua residual de la primera muestra da como resultado 1653 mg/l, para la segunda muestra 392 mg/l y para la tercera muestra 821 mg/l. Dado estos datos este parámetro **CUMPLE** con el límite de máximo permisible para la muestra #1, muestra #2 y muestra #3

3.2.2. Dureza Total.

La dureza total del agua es una medida de la concentración de cationes multivalentes, principalmente calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), que se encuentran disueltos en el agua. Esta propiedad se expresa generalmente en miligramos por litro (mg/L) de carbonato de calcio (CaCO_3) y afecta tanto las propiedades fisicoquímicas del agua como su comportamiento en sistemas domésticos e industriales. Un agua con alta dureza puede formar incrustaciones en tuberías y sistemas de calefacción, mientras que un agua con baja dureza puede ser corrosiva. (Sawyer, McCarty & Parkin, 2003).

Tabla 8: Resultados de parámetros Dureza total.



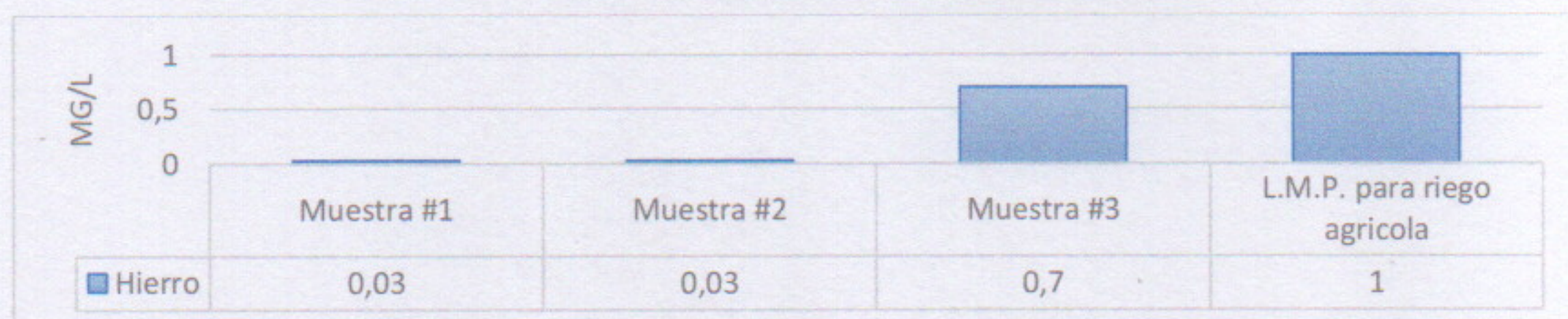
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de Dureza total presentes en el agua residual de la primera muestra da como resultado 720 mg/l, para la segunda muestra 300 mg/l y para la tercera muestra 400 mg/l. Dado estos datos este parámetro **CUMPLE** con el límite de máximo permisible para muestra #2 y muestra #3 y **NO CUMPLE** para muestra #1.

3.2.3. Hierro.

El hierro en el agua es un metal que puede encontrarse de forma natural debido a la disolución de minerales en suelos y rocas, o como resultado de actividades antropogénicas como descargas industriales y corrosión de tuberías. Este elemento puede presentarse en diferentes formas químicas, como hierro ferroso (Fe^{2+}), hierro férrico (Fe^{3+}) o en partículas suspendidas. Su concentración es un indicador clave de la calidad del agua, ya que niveles elevados pueden afectar el sabor, el color y la potabilidad del agua, además de provocar manchas en superficies y problemas operativos en sistemas de distribución (*World Health Organization, 2011*).

Tabla 9: Resultados de parámetros de Hierro.



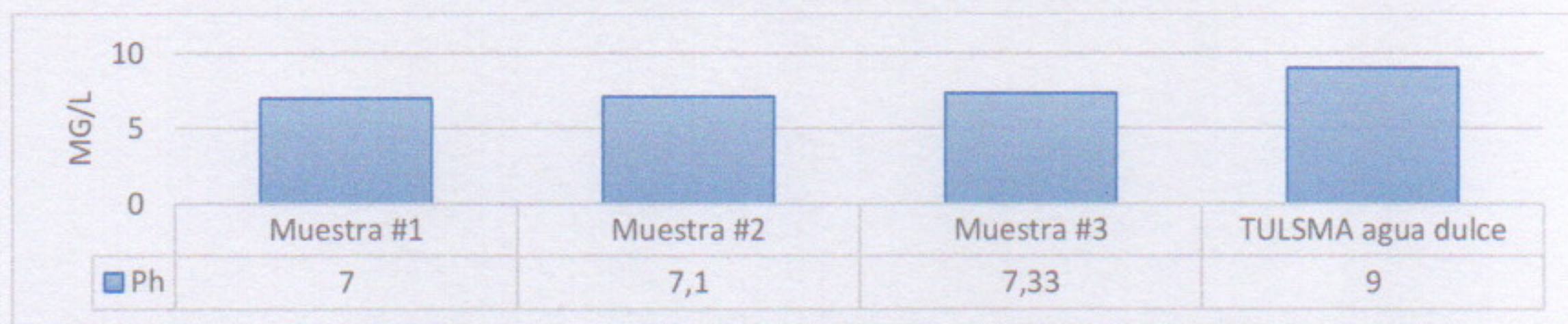
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El valor de obtenido dentro de la primera muestra es de 0.03 mg/l, para la segunda muestra 0.03 mg/l y tercera muestra 0.7 mg/l, el valor de tolerancia es de 1 mg/l. El hierro es considerado con un metal pesado según las normas TULSMAS. Dando como resultado que **CUMPLE** con el límite máximo permisible en las tres muestras.

3.2.4. PH.

El pH del agua es una medida que indica la concentración de iones hidrógeno (H^+) en una solución acuosa, lo que determina su carácter ácido o básico. Este parámetro es crucial para procesos químicos y biológicos en el agua, ya que influye en la solubilidad de nutrientes y contaminantes, así como en la toxicidad de ciertos metales pesados. El pH del agua natural puede variar debido a la interacción con minerales, materia orgánica, o actividades humanas, y se utiliza comúnmente como un indicador de la calidad del agua (Sawyer, McCarty & Parkin, 2003).

Tabla 10: Resultados de parámetros de PH.



Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El pH óptimo para los efluentes de agua dulce debe mantenerse entre 6 y 9, lo que corresponde a un rango de neutralidad a ligera alcalinidad, siendo 9 el límite máximo aceptado. Los datos analizados indican que no se presentan alteraciones significativas, lo que asegura que el pH se encuentra dentro del rango de tolerancia establecido. Por lo tanto **CUMPLE** en la muestra #1, muestra #2 y muestra #3.

3.2.5. Cloruros.

Los cloruros en el agua son compuestos químicos derivados del ion cloruro (Cl^-), que pueden encontrarse de manera natural debido a la disolución de minerales en el suelo o por la intrusión de agua salina. También pueden provenir de fuentes antropogénicas,

como descargas industriales, aguas residuales, o el uso de sales en procesos de deshielo. Aunque generalmente no representan un riesgo para la salud en bajas concentraciones, niveles elevados pueden afectar el sabor del agua, causar corrosión en tuberías, y limitar su uso agrícola debido a la salinización de los suelos (WHO, 2017).

Tabla 11: Resultados de parámetros de Cloruro.



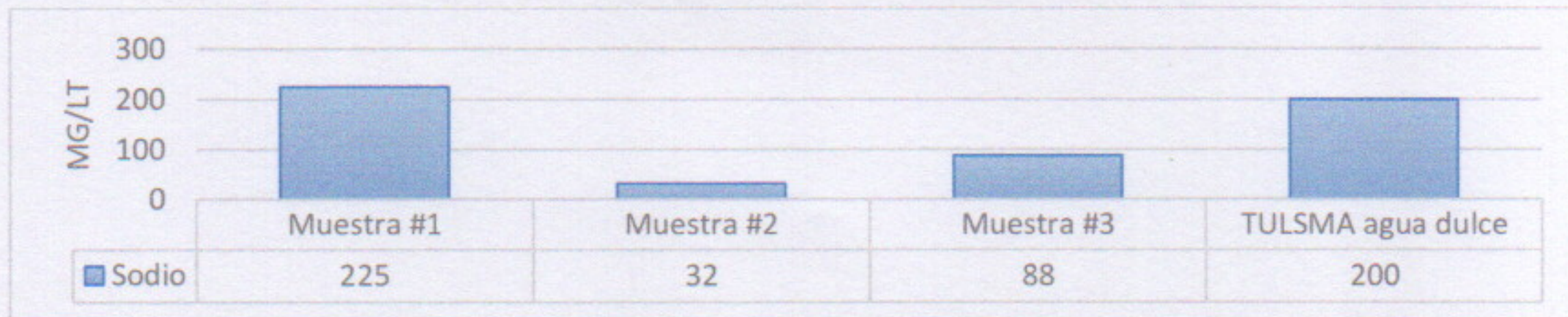
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio del cloruro presentes en la muestra de agua residual tenemos que la muestra #1 es de 358 mg/l, para la muestra #2 de 97 mg/l y la muestra #3 es de 139 mg/l, mientras que el valor propuesto por las normas TULSMA es de 300 mg/l para agua dulce, por tal razón este parámetro **NO CUMPLE** con el límite máximo permisible en la muestra #1 y si **CUMPLE** con la muestra #2 y muestra #3.

3.2.6. Sodio.

El sodio es un metal alcalino altamente reactivo que, al entrar en contacto con agua, produce una reacción química violenta. Esta reacción genera hidróxido de sodio (NaOH) y libera hidrógeno gaseoso (H₂), acompañado de una liberación de energía que puede encender el hidrógeno y provocar pequeñas explosiones. Este comportamiento es característico de los metales alcalinos debido a su bajo potencial de ionización.

Tabla 12: Resultados de parámetros de Sodio.



Elaborado por: Rueda Jacome Iván

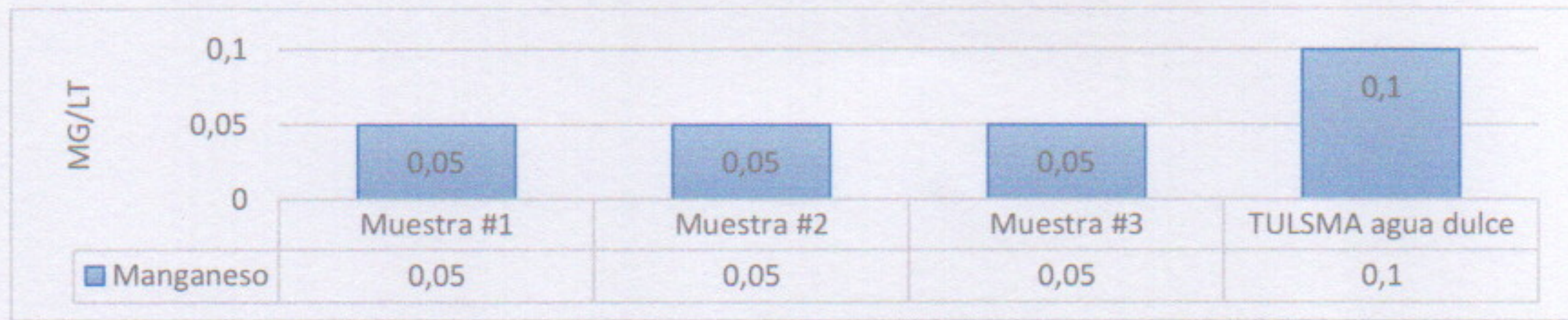
La vigilancia y el control de los niveles de sodio en el agua resultan esenciales, particularmente en zonas donde el agua representa una fuente considerable de sodio en la alimentación o donde la salinidad del suelo puede perjudicar la producción agrícola.

El resultado de la muestra de laboratorio de sodio presentes en la muestra de agua residual de la primera muestra #1 es 225 mg/l, muestra #2 es 32 mg/l y en la muestra #3 88 mg/l, mientras que el valor propuesto por las normas TULSMA es de 200 mg/l para agua dulce, por tal razón este parámetro **NO CUMPLE** con el límite máximo permisible en la muestra #1 y si **CUMPLE** con la muestra #2 y muestra #3.

3.2.7. Manganeseo.

El manganeseo en el agua es un elemento natural que se encuentra comúnmente en fuentes de agua debido a su presencia en rocas y minerales. Aunque el manganeseo es un nutriente esencial para los seres humanos, niveles elevados en el agua pueden causar problemas de salud, como la intoxicación por manganeseo, y también puede afectar la calidad estética del agua, dejando manchas en la ropa y en las instalaciones de fontanería. Además, en concentraciones altas, puede interferir con los procesos de tratamiento del agua, como la filtración y desinfección. (Schoonover, J. & Crim, L., 2016).

Tabla 13: Resultados de parámetros de Manganeso.



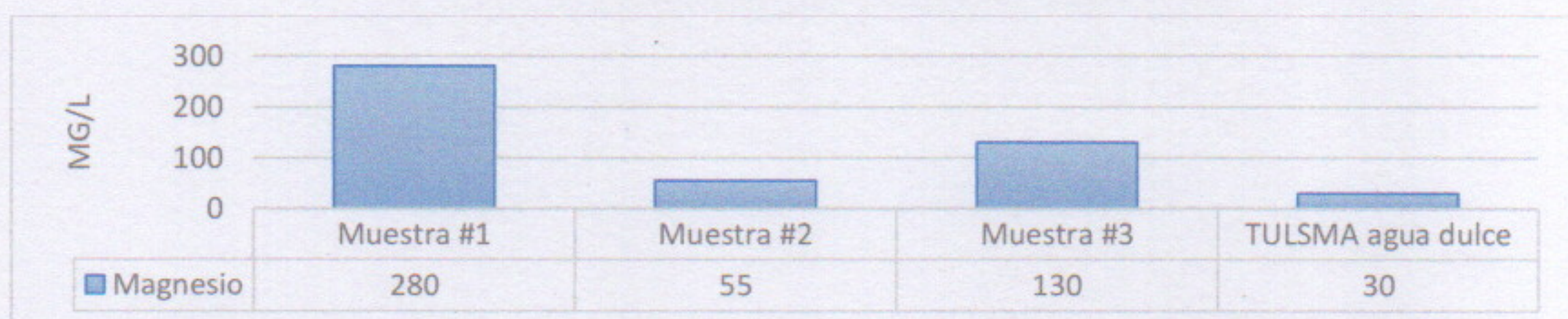
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de manganeso presentes en la muestra de agua residual muestra #1 es de 0.05mg/l, muestra #2 es de 0.05mg/l y de 0.05mg/l y cuarta muestra 0.05mg/l, mientras que el valor propuesto por las normas TULSMA es de 0.1mg/l, por tal razón el parámetro **CUMPLE** con el límite de máximo permisible en las cuatro muestras.

3.2.8. Magnesio.

El magnesio (Mg^{2+}) es un componente clave en el agua utilizada para riego, ya que es un nutriente esencial para las plantas. Este catión contribuye al desarrollo del sistema fotosintético y a la formación de clorofila. Sin embargo, su concentración en el agua de riego debe ser equilibrada, ya que niveles excesivos pueden afectar la estructura del suelo y la infiltración del agua al provocar la dispersión de partículas finas, especialmente en suelos arcillosos. Además, altas concentraciones de magnesio pueden ser tóxicas para ciertos cultivos, dependiendo de su tolerancia específica. (Cropaia,2023).

Tabla 14: Resultados de parámetros de Magnesio.



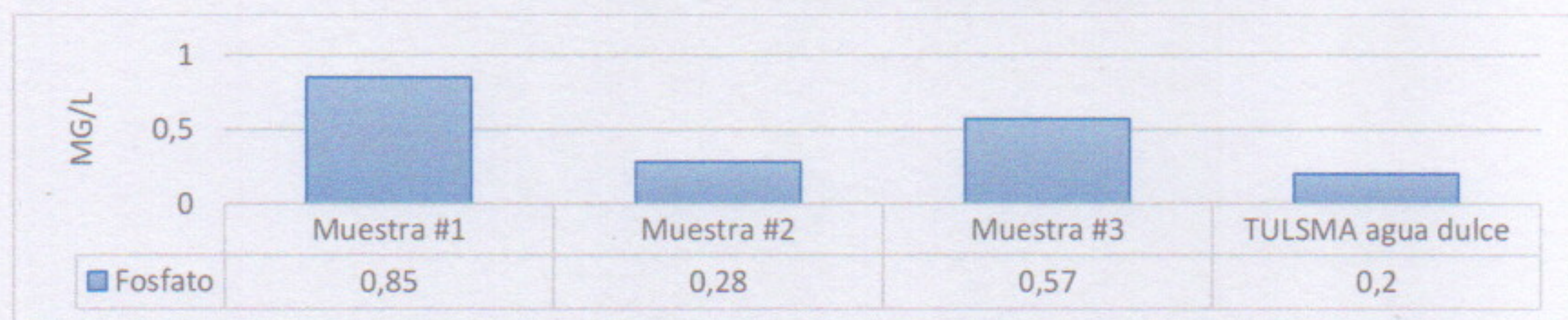
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de magnesio presentes en la muestra de agua residual de la muestra #1 es de 280mg/l, muestra #2 es de 55mg/l y muestra #3 es de 130mg/l, mientras que el valor propuesto por las normas TULSMA es de 30mg/l, por tal razón el parámetro **NO CUMPLE** con el límite de máximo permisible en la muestra #1, muestra #2 y muestra #3.

3.2.9. Fosfato.

El fosfato, compuesto químico que incluye el ion PO_4^{3-} , es fundamental para los sistemas biológicos y agrícolas. En el agua, los fosfatos provienen de fuentes como el uso de fertilizantes, aguas residuales y procesos de erosión. En agricultura, el fosfato es un nutriente clave para el crecimiento de las plantas, al ser esencial en procesos como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis de ADN. Sin embargo, cuando se encuentra en exceso en cuerpos de agua, puede generar eutrofización, afectando ecosistemas acuáticos y la calidad del agua para usos posteriores. (Instituto del Agua, 2023).

Tabla 15: Resultados de parámetros de Fosfato.



Elaborado por: Rueda Jacome Iván

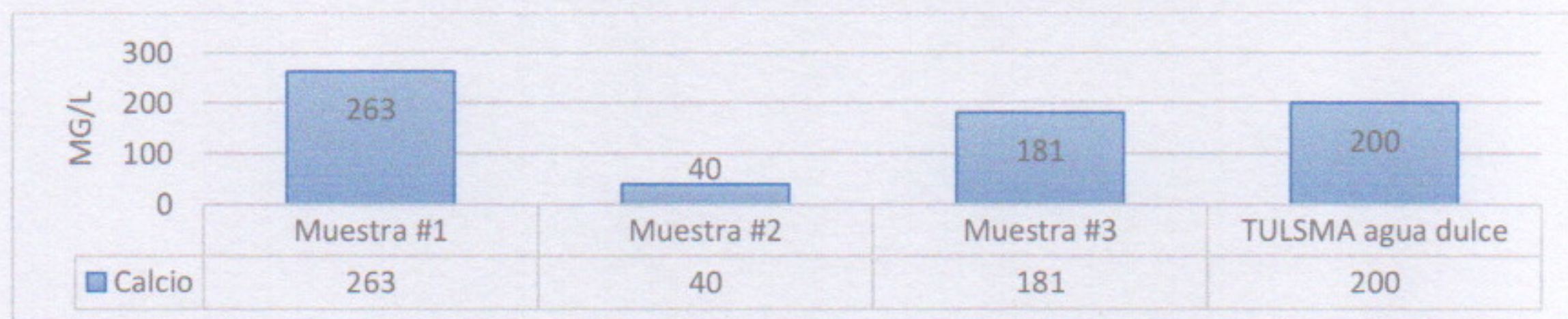
La presencia elevada de fosfatos en el agua puede generar un crecimiento excesivo de algas. Cuando estas algas mueren y se descomponen, aumentan los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo que contribuye a la generación de malos olores y al deterioro de la calidad del agua. Según

la normativa establecida por el TULSMA, el límite máximo permitido para fosfatos es de 15 mg/L. En este caso, los análisis realizados en la muestra #1 es de 0.85mg/L, muestra #2 es de mg/L y la muestra #3 es de 0.57mg/L, ambos dentro del rango permitido por la normativa, por lo que se concluye que cumplen con los estándares establecidos.

3.2.10. Calcio.

La concentración de calcio en el agua hace referencia a la cantidad de iones de calcio (Ca^{2+}) disueltos en ella. Este mineral, que es un catión divalente, es vital para numerosos procesos biológicos y juega un papel crucial en la salud humana. Además, el calcio es un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas. En el contexto del agua de riego, su presencia puede influir en el crecimiento y la productividad de los cultivos, ya que afecta la nutrición y el metabolismo de las plantas. (Marschner, H.,2012).

Tabla 16: Resultados de parámetros de Calcio.



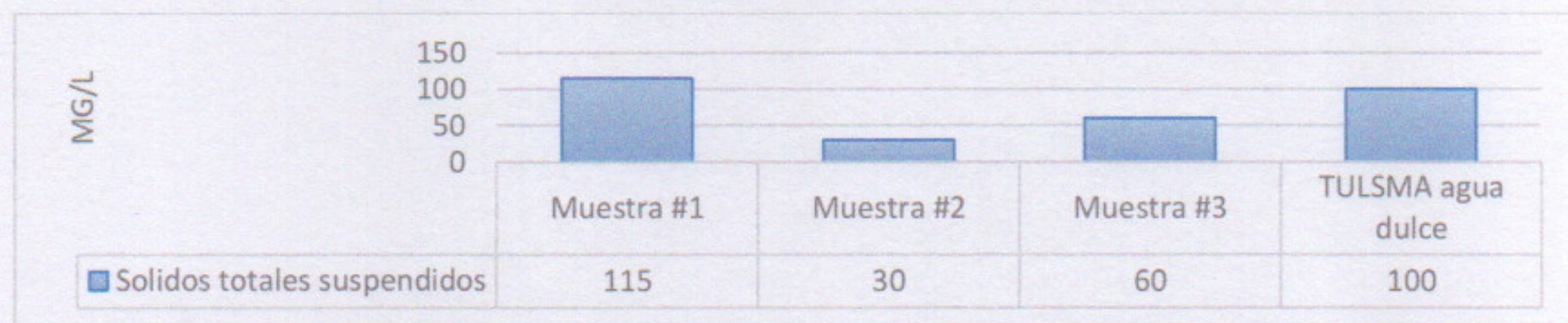
Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de calcio presentes en la muestra de agua residual en la muestra #1 da como resultado 263 mg/l, muestra #2 da como resultado 40 mg/l y muestra #3 da como resultado 181 mg/, mientras el valor propuesto por las normas TULSMA es de 200 mg/l por tal razón la muestra #1 **NO CUMPLE** con el límite máximo permisible, mientras que la muestra #2 y #3 **CUMPLE** con los parámetros.

3.2.11. Sólidos Totales Suspendidos.

Los Sólidos Totales Suspendidos (STS) en el agua se refieren a las partículas sólidas no disueltas que permanecen en suspensión en el líquido, incluyendo materiales orgánicos e inorgánicos como sedimentos, arcillas, algas y residuos. En el agua destinada para riego, los STS pueden tener impactos significativos en la calidad y eficiencia del sistema de riego. Una alta concentración de STS puede obstruir tuberías, filtros y aspersores, además de alterar las propiedades físicas del suelo y afectar la disponibilidad de oxígeno para las raíces de las plantas. (Ayers R. & Westcot D. 1985).

Tabla 17: Resultados de parámetros de Sólidos Totales Suspendidos.



Elaborado por: Rueda Jacome Iván

3.2.12. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Es un parámetro utilizado en la calidad del agua que mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos en el agua. Es un indicador indirecto de la cantidad de materia orgánica presente en el agua y se utiliza para evaluar la contaminación del agua, especialmente en sistemas acuáticos donde los niveles altos de DQO pueden indicar problemas como la eutrofización. (Baird R. & Eaton A. 2005).

Tabla 18: Resultados de parámetros de DQO.



Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de DQO presentes en la muestra de agua residual en la muestra #1 da como resultado 155mg/l, muestra #2 es de 100 mg/l y en la muestra # es de 125 mg/l, mientras el valor propuesto por las normas TULSMA es de 150 mg/l por tal razón la muestra #1 **NO CUMPLE** con el límite máximo permisible, mientras que la muestra #2 y #3 **CUMPLE** con los parámetros.

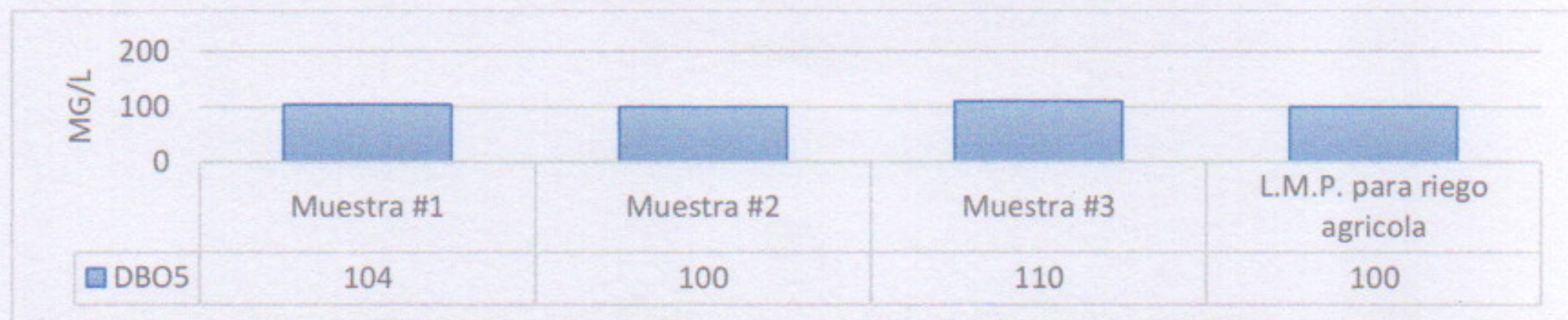
3.2.13. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Es un parámetro utilizado para medir la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para descomponer la materia orgánica presente en el agua durante un período de 5 días a 20°C. Este indicador es crucial para evaluar la calidad del agua, ya que niveles elevados de DBO5 sugieren una alta carga de materia orgánica, lo que puede indicar contaminación del agua.

En el contexto de **agua para riego**, la DBO5 puede influir en la salud del suelo y en el crecimiento de los cultivos, ya que el exceso de materia orgánica en el agua puede alterar las condiciones del suelo y afectar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

(APHA,2017).

Tabla 19: Resultados de parámetros de DQO5.



Elaborado por: Rueda Jacome Iván

El resultado de la muestra de laboratorio de DBO₅ presentes en la muestra de agua residual en la muestra #1 da como resultado 104 mg/l, muestra #2 100 mg/l y en la muestra #3 es de 100, mientras el valor propuesto por las normas es de 100 mg/l por tal razón la muestra #1 **NO CUMPLE** con el límite máximo permisible, mientras que la muestra #2, muestra #3 **CUMPLE** con los parámetros.

3.3. Evaluación de la capacidad de los factores críticos canal.

La evaluación de los factores críticos en el Canal El Guabital se enfoca en determinar el impacto de los parámetros fisicoquímicos sobre los principales usos del agua, como el riego agrícola, el sostenimiento de los ecosistemas y otros usos derivados. Este análisis considera los resultados obtenidos en el estudio, destacando los factores que requieren atención prioritaria para mantener la sostenibilidad del recurso.

3.3.1. Factores Críticos Identificados

❖ Dureza Total

Situación actual: La dureza total en la muestra #1 supera los límites establecidos, indicando un exceso de calcio y magnesio.

Impacto:

- Puede provocar incrustaciones en sistemas de riego.

- Podría dificultar la disponibilidad de agua para cultivos sensibles.

Capacidad actual: Moderada. Es posible manejar este factor mediante pretratamiento, pero requiere monitoreo.

❖ **Cloruros**

Situación actual: La muestra #1 excede el límite permisible, posiblemente debido a fuentes de contaminación antropogénica o natural.

Impacto:

- Incrementa la salinidad del suelo, afectando su fertilidad.
- Daña cultivos sensibles a la salinidad.

Capacidad actual: Limitada en la muestra #1, adecuada en el resto.

❖ **Sodio**

Situación actual: Los niveles en la muestra #1 exceden los límites normativos, lo que aumenta la salinidad del agua.

Impacto:

- Contribuye a la dispersión de partículas en suelos arcillosos, reduciendo la infiltración.
- Afecta el crecimiento de cultivos sensibles al sodio.

Capacidad actual: Limitada. Se requiere tratamiento específico para reducir este parámetro.

❖ **Magnesio**

Situación actual: Todas las muestras superan el límite máximo permisible, indicando una alta concentración de este mineral.

Impacto:

- Puede alterar la estructura del suelo, disminuyendo la infiltración y aumentando la compactación.
- Podría generar toxicidad en ciertos cultivos.

Capacidad actual: Crítica. Es necesario aplicar estrategias de mitigación.

❖ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Situación actual: La muestra #1 excede el límite normativo, lo que indica la presencia de materia orgánica en exceso.

Impacto:

- Podría afectar la calidad del agua utilizada para riego y ecosistemas.
- Incrementa los costos de tratamiento.

Capacidad actual: Moderada. Es necesaria una estrategia para reducir la materia orgánica.

❖ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Situación actual: Similar a la DQO, la muestra #1 excede el límite, indicando una elevada carga de materia orgánica biodegradable.

Impacto: Disminuye el oxígeno disuelto en el agua, afectando la vida acuática y los cultivos.

Capacidad actual: Moderada. Es esencial controlar las fuentes de contaminación.

❖ **Fosfatos**

Situación actual: Cumplen los límites establecidos en todas las muestras.

Impacto positivo: Los niveles adecuados contribuyen al crecimiento de cultivos sin riesgo de eutrofización.

Capacidad actual: Alta. Este factor no representa un riesgo crítico.

El Canal El Guabital enfrenta desafíos importantes relacionados con dureza, salinidad (sodio y cloruros), magnesio y cargas orgánicas (DQO y DBO₅) en la muestra #1. Las muestras #2 y #3 muestran condiciones más favorables, pero requieren monitoreo constante para evitar futuros desequilibrios.

La capacidad actual de los factores críticos para garantizar la calidad del agua se clasifica como **moderada** en términos generales, con algunos parámetros en estado **crítico**. Se recomienda implementar acciones correctivas, como tratamientos localizados, manejo de fuentes contaminantes y técnicas de conservación del suelo y agua, para mejorar la sostenibilidad del recurso hídrico.

3.4. Análisis de los factores críticos del canal Guabital.

Los problemas que afectan la eficiencia del canal Guabital se han identificado tras una revisión exhaustiva de su estado actual y el análisis de diversos factores que influyen en su desempeño. Uno de los aspectos más evidentes es la acumulación de sedimentos en el fondo del canal, una consecuencia directa de la falta de mantenimiento periódico y de medidas adecuadas para controlar el arrastre de materiales desde las áreas cercanas. Esta acumulación reduce la sección hidráulica disponible, dificultando el paso del agua y limitando la capacidad del canal para distribuir caudales suficientes hacia las zonas que dependen de este recurso.

Las filtraciones se deben principalmente a la naturaleza permeable del suelo, que facilita la pérdida de agua hacia las capas subyacentes. A lo largo del tiempo, la falta de

revestimientos o tratamientos adecuados puede haber incrementado esta problemática, especialmente en áreas donde el suelo presenta una mayor porosidad o fisuración natural debido al uso constante del canal.

Las filtraciones en canales de tierra son comunes porque el agua, al fluir, ejerce presión sobre las paredes y el fondo del canal, encontrando vías de escape a través de grietas o puntos donde la cohesión del suelo es baja. Este fenómeno no solo reduce la eficiencia del transporte del agua, sino que también genera otros problemas, como el debilitamiento de las paredes del canal, la formación de zanjas secundarias, y la pérdida de agua disponible para los usuarios aguas abajo.

Además, la erosión de las orillas es un factor que agrava aún más la situación. La falta de protección estructural, como muros de contención o vegetación estabilizadora, ha permitido que las corrientes descontroladas de agua desgasten las orillas. Esto no solo contribuye a la entrada de más sedimentos al canal, sino que también amenaza con colapsar partes de la infraestructura.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- Los factores críticos que afectan la eficiencia del canal Guabital incluyen la acumulación de sedimentos, que reduce la sección hidráulica y limita el caudal efectivo; las filtraciones en el fondo del canal, que generan pérdidas significativas del recurso hídrico; y la erosión de las orillas, causada por la falta de protección estructural y el flujo descontrolado del agua. Estos problemas no solo comprometen la capacidad del canal para distribuir adecuadamente el agua, sino que también aceleran el deterioro de su infraestructura, afectando directamente la disponibilidad y calidad del recurso hídrico para la comunidad y las actividades agrícolas de la región. Es indispensable implementar medidas correctivas para garantizar su funcionalidad y sostenibilidad a largo plazo.
- La elaboración de un plan de gestión y monitoreo resulta imprescindible para garantizar el funcionamiento eficiente y sostenible del canal. Este plan debe considerar medidas preventivas y correctivas, así como la implementación de sistemas de seguimiento en tiempo real para evaluar el desempeño hidráulico y estructural del canal.
- El estado actual del canal Guabital afecta negativamente la disponibilidad de agua para la comunidad y las actividades agrícolas del Cantón Rocafuerte, especialmente en temporadas secas. Además, se identificaron posibles riesgos para la calidad del agua, debido a la acumulación de materia orgánica y residuos

en el canal, lo que puede comprometer su uso en actividades sensibles como el riego de cultivos.

4.2. Recomendaciones

- Implementar un programa de limpieza y desazolve periódico para mantener la capacidad hidráulica del canal y prevenir la acumulación de sedimentos que obstruyan el flujo de agua.
- Realizar análisis periódico de parámetros físico-químicos (pH, TDS, dureza, cloruros, etc.) y biológicos (coliformes fecales y materia orgánica) para garantizar la calidad del agua distribuida.
- Involucrar a los usuarios del canal, como agricultores y comunidades locales, en programas de mantenimiento y monitoreo, fomentando su corresponsabilidad en la gestión del recurso.
- Realizar estudios complementarios sobre el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica del canal Guabital y su capacidad para satisfacer la demanda futura.

REFERENCIA

Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer.

APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition. American Public Health Association.

Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., & Murphy, C. J. (2014). *Química: La ciencia central* (12.^a ed.). Pearson Education.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Calidad del agua para la agricultura* (Estudio FAO: Riego y drenaje No. 29). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Baird, R. B., & Eaton, A. D. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21st ed.). American Public Health Association.

Chapman, D., & Kimstach, V. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP.

Chapra, S. C. (1997). *Surface Water-Quality Modeling*. McGraw-Hill Education.

Cropaia. (2023). *Calidad del agua para riego*. Recuperado de <https://www.cropaia.com>

EPA. (2023). *National Primary Drinking Water Regulations*.

Fernández, J. (2020). *El agua y su importancia en el ecosistema global*. Editorial Ciencias Naturales.

GREENBERG, A. E., CLESCERI, L. S., EATON, A. D., & FRANSON, M. A. H. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd

Edition). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Washington, D.C.

Instituto del Agua. (2023). *Fósforo en aguas residuales: Impacto ambiental y métodos de tratamiento*. Recuperado de <https://www.institutodelagua.es>

Marschner, H. (2012). *Minerales y nutrientes en las plantas* (3.ª ed.). Elsevier.

Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill.

Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th Edition. McGraw-Hill Education.

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Directrices para la calidad del agua potable*. Ginebra: OMS. Recuperado de <https://www.who.int>.

Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*. McGraw-Hill.

Schoonover, J. E., & Crim, L. R. (2016). *La calidad del agua: Impactos en la salud y el medio ambiente*. Wiley.

Secretaría de Salud. (2021). NOM-127-SSA1-2021, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización. México: Diario Oficial de la Federación.

Stumm, W., & Morgan, J. J. (2012). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. Wiley.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd Edition. Academic Press.

World Health Organization (WHO). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition*. Geneva: WHO Press.

World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition Incorporating the First Addendum*. Geneva: WHO Press.

ANEXO

Anexo 1: Punto de Muestreo.

Ilustración 2: Sector Canal Guabital.



Ilustración 3: Recolección de muestras.

