



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Determinación de la calidad de agua en época seca, del sistema de riego
Guangopud-Gatazo, Provincia de Chimborazo.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autores:

Vaca Moya, Priscila Alexandra

Cepeda Granizo, Johana Mireya

Tutora:

Ing. Carla Silva Padilla, MgS

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Johana Mireya Cepeda Granizo y Priscila Alexandra Vaca Moya, con cédula de ciudadanía 1724955149 y 2350460834, autores del trabajo de investigación titulado: **Determinación de la calidad de agua en época seca, del sistema de riego Guangopud-Gatazo, Provincia de Chimborazo**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 29 de octubre del 2024



Priscila Alexandra Vaca Moya
C.I: 2350460834



Johana Mireya Cepeda Granizo
C.I: 1725955149

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Ing. Carla Silva Padilla, MgS., catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **Determinación de la calidad de agua en época seca, del sistema de riego Guangopud-Gatazo, Provincia de Chimborazo**, bajo la autoría de Johana Mireya Cepeda Granizo y Priscila Alexandra Vaca Moya; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 29 días del mes de octubre de 2024



Ing. Carla Fernanda Silva Padilla, MgS

C.I: 0603952086

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Determinación de la calidad de agua en época seca, del sistema de riego Guangopud-Gatazo, Provincia de Chimborazo** por Johana Mireya Cepeda Granizo y Priscila Alexandra Vaca Moya, con cédula de identidad número 1724955149 y 2350460834, bajo la tutoría de MgS. Carla Fernanda Silva Padilla; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Patricio Santillán Lima, MgS.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Marcel Paredes Herrera, MgS.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



María Fernanda Rivera, MgS.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICADO ANTIPLAGIO

Que, **Cepeda Granizo Johana Mireya** con CC: **1724955149**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN ÉPOCA SECA, DEL SISTEMA DE RIEGO GUANGOPUD-GATAZO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"**, cumple con el N 0%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **Turnitin**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 12 de noviembre de 2024



Ing. Carla Fernanda Silva Padilla, MgS

C.I: 0603952086

DEDICATORIA

Este logro lo dedico principalmente a Dios por brindarme salud, sabiduría y mucha fortaleza para poder culminar mi etapa universitaria. A mis padres Elva Granizo y Santos Cepeda por el apoyo incondicional tanto en los momentos difíciles y felices que conlleva la carrera, gracias por todo.

A mis hermanas, que siempre estuvieron presente desde el inicio de la carrera, ofreciendo sus ánimos y consejos para no rendirme en el trayecto. Asimismo, a mi tía Gladys por acogerme como una de sus hijas, brindándome amor, cariño y protección.

A mi grupito de la Universidad, quienes han sido mi refugio en los momentos de agotamiento y estrés, siempre llevaré en mi corazón todas las experiencias compartidas.

Johana Mireya Cepeda Granizo

Dedico esta tesis con todo mi amor y gratitud a:

A mi madre, por su sacrificio, apoyo incondicional y por ser mi mayor fuente de motivación. Gracias por haber creído en mí incluso cuando yo dudaba. Este logro es tanto mío como suyo.

A mis amigos más cercanos, ellos saben quiénes son, los que me vieron en los mejores y peores momentos, gracias por ser mi refugio en los momentos más difíciles, por sus palabras de aliento y por estar siempre a mi lado en este arduo camino.

A mis profesores y mentores, por compartir su sabiduría y enseñarme a nunca rendirme en la búsqueda del conocimiento.

Y a todos aquellos que, de una forma u otra, me han acompañado en esta travesía. Este trabajo está dedicado a ustedes.

Priscila Alexandra Vaca Moya

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa tan significativa de mi vida, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres. Su amor, apoyo y sacrificio han sido crucial en este recorrido académico. Ustedes han sido mi mayor fuente de inspiración, siempre confiando en mí, incluso en los días que dudaba de mis propias capacidades.

Un agradecimiento especial a mi tutora MgS. Carlita Silva, por haber aceptado y guiado con mucha paciencia nuestra investigación. Gracias por compartir sus conocimientos con nosotras, por la disposición para aclarar las dudas y sus sugerencias constructivas.

A mis amigos Eli, John y Jhostyn, quien desde primer semestre han estado a mi lado brindándome su amistad sincera y auténtica. Hemos compartido momentos de llanto, risas, miedo y diversión que han hecho mi camino universitario más significativo. A Erick, por su incondicional apoyo, motivación y acompañamiento. Su presencia en los momentos de mayor desafío y sus palabras alentadoras, han sido un impulso emocional en mi vida.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por permitir realizar mi carrera profesional en esta prestigiosa institución. Asimismo, a cada uno de los docentes y técnicos de la Carrera Ambiental, que con paciencia y compromiso han contribuido en mi formación académica y personal.

Johana Mireya Cepeda Granizo

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que, de una manera u otra, me han acompañado en este importante camino. En primer lugar, agradezco a mi tutora de tesis, MgS. Carla Silva, por su orientación, paciencia y constante apoyo. Sin su conocimiento y dedicación, este trabajo no habría sido posible.

A mi familia, por ser mi pilar fundamental. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí en los momentos más difíciles y por su apoyo constante a lo largo de este proceso. En especial, a mi madre Irene Moya, quien, con su sabiduría y ejemplo, me ha inspirado a seguir adelante. A mis amigos y compañeros, por su compañía y aliento durante las largas jornadas de estudio e investigación. Su amistad ha sido un valioso soporte emocional. Agradezco a todas las instituciones y personas que, de alguna manera, contribuyeron con su conocimiento y recursos para el desarrollo de esta tesis.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

Priscila Alexandra Vaca Moya

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	15
1.1. Planteamiento del Problema	16
1.2. Justificación	17
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. General	19
1.3.2. Específicos.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	20
2.1. Calidad de Agua.....	20
2.2. Agua de riego	20
2.3. Sistema de Riego.....	20
2.4. Importancia del riego en la agricultura.....	20
2.5. Salinidad	21
2.6. Alcalinidad.....	21
2.7. Parámetros Físicos que afectan al agua para riego.....	21
2.7.1. Temperatura.....	21
2.8. Parámetros químicos que afectan al agua para riego	21
2.8.1. Conductividad Eléctrica (CE).....	21
2.8.2. Potencial Hidrógeno (pH)	22

2.8.3.	Solidos disueltos totales (SDT)	22
2.8.4.	Cloruros.....	22
2.8.5.	Sodio	22
2.8.6.	Bicarbonato	22
2.9.	Parámetros microbiológicos que afectan al agua para riego.....	23
2.9.1.	Coliformes Totales.....	23
2.10.	Relación de adsorción de sodio (RAS).....	23
2.11.	Carbonato de sodio residual (CSR).....	23
2.12.	Acuerdo Ministerial 097-A.....	23
2.13.	Medidas de conservación o mitigación	24
2.13.1.	Medidas de conservación.....	24
2.13.2.	Medidas de mitigación	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		25
3.1.	Tipo de investigación	25
3.1.1.	Localización del área de estudio.....	25
3.1.2.	Tamaño de muestra.....	25
3.1.3.	Tipo de muestreo	25
3.1.4.	Toma de muestras.....	25
3.1.5.	Preservación y transporte de la muestra.....	26
3.2.1.	Métodos, técnicas e instrumentos de análisis.....	26
3.3.1.	Estimación del efecto del sodio	30
3.3.2.	Cálculo de carbonato sódico residual	31
Fase IV: Comparación con normativa		31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		33
4.1.	Área de Estudio	33
4.2.	Puntos de Muestreo	33
4.2.1.	Codificación y georreferenciación de los puntos de muestreo.....	33

4.3.	Calidad de agua del sistema de riego Guangopud-Gatazo	35
4.3.1.	Temperatura.....	35
4.3.4.	Sólidos disueltos totales	38
4.3.5.	Nitratos	40
4.3.6.	Sulfatos.....	41
4.3.7.	Concentración de Carbonatos en el agua	42
4.3.8.	Concentración de bicarbonatos en el agua	42
4.3.11.	Concentración de calcio en el agua	46
4.3.12.	Concentración de magnesio en el agua	47
4.3.13.	Concentración de potasio en el agua	48
4.3.14.	Coliformes Totales	50
4.4.	Comparación de los Resultados con el Acuerdo Ministerial 097-A y la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).	51
4.5.	Calcular los índices de Relación de Absorción de Sodio (RAS) y del Carbonato de Sodio Residual (CSR).	60
4.5.1.	Índice de Relación de adsorción de sodio	60
4.5.2.	Carbonato sódico residual	61
4.6.	Medidas de conservación o mitigación del recurso hídrico en el Sistema de riego Guangopud-Gatazo.	62
4.6.1.	Problema 1: Presencia de ganado de lidia en las áreas de captación	65
4.6.2.	Problema 2: Deterioro de las tuberías de conducción principal	66
4.6.3.	Problema 3: Falta de mantenimiento regular a los tanques de distribución.....	67
	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1.	Conclusiones	68
5.2.	Recomendaciones.....	69
	BIBLIOGRAFÍA	70
	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de análisis de muestras	26
Tabla 2 Criterios de calidad a partir de los valores de la RAS	30
Tabla 3 Relación de la calidad del agua con los valores del CSR	31
Tabla 4 Límites de los parámetros para calidad de agua de riego	32
Tabla 5 Ubicación de los puntos de muestreos.....	34
Tabla 6 Resultados del análisis de coliformes totales en los puntos de muestreo	50
Tabla 7 Comparación de los parámetros con la normativa vigente en el Ecuador.....	51
Tabla 8 Situación actual del sistema de riego Guangopud-Gatazo.....	63
Tabla 9 Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el primer muestreo	76
Tabla 10 Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el segundo muestreo.....	76
Tabla 11 Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el tercer muestreo.....	77
Tabla 12 Análisis de los análisis físico-químicos del agua en el cuarto muestreo	77
Tabla 13 Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el quinto muestreo.....	78
Tabla 14 Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el sexto muestro	78
Tabla 15 Índice de Relación de Absorción de Sodio (RAS)	79
Tabla 16 Carbonato sódico residual (CSR)	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del Sistema de Riego Guangopud-Gatazo	33
Figura 2 Mapa de los puntos de muestreo.....	34
Figura 3 Temperatura en los meses de muestreo.....	35
Figura 4 Valores de pH en los meses de muestreo	36
Figura 5 Conductividad eléctrica en los meses de muestreo.....	37
Figura 6 Concentración de sólidos disueltos totales en los meses de muestreo.....	38
Figura 7 Valores de bicarbonato en los meses de muestreo.....	42
Figura 8 Niveles de cloruros en los meses de muestreo	44
Figura 9 Valores de sodio en los meses de muestreo	45
Figura 10 Valores de calcio en los meses de muestreo.....	46
Figura 11 Valores de magnesio en los meses de muestreo	47
Figura 12 Valores de potasio en los meses de muestreo.....	48
Figura 13 Comparación de los valores Temperatura con LPS.....	52
Figura 14 Comparación de los valores de pH con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A	52
Figura 15 Comparación de los valores de CE según el Acuerdo Ministerial 097-A.....	53
Figura 16 Comparación de los valores SDT con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A	54
Figura 17 Comparación de los Nitratos con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A ...	54
Figura 18 Comparación de los Sulfatos con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A ...	55
Figura 19 Comparación de los Bicarbonatos con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A	55
Figura 20 Comparación de los Cloruros con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A ..	56
Figura 21 Comparación de los valores del Calcio con LMP según la FAO	57
Figura 22 Comparación del sodio con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A.....	57
Figura 23 Comparación de los valores del magnesio con LMP según la FAO.....	58
Figura 24 Comparación de los valores del potasio con LMP.....	59
Figura 25 Valores del RAS en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo	60
Figura 26 Valores del CSR en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo	61

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo determinar la calidad del agua en el sistema de riego Guangopud-Gatazo, ubicado en la provincia de Chimborazo, durante el periodo de sequía. En la primera fase, se estableció seis muestreos en los ocho puntos estratégicos del sistema, en cada punto se recolectaron muestras de agua utilizando botellas de vidrio ámbar y plástico de 1 litro para los análisis fisicoquímicos, y en frascos estériles de 100 mililitros para los análisis microbiológicos, se las preservó en refrigeración durante el proceso de recolección y traslado al Laboratorio de Servicios Ambientales.

En la segunda fase, se analizó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como: temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, nitratos, sulfatos, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, calcio, sodio, magnesio y potasio, conforme a las regulaciones dictadas en el Acuerdo Ministerial 097-A y las directrices de la FAO para su uso en la agricultura. Además, se calcularon los Índices de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Carbonato de Sodio Residual (CSR), en el periodo septiembre-noviembre 2023.

El análisis estadístico, se efectuó mediante el modelo ANOVA y la prueba de Tukey, revelando diferencias significativas entre los promedios mensuales de cloruros, nitratos, sodio, magnesio y potasio. Los valores de cada parámetro se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles según el Acuerdo Ministerial 097-A y la FAO. De igual manera, con los resultados del cálculo de los índices de calidad, se clasificaron como agua de buena a excelente calidad, siendo adecuada para el riego agrícola. Por consiguiente, se sugirieron diversas acciones de mitigación que comprenden la instalación de mallas galvanizadas alrededor de las vertientes para evitar el ingreso de ganado, la implementación de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) y el establecimiento de un plan de mantenimiento constante para los tanques de distribución. Estas medidas contribuirán a preservar la calidad de agua del sistema de riego.

Palabras claves: sistema de riego, calidad del agua, índices de calidad, medidas de mitigación, normativas ambientales.

Abstract

This study aimed to determine the water quality in the Guangopud-Gatazo irrigation system, located in Chimborazo province, during the drought period. In the first phase, six sampling events were established at eight strategic points within the system. At each point, water samples were collected using amber glass bottles and 1-liter plastic bottles for physicochemical analyses, and sterile 100-milliliter containers for microbiological analyses. The samples were preserved under refrigeration during the collection and transport process to the Environmental Services Laboratory. In the second phase, both physicochemical and microbiological parameters were analyzed, including temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, nitrates, sulfates, chlorides, carbonates, bicarbonates, calcium, sodium, magnesium, and potassium, in accordance with the regulations set forth in Ministerial Agreement 097-A and FAO guidelines for agricultural use. Additionally, the Sodium Adsorption Ratio (SAR) and Residual Sodium Carbonate (RSC) indices were calculated for the period from September to November 2023. Statistical analysis was performed using the ANOVA model and Tukey's test, revealing significant differences among the monthly averages of chlorides, nitrates, sodium, magnesium, and potassium. The values of each parameter remained within the maximum permissible limits according to Ministerial Agreement 097-A and FAO standards. Similarly, the results from the quality index calculations classified the water as good to excellent quality, making it suitable for agricultural irrigation. Consequently, various mitigation actions were suggested, including the installation of galvanized wire mesh around the springs to prevent livestock intrusion, the implementation of high-density polyethylene (HDPE) pipes, and the establishment of a continuous maintenance plan for the distribution tanks. These measures will contribute to preserving the water quality of the irrigation system.

Keywords: irrigation system, water quality, quality indices, mitigation measures, environmental regulations.



Reviewed by:

Mgs. Hugo Solis V.

ENGLISH PROFESSOR

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para la supervivencia de todos los seres vivos y el correcto funcionamiento de los ecosistemas. Según Del Valle Melendo, (2017) el manejo adecuado del agua cobra relevancia en actividades que dependen directamente de este recurso, como la agricultura. Su disponibilidad y la pureza del agua son factores cruciales que influyen en la productividad agrícola y el desarrollo sostenible en las comunidades.

Sin embargo, a nivel mundial, el uso del agua en la agricultura ha generado una fuerte presión sobre este recurso natural. De acuerdo con los datos del Grupo Inntergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2020), la expansión e intensificación de las prácticas agrícolas ha llevado a un uso generalizado de fertilizantes y pesticidas, lo que ha impactado significativamente la calidad del agua en diversos cuerpos de agua, incluyendo aguas subterráneas y ríos.

Además, el cambio climático está proyectado a aumentar la demanda de agua para riego en un 47.1 % en verano y 16.5 % en invierno, lo que afectará la calidad del agua debido al aumento de contaminantes como nitrógeno y fósforo en los sistemas de drenaje agrícola (Ojeda et al., 2011).

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo (2019), la provincia experimenta problemas tanto físicos como técnicos en sus sistemas de riego, lo que ha ocasionado un deterioro progresivo en las vertientes de agua que alimentan estos sistemas. Este deterioro afecta en la calidad del agua disponible, aumentando su salinidad, lo que a su vez repercute negativamente en la productividad de los cultivos. A medida que la calidad del agua disminuye, se ven comprometidos los rendimientos agrícolas, lo cual tiene consecuencias económicas y sociales para las comunidades rurales que dependen de esta actividad como su principal fuente de sustento.

Asimismo, la problemática se agudiza durante la temporada seca, cuando la falta de precipitaciones y las altas temperaturas provocan una reducción significativa en el caudal de las vertientes. Este fenómeno no solo intensifica la concentración de contaminantes en el agua, sino que también incrementa las tasas de evaporación en los cultivos, elevando la necesidad de sistemas de riego eficientes y constantes para mantener un nivel adecuado de humedad en los suelos. Bajo estas condiciones, se vuelve esencial la implementación de sistemas de riego tecnificados que optimicen el uso del agua disponible. La tecnificación del riego puede

contribuir significativamente a una mayor eficiencia en la distribución del recurso hídrico, lo que es clave en zonas donde las condiciones climáticas y la infraestructura limitan el acceso continuo al agua de calidad (Ministerio del Ambiente. Agua y Transición Ecológica, 2022).

El sistema de riego Guangopud-Gatazo, ubicado en el suroeste del cantón Colta, es un claro ejemplo de estos desafíos. La falta de estudios específicos sobre la calidad del agua en esta zona ha dificultado la implementación de soluciones que permitan mejorar el rendimiento de los cultivos y proteger la sostenibilidad del recurso hídrico. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la calidad del agua utilizada en este sistema de riego, con un enfoque particular en el análisis de sus parámetros físico-químicos y microbiológicos.

Para esta investigación, se calcularon los índices de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y Carbonato de Sodio Residual (CSR), dos indicadores clave que permiten determinar el riesgo que el agua salina representa para los suelos agrícolas. Los resultados obtenidos de estos análisis se compararán con la normativa vigente en Ecuador, a fin de verificar si el agua utilizada en el sistema Guangopud-Gatazo cumple con los estándares establecidos para su uso en prácticas agrícolas. La comparación con la normativa permitirá no solo identificar las limitaciones actuales en cuanto a la calidad del agua, sino también proponer soluciones que mejoren la gestión del recurso hídrico en la región, contribuyendo así a la sostenibilidad de las prácticas agrícolas locales.

1.1. Planteamiento del Problema

En Ecuador, una parte significativa del recurso hídrico se destina a actividades de riego, representando el 77% del consumo total de agua en el país. No obstante, a pesar de la importancia que tiene el riego en la agricultura, la infraestructura de riego y drenaje del país presenta graves deficiencias en términos de optimización. Según datos del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2022), hasta el año 2020, Ecuador contaba con una superficie de 1.542.474 hectáreas habilitadas con infraestructura de riego, pero de esta extensión, solo 1.012.228 hectáreas eran efectivamente irrigadas. Este desfase revela una brecha del 35% en la superficie total, lo cual evidencia problemas significativos en la gestión del agua para riego (Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica, 2022).

En el ámbito local, el cantón Colta, una zona predominantemente agrícola, enfrenta desafíos similares, ya que su producción depende en gran medida de los sistemas de riego.

Estos sistemas, formados por una línea de conducción y una red de distribución, presentan problemas técnicos y estructurales. Entre estos problemas destacan las pérdidas de caudales y el deterioro de la infraestructura, lo que afecta directamente la calidad del agua utilizada para riego y reduce la superficie que puede ser efectivamente irrigada (Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo, 2019).

La situación se ve agravada por la falta de estudios específicos y detallados sobre la calidad del agua, especialmente durante la temporada seca. Esta carencia de información ha impedido una comprensión precisa de los niveles de contaminantes presentes en el agua, así como de los efectos que estos tienen sobre los cultivos. La ausencia de estudios y datos claros también limita la capacidad de las autoridades y de los agricultores para diseñar e implementar estrategias de mitigación efectivas que promuevan un manejo sostenible del recurso hídrico en la región.

Una de las principales razones que impulsaron este monitoreo fue la observación de una disminución progresiva del caudal de agua en el sistema de riego año tras año, lo que ha generado una necesidad urgente de modificar el sistema de riego de inundación tradicional por uno más tecnificado. La comunidad ha identificado la determinación de la calidad del agua como un requisito clave para proceder a esta transición. Con los resultados de este análisis de la calidad del agua, será posible avanzar hacia la implementación de sistemas de fertirriego, una tecnología que no solo mejora la eficiencia en el uso del agua, sino que también optimiza la distribución de nutrientes a los cultivos, asegurando una mayor productividad agrícola y una mejor gestión del recurso hídrico.

1.2. Justificación

La calidad del agua es un factor crucial para el éxito de cualquier sistema de riego, especialmente en áreas agrícolas que dependen de este recurso para mantener la productividad y sostenibilidad de sus cultivos.

La agricultura es una actividad económica primordial en la provincia de Chimborazo y, la calidad del agua utilizada para riego impacta directamente en la salud de los cultivos, la productividad de las tierras agrícolas y, en última instancia, en el sustento de las familias campesinas, sin el cuidado adecuado o el conocimiento sobre la calidad del agua aplicada a los cultivos se está poniendo en riesgo la producción continua y el rendimiento de la cosecha (Ayala, 2015).

En la investigación se resalta las comunidades pertenecientes a Los Gatazos y Guangopud, que se beneficia directamente del sistema de riego Guangopud-Gatazo proveniente del páramo. De acuerdo con Honorable Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo, (2020), cuentan con una área de 26,28 hectáreas de riego aproximadamente, de las cuales, se dedican a la siembra de hortalizas como; Brócoli (*Brassica oleracea. var. Itálica*), Coliflor (*Brassica oleracea var. Botrytis*), Zanahoria (*Daucus carota*), Cilandro (*Coriandrum sativum*) y Lechuga (*Lactuca sativa*)

En épocas de escasez, es fundamental gestionar de manera eficiente los recursos hídricos disponibles. Un análisis detallado de la calidad del agua en época seca ayudará a implementar prácticas de riego más efectivas y sostenibles, maximizando el uso del agua disponible y mejorando la resiliencia de las comunidades agrícolas frente a la variabilidad climática.

El proyecto proporcionará datos y análisis valiosos sobre la calidad del agua en un contexto específico. Estos resultados servirán como base de datos para futuras investigaciones y proyectos de desarrollo, así como para la formulación de políticas y estrategias de gestión del agua. Además, nuestra investigación está alineada con el proyecto del Consejo Provincial de Chimborazo, que tiene como objetivo implementar la técnica de fertirriego en el sistema Guangopud-Gatazo. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: "¿Cómo varían los parámetros de calidad del agua del sistema de riego Guangopud-Gatazo durante la época seca en la provincia de Chimborazo, ¿y qué implicaciones tienen estas variaciones para el uso agrícola y la sostenibilidad del recurso hídrico?"

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Determinar la calidad del agua del Sistema de Riego Guangopud Gatazo provincia de Chimborazo.

1.3.2. Específicos

- Analizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua en el Sistema del riego Guangopud-Gatazo, y comparar los resultados con la normativa vigente del Ecuador.
- Calcular los índices de Relación de Absorción de Sodio (RAS) y del Carbonato de Sodio Residual (CSR).
- Proponer medidas de conservación o mitigación del recurso hídrico en el Sistema de riego Guangopud-Gatazo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Calidad de agua

Citando a Sierra (2016) la calidad de agua constituye una variable crucial para la descripción de los ecosistemas acuáticos, tanto su caracterización física, química y biológica, como la planificación efectiva en gestión del recurso hídrico. Esta variable determina la idoneidad del agua para sustentar ecosistemas y atender las diversas necesidades humanas, ejemplificando: consumo humano, la producción de alimentos, higiene y saneamiento.

La calidad hídrica puede estar comprometida por factores naturales y antrópicos, por lo que, los factores externos que impactan negativamente en la calidad sin estar vinculados al ciclo hidrológico se consideran como contaminantes.

2.2. Agua de riego

Como señala Tartabull y Betancourt (2016), se trata del agua utilizada para riego de cultivos que cumple un papel fundamental en el desarrollo y crecimiento óptimo de las plantas. El recurso hídrico proviene de ríos, lagos o acuíferos subterráneos y se suministra a través de sistemas de regadío, cada uno diseñado para optimizar la distribución del agua en las parcelas agrícolas.

Además, el agua de riego está constituido de una variedad de elementos, entre los cuales se encuentran: sodio, magnesio, potasio, sulfatos, nitratos, cloruros, así como, cationes de calcio, aniones carbonatos, bicarbonatos.

2.3. Sistema de riego

Huaylla (2020) se refiere al conjunto infraestructuras diseñadas para la irrigación en las áreas agrícolas, existen varios tipos, las cuales se diferencian por sus características y ventajas únicas según el tipo de suelo o cultivo. De igual modo, es necesario que los sistemas de riego tengan una forma tecnificada para satisfacer las necesidades de la planta y poder garantizar la distribución del agua, permitiendo tener un funcionamiento acorde, evitando así la erosión hídrica del suelo

2.4. Importancia del riego en la agricultura

Según Rosales y Flores (2017) el agua es un insumo necesario para la agricultura ya que es necesaria para el crecimiento y desarrollo de los cultivos en niveles de calidad, cantidad y aplicación oportuna.

2.5. Salinidad

Como señala Lamz y Gonzáles (2013) es la concentración de sales disueltas en el agua, tanto la salinidad y la conductividad eléctrica están directamente relacionados con la cantidad de los iones disueltos, esta hace que aumente el valor de ambas.

2.6. Alcalinidad

Cabrera et al. (2017) definen a la capacidad para neutralizar ácidos en el agua hasta un valor de pH aproximado a 4,5. Los cuerpos hídricos dependen primordialmente del contenido de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Por otro lado, la alcalinidad en las aguas residuales dependerá de la concentración de sustancias químicas y productos de aseo, para que contenga un valor ligeramente elevado a comparación de las aguas naturales.

2.7. Parámetros físicos que afectan al agua para riego

2.7.1. Temperatura

Según Barrenechea (2018) la calidad de agua se considera una medición fundamental en el agua, puesto que generalmente afecta la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. En agricultura, afecta la salud de las plantas y la eficacia de nutrientes y pesticidas. Se mide con termómetros digitales o analógicos, y se controla mediante calibración regular y gestión adecuada. Mantener la temperatura óptima es esencial para un uso eficiente y sostenible del agua.

2.8. Parámetros químicos que afectan al agua para riego

2.8.1. Conductividad eléctrica (CE)

Como afirma Acosta y Salvadori (2017) este parámetro indica la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica, esto hace que se pueda evidenciar el contenido de las sales o minerales. Mientras mayor sea la conductividad eléctrica se tendrá un aumento en la concentración de sales disueltas en el agua. Sin embargo, esta relación puede modificarse en presencia de sales con baja solubilidad, lo que constituye la principal limitación de este indicador como herramienta para evaluar el riesgo de salinidad.

2.8.2. Potencial hidrógeno (pH)

Dirisu et al. (2016) manifiestan que este parámetro identifica la idoneidad de la calidad del agua y para su tipo de uso emplearse al riego. Este tiene una escala de pH de 0 a 14, donde el 7 se considera un valor neutro, mientras si es menor a este valor comienza a hacer una solución ácida y si supera de este valor esta concentración es alcalina.

2.8.3. Solidos disueltos totales (SDT)

Cantuña et al. (2017) enfatizan a los iones y moléculas que se encuentran disueltas en el agua, la concentración está asociada a los minerales, metales y compuestos orgánicos, pero también son gases producto de la descomposición de la materia orgánica, aquí existe la presencia de olor, sabor y toxicidad en las aguas que les contenga. Antes este parámetro era utilizado para demostrar si el agua de riego contenía salinidad, pero ahora ayuda a determinar valores de conductividad eléctrica.

2.8.4. Cloruros

Según García (2017) es un anión inorgánico que ingresa a los cuerpos de agua mediante las escorrentías pluviales. La concentración de cloros en los cuerpos de aguas superficiales tiende a ser bajos, a menos que hayan sido adulteradas por fuentes antropogénicas, como son vertidos urbanos, actividad agrícolas y ganaderas.

2.8.5. Sodio

Citando a Shahid et al. (2018) es un ion que afecta la estructura del suelo, ocasionando toxicidad en los cultivos, puesto que lucha con el ion potasio, durante la adsorción de nutrientes por las raíces y al acumularse en las hojas de ciertos cultivos. La toxicidad se puede evidenciarse en forma de hojas rizadas y tejidos muertos, cuando los valores de este elemento son superiores a 80 ppm según lo que se encuentra descrito en la límites permisibles para aguas de riego.

2.8.6. Bicarbonato

Este compuesto presenta un problema en el agua de riego para cuando se forman la alcalinización en los suelos, en este caso se debe tomar medidas para su neutralización por medio de la aplicación de ácido y finalmente se puedan convertir en gases de CO₂ que se pierden en la atmosfera, resultando una potencial fuente de contaminación (Shahid et al., 2018).

2.9. Parámetros microbiológicos que afectan al agua para riego

2.9.1. Coliformes totales

La determinación de coliformes totales en el agua es crucial para evaluar su calidad microbiológica, indicando la posible presencia de patógenos. Se utilizan métodos como filtración por membrana, ensayo de número más probable (NMP) y método de sustrato definido. El control de calidad implica la recolección de muestras estériles y análisis en laboratorios certificados. Para mantener niveles aceptables, se aplican tratamientos de desinfección, protecciones contra contaminación fecal y monitoreo continuo (Cantuña et al., 2017).

2.10. Relación de adsorción de sodio (RAS)

Como mencionan Rodríguez et al. (2022) este índice indica el peligro potencial de que el agua y el suelo estén en equilibrio, sin embargo, muchos otros factores pueden afectar el equilibrio anterior y cambiar esta relación, cuando el agua de riego contiene una gran cantidad de sodio en solución, se puede acumular, provocando que el suelo se flocule y pierda su estructura. Debido a esto, la permeabilidad del suelo al agua y al aire disminuye, permitiendo la formación de costras, lo cual impide el desarrollo normal de los cultivos.

2.11. Carbonato de sodio residual (CSR)

El cálculo de carbonato de sodio residual (CSR) permite predecir la tendencia del calcio y el magnesio a precipitar en los suelos cuando se riegan con agua altamente carbonatada. Cuando esto ocurre, la proporción relativa de iones de sodio en el suelo aumenta, es decir, aumenta el valor de RAS y el riesgo de sodificación del suelo (Tartabull & Betancourt, 2016).

2.12. Acuerdo Ministerial 097-A

Reforma Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), es una normativa técnica que sistematiza las leyes y regulaciones ambientales en Ecuador. Su propósito es establecer políticas y acciones en materia de gestión ambiental, promoviendo el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente (MAATE, 2015).

Para la investigación se considerará **“Normas de Calidad Ambiental y Descargas de Aguas Residuales: Criterios de calidad de agua”** En el ámbito agrícola, el recurso hídrico es empleado para la irrigación de los cultivos y actividades relacionadas.

El uso prohibido de aguas residuales para fines de riego, exceptuando las aguas negras tratadas que cumplan con los estándares de calidad establecidos (MAATE, 2015).

2.13. Medidas de conservación o mitigación

2.13.1. Medidas de conservación

Según Sierra, (2016) para establecer las medidas de conservación se proponen serie de consejos, recomendaciones, prácticas y acciones para revertir los problemas ambientales y cuida el medio ambiente. Estas acciones sostenibles permiten proteger y mantener el ambiente, la biodiversidad, los bosques, los ecosistemas, los parques, las áreas protegidas, los océanos y todos los recursos que el planeta tiene para ofrecernos.

2.13.2. Medidas de mitigación

Se definen como un conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y/o compensación de impactos ambientales adversos. Las medidas de mitigación se basan, preferentemente, en la prevención y no en la corrección de los impactos ambientales (SENAGUA, 2016).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de carácter exploratorio y descriptivo, en la que se analizaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Para llevar a cabo los estudios correspondientes, las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Servicios Ambientales (LSA) de la Universidad Nacional de Chimborazo, para realizar los análisis pertinentes.

El análisis de calidad del agua de sistema de riego Guangopud-Gatazo, fue desarrollada en cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

Fase I: Plan de muestreo

3.1.1. Localización del área de estudio

El área de investigación se centra en el Cantón Colta, situada aproximadamente 18 km de la ciudad de Riobamba (figura 1). Su altitud promedio oscila entre 2700 y 3500 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas que varían entre 6 °C y 20 °C por efectos de la Cordillera Occidental y precipitaciones anuales que rondan los 250 a 100 mm./año. Colta, cuenta con una superficie de 850 km², representa alrededor del 13,14 % de la provincia de Chimborazo (Manzano, 2021).

3.1.2. Tamaño de muestra

Se determinó el tamaño de la muestra lo que implicó visitas en el terreno, específicamente en ocho puntos del sistema de riego. Estos puntos fueron seleccionados de manera estratégica, considerando su accesibilidad, representatividad y seguridad para la recolección de las muestras.

3.1.3. Tipo de muestreo

El procedimiento de muestreo implicó la toma de muestras simples en cada uno de los puntos seleccionados. Los muestreos se realizaron de manera regular cada 15 días, durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, con el fin de observar si existía variabilidad en la calidad del agua durante estos periodos.

3.1.4. Toma de muestras

Para la toma de muestras de los análisis físicos, químicos y microbiológicos, se siguieron las especificaciones establecidas en las normas NTE INEN 2169:2013 sobre calidad

del agua, muestreo, manejo y conservación. Las muestras fueron recolectadas en envases de plásticos y ámbar estéril de un litro de capacidad para los análisis fisicoquímicos, y en frascos estériles de 100 mL para los análisis microbiológicos. En cada toma de muestra, se realizaron tres lavados previos de las botellas con la misma agua de riego antes de su llenado completo, sin dejar espacio para aire en los envases de análisis fisicoquímico. En el caso de los frascos estériles para microbiología, se dejó un pequeño espacio de aire.

Luego de la recolección de las muestras, se procedió a su etiquetado, registrando el código de la muestra, la fecha, la hora, el lugar de recolección y los nombres de los recolectores. Este procedimiento se repitió en todos los puntos de estudio en seis ocasiones, es decir, se realizaron muestreos cada 15 días durante el periodo de estudio.

3.1.5. Preservación y transporte de la muestra

Para garantizar la correcta preservación de las muestras y mantener su integridad durante el proceso, se siguieron las pautas establecidas en la norma NTE INEN 2169:2013. Se utilizó coolers con gel refrigerante para proteger las muestras de la luz solar y mantenerlas a una temperatura constante entre 4 y 8 °C. Esto permitió minimizar la alteración de los parámetros químicos y biológicos de las muestras, durante el proceso de recolección y traslado al Laboratorio de Servicios Ambientales (LSA) de la Universidad Nacional de Chimborazo, donde finalmente se realizaron los análisis pertinentes.

Fase II: Técnicas de análisis

3.2.1. Métodos, técnicas e instrumentos de análisis

Tabla 1

Métodos de análisis de muestras

Parámetro	Unidad	Método
Temperatura	°C	Potenciómetro
Conductividad Eléctrica	μS/cm	Conductímetro
pH	[H ⁺]	Potenciómetro
SDT	mg/L	Potenciómetro
Sulfatos	mg/L	Fotometría UV
Cloruros	mg/L	Titulación

Carbonatos	meq/L	Titulación
Bicarbonatos	meq/L	Titulación
Nitratos	mg/L	Fotometría UV
Calcio	meq/L	Absorción atómica
Sodio	meq/L	Absorción atómica
Magnesio	meq/L	Absorción atómica
Potasio	meq/L	Absorción atómica
Coliformes Totales	UFC	Filtración por membrana

Nota. Para el análisis de los diferentes parámetros se utilizaron las técnicas especificadas en la tabla 1. Tomado de (INEN 2169, 2013).

En este estudio de la calidad del agua, se utilizaron una serie de técnicas de análisis que fueron seleccionadas meticulosamente para garantizar la obtención de resultados precisos y confiables. Estas técnicas permitieron evaluar una amplia gama de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, esenciales para comprender el estado del recurso hídrico en el sistema de riego Guangopud-Gatazo.

Para la medición de la temperatura del agua, se empleó un *potenciómetro digital*. Esta herramienta permitió realizar mediciones exactas directamente en los tanques del sistema de riego, en los puntos específicos establecidos para el monitoreo. La temperatura es un factor clave, ya que influye en la actividad biológica y química del agua, por lo que su evaluación en cada punto de muestreo.

El pH del agua se midió utilizando un *pHmetro Mettler*, un dispositivo especializado que permite detectar el nivel de acidez o alcalinidad del agua, un parámetro crítico en la evaluación de la calidad del agua de riego. Para obtener mediciones precisas, la sonda del *pHmetro* fue introducida en cada muestra y se dejó el tiempo necesario para que los valores se estabilizaran antes de registrarlos.

La conductividad eléctrica, que es un indicador de la concentración de sales disueltas en el agua, se midió mediante el uso de un *conductímetro*. La sonda del *conductímetro* se colocó en las muestras y, tras esperar unos minutos, se registraron los valores de conductividad. Además, este mismo instrumento permitió obtener los valores de sólidos disueltos totales

(SDT), un parámetro que refleja la concentración de minerales, sales y otras sustancias disueltas en el agua.

La determinación de sulfatos se realizó mediante *fotometría UV*, un método altamente sensible que permite detectar la concentración de este ion en el agua. Para ello, se añadió 25 mL de muestra en un vaso de precipitación, la cual se utilizó 10 mL de esta muestra en una celda como blanco. Seguidamente, se adicionó el reactivo Sulfaver 4 a los 10 mL restantes de la muestra, se agitó la solución y se dejó reposar durante 5 minutos para que la reacción se completara. Finalmente, se procedió a medir la concentración de sulfatos en el espectrofotómetro.

La determinación de cloruros, otro ion importante para la evaluación de la calidad del agua se llevó a cabo mediante *titulación*. Se midieron 25 mL de muestra de agua en un erlenmeyer, de los cuales se añadieron 3 gotas de indicador cromato de potasio, provocando que la solución adquiriera una coloración amarilla. Posteriormente, se realizó la titulación con nitrato de plata 0.01N, añadiendo lentamente el titulante bajo agitación constante hasta que adquirió un color ladrillo. Una vez alcanzado este color, se midió el volumen del titulante utilizado, lo que permitió determinar la concentración de cloruros en cada una de las muestras.

Para la determinación de carbonatos y bicarbonatos, se utilizó el método de *titulación*. En este caso, se colocó 25 mL de agua de muestra en un matraz erlenmeyer, y se agregó 3 gotas de indicador de fenolftaleína. Si bien en este caso no se observó un cambio de coloración, se continuó el procedimiento añadiendo 3 gotas de indicador de naranja de metilo, lo que provocó un cambio de color de naranja a rosado. A continuación, se tituló la muestra con ácido sulfúrico a 0.02N, agitando constantemente hasta que la solución adquirió una coloración rosada, lo que permitió determinar los niveles de carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua.

El análisis de nitratos, un nutriente esencial pero potencialmente contaminante, se llevó a cabo también mediante *fotometría UV*. Al igual que con los sulfatos, se filtraron 25 mL de muestra, y 10 mL se colocaron en una celda que fue utilizada como blanco. Luego, a los otros 10 mL de muestra se les añadió el reactivo Nitriver 5, se agitó la solución durante un minuto y se dejó reposar durante 5 minutos para permitir que la reacción se completara. Finalmente, se midió la concentración de nitratos en el espectrofotómetro para cada una de las muestras recolectadas.

Para la determinación de los elementos calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg) y potasio (K), se empleó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, un método extremadamente preciso que permite medir las concentraciones de estos cationes en el agua. El procedimiento consistió en colocar 5 mL de muestra en un erlenmeyer, a los que se les añadió 10 mL de ácido nítrico al 65 % de pureza. La solución fue calentada durante 3 horas a diferentes temperaturas, y una vez que se enfrió, se filtró y se aforó con ácido nítrico al 1 % en balones de 50 mL, obteniendo así un factor de dilución de 10. Las muestras se analizaron en el espectrofotómetro, utilizando longitudes de onda específicas para cada elemento: 589 nm para sodio, 422.7 nm para calcio, 285.2 nm para magnesio y 766.5 nm para potasio. Se realizaron curvas de calibración para cada uno de los elementos, y se consideraron resultados válidos aquellos con un coeficiente de determinación (R) mayor o igual a 0.0995.

Por último, la determinación de coliformes totales, un parámetro microbiológico que indica la posible presencia de patógenos en el agua se realizó mediante el método de filtración por membrana. Para ello, se esterilizaron todos los materiales necesarios, y se colocó el embudo de filtración en un kitasato bien sellado con un corcho. Se llenó el embudo con 100 mL de la muestra de agua, que luego fue filtrada al vacío mediante el uso de una bomba de vacío conectada al kitasato. Una vez filtrada, se enjuagaron las paredes del embudo con agua de peptona para asegurar la limpieza de los residuos, y se volvió a aplicar vacío para completar el proceso de filtración. Las muestras filtradas se incubaron a 36 °C durante 24 horas, y al cabo de este tiempo se procedió a contar el número de colonias formadas.

En la parte microbiológica, se utilizó *agar MacConkey* como medio de cultivo. Para su preparación, se disolvieron 8.25 g de este medio en 160 mL de agua destilada, y la solución resultante fue llevada a ebullición en una plancha de calentamiento hasta conseguir una disolución completa. Posteriormente, la solución se esterilizó en autoclave durante 15 minutos. Una vez completado este proceso, se dejó enfriar la solución hasta alcanzar una temperatura de 45 °C, momento en el cual se vertieron 20 mL del medio en cada una de las 8 cajas de Petri, las cuales se colocaron sobre una superficie horizontal para facilitar su solidificación.

Fase III: Cálculo de los índices de calidad

En la Fase III del estudio, se realizó el cálculo de los índices de calidad del agua, un paso crucial para entender la aptitud del agua del sistema de riego Guangopud-Gatazo en relación con su uso agrícola. Este proceso se centró en la estimación del efecto del sodio mediante el cálculo del índice de Relación de Absorción de Sodio (RAS) y del carbonato de

sodio residual (CSR), dos indicadores fundamentales para evaluar el riesgo de salinización y sodificación de los suelos.

3.3.1. Estimación del efecto del sodio

Para la estimación del RAS según la metodología utilizada por Rodríguez et al. (2022), se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \quad Ec. (1)$$

Donde:

Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} son las concentraciones de sodio, calcio y magnesio, respectivamente, expresadas en miliequivalentes por litro (mEq/L).

Este índice refleja el equilibrio entre el sodio y los cationes divalentes (calcio y magnesio) en el agua de riego. Un alto valor de RAS indica que el sodio predomina, lo que puede causar que las partículas del suelo se separen, disminuyendo su permeabilidad al agua y al aire, lo que compromete la calidad de los suelos agrícolas y, en consecuencia, el rendimiento de los cultivos.

En la Tabla 2, se presentan los criterios de calidad del agua en función de los valores de RAS, los cuales determinan el riesgo de sodicidad del agua. Los valores de RAS se clasifican en cuatro categorías:

Tabla 2

Criterios de calidad a partir de los valores de la RAS

RAS	Riesgo de Sodicidad	Criterio de calidad
< 10	Bajo	Excelente
10 -18	Medio	Buena
18 -26	Alto	Dudosa
>26	Muy alto	No recomendable

Nota. Este análisis es de vital importancia para los agricultores, ya que les permite identificar si el agua que utilizan podría estar contribuyendo a la degradación de sus suelos. Tomado de (Tartabull & Betancourt, 2016).

3.3.2. Cálculo de carbonato sódico residual (CSR)

Según la metodología utilizada por Camacho et al. (2020) el cálculo del CSR se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$CSR = \{[CO_3^{2-}] + [HCO_3^{-}]\} - \{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]\} \quad Ec. (2)$$

Las concentraciones de los iones se expresan en unidades de $\frac{meq}{L}$

El CSR es un indicador de la tendencia del agua a causar precipitación de carbonatos de calcio y magnesio en el suelo. Cuando el valor de CSR es alto, aumenta el riesgo de que estos elementos precipiten, incrementando así el riesgo de sodificación del suelo. La Tabla 3 clasifica los valores de CSR y los relaciona con la calidad del agua:

Tabla 3 *Relación de la calidad del agua con los valores del CSR*

CSR	Criterio de calidad
< 1.25	Buena
1.25 - 2.50	Condicionada
> 2.50	No recomendable

Nota. Para evaluar la calidad del agua según los resultados del indicador CSR se utilizó la tabla 3 en la cual se detallan los criterios de calidad del agua en relación del CSR.

Este análisis ayuda a prever problemas futuros de salinidad y sodificación, los cuales pueden deteriorar la estructura del suelo y reducir la productividad agrícola, y es esencial para el diseño de estrategias de manejo del riego en zonas vulnerables. Tomado de (Castellón et al., 2015).

Fase IV: Comparación con normativa

La comparación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del Sistema de riego Guangopud-Gatazo, con los criterios de calidad de agua para fines agrícolas del Acuerdo Ministerial 097-A y la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), permitió comparar con los límites máximos permisibles. Además, se realizó la comparación de los resultados del índice de Relación de Absorción de Sodio y del Carbonato de Sodio Residual con los criterios de calidad del RAS y la relación de calidad de agua con los valores del CSR.

Tabla 4*Límites de los parámetros para calidad de agua de riego*

Parámetro	Unidad	Límites definidos por el Acuerdo Ministerial 097-A		Límites definidos por la FAO	
		Límite mínimo	Límite máximo	Límite mínimo	Límite máximo
Temperatura	°C	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	mΩ/cm	0	3	-	-
pH	[H ⁺]	6	8.4	-	-
SDT	mg/L	0	450	-	-
Sulfatos	mg/L	0	250	-	-
Cloruros	mg/L	0	3	-	-
Carbonatos	meq/L	-	-	0	10
Bicarbonatos	meq/L	0	1,5	-	-
Nitratos	mg/L	5	30	-	-
Calcio	meq/L	-	-	0	20
Sodio	meq/L	0	10	-	40
Magnesio	meq/L	-	-	0	5
Potasio	meq/L	-	-	-	-
Coliformes Totales	nmp/100ml	0	1000	-	-

Nota. Los resultados obtenidos de los análisis se compararon con la normativa vigente presente en la tabla 4 y las tablas 2 y 3 del presente documento de los criterios de calidad del RAS y de la relación de calidad de agua con los valores del CSR, respectivamente. Tomado de (MAATE, 2015) y (FAO, 2018).

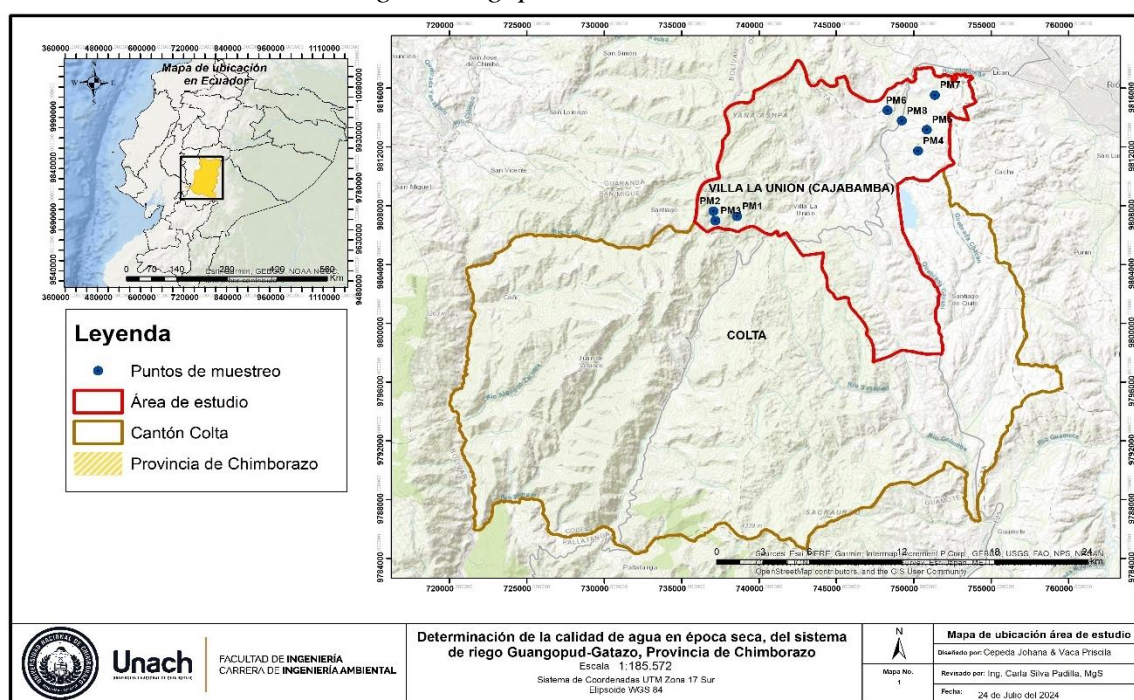
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Área de Estudio

El sistema de riego Guangopud Gatazo se encuentra al Sur Oeste del Cantón Colta, parroquia Villa la Unión abastece a 9 comunidades (Misquilli, Hospital Gatazo, Gatazo Chancagua, Gatazo Pucará, Gatazo Centro, Gatazo Rinconada, Gatazo Zambrano, Gatazo Chico, Gatazo Bellavista) pertenecientes a la parroquia Villa La Unión, como se puede visualizar en la figura 1.

Figura 1

Ubicación del Sistema de Riego Guangopud-Gatazo



4.2. Puntos de Muestreo

4.2.1. Codificación y georreferenciación de los puntos de muestreo

Se realizó una exploración en el cual se establecieron 8 puntos para los análisis, debido a que el sistema de riego es de tubería desde la captación hasta la distribución, la cercanía entre los tanques, la accesibilidad y optimización de recursos, como muestra la figura 2 y la tabla 5.

Figura 2

Mapa de los puntos de muestreo

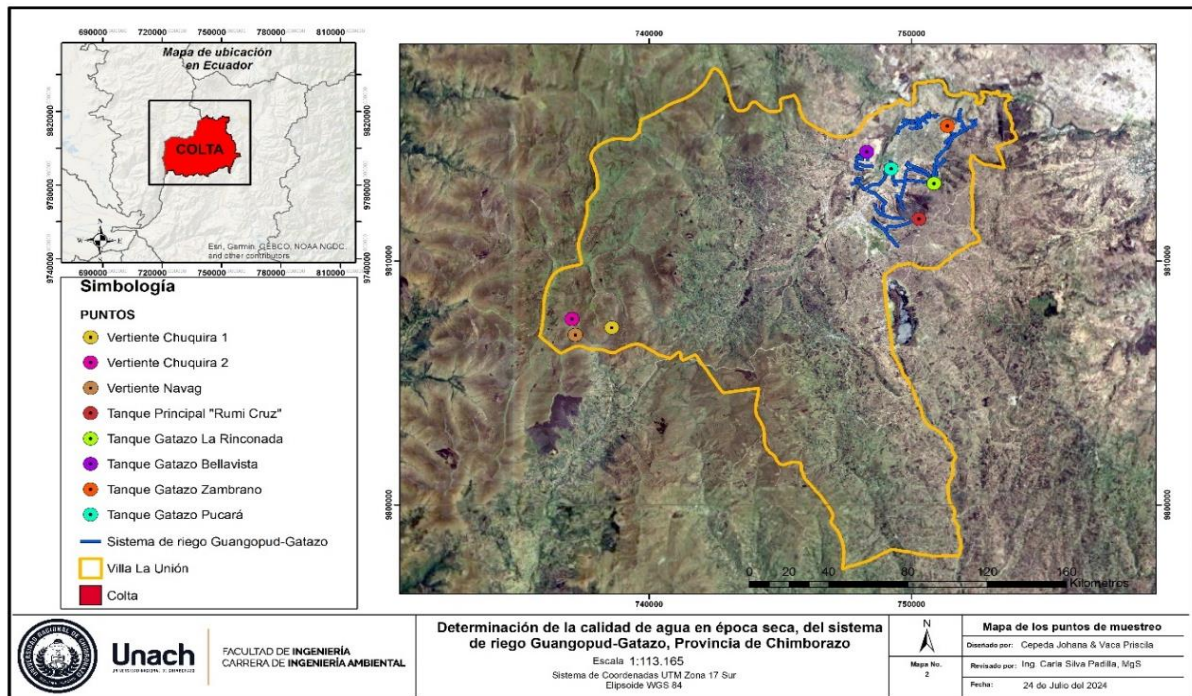


Tabla 5

Ubicación de los puntos de muestreos

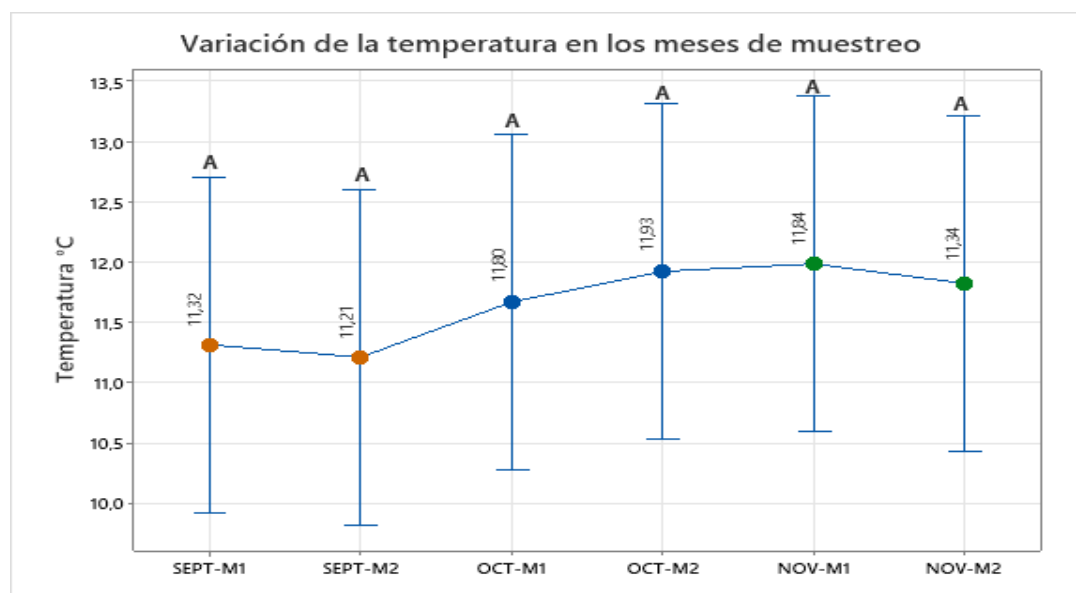
Punto de identificación	Lugar	Coordenadas UTM 17 Sur		Altitud (m.s.n.m)
		Latitud (X)	Longitud(Y)	
PM1	Vertiente Chuquirá (1)	738588.724	9807278.3	3947
PM2	Vertiente Chuquirá (2)	737070.833	9807631.668	3975
PM3	Vertiente Navag	737196.719	9806976.527	3970
PM4	Tanque de almacenamiento "Rumi Cruz"	750280.698	9811732.334	3455
PM5	Tanque Gatazo La Rinconada	750856.825	9813182.697	3214
PM6	Tanque Gatazo Bellavista	748304.626	9814489.57	3202
PM7	Tanque Gatazo Zambrano	751370.618	9815537.699	3128
PM8	Tanque Gatazo Pucará	749227.167	9813785.724	3170

4.3. Calidad de agua del sistema de riego Guangopud-Gatazo

4.3.1. Temperatura

Figura 3

Temperatura en los meses de muestreo



Nota. Esta figura muestra los valores de temperatura en grados Celsius (°C) de los 8 puntos de muestreo.

El análisis de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra una variabilidad moderada entre las fechas de monitoreo. En los primeros dos muestreos, los valores de temperatura registrados fueron similares, manteniéndose en 11.32 °C y 11.21 °C, respectivamente. Esto indica una estabilidad térmica en esta fase inicial del monitoreo. Estos valores son consistentes con las condiciones ambientales propias del sistema de riego y la altitud donde se encuentra ubicado. Es importante destacar que en estos primeros dos puntos no se observan diferencias estadísticamente significativas en la temperatura.

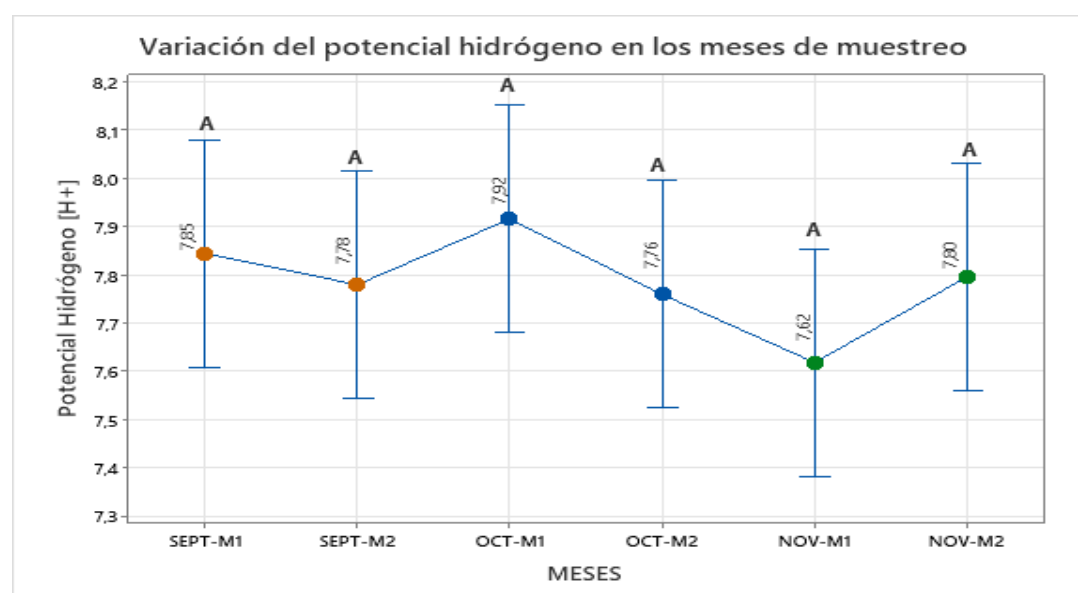
Además, se evidencia un ligero incremento en la temperatura en Oct-M1, alcanzando los 11.80 °C y en Oct-M2, con una temperatura de 11.93 °C. Este ascenso puede estar relacionado con la disminución paulatina de la disponibilidad de agua en el sistema y el aumento en la demanda del recurso debido a la temporada seca. Las variaciones en estos valores no son suficientemente grandes como para representar un cambio drástico, pero sugieren la necesidad de un monitoreo más frecuente para evaluar posibles fluctuaciones mayores en condiciones climáticas más extremas.

Finalmente, los últimos dos muestreos se visualiza una estabilización en los valores de temperatura, con 11.84 °C y 11.34 °C, respectivamente. Aunque el valor registrado en Nov-M2 muestra una ligera disminución en comparación con el muestreo anterior, la variabilidad observada es mínima y no implica cambios significativos en las condiciones del agua para riego. Estos resultados sugieren que, en general, el sistema de riego Guangopud-Gatazo presenta una estabilidad térmica aceptable durante el periodo evaluado, con ligeras fluctuaciones que son esperables debido a las condiciones ambientales propias de la época seca.

4.3.2. Potencial hidrógeno

Figura 4

Valores de pH en los meses de muestreo



Nota. Esta figura presenta los resultados del pH medido en cada uno de los puntos de muestreo, destacando las diferencias entre ellos.

El análisis del pH en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo muestra ligeras variaciones en el potencial de hidrógeno a lo largo de los meses de monitoreo. En Sept-M1, se presentó un valor de pH de 7.85, manteniéndose dentro del rango de neutralidad, lo que indica que el agua presenta características adecuadas para su uso en riego sin riesgos de acidez o alcalinidad excesiva. En Sept-M2, el pH disminuyó ligeramente a 7.78, lo que representa una variación mínima, sigue siendo favorable para los cultivos. Esta estabilidad inicial refleja condiciones hídricas controladas y aptas para el desarrollo agrícola.

En Oct-M1, los valores de pH mostraron un leve incremento, alcanzando 7.92, el valor más alto registrado en el periodo de monitoreo. Esta ligera subida está relacionada con cambios

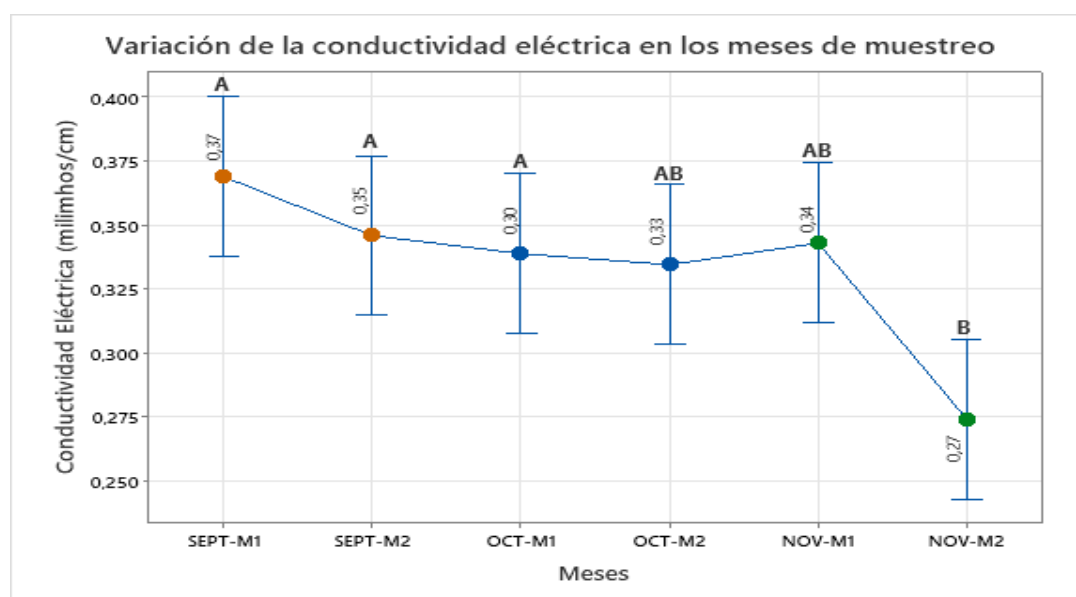
en las características del sistema de riego como la presencia de sembríos cercanos a este y puede estar expuestos a los fertilizantes que se usa, pero sigue dentro del rango permisible para el riego agrícola. Sin embargo, en Oct-M2, el pH disminuyó a 7.76, lo que sugiere que el sistema de riego experimenta fluctuaciones naturales en el pH, posiblemente debido a factores ambientales o a la variabilidad de la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo.

Finalmente, en los últimos dos muestreos, los valores de pH fueron de 7.62 y 7.80, respectivamente. Aunque el pH registró una leve caída en Nov-M1, el aumento en el último muestreo sugiere una tendencia a estabilizarse nuevamente. Los valores de pH en todos los puntos de muestreo se mantuvieron dentro de un rango aceptable, asegurando que no se superan los límites establecidos por las normativas locales e internacionales para agua de riego.

4.3.3. Conductividad eléctrica

Figura 5

Conductividad eléctrica en los meses de muestreo



Nota. La tabla muestra los valores de conductividad eléctrica en milimhos por centímetro ($m\Omega/cm$), y su relevancia para la evaluación de la salinidad del agua de riego.

El gráfico muestra la variación de la conductividad eléctrica en el sistema de riego Guangopud-Gatazo durante los diferentes meses de muestreo. Los valores se presentan en milimhos por centímetro ($m\Omega/cm$), un indicador clave para evaluar la salinidad del agua de riego. En Sept-M1 y Sept-M2, los valores de conductividad eléctrica oscilaron entre 0,37 $m\Omega/cm$ y 0,35 $m\Omega/cm$, lo que refleja una estabilidad en la concentración de sales disueltas durante este mes. Estos valores se consideran bajos en relación con los estándares

internacionales para el riego agrícola, lo que sugiere que el agua es adecuada para el uso en cultivos sin riesgo significativo de salinización del suelo.

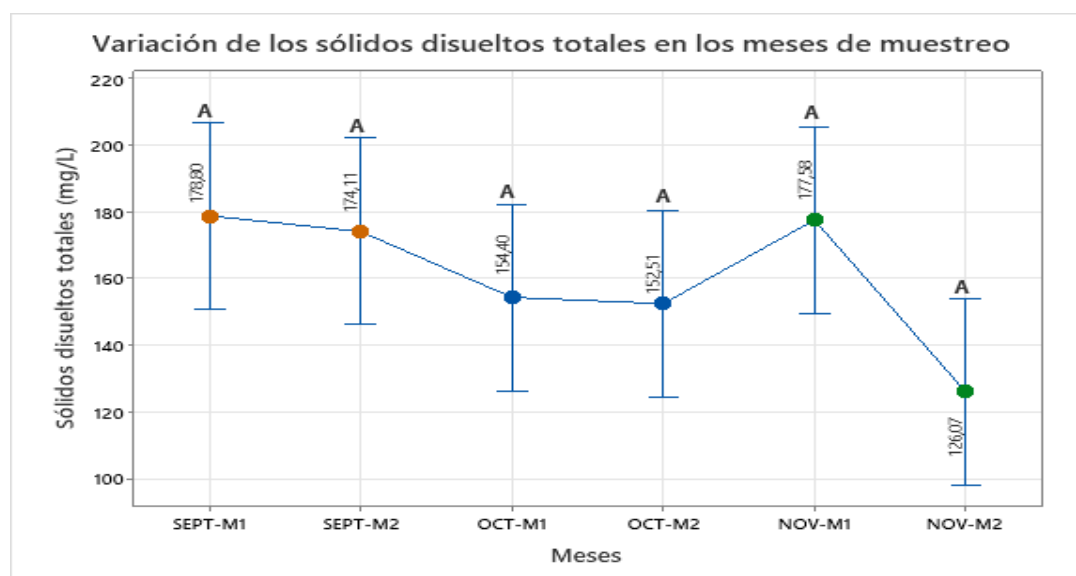
En Oct-M1 y Oct-M2, la conductividad disminuyó levemente, llegando a 0,30 mΩ/cm y 0,33 mΩ/cm respectivamente. Esta disminución puede estar relacionada con variaciones estacionales o meteorológicas que afectan la concentración de sales en el agua. A pesar de la ligera disminución, los valores se mantuvieron dentro de un rango aceptable, lo que sigue siendo favorable para el riego, ya que los niveles de salinidad son bajos y no representan un peligro para la estructura del suelo o la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

En noviembre, se observó una variación significativa en los valores de conductividad. En Nov-M1 mostró un ligero aumento a 0,34 mΩ/cm, lo que podría estar relacionado con la acumulación de sales debido a una menor precipitación. Sin embargo, en Nov-M2 la conductividad eléctrica disminuyó a 0,27 mΩ/cm, lo que sugiere un posible aumento de caudal ocasionado por precipitaciones existentes en este mes. Este valor es el más bajo registrado durante todo el período de muestreo, lo que indica que el agua en este punto tiene una baja concentración de sales disueltas,

4.3.4. Sólidos disueltos totales

Figura 6

Concentración de sólidos disueltos totales en los meses de muestreo



Nota. Esta figura indica la concentración de sólidos disueltos totales, expresada en miligramos por litro (mg/L).

El análisis de los sólidos disueltos totales (SDT) en el sistema de riego Guangopud-Gatazo muestra una tendencia variable en la concentración de estos, expresada en mg/L, a lo largo del periodo de monitoreo. En Sept-M1, se presenta una concentración de sólidos disueltos de 178.90 mg/L, valor que indica una moderada cantidad de partículas disueltas en el agua. Sin embargo, en Sept-M2 se observó una disminución en los SDT, alcanzando los 174.11 mg/L. Aunque la variación es leve, esta disminución podría estar relacionada con fluctuaciones en el caudal del agua que influyen en la concentración de partículas.

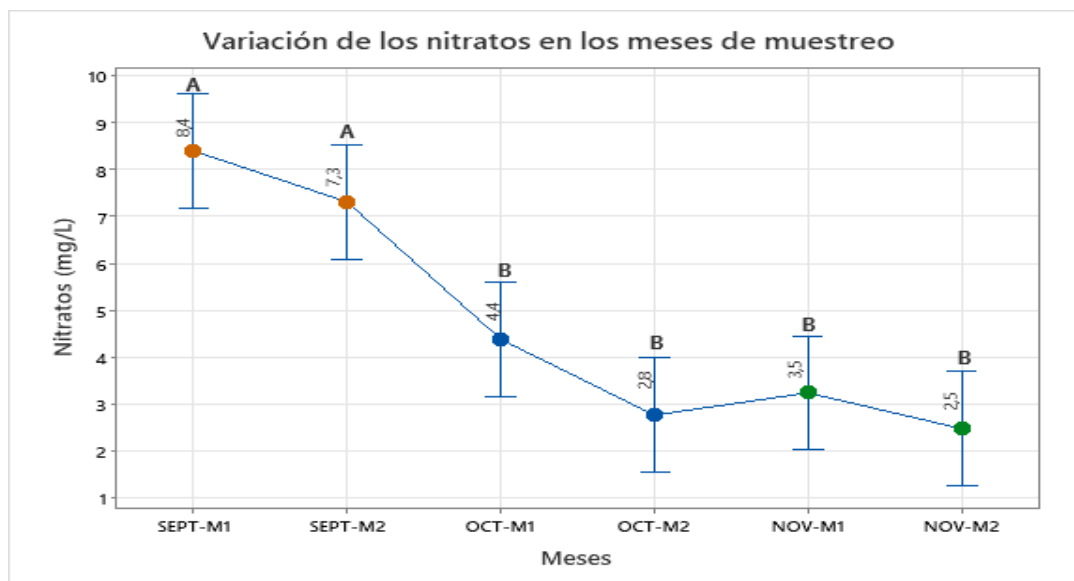
En el muestreo Oct-M1 y Oct-M2, se registra una mayor disminución en los valores de sólidos disueltos totales, llegando a 154.40 mg/L y 152.51 mg/L, respectivamente. Esta caída refleja una reducción en la cantidad de materiales disueltos en el agua, lo cual puede deberse a una mayor dilución por lluvias o a cambios en las características del suelo de las fuentes de agua. A pesar de esta reducción, los niveles de SDT permanecen dentro de los límites aceptables para el riego agrícola, según las normativas vigentes, lo que sugiere que no hay un impacto significativo sobre la calidad del agua en estos momentos.

En Nov-M1 los valores de SDT que alcanzan los 177.58 mg/L. No obstante, en Nov-M2, los sólidos disueltos totales vuelven a disminuir de manera considerable, situándose en 126.07 mg/L, el valor más bajo registrado en el periodo de estudio. Este último descenso sugiere que la dinámica de los sólidos disueltos en el sistema está influenciada por factores ambientales variables, como precipitaciones o la variación en el uso agrícola, manteniéndose dentro de los parámetros permitidos para el riego, pero evidenciando la necesidad de monitoreo constante para prevenir posibles incrementos en la concentración de sales y partículas.

4.3.5. Nitratos

Figura 7

Concentración de nitratos en los meses de muestreo



Nota. Los valores de nitratos en mg/L obtenidos en los 8 puntos de muestreo.

El análisis de la concentración de nitratos en el sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra una clara tendencia decreciente a lo largo del periodo de monitoreo. En Sept-M1, se registró el valor más alto de nitratos, con una concentración de 8.4 mg/L, mientras que, en el segundo muestreo, los niveles disminuyeron a 7.3 mg/L. Esta reducción inicial podría estar relacionada con variaciones en la dinámica de los nutrientes en el suelo o con la disolución de nitratos debido a las condiciones hídricas, aunque ambos valores se encuentran dentro de los límites permisibles para el riego agrícola.

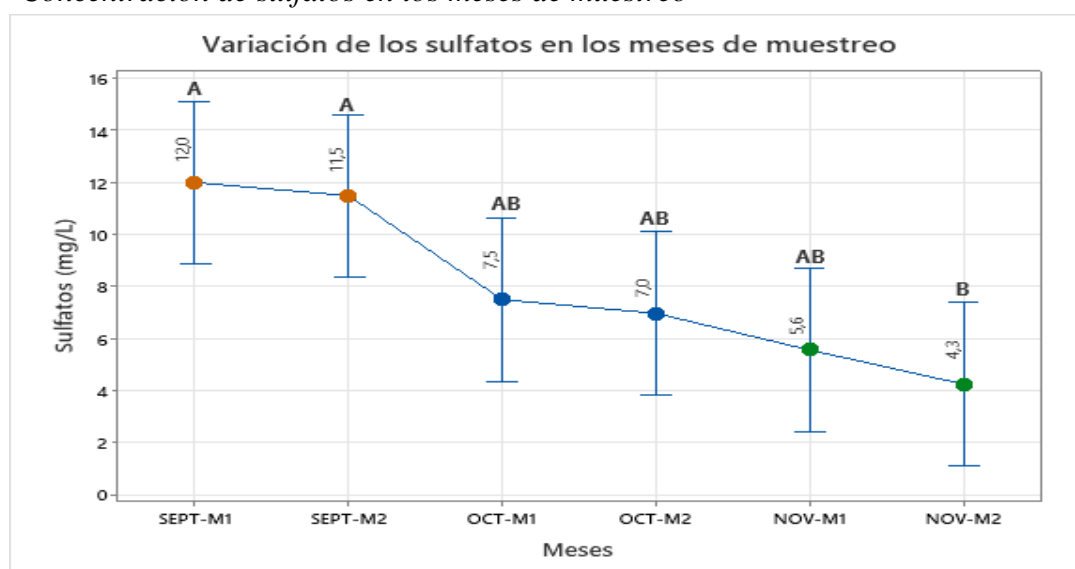
En los siguientes monitoreos, los niveles de nitratos continuaron disminuyendo de manera más significativa. En Oct-M1, la concentración bajó a 4.4 mg/L, y para Oct-M2 se redujo aún más, alcanzando los 2.8 mg/L. Estas caídas sugieren que, conforme avanzaba el periodo de estudio, la cantidad de nitratos disueltos en el agua fue disminuyendo debido a factores como el lavado de los nutrientes del suelo por las lluvias o la menor actividad agrícola en la zona de riego. Cabe destacar que los puntos marcados como "B" en el gráfico indican que los valores de estas fechas no presentan diferencias significativas entre sí, lo que sugiere una estabilización en la disminución de los niveles de nitratos en esta fase del estudio.

Finalmente, en Nov-M1 y Nov-M2 los niveles de nitratos alcanzaron sus valores más bajos, con 3.5 mg/L y 2.5 mg/L, respectivamente. Estos valores reflejan una estabilización en la concentración de nitratos en el agua, con una tendencia a mantenerse en niveles bajos hacia el final del periodo de muestreo. El valor "B" presente en ambos muestreos confirma que no hay diferencias significativas entre estas últimas fechas. Aunque las concentraciones de nitratos descendieron de manera considerable, es importante señalar que en ningún momento se superaron los límites establecidos para el riego agrícola, lo que sugiere que el agua sigue siendo adecuada para su uso en cultivos sin riesgo de afectar la salud del suelo o las plantas.

4.3.6. Sulfatos

Figura 8

Concentración de sulfatos en los meses de muestreo



Nota. Esta figura muestra los valores de sulfatos (mg/L) de los 8 puntos de muestreo.

El análisis de la concentración de sulfatos en el sistema de riego Guangopud-Gatazo muestra una tendencia decreciente a lo largo de los seis muestreos. En Sept-M1, los niveles de sulfatos fueron relativamente altos, con un valor de 12.0 mg/L, mientras que, en el segundo muestreo, la concentración disminuyó levemente a 11.5 mg/L. Este valor puede deberse a la variabilidad en el caudal del agua y su interacción con el suelo, aunque ambos valores se mantienen dentro de los rangos esperados para aguas de riego.

En Oct-M1 y Oct-M2, se observó una disminución más pronunciada en la concentración de sulfatos, llegando a 7.5 mg/L y 7.0 mg/L, respectivamente. Estos cambios podrían estar asociados con el ingreso de agua fresca o la dilución provocada por lluvias,

reduciendo la cantidad de sulfatos disueltos en el agua. Aunque los valores son más bajos en comparación con los muestreos anteriores, aún son aceptables para riego, según las normativas vigentes. Los puntos etiquetados con "AB" en el gráfico indican que no se observan diferencias significativas entre estos muestreos en términos de concentración de sulfatos.

Finalmente, los últimos dos muestreos presentan una disminución continua, con valores de 5.6 mg/L y 4.3 mg/L, respectivamente. Esta tendencia descendente en la concentración de sulfatos sugiere que hacia finales del periodo de estudio la cantidad de sulfatos disueltos en el agua se estabilizó en niveles bajos, lo cual es favorable para la calidad del agua destinada al riego. El valor "B" asignado al muestreo del Nov-M2 indica que este muestreo presenta una diferencia significativa con respecto a los primeros muestreos, lo que confirma una variación notable en la cantidad de sulfatos a lo largo del tiempo.

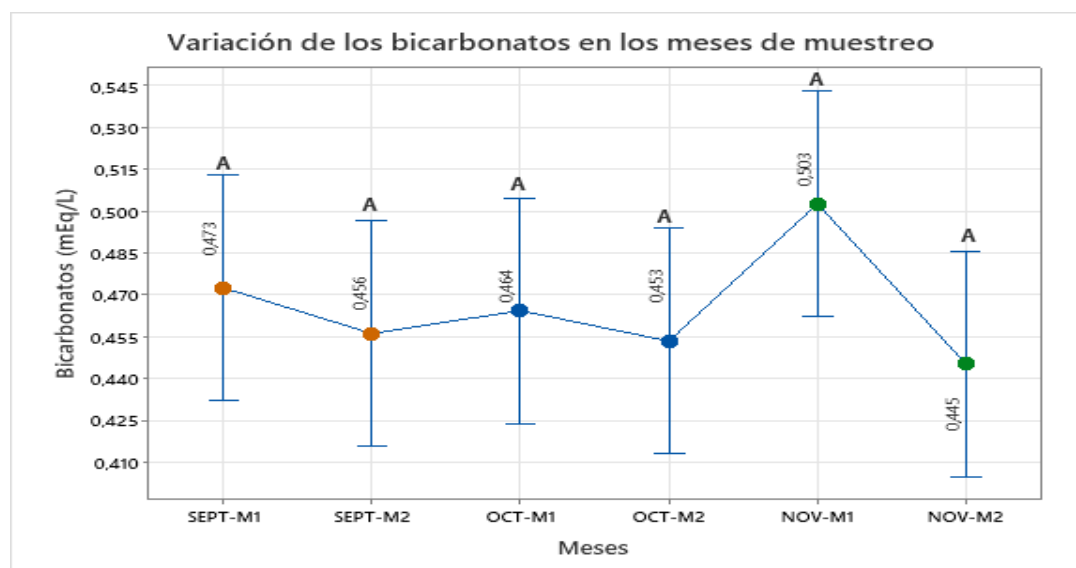
4.3.7. Concentración de carbonatos en el agua

No existen la presencia de carbonatos en el agua de riego.

4.3.8. Concentración de bicarbonatos en el agua

Figura 7

Valores de bicarbonato en los meses de muestreo



Nota. Esta figura refleja las concentraciones de bicarbonato en miliequivalentes por litro (meq/L), evaluando el riesgo de sodificación de los suelos.

El análisis de la concentración de bicarbonatos en el sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra variaciones leves pero consistentes en los diferentes puntos de muestreo. En Sept-M1, se presenta una concentración de bicarbonatos de 0.473 meq/L, mientras que Sept-

M2, registró una ligera disminución a 0.456 meq/L. Estas concentraciones se encuentran dentro de los valores aceptables y no presentan un riesgo elevado de sodificación para los suelos de la zona de riego. La disminución observada entre estos dos puntos podría estar relacionada con la naturaleza del sistema de riego ya que este recibe agua de tres fuentes con una composición diferente lo que puede provocar la modificación de los bicarbonatos.

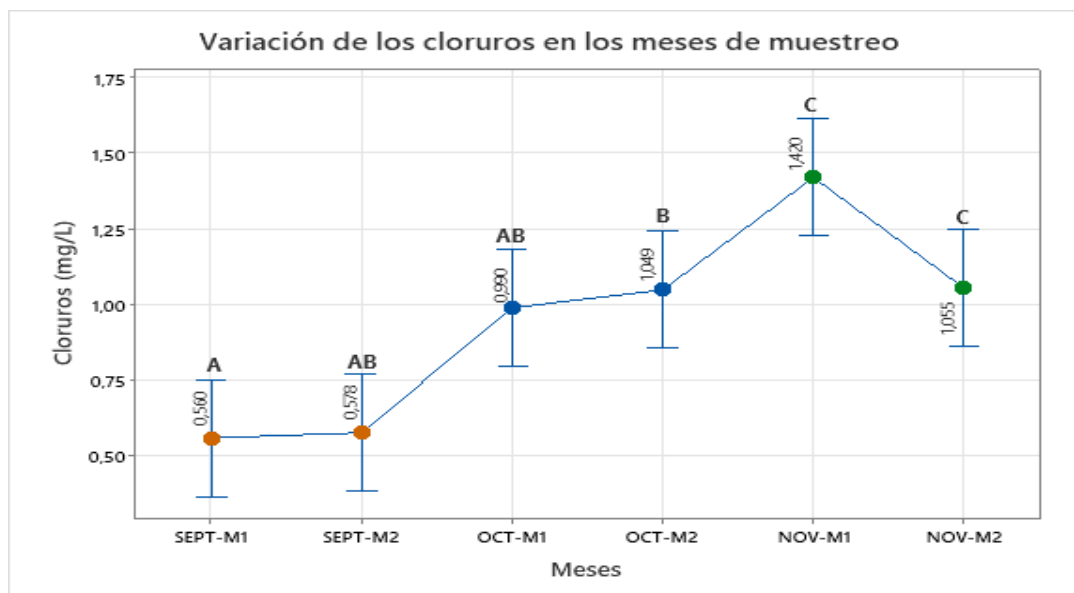
A medida que avanza el periodo de estudio, los niveles de bicarbonatos continuaron mostrando variaciones mínimas. En Oct-M1 y Oct-M2, presentaron concentraciones de 0.464 meq/L y 0.453 meq/L, respectivamente. Estos valores reflejan una estabilidad en la concentración de bicarbonatos en el agua de riego, lo cual es positivo para los suelos, ya que evita un incremento en la alcalinidad que podría interferir con la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Las etiquetas "A" en el gráfico indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes días de muestreo en este periodo, lo que sugiere un comportamiento constante de este parámetro en las fechas analizadas.

En los últimos dos muestreos, se observaron ligeras fluctuaciones. En Nov-M1 se registró un aumento en la concentración de bicarbonatos, alcanzando los 0.503 meq/L, el valor más alto durante el periodo de estudio, lo que podría indicar un cambio temporal en las características del agua o en su interacción con los suelos circundantes. Sin embargo, en Nov-M2, los valores de bicarbonatos descendieron a 0.445 meq/L, reflejando nuevamente una estabilización hacia niveles más bajos. Aunque estas variaciones no son significativas, es importante seguir monitoreando este parámetro para asegurar que los bicarbonatos no alcancen concentraciones que puedan comprometer la calidad del suelo a largo plazo.

4.3.9. Concentración de los cloruros en el agua

Figura 8

Niveles de cloruros en los meses de muestreo



Nota. La figura presenta la concentración de cloruros en mg/L, mostrando su posible impacto sobre los suelos y cultivos en la zona de estudio.

El análisis de los cloruros en el sistema de riego Guangopud-Gatazo revela un patrón de variabilidad en las concentraciones, con un incremento gradual a lo largo de las fechas de muestreo. En Sept-M1, se presenta una concentración de cloruros de 0.560 mg/L, un valor bajo que indica condiciones favorables para el riego sin riesgo de salinización. En Sept-M2, se observó un ligero aumento a 0.578 mg/L. Esta leve variación, no representa un cambio significativo desde el punto de vista agrícola, ya que sigue dentro de los niveles óptimos para el agua de riego.

A partir de Oct-M1, la concentración de cloruros mostró un incremento más marcado, alcanzando 0.990 mg/L. Este aumento se mantuvo hasta Oct-M2, cuando los niveles subieron a 1.049 mg/L. Aunque los valores siguen siendo aceptables, el aumento sostenido sugiere que puede haber factores externos, como una reducción en el caudal o una mayor evaporación, que están concentrando las sales en el agua.

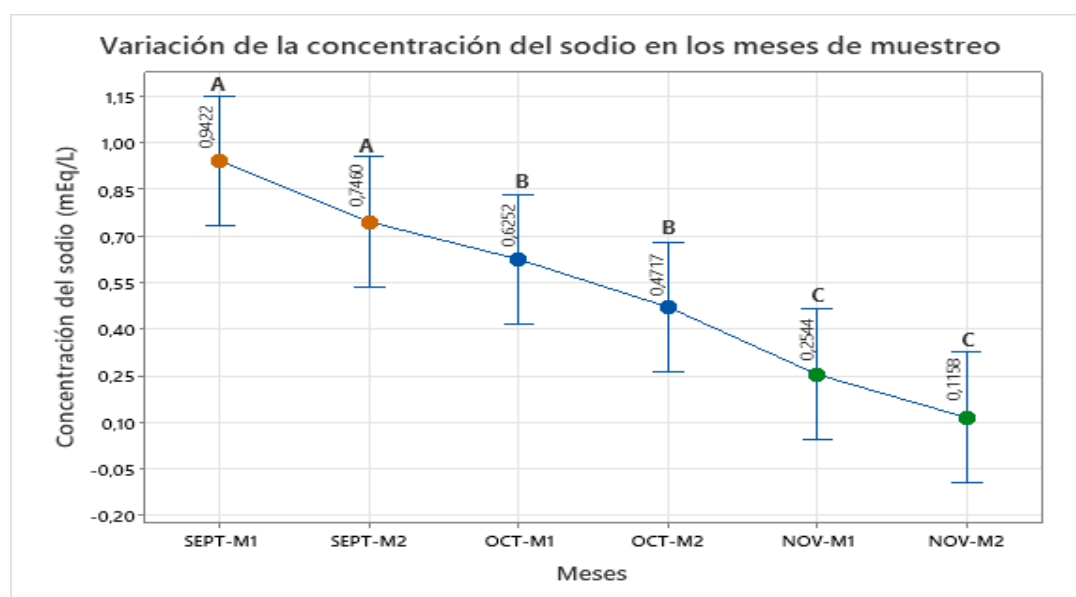
El punto más alto de cloruros se registró en Nov-M1, con una concentración de 1.420 mg/L. Este valor, aunque más elevado que los anteriores, sigue dentro de los límites permisibles, pero comienza a acercarse a niveles que podrían afectar la estructura del suelo si el uso del agua con esta concentración se prolonga en el tiempo. Posteriormente, en Nov-M2

mostró una disminución a 1.055 mg/L, lo que podría indicar una estabilización en las concentraciones de cloruros en el sistema de riego. Los puntos etiquetados como "C" en el gráfico reflejan diferencias estadísticamente significativas en comparación con los primeros muestreos, lo que confirma la variación a lo largo del periodo de monitoreo

4.3.10. Concentración de sodio en el agua

Figura 9

Valores de sodio en los meses de muestreo



Nota. Esta figura refleja las concentraciones de sodio en miliequivalentes por litro (meq/L), evaluando el riesgo de sodificación de los suelos.

El análisis de la concentración de sodio en los diferentes puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra una clara tendencia descendente a lo largo del tiempo. En Sept-M1, la concentración de sodio alcanzó 0.9422 meq/L, un valor relativamente alto en comparación con las fechas posteriores. En el segundo muestreo, se observó una disminución significativa a 0.7460 meq/L. Estos cambios iniciales podrían estar relacionados con la variación en el caudal del agua y la cantidad de sales disueltas, aunque ambos valores siguen siendo aceptables para riego sin representar un riesgo elevado de sodificación.

En Oct-M1 y Oct-M2, los niveles de sodio continuaron disminuyendo de manera constante, alcanzando 0.6252 meq/L y 0.4771 meq/L, respectivamente. Estas reducciones reflejan una tendencia hacia la disminución en la concentración de sodio en el sistema de riego, lo que es positivo desde el punto de vista agrícola, ya que una menor cantidad de sodio en el agua reduce el riesgo de acumulación de sales en el suelo. Los puntos marcados con "B" en el

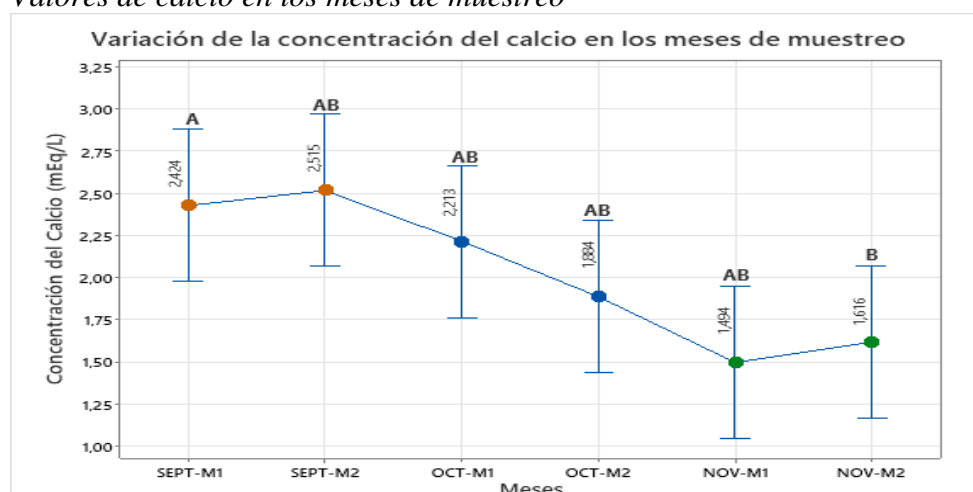
gráfico indican que no hay diferencias significativas entre estos muestreos, lo que sugiere que la concentración de sodio se mantuvo estable durante este periodo.

Finalmente, en los últimos dos muestreos, los niveles de sodio disminuyeron con valores de 0.2544 meq/L y 0.1159 meq/L, respectivamente. Estos valores reflejan una estabilización a la baja en la concentración de sodio en el agua, lo que sugiere que el sistema de riego está operando en condiciones favorables para evitar la salinización de los suelos. Los puntos etiquetados como "C" en el gráfico confirman que hay diferencias significativas entre estas fechas y los primeros muestreos, lo que refuerza la tendencia a la reducción de sodio a lo largo del tiempo. Esta disminución es clave para asegurar la sostenibilidad del suelo a largo plazo, previniendo posibles problemas de sodificación que puedan afectar la productividad agrícola en la región.

4.3.11. Concentración de calcio en el agua

Figura 10

Valores de calcio en los meses de muestreo



Nota. Esta figura refleja las concentraciones de bicarbonato en miliequivalentes por litro (meq/L), evaluando el riesgo de sodificación de los suelos.

El análisis de la concentración de calcio en el sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra una tendencia general de disminución a lo largo del periodo de muestreo, aunque con algunas fluctuaciones puntuales. En Sept-M1, presenta una concentración de calcio de 2.424 meq/L, mientras que, en el segundo muestreo, realizado el 18 de septiembre, se registró un aumento a 2.515 meq/L. Estos valores iniciales son relativamente altos, pero dentro de los rangos aceptables para el agua de riego. Sin embargo, la variabilidad en estos dos primeros

muestreos puede estar relacionada con cambios en las condiciones del suelo o en el caudal del agua.

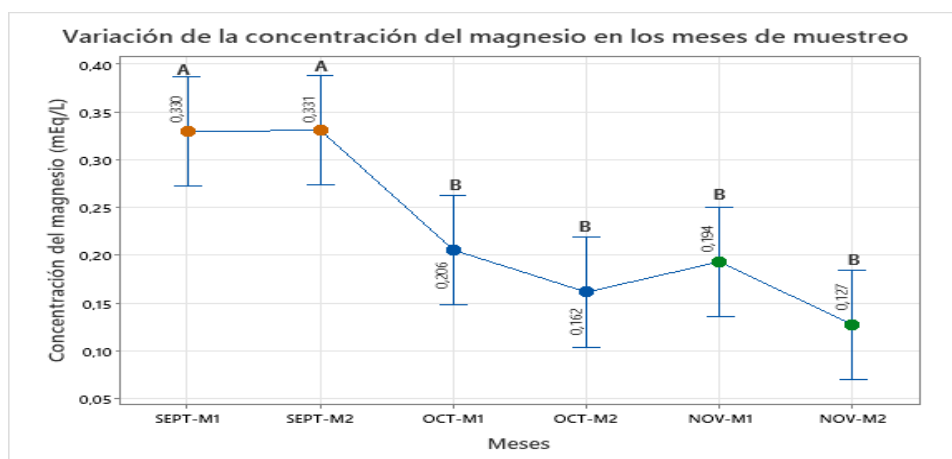
A partir de Oct-M1, la concentración de calcio comenzó a disminuir de manera constante, alcanzando 2.213 meq/L, y para Oct-M2, descendió aún más a 1.884 meq/L. Este descenso en los niveles de calcio podría estar vinculado con la menor cantidad de sales disueltas en el agua, probablemente debido a la dilución provocada por un mayor volumen de agua o la falta de arrastre de minerales en los suelos cercanos. No obstante, las diferencias entre estos dos muestreos no son lo suficientemente grandes como para considerarse significativas, tal como indican las etiquetas "AB" en el gráfico.

Finalmente, los dos últimos muestreos, registraron los valores más bajos, con 1.494 meq/L y 1.616 meq/L, respectivamente. Aunque la concentración de calcio aumentó ligeramente en el último muestreo, este incremento no fue suficiente para revertir la tendencia general de disminución observada a lo largo del periodo de estudio. Las etiquetas "B" en el gráfico reflejan que estos dos últimos muestreos presentan diferencias significativas con respecto a las fechas iniciales, lo que sugiere un cambio importante en la dinámica de las sales de calcio en el sistema de riego. Esta reducción en la concentración de calcio es favorable desde la perspectiva del riego, ya que minimiza el riesgo de precipitación de sales que pueden afectar la calidad del agua y la estructura del suelo.

4.3.12. Concentración de magnesio en el agua

Figura 11

Valores de magnesio en los meses de muestreo



Nota. Esta figura refleja las concentraciones de magnesio en miliequivalentes por litro (meq/L), evaluando el riesgo de sodificación de los suelos.

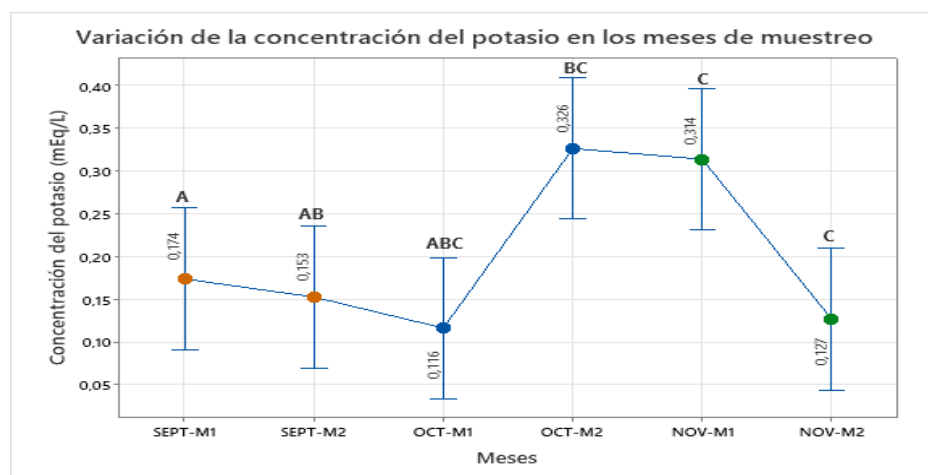
El análisis de la concentración de magnesio en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra una tendencia decreciente marcada a lo largo del tiempo. En Sept-M1 y Sept-M2 los niveles de magnesio fueron casi idénticos, con 0.330 meq/L y 0.331 meq/L, respectivamente. Estos valores iniciales son relativamente altos en comparación con los siguientes muestreos, lo que indica una mayor presencia de magnesio en el agua durante este periodo. A partir de Oct-M1, los niveles de magnesio comenzaron a disminuir considerablemente, alcanzando 0.206 meq/L en esta fecha y descendiendo aún más a 0.162 meq/L en Oct-M2. Esta reducción en la concentración de magnesio podría estar asociada con una mayor dilución del agua o cambios en las características del suelo que limitan la disolución de este elemento en el sistema de riego. Las etiquetas "B" en el gráfico indican que estas diferencias entre las fechas son significativas, reflejando un cambio notable en la dinámica del magnesio en el agua durante este periodo.

Finalmente, en los últimos muestreos los niveles de magnesio se estabilizaron, aunque en valores bajos. En Nov-M1, presenta una concentración de 0.194 meq/L, mientras que, en el último muestreo, descendió a 0.127 meq/L. Aunque esta tendencia a la baja es clara, los valores se mantuvieron dentro de los límites aceptables para el riego, lo que sugiere que el riesgo de acumulación de magnesio en los suelos es bajo.

4.3.13. Concentración de potasio en el agua

Figura 12

Valores de potasio en los meses de muestreo



Nota. Esta figura refleja las concentraciones de potasio en miliequivalentes por litro (meq/L), evaluando el riesgo de sodificación de los suelos.

El análisis de la concentración de potasio en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo, muestra variaciones significativas en los niveles de este nutriente a lo largo del tiempo. En el primer muestreo, se presenta una concentración de 0.174 meq/L, no obstante, en Sept-M2 disminuyó ligeramente a 0.153 meq/L. Este descenso inicial refleja una estabilidad relativa en los primeros días de monitoreo, donde las concentraciones se mantuvieron dentro de los límites aceptables para el riego, sin representar un riesgo significativo de acumulación de sales en el suelo.

A partir de Oct-M1, se observó una disminución considerable en la concentración de potasio, alcanzando 0.116 meq/L. Sin embargo, en el siguiente muestreo, los niveles de potasio mostraron un marcado aumento, llegando a 0.326 meq/L, el valor más alto registrado en todo el periodo de estudio. Este incremento puede estar relacionado con factores como la reducción del caudal de agua o la mayor presencia de sedimentos que contribuyen a la concentración de potasio en el sistema de riego. Las diferencias significativas en los valores observados entre estas dos fechas están respaldadas por las etiquetas "ABC" y "BC" en el gráfico, lo que indica que el comportamiento del potasio no fue uniforme durante este periodo.

Finalmente, en los últimos dos muestreos, los niveles de potasio disminuyeron nuevamente, registrándose 0.314 meq/L y 0.127 meq/L, respectivamente. Aunque el valor registrado en Nov-M1 es aún elevado en comparación con las primeras fechas, la caída hacia el final del periodo sugiere una estabilización en la concentración de este nutriente. Los puntos etiquetados como "C" en el gráfico confirman que las diferencias entre las últimas fechas y los primeros muestreos son significativas. A pesar de las fluctuaciones observadas, los niveles de potasio en el agua de riego no representan un riesgo elevado de sodificación, lo que es positivo para el mantenimiento de la calidad del suelo en las áreas agrícolas de la zona.

4.3.14. Coliformes totales

Tabla 6

Resultados del análisis de coliformes totales en los puntos de muestreo

Puntos de Muestreo	Muestreos					
	Sept-M1	Sept-M2	Oct-M1	Oct-M2	Nov-M1	Nov-M2
PM1	98	92	80	89	84	70
PM2	170	168	150	147	160	156
PM3	145	121	100	98	90	85
PM4	90	87	85	90	100	60
PM5	35	32	29	20	50	18
PM6	65	63	60	52	42	35
PM7	200	194	183	89	79	50
PM8	96	98	65	92	88	90

Nota. Esta tabla muestra la concentración de coliformes totales en unidades formadoras de colonias (UFC), con una comparación frente a los límites establecidos para el riego agrícola.

El análisis de los coliformes totales en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo revela una variabilidad significativa en la presencia de microorganismos a lo largo del tiempo y entre las distintas ubicaciones.

En la Fuente Chuquira 1 (PM1), los niveles de coliformes totales fluctúan entre un máximo de 98 colonias en el primer muestreo, y un mínimo de 70 colonias en el sexto muestreo. Esta variabilidad refleja cambios en las condiciones del agua, probablemente influenciados por factores externos como la calidad de la fuente de agua o la posible contaminación de origen natural. La tendencia general es una disminución progresiva en los coliformes, lo cual podría sugerir una estabilización o mejora en la calidad del agua hacia finales del periodo de muestreo.

En el caso de la Fuente Chuquira 2 (PM2), los niveles iniciales de coliformes son considerablemente más altos, con 170 colonias. Aunque se registró una ligera disminución a lo largo de los meses, el número de coliformes sigue siendo elevado en el último muestreo, con 156 colonias. Esta alta concentración sugiere una posible fuente de contaminación persistente en esta captación de agua-Similar a este comportamiento, en la Fuente Navag (PM3), el número de coliformes totales disminuyó de 145 colonias en el primer muestreo a 85 colonias en el sexto, mostrando una mejora gradual en la calidad del agua.

En el Tanque Rumi Cruz (PM4), se observó una disminución más notable, con valores que bajan de 90 colonias en los primeros muestreos a un mínimo de 60 colonias en el último. Esto sugiere que los sistemas de almacenamiento y distribución del agua en este tanque podrían estar ayudando a reducir la carga de coliformes a lo largo del tiempo. Un patrón similar se observa en el Tanque Rinconada (PM5), donde los niveles de coliformes son considerablemente más bajos en general, comenzando con 35 colonias en el primer muestreo y disminuyendo a 18 colonias en el último muestreo.

Los resultados del Tanque Bellavista (PM6) también reflejan una tendencia descendente, con un descenso progresivo desde 65 colonias hasta 35 colonias en el último muestreo. Mientras tanto, el Tanque Gatazo Zambrano (PM7) presentó los valores más altos de coliformes totales, con un máximo de 200 colonias al inicio del periodo de muestreo y una fuerte disminución a 50 colonias en el último muestreo. Este comportamiento sugiere que, aunque las condiciones iniciales eran problemáticas, hubo una mejora significativa en la calidad del agua en este punto. Finalmente, en el Tanque Gatazo Pucará (PM8), los niveles de coliformes fluctuaron a lo largo del tiempo, con un comportamiento irregular, mostrando tanto incrementos como descensos entre los diferentes muestreos, culminando en 90 colonias en el último muestreo.

4.4. Comparación de los Resultados con el Acuerdo Ministerial 097-A y la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Tabla 7 Comparación de los parámetros con la normativa vigente en el Ecuador.

Parámetro	Promedio (calculado)	Límite permisible
Temperatura (°C)	11,57	Variación máxima ± 3
pH	7.79	6-9
Conductividad Eléctrica (mΩ/cm)	0,33	3
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	160,57	450
Nitrato (mg/L)	4.76	30
Sulfato (mg/L)	7,97	250
Bicarbonatos (meq/L)	0,47	1,5
Calcio (meq/L)	2,02	20
Sodio (meq/L)	0,53	10
Magnesio (meq/L)	0,22	5
Cloruros (mg/L)	0,94	3.0 (irrigación)
Potasio (meq/L)	0,20	No especificado

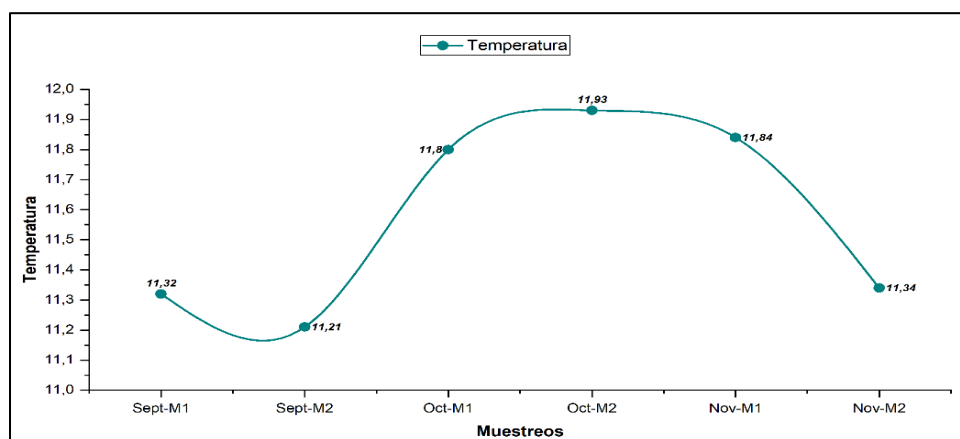
Nota. Se muestran los valores promedio de cada uno de los parámetros y los límites permisibles según el Acuerdo Ministerial 097-A y FAO.

La comparación de los resultados obtenidos con la normativa vigente para la calidad del agua en riego agrícola, establecida en el Acuerdo Ministerial 097-A y la FAO, ofrece un panorama completo sobre el estado del agua en el sistema de riego Guangopud-Gatazo.

4.4.1. Temperatura

Figura 13

Comparación de los valores Temperatura con LPS

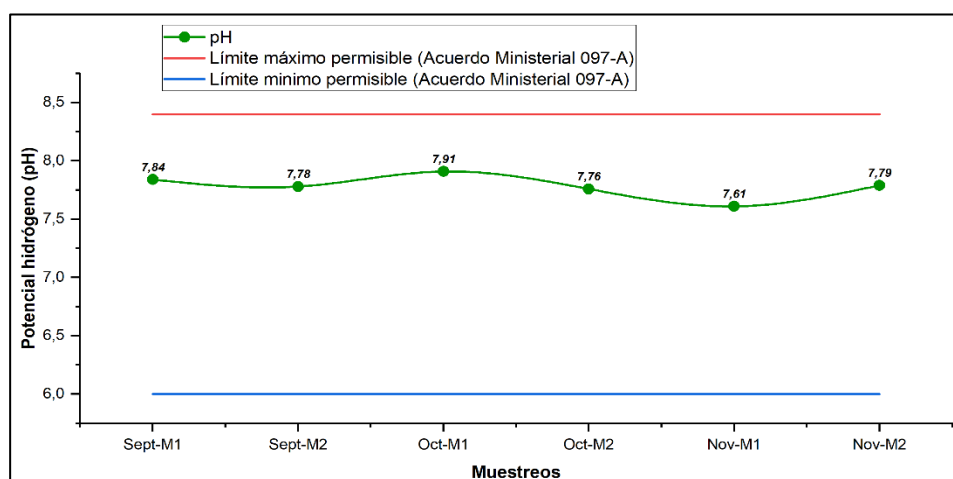


En la figura 13, se observa que la temperatura promedio del sistema de riego Guangopud-Gatazo es de 11,57°C, aunque no tiene un límite específico establecido, cumple con la condición de no presentar grandes fluctuaciones, lo que evita impactos adversos en la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes.

4.4.2. pH

Figura 14

Comparación de los valores de pH con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A

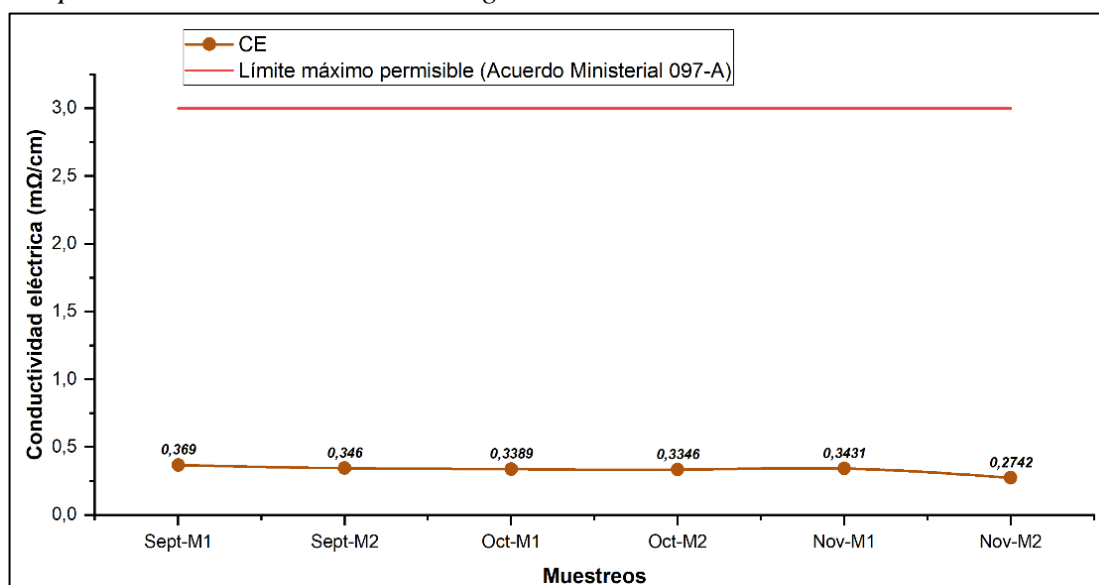


Como se observa en la figura 14, los valores del pH obtenidos en los diferentes muestreos se encuentran dentro del rango permitido de 6 a 8.40, según el Acuerdo Ministerial 097-A. Este comportamiento sugiere que el agua del Sistema de riego Guangopud-Gatazo es adecuada para actividades agrícolas, ya que los niveles de pH observados no representan un riesgo significativo para el uso en riego. El valor promedio del pH fue de 7,79.

4.4.3. Conductividad eléctrica

Figura 15

Comparación de los valores de CE según el Acuerdo Ministerial 097-A

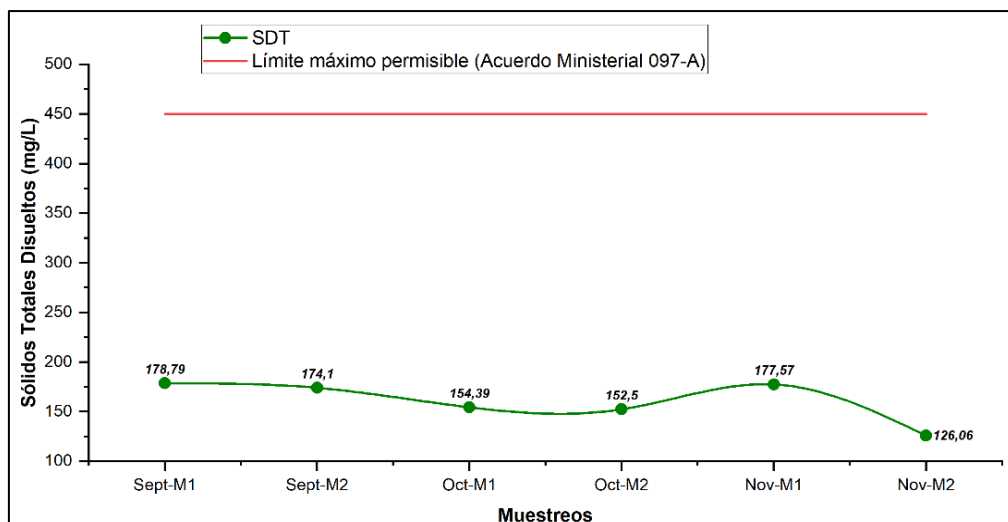


Como se observa en la figura 15, los valores de conductividad eléctrica oscilan entre 0,27 a 0,37 mΩ/cm, lo que indica que no existe restricción para su uso en ninguno de los meses de muestreo, según el Acuerdo Ministerial 097-A. El agua tiene baja concentración de sales disueltas, esto no genera preocupaciones significativas para el riego, aunque una conductividad extremadamente baja podría limitar la capacidad del agua para transportar nutrientes esenciales. El valor promedio de la CE fue de 0,33 mΩ/cm.

4.4.4. Sólidos disueltos totales

Figura 16

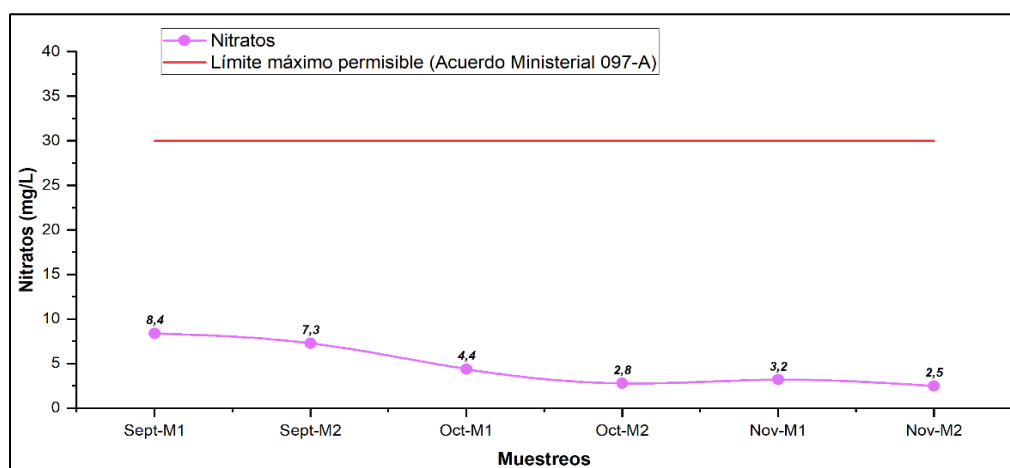
Comparación de los valores SDT con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A



En la figura 16, se muestra que el valor mínimo de sólidos disueltos totales es 126,07 mg/L y un máximo de 178,80 mg/L, dentro del límite permisible de 450 mg/L. Este resultado es positivo, ya que una concentración excesiva de SDT podría afectar la estructura del suelo, provocando problemas de salinidad que dificultan la absorción de agua por las plantas. El valor promedio calculado de SDT es 160,57 mg/L.

4.4.5. Nitratos

Figura 17 *Comparación de los Nitratos con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A*



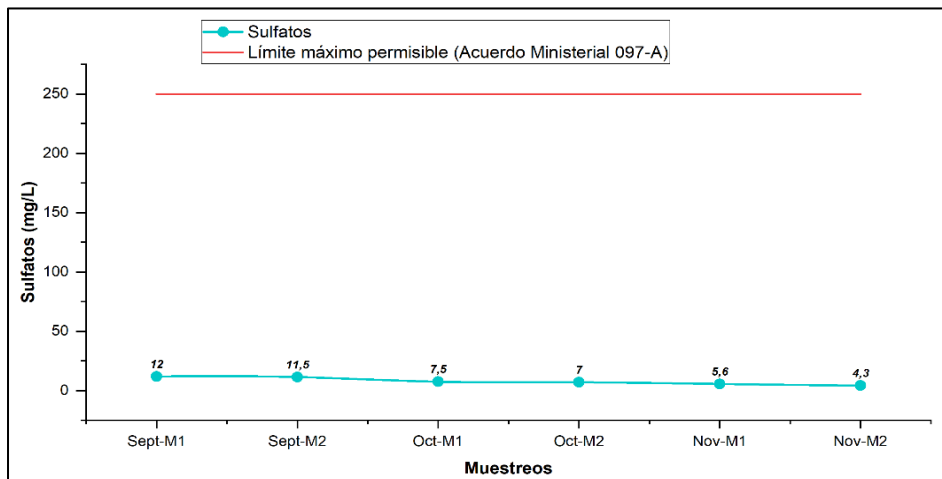
Como se observa en la figura 17, los valores de nitratos no exceden el límite máximo permisible de 30 mg/L, con un valor mínimo de 2,5 mg/L y un valor máximo de 8,4 mg/L. En este caso, los valores obtenidos indican que el agua de riego es segura y adecuada para el uso

agrícola sin riesgo de contaminación por nitratos. El valor promedio de nitratos fue de 4,76 mg/L.

4.4.6. Sulfatos

Figura 18

Comparación de los Sulfatos con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A

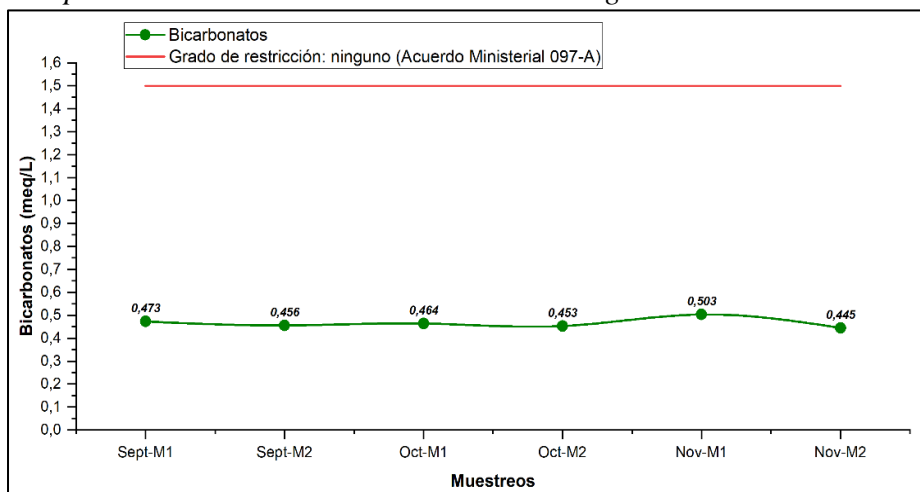


Como se puede visualizar en la Figura 18, el valor mínimo de sulfatos es 4,3 mg/L y el valor máximo de 12,0 mg/L, encontrándose dentro del límite permisible de 250 mg/L, lo cual minimiza cualquier riesgo asociado con la salinidad. El valor promedio calculado de sulfatos fue de 4,76 mg/L.

4.4.7. Bicarbonatos

Figura 19

Comparación de los Bicarbonatos con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A

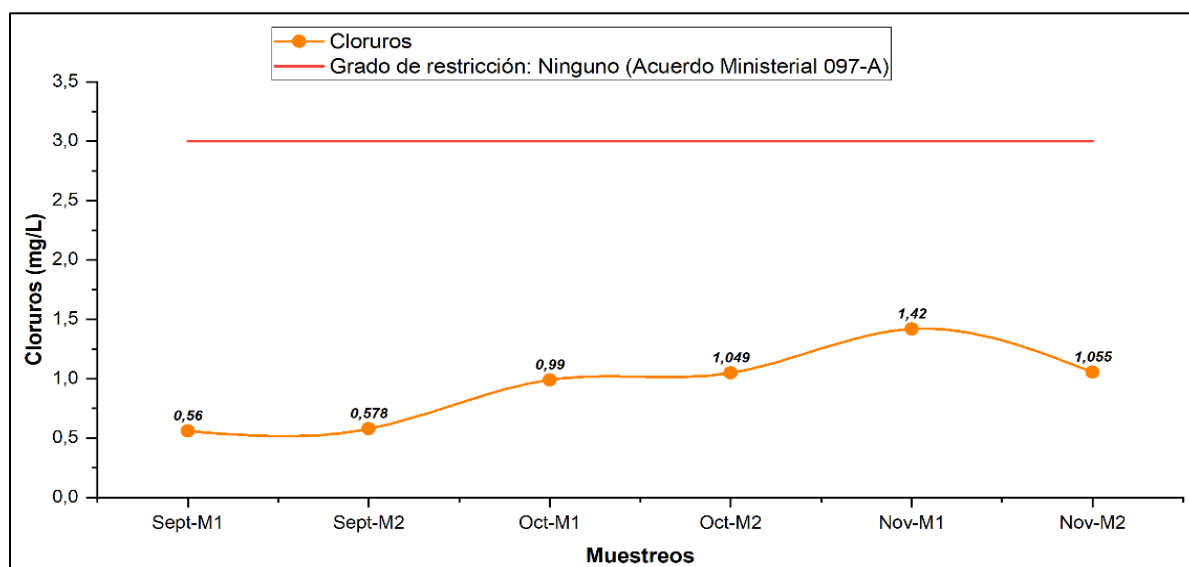


En la figura 19, se aprecia que el valor mínimo de bicarbonatos es 0,445 meq/L y el valor máximo es 0,503 meq/L, por lo que, se encuentra dentro del límite permisible de 1,5 meq/L. Por otro lado, el promedio de bicarbonatos fue de 0,47 meq/L. Esto es favorable, ya que altos niveles de bicarbonato podrían aumentar la alcalinidad del suelo, afectando la absorción de nutrientes como el calcio y el magnesio.

4.4.8. Cloruros

Figura 20

Comparación de los Cloruros con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A

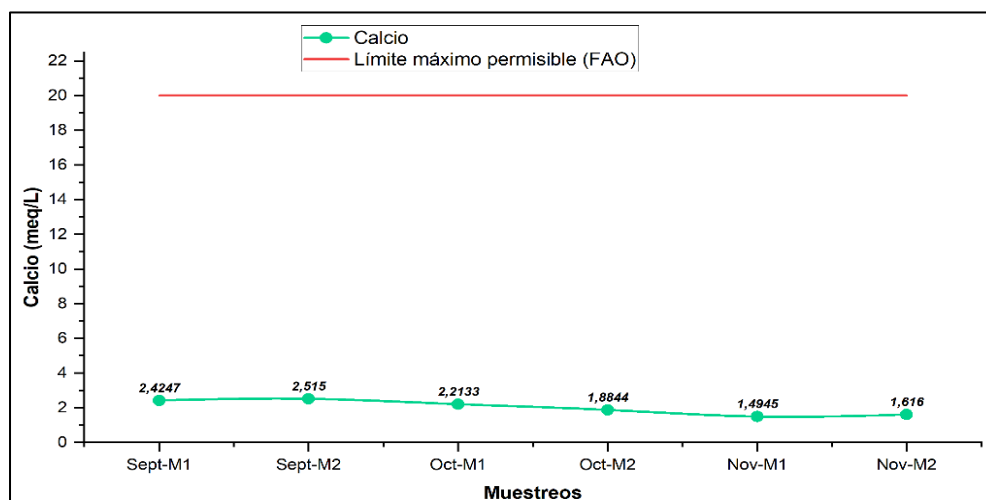


En la figura 20, se muestra que el valor mínimo de cloruros es 0,560 mg/L y el valor máximo es 1,420 mg/L, encontrándose dentro del límite permisible de 3,0 mg/L. Las concentraciones elevadas de cloruros podrían dañar las plantas y aumentar la salinidad del suelo. El valor promedio de cloruros fue de 0,94 mg/L.

4.4.9. Calcio

Figura 21

Comparación de los valores del Calcio con LMP según la FAO

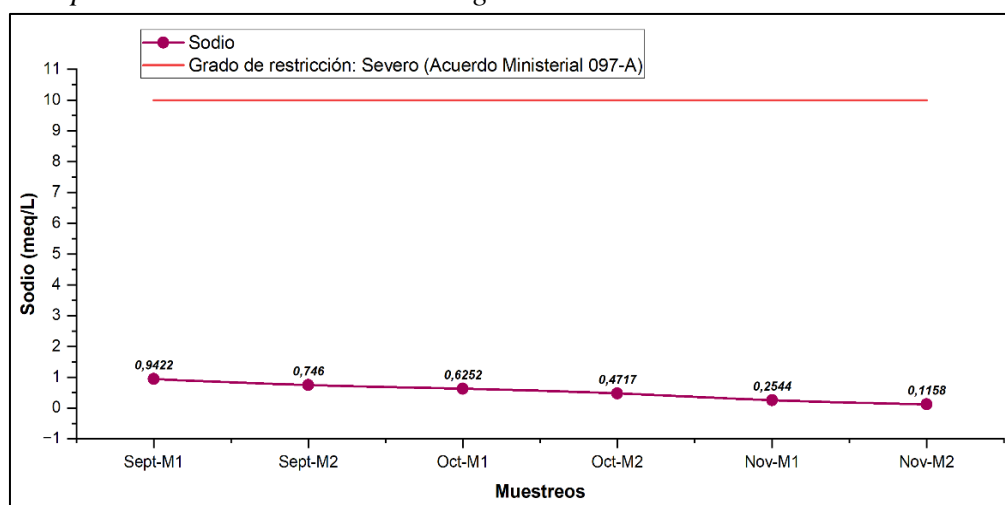


Se puede apreciar en la Figura 21, los valores de calcio indicando que fueron muy bajos, siendo su valor mínimo de 1,4945 meq/L y su valor máximo de 2,5150 meq/L, lo que está muy por debajo del límite permisible de 20 meq/L, lo que indica que no hay riesgo de acumulación excesiva de sales que pudieran comprometer la estructura del suelo o la fertilidad de este. El valor promedio calculado de sulfatos fue de 2,02 meq/L.

4.4.10. Sodio

Figura 22

Comparación del sodio con LMP según el Acuerdo Ministerial 097-A



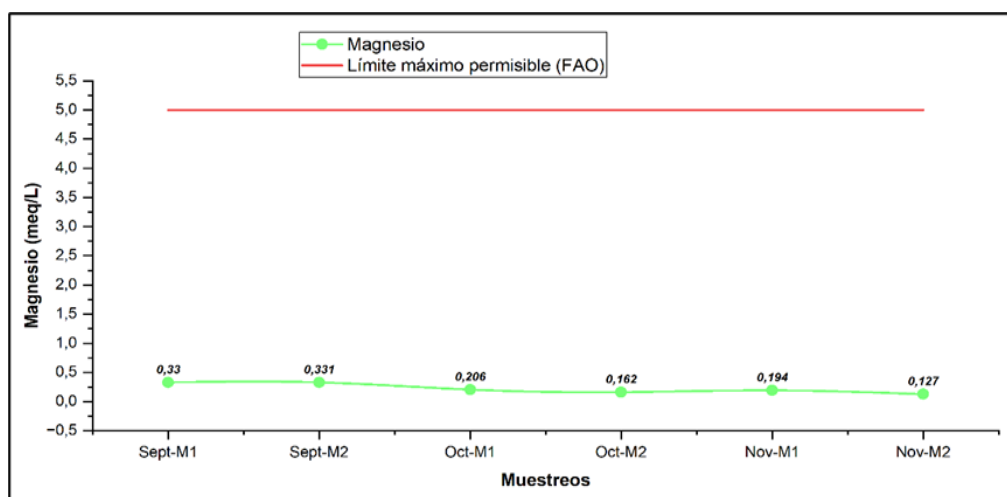
En la figura 22, se puede visualizar que el valor mínimo del sodio es 0,1158 meq/L y su valor máximo en 0,9422 meq/L, por lo que, al tener ningún grado de restricción se encuentra por debajo del límite permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A. El promedio calculado de sodio fue de 0,53 meq/L.

Este resultado es muy positivo, ya que el exceso de sodio podría llevar a problemas de sodificación del suelo, afectando su capacidad para retener agua y nutrientes.

4.4.11. Magnesio

Figura 23

Comparación de los valores del magnesio con LMP según la FAO

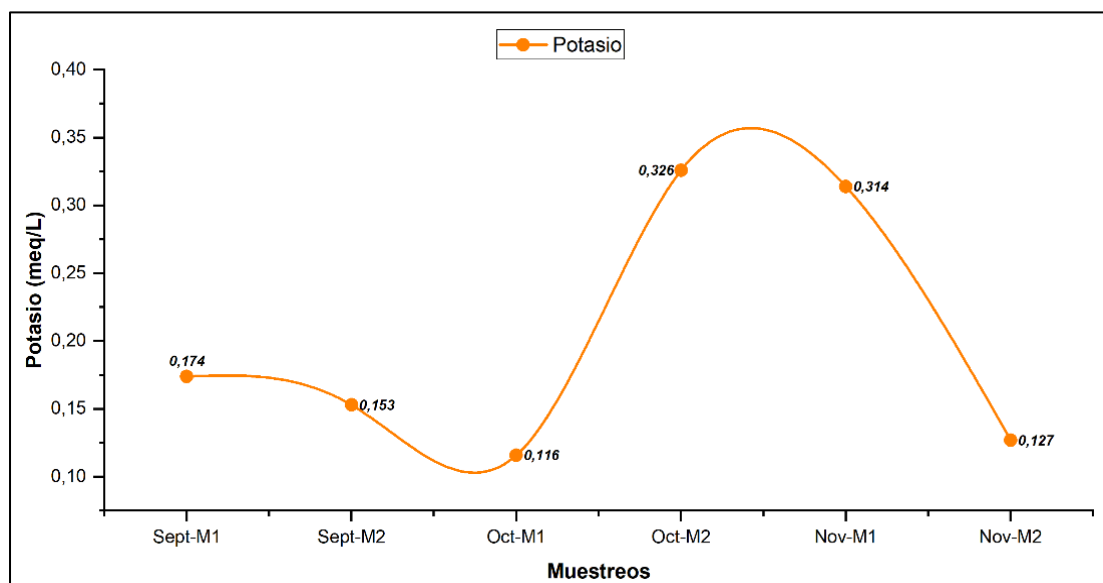


En la figura 23, se aprecia los valores de magnesio el cual en su punto más bajo tiene un valor mínimo de 0,127 meq/L y su valor máximo de 0,330 meq/L, por lo que, se encuentra por debajo del límite permisible de 5 meq/L, lo que sugiere que no hay problemas relacionados con la acumulación de magnesio en el suelo. El promedio de magnesio fue de 0,22 meq/L.

4.4.12. Potasio

Figura 24

Comparación de los valores del potasio con LMP



En la figura 24, se muestra que los valores de potasio con un mínimo de 0,116 meq/L y un máximo de 0,326 meq/L, no tiene un límite específico en la normativa, pero está dentro de los rangos generalmente aceptados para uso agrícola, lo cual es beneficioso para la productividad de los cultivos, ya que el potasio es un nutriente esencial para el crecimiento. El promedio de potasio, calculado en 0,20 meq/L.

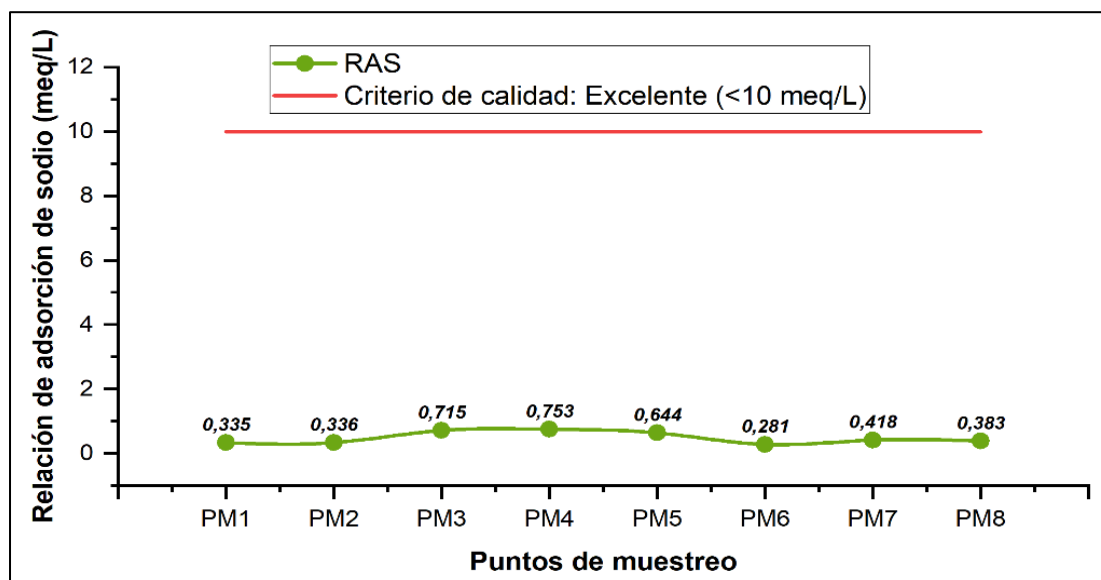
En conjunto, los resultados obtenidos muestran que la calidad del agua en el sistema de riego Guangopud-Gatazo se mantiene dentro de los límites permisibles para la mayoría de los parámetros, lo que indica que el agua es adecuada para su uso en la agricultura sin representar riesgos significativos para los suelos o los cultivos. Esto es crucial para asegurar la sostenibilidad agrícola en la región, ya que el riego con agua de buena calidad contribuye a mantener la productividad del suelo y a garantizar la seguridad alimentaria de las comunidades dependientes del sistema de riego.

4.5. Calcular los índices de relación de absorción de sodio (RAS) y del carbonato de sodio residual (CSR).

4.5.1. Índice de relación de adsorción de sodio

Figura 25

Valores del RAS en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo



Nota. Esta figura muestra los valores de RAS (Relación de Absorción de Sodio) en cada punto de muestreo del sistema de riego.

El análisis del Índice de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) del sistema de riego Guangopud-Gatazo refleja una variabilidad significativa en todo el muestreo. En PM1, el valor de RAS es bajo, alrededor de 0,4 meq/L, lo que indica un riesgo mínimo de sodificación y se clasifica como excelente para el uso agrícola. Esto es consistente con estudios sobre la relación entre la calidad del agua de riego y el riesgo de sodificación en suelos irrigados, donde bajos niveles de RAS son indicadores de baja probabilidad de deterioro del suelo.

En el segundo punto de muestreo (Fuente Chuquira 2), se observa un ligero incremento en el valor de RAS, alcanzando aproximadamente 0,4 meq/L, lo que también indica un bajo riesgo de sodicidad y una excelente calidad para el riego agrícola. Sin embargo, en el tercer punto de muestreo (Fuente Navag), el RAS muestra un aumento considerable, llegando a casi 0,7 meq/L. Este valor se mantiene en la categoría de bajo riesgo, aunque con una leve acumulación de sodio.

El valor máximo de RAS se registra en el Tanque Rumi Cruz (PM4), alcanzando aproximadamente 0,8 meq/L. Este valor sigue siendo bajo, pero se recomienda monitorear el

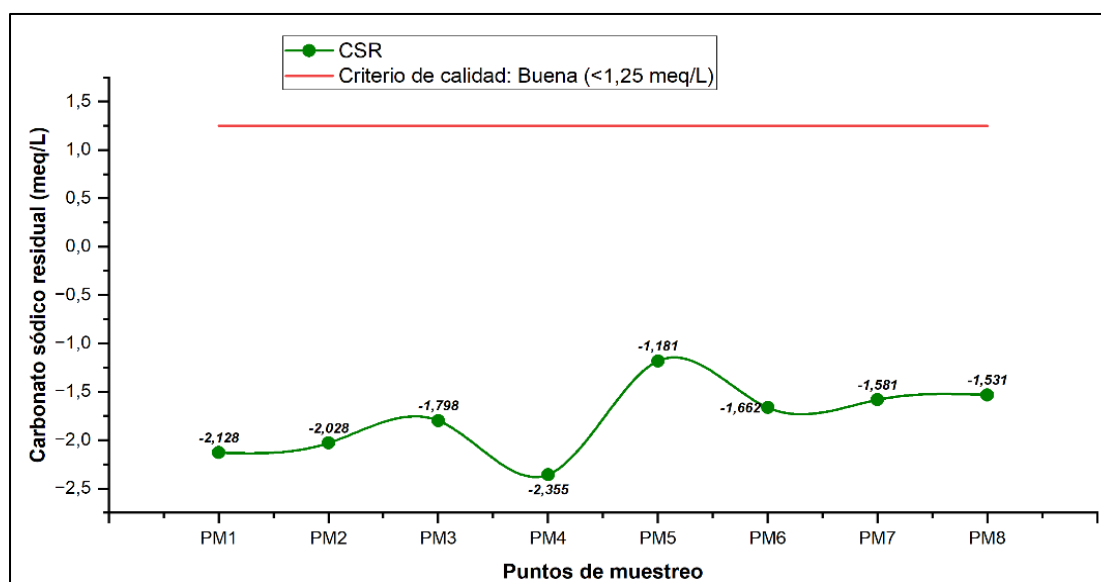
agua en este punto, ya que un incremento continuo podría generar problemas a largo plazo. Posteriormente, en los tanques Rinconada (PM5) y Bellavista (PM6), se observa una disminución del RAS, alcanzando valores cercanos a 0,5 meq/L, lo que indica una excelente calidad del agua.

Finalmente, en los tanques Gatazo Zambrano (PM7) y Gatazo Pucará (PM8), los valores de RAS se estabilizan alrededor de 0,4 meq/L, lo que sigue indicando un bajo riesgo de sodicidad. En general, el agua del sistema de riego Guangopud-Gatazo es adecuada para el riego agrícola sin riesgo significativo de deterioro del suelo.

4.5.2. Carbonato sódico residual

Figura 26

Valores del CSR en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo



Nota. Esta figura presenta los valores de CSR (Carbonato Sódico Residual) medidos en cada punto de muestreo.

El análisis del Carbonato Sódico Residual (CSR) en los puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud-Gatazo muestra una variabilidad considerable en los diferentes sitios evaluados. En el punto de muestreo Fuente Chuquirá 1 (PM1), el valor de CSR es de aproximadamente -2,00 meq/L, lo que sugiere que el agua en este punto contiene una mayor concentración de cationes divalentes (calcio y magnesio) en comparación con los carbonatos. Los valores negativos de CSR indican una precipitación adecuada de calcio y magnesio, lo que minimiza el riesgo de sodificación del suelo.

En el segundo punto de muestreo (Fuente Chuquira 2), el valor de CSR muestra una ligera variación, alcanzando aproximadamente -1,90 meq/L. Por otra parte, en el tercer punto de muestreo (Fuente Navag), el CSR se mantiene en un valor cercano a -2,00 meq/L, lo que indica que la calidad del agua sigue siendo adecuada para su uso en la irrigación.

El valor más bajo de CSR se observa en el Tanque Rumi Cruz (PM4), con un valor de alrededor de -2,50 meq/L, lo que sugiere que en este punto el agua tiene una alta proporción de cationes divalentes, siendo aún más beneficiosa para prevenir la sodificación. Sin embargo, en el Tanque Rinconada (PM5), el CSR presenta un cambio notable, alcanzando un valor de -1,00 meq/L. Aunque este valor sigue siendo negativo, lo que es favorable, refleja una menor diferencia entre los cationes divalentes y los carbonatos en comparación con otros puntos del sistema. Finalmente, en los tanques Bellavista (PM6), Gatazo Zambrano (PM7) y Gatazo Pucará (PM8), los valores de CSR se estabilizan en torno a -1,50 meq/L, lo que indica que el agua en estos puntos mantiene un buen balance entre cationes divalentes y carbonatos. Esto asegura que el agua en estos tanques continúe siendo de buena calidad para el riego, minimizando los riesgos asociados con la sodificación del suelo, lo que favorece el mantenimiento de su estructura y la eficiencia en la infiltración del agua.


4.6. Medidas de conservación o mitigación del recurso hídrico en el sistema de riego

Guangopud-Gatazo.

Con base en los resultados de laboratorio, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en el Sistema de riego, cumplen con la normativa vigente del Ecuador. No obstante, existe problemáticas que podría modificar la calidad de agua.

Tabla 8

Situación actual del sistema de riego Guangopud-Gatazo

	Situación actual	Problema
Captación	<div></div> <p>La infraestructura de captación del Sistema de riego mantiene un diseño básico:</p> <ul style="list-style-type: none">• Estructuras de hormigón.• Rejillas que evitan el paso de sedimentos grandes (paja, ramas u hojas).• Compuerta de control manual que permiten regular la cantidad de agua en el sistema.• Canal de sedimentos <p>El área cuenta con plantas nativas y un cerramiento deteriorado de alambres de púas. Además, existe presencia de ganado de lidia en los alrededores de las vertientes.</p>	Presencia de ganado de lidia

Almacenamiento



El Tanque de almacenamiento Rumi Cruz, mantiene un diseño básico de concreto, con una tapa de acero para evitar la contaminación del agua. El área cuenta con cerramiento de malla galvanizada.

Deterioro de las tuberías de conducción principal. Por otra parte, las tuberías de conducción principal que comprende desde las vertientes hasta el tanque están en funcionamiento aproximadamente 25 años, lo que incrementa el riesgo de fisuras, fugas o rupturas a lo largo de su trayecto.

Distribución



Falta de mantenimiento. Los tanques responsables de distribuir el agua de riego a las comunidades Gatazos, no reciben el mantenimiento adecuado por la acumulación de sedimentos y el deterioro de las paredes del tanque, lo cual podría comprometer la calidad del agua a largo plazo. regular a los tanques de distribución

Cada tanque de distribución cuenta con cerramiento de malla galvanizada.

Se observa en la tabla 8 el estado actual de las distintas fases del sistema de riego, destacando los inconvenientes durante las inspecciones, como la existencia de ganado de lidia cerca de las vertientes, el deterioro de las tuberías de conducción y la ausencia de mantenimiento constante en los tanques de distribución. Cada uno de estos problemas está vinculado con acciones de mitigación concretas que persiguen optimizar el funcionamiento del sistema y evitar perjuicios a largo plazo.

4.6.1. Problema 1: Presencia de ganado de lidia en las áreas de captación

Situación actual:

La existencia de ganado de lidia en áreas próximas a los recursos acuáticos supone un peligro considerable de contaminación biológica, principalmente debido a la introducción de coliformes fecales y otros agentes patógenos en el sistema de agua. En la actualidad, el sistema de captación carece de un obstáculo físico apropiado que impida el ingreso del ganado, lo que podría poner en riesgo la calidad del agua a mediano y largo plazo.

Medidas de mitigación:

1. Instalación de cercas protectoras

- **Normativo**

Siguiendo el Código Orgánico Ambiental (COA) y las buenas prácticas sugeridas por la FAO en su manual de gestión de fuentes hídricas, se recomienda la instalación de cercas de malla galvanizada con un mínimo de 2 metros de altura alrededor de las zonas de captación para prevenir la entrada del ganado.

- **Beneficios técnicos**

Este tipo de cerca no solo obstaculiza la entrada de gran cantidad de ganado, sino que también resguarda la vegetación autóctona alrededor, que tiene un rol vital en la conservación de sedimentos y en la preservación del ciclo hidrológico local.

- **Mantenimiento**

Es necesario examinar trimestralmente las cercas para garantizar que no experimenten daños o deterioros. Es necesario efectuar reparaciones inmediatas si se detectan fisuras o indicios de corrosión.

2. Reforestación con especies nativas

- **Descripción técnica**

La flora autóctona alrededor de las fuentes de captación actúa como un obstáculo natural que atraviesa el agua y previene la erosión del terreno. Se aconseja la reforestación de las zonas cercanas con especies como “*Alnus acuminata*” (aliso), que poseen una elevada habilidad para retener suelo y adaptarse a terrenos húmedos.

- **Normativa**

Esta acción se rige por las sugerencias de la Ley Orgánica de Recursos hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua y el Acuerdo Ministerial 097-A, que fomentan la salvaguarda de las cuencas hidrográficas a través de la preservación de los ecosistemas aledaños.

4.6.2. Problema 2: Deterioro de las tuberías de conducción principal

Situación actual:

Las tuberías de desplazamiento, que llevan agua desde las vertientes hasta los depósitos de almacenaje, muestran señales evidentes de deterioro debido a su antigüedad (25 años de uso). Este deterioro incrementa la posibilidad de fugas, fisuras y bloqueos debido a la acumulación de sedimentos, lo cual podría poner en riesgo tanto la calidad como el volumen de agua accesible para las comunidades agrícolas.

Medidas de mitigación:

1. Renovación parcial y control de tuberías

- **Material recomendado**

Se recomienda la implementación de tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD), las cuales proporcionan una elevada resistencia a la corrosión, una longevidad superior a los 50 años y un mantenimiento económico. Este tipo de tubería se ajusta a las normas del Reglamento de Infraestructuras Hidráulicas y al Código Internacional de Prácticas de Ingeniería Civil.

- **Procedimiento técnico**

La renovación debe llevarse a cabo en sectores estratégicos con un desgaste más elevado, fundamentándose en una revisión interna con cámaras subacuáticas. Se aconseja realizar la renovación en etapas para reducir al mínimo el impacto en el sistema de riego.

4.6.3. Problema 3: Falta de mantenimiento regular a los tanques de distribución

Situación actual:

Los depósitos de distribución que proveen a las comunidades agrícolas muestran acumulación de sedimentos y deterioro de las paredes internas. Si no se adoptan acciones de corrección, estos elementos podrían incrementar la turbidez del agua y poner en riesgo su calidad. Pese a que los parámetros presentes se encuentran dentro de los márgenes tolerables, es imprescindible implementar un plan de mantenimiento preventivo para prevenir inconvenientes futuros.

Medidas de mitigación:

1. Programa de mantenimiento preventivo de tanques

- **Frecuencia de mantenimiento**

Se aconseja establecer un plan de mantenimiento semestral que contemple la limpieza interna de los depósitos, la remoción de sedimentos acumulados, la revisión estructural de las paredes y la corrección de fisuras. De acuerdo con el Acuerdo Ministerial 097-A, es necesario realizar el mantenimiento preventivo antes y después de la estación de lluvias, para garantizar un funcionamiento óptimo de los tanques.

- **Evaluación de la calidad del agua**

Tras cada limpieza, es necesario llevar a cabo una evaluación de la calidad del agua para cuantificar parámetros como turbidez, coliformes fecales, pH y cloro residual, conforme a los estándares de la OMS para agua para irrigación.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Mediante la caracterización del agua para riego del sistema Guangopud-Gatazo, se puede concluir que los valores de los parámetros físico-químicos y microbiológicos se encuentran dentro de los límites permisibles establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A y las pautas de la FAO en criterios de calidad de agua empleada para el riego de cultivos, por lo que, el análisis detallado proporciona una base técnica para la implementación de prácticas de riego más efectivas y sostenibles, maximizando el uso del agua disponible.

Se identificó que el valor promedio obtenido para los índices de Relación de Absorción de Sodio (RAS) y Carbonato de Sodio Residual (CSR) fue de 0.7 meq/L y -1.7 meq/L respectivamente, siendo apropiados para la utilización agrícola, y por ende reduciendo el peligro de sodificación de los suelos. Los valores del CSR mostraron una tendencia negativa en todos los puntos de muestreo, indicando que no existe presencia de carbonatos en el agua.

En base al estudio se propone las medidas de mitigación para las distintas fases del sistema de riego: captación, almacenamiento y distribución, con un enfoque tanto económico como técnico que contribuirá significativamente a la protección del recurso hídrico y a la sostenibilidad del sistema. Estas acciones promueven salvaguardar las fuentes de captación, la mejora de la infraestructura de conducción y la regularidad en el mantenimiento de los tanques de distribución.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar monitoreos y seguimientos periódicos del Sistema Guangopud-Gatazo, para garantizar que la calidad del agua se conserve en los límites aceptables y prevenir problemas de sodificación o salinización de los terrenos.
- Se aconseja perfeccionar el diseño de los tanques, lo cual simplificará su limpieza y previene la corrosión. Además, es crucial optimizar los sistemas de drenaje de los tanques, lo que facilitará una expulsión más eficaz de los sedimentos durante el proceso de limpieza.
- Se recomienda realizar la evaluación de los parámetros de temperatura, sólidos totales disueltos, conductividad y pH directamente en el campo, empleando un multiparámetro u otros equipos. Esta práctica es esencial para evitar alteraciones en los resultados, las cuales pueden ocurrir durante el traslado del agua desde el punto de muestreo hasta el laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J., & Salvadori, J. (2017). *Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados* [Universidad Nacional de La Pampa]. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/1376>
- Barrenechea, A. (2018). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. *Revista Científica y Tecnológica*, 20(2), 127–140.
- Cabrera, R., Solís, A., & Cuervo, W. (2017). Tolerancia y manejo de salinidad, pH y alcalinidad en cultivos de flores. *Consideraciones Sobre Producción, Manejo y Poscosecha de Flores de Corte Con Énfasis En Rosa y Clavel, March*, 63–73.
- Camacho, A., Ortega, H., Sánchez, E., & Can, Á. (2020). Indicadores De Calidad Fisica Quimica De Las Aguas Residuales Del Estado De Oaxaca, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.610>
- Cantuña, K., Gallardo, L., & Sánchez, L. (2017). *Caracterización Físico, Química y Microbiológico de las aguas del Canal Principal de Riego Tumbaco* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19040>
- Castellón, J., Bernal, R., & Hernandez, M. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingenieria*, 19(1), 39–50. <https://doi.org/46750924004>
- Dirisu, C., Mafiana, M., Dirisu, G., & Amodu, R. (2016). Level of ph in drinking water of an oil and gas producing community and perceived biological and health implications. *Research Gate*, 3(3), 53–60. <https://www.researchgate.net/publication/332012834>
- FAO. (2018). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. *Programa Especial Para La Seguridad Alimentaria (PESA)*, 9(5), 5876–5891. <https://www.fao.org/4/T0401s/T0401S02.htm>
- García, Á. (2017). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *International Union of Soil Sciences*, 27–36.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo. (2019). Plan Provincial de Riego y Drenaje. [Documento de Planificación], 45.
- Grupo Inntergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2020). El Informe

- Especial del IPCC sobre Cambio Climático y la Tierra ¿Qué significa para América Latina? *Ipcc*, 1(3), 110. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/59022/59161.pdf?sequence=1>
- Honorable Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023*. <https://chimborazo.gob.ec/principal/wp-content/uploads/2022/06/PDOT.pdf>
- Huaylla, L. (2020). Sistemas De Riego Tecnificado. *Instituto de Capacitación Del Oriente*, 1–26. https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2019/09/Cartilla_Riego_Tecnificado_GAP_web.pdf
- INEN 2169. (2013). Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 26. [https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE INEN 2169 - AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.pdf](https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20MUESTREO.%20MANEJO%20Y%20CONSERVACI%C3%93N%20DE%20MUESTRAS.pdf)
- Lamz, A., & Gonzáles, M. (2013). La Salinidad como problema en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 34(0258–5936), 31–42. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193228546005>
- MAATE. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A: Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del medio ambiente*. 8–9. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Manzano, C. (2021). *Identificación y análisis del arte religioso de Villa La Unión, del Cantón Colta, Provincia de Chimborazo* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7830>
- Ministerio del Ambiente. Agua y Transición Ecológica. (2022). Plan Nacional De Riego y Drenaje 2021-2026. *MAATE*, 12. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/12/PLAN-NACIONAL-DE-RIEGO-Y-DRENAJE-2021-2026-PARA-PUBLICAR.pdf>
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Iñiguez, M., & Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *SciELO*, 45, 1–11. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n1/v45n1a1.pdf>

- Rodríguez, S., Jaramillo, S., Zurita, D., Valdiviezo, A., & Choloquina, C. (2022). Evaluación de la Calidad del Agua de Riego Proveniente de la Acequia Tilipulo Enríquez-Cotopaxi Mediante la Relación de Absorción de Sodio (RAS). *Revista Politecnica*, 49(2), 55–64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>
- Rosales, R., & Flores, H. (2017). Importancia del agua de riego para la producción sostenible de frijol en Durango. *ResearchGate*, 1, 23.
- SENAGUA. (2016). Estrategia nacional de calidad del agua. *Ministerio de Ambiente, Ecuador*, 1–97. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf
- Shahid, A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Introduction to Soil Salinity, Sodicty and Diagnostics Techniques. In *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_1
- Sierra, C. (2016). *Calidad del agua* (Vol. 19, Issue 5). <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>
- Tartabull, T., & Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Agroecosistemas*, 4(1), 47–61. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>

ANEXOS

Anexo 1. Recolección de muestras en los ocho puntos de muestreo del Sistema de Riego



Figura 27 Fuente de Captación Chuquirá 1



Figura 28 Fuente de Captación Chuquirá 2



Figura 29 Fuente de captación-Navag



Figura 30 Tanque de almacenamiento Rumi Cruz



Figura 31 Tanque de distribución Rinconada



Figura 32 Tanque de distribución Bellavista



Figura 33 *Tanque de distribución Gatazo Zambrano.*



Figura 34 *Tanque de distribución Gatazo Pucará*

Anexo 2. Análisis de los parámetros en el laboratorio de Servicios Ambientales



Figura 35 *Medición del pH*

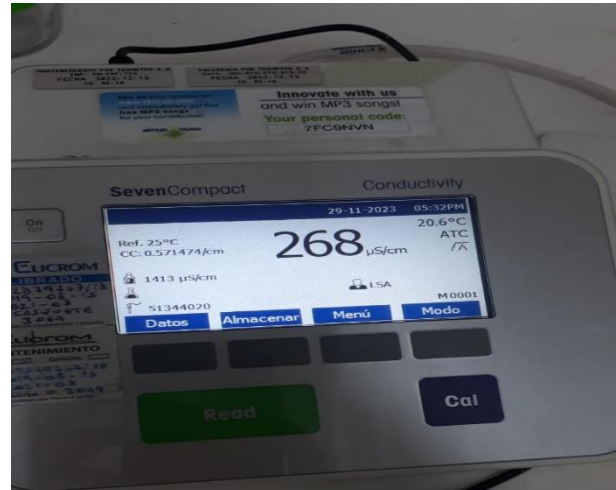


Figura 36 *Medición de la CE*



Figura 37 *Titulación para el análisis de cloruros y bicarbonatos*



Figura 38 *Medición de Nitratos y Sulfatos*

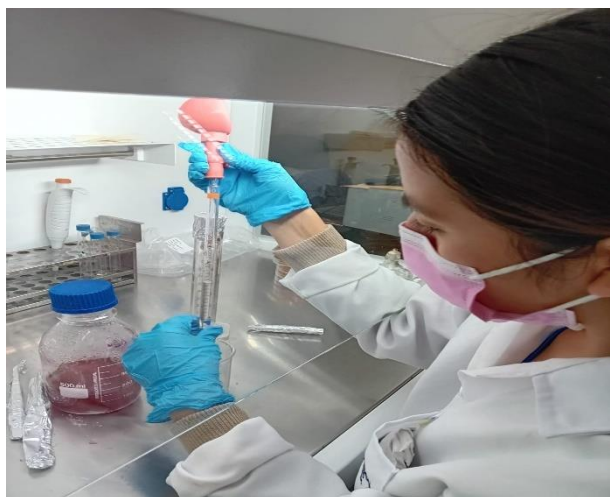


Figura 39 Preparación del agar macconkey

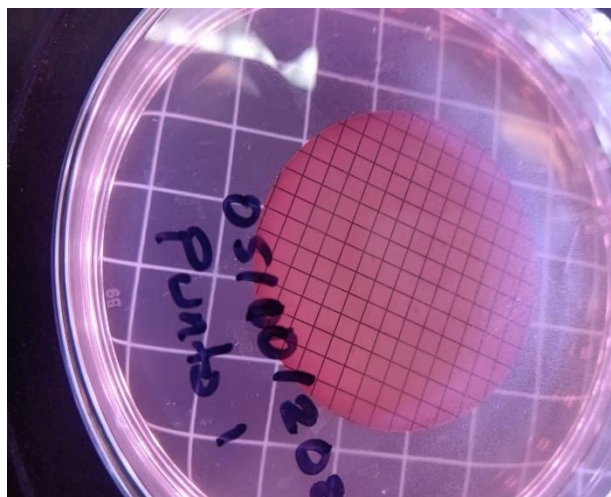


Figura 40 Conteo de microorganismos

Anexo 3. Metales



Figura 41 Equipo espectrofotómetro de absorción atómico

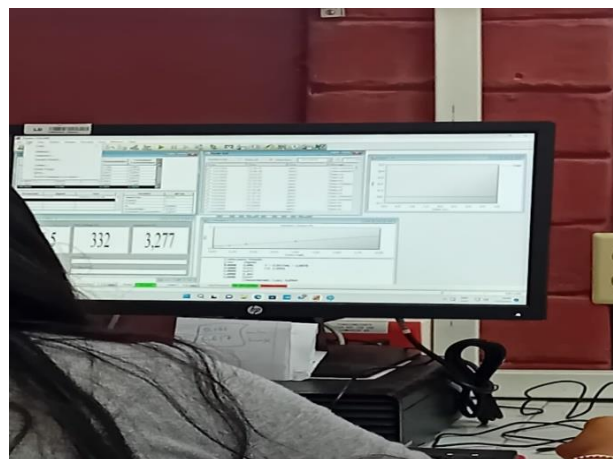


Figura 42 Curva de calibración para los metales

Anexo 4. Resumen de los análisis físico-químicos del agua de riego

Tabla 9

Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el primer muestreo

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo							
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Temperatura	°C	9,6	8,4	9,9	12,5	12,5	13,3	13,0	11,2
pH		7,65	7,85	7,79	7,94	8,21	8,07	7,18	8,07
Conductividad Eléctrica	mΩ/cm	0,363	0,307	0,381	0,386	0,372	0,328	0,434	0,383
SDT	mg/L	168,61	134,34	205,74	171,49	160,13	169,65	251,59	168,85
Nitratos	mg/L	12	10,6	6,8	7,5	9,5	4,69	7	9
Sulfatos	mg/L	12,34	15	6,7	9	8	9	27	9
Cloruros	mg/L	0,660	0,519	0,660	0,471	0,519	0,377	0,754	0,519
Bicarbonatos	meq/L	0,459	0,393	0,525	0,437	0,459	0,503	0,546	0,459
Carbonatos	meq/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	3,414	3,245	1,632	2,576	1,836	2,515	1,767	2,413
Sodio	meq/L	0,733	0,689	1,385	1,871	0,986	0,508	0,743	0,624
Magnesio	meq/L	0,352	0,284	0,295	0,337	0,265	0,355	0,442	0,309
Potasio	meq/L	0,196	0,317	0,099	0,108	0,090	0,160	0,187	0,234

Elaborado por: Autores (2024).

Tabla 10

Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el segundo muestreo

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo							
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Temperatura	°C	9,2	8,3	9,9	12,4	12,6	12,9	13,2	11,2
pH		7,58	7,96	7,63	7,92	8,18	8,03	6,93	8,01
Conductividad Eléctrica	mΩ/cm	0,315	0,294	0,393	0,364	0,349	0,295	0,400	0,358
SDT	mg/L	128	134,8	234,3	162,05	161,15	163,2	247	162,35
Nitratos	mg/L	10,2	9,7	6,5	6,1	8,2	2,9	6,3	8,5
Sulfatos	mg/L	11	18	7	9	7	8	24	8
Cloruros	mg/L	0,519	0,519	0,660	0,424	0,471	0,330	1,320	0,377
Bicarbonatos	meq/L	0,437	0,350	0,568	0,437	0,437	0,415	0,546	0,459
Carbonatos	meq/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	3,424	2,843	2,132	3,499	1,715	2,343	1,930	2,234
Sodio	meq/L	0,665	0,566	1,066	1,328	0,781	0,445	0,573	0,544
Magnesio	meq/L	0,351	0,306	0,294	0,323	0,269	0,360	0,424	0,320
Potasio	meq/L	0,146	0,239	0,133	0,112	0,123	0,196	0,138	0,133

Elaborado por: Autores (2024).

Tabla 11*Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el tercer muestreo*

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo							
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Temperatura	°C	9,6	8,5	10	12,7	13,36	14,6	13,3	12,3
pH		7,69	7,62	7,99	7,88	8,15	7,96	7,98	8,06
Conductividad	mΩ/cm								
Eléctrica		0,364	0,274	0,304	0,357	0,358	0,356	0,344	0,357
SDT	mg/L	210,85	123,3	133,8	154,8	154	151,7	154,15	152,55
Nitratos	mg/L	5,3	3,8	5,9	5,5	1,4	5,5	6,5	1,1
Sulfatos	mg/L	11	3	6	7	8	7	11	7
Cloruros	mg/L	1,084	0,896	0,990	0,990	1,084	1,037	0,896	0,943
Bicarbonatos	meq/L	0,590	0,437	0,393	0,481	0,415	0,459	0,481	0,459
Carbonatos	meq/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	2,350	2,301	3,499	3,916	1,355	1,398	1,452	1,436
Sodio	meq/L	0,444	0,531	0,999	1,314	0,474	0,322	0,537	0,382
Magnesio	meq/L	0,220	0,134	0,202	0,216	0,205	0,213	0,237	0,218
Potasio	meq/L	0,086	0,195	0,106	0,101	0,103	0,092	0,122	0,125

Elaborado por: Autores (2024).**Tabla 12***Análisis de los análisis físico-químicos del agua en el cuarto muestreo*

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo							
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Temperatura	°C	10,3	9	10,3	13,2	13,4	13	13,5	12,7
pH		7,62	8,02	7,77	7,83	8,05	7,94	6,9	7,95
Conductividad	mΩ/cm								
Eléctrica		0,329	0,273	0,385	0,307	0,310	0,300	0,471	0,303
SDT	mg/L	107,55	130,6	179	138,5	137,85	136,55	254,5	135,5
Nitratos	mg/L	2,1	3,6	2,9	2,9	1,9	3,6	3,2	1,9
Sulfatos	mg/L	5	6	7	3	3	4	24	4
Cloruros	mg/L	0,801	0,990	0,896	1,037	0,896	0,896	1,933	0,943
Bicarbonatos	meq/L	0,546	0,459	0,415	0,481	0,568	0,546	0,525	0,481
Carbonatos	meq/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	1,83	2,02	1,28	2,15	1,53	2,34	2,04	1,88
Sodio	meq/L	1,831	2,022	1,276	2,147	1,534	2,341	2,042	1,884
Magnesio	meq/L	0,123	0,166	0,096	0,145	0,094	0,118	0,423	0,129
Potasio	meq/L	0,383	0,302	0,160	0,261	0,214	0,360	0,631	0,299

Elaborado por: Autores (2024).

Tabla 13*Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el quinto muestreo*

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo							
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Temperatura	°C	9,8	9	10,5	12,6	12,2	13,9	13,8	12,9
pH		7,63	7,6	7,9	7,83	7,78	7,86	6,55	7,8
Conductividad Eléctrica	µS/cm	0,326	0,272	0,294	0,344	0,385	0,352	0,428	0,344
SDT	mg/L	206,7	115,9	129,45	151,7	252	153,3	253,1	158,45
Nitratos	mg/L	3,4	2,7	3	4,8	2	4,2	3,9	1,9
Sulfatos	mg/L	5	3	13	4	4,1	3	6,4	6
Cloruros	mg/L	1,132	1,179	1,179	1,132	1,980	1,179	2,216	1,367
Bicarbonatos	meq/L	0,546	0,459	0,415	0,481	0,568	0,546	0,525	0,481
Carbonatos	meq/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	1,575	1,741	1,774	1,184	1,173	1,841	1,150	1,518
Sodio	meq/L	0,203	0,186	0,253	0,103	0,462	0,184	0,225	0,420
Magnesio	meq/L	0,108	0,113	0,113	0,129	0,143	0,122	0,506	0,314
Potasio	meq/L	0,137	0,091	0,145	0,237	0,557	0,193	0,573	0,577

Elaborado por: Autores (2024).**Tabla 14***Resultados de los análisis físico-químicos del agua en el sexto muestreo*

Parámetros	Unidad	Puntos de muestreo							
		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	PM7	PM8
Temperatura	°C	9	8,5	10	11,8	13,9	12,6	12,1	12,8
pH		7,55	7,92	7,69	7,79	7,94	7,84	7,7	7,94
Conductividad Eléctrica	µS/cm	0,258	0,231	0,333	0,277	0,275	0,278	0,274	0,269
SDT	mg/L	100,15	124,2	178,65	120,2	120,4	121,85	121,7	121,4
Nitratos	mg/L	3,3	1,8	3	2,4	3,1	1,7	2,4	2,1
Sulfatos	mg/L	6	4	5	4	4	4	4	3
Cloruros	mg/L	1,179	1,084	0,990	1,037	1,084	0,990	0,990	1,084
Bicarbonatos	meq/L	0,415	0,393	0,525	0,437	0,459	0,459	0,459	0,415
Carbonatos	meq/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcio	meq/L	1,774	1,276	2,245	2,238	1,131	1,107	2,115	1,042
Sodio	meq/L	0,127	0,137	0,172	0,077	0,151	0,095	0,099	0,069
Magnesio	meq/L	0,132	0,124	0,122	0,114	0,145	0,129	0,126	0,127
Potasio	meq/L	0,067	0,058	0,195	0,151	0,118	0,238	0,134	0,052

Elaborado por: Autores (2024).

Anexo 5. Cálculo del RAS

Tabla 15

Índice de Relación de Absorción de Sodio (RAS)

Puntos de muestreo	Muestreos					
	Sept-M1	Sept-M2	Oct-M1	Oct-M2	Nov-M1	Nov-M2
PM1	0,534	0,484	0,392	0,250	0,221	0,130
PM2	0,519	0,451	0,481	0,209	0,193	0,164
PM3	1,410	0,968	0,734	0,764	0,260	0,158
PM4	1,550	0,961	0,914	0,899	0,128	0,071
PM5	0,962	0,784	0,536	0,827	0,570	0,189
PM6	0,424	0,383	0,358	0,215	0,186	0,120
PM7	0,707	0,528	0,584	0,352	0,247	0,093
PM8	0,535	0,481	0,420	0,337	0,439	0,091

Elaborado por: Autores (2024).

Anexo 5. Cálculo del CSR

Tabla 16

Carbonato sódico residual (CSR)

Puntos de muestreo	Muestreos					
	Sept-M1	Sept-M2	Oct-M1	Oct-M2	Nov-M1	Nov-M2
PM1	-3,306	-3,338	-1,981	-1,516	-1,137	-1,491
PM2	-3,135	-2,799	-1,998	-1,838	-1,395	-1,007
PM3	-1,403	-1,858	-3,307	-0,912	-1,471	-1,842
PM4	-2,475	-3,384	-3,651	-1,877	-0,832	-1,915
PM5	-1,642	-1,547	-1,144	-1,191	-0,748	-0,817
PM6	-2,366	-2,288	-1,152	-1,978	-1,417	-0,777
PM7	-1,663	-1,808	-1,209	-1,897	-1,132	-1,782
PM8	-2,263	-2,095	-1,195	-1,532	-1,351	-0,754

Elaborado por: Autores (2024).