

Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua en el sistema de riego Guangopud-Gatazo, provincia de Chimborazo, Ecuador

Evaluation of physical, chemical, and microbiological water quality in the Guangopud-Gatazo irrigation system, Chimborazo province, Ecuador

Ana Belén Mejía-Pérez*

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
belen.mejia@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1125-9128>

Maritza Yolanda García García

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
garciamaritza436@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-1266-6526>

Tatiana Abigail Lliguin Rodriguez

Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
tatianalliguin7@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-5999-389X>

Ronny Fernando Robalino Silva

Profesional Independiente
Riobamba - Ecuador
ronnyrobalino1@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-2412-5506>

***Correspondencia:**

belen.mejia@esPOCH.edu.ec

Cómo citar este artículo:

Mejía-Pérez, A., García, M., Lliguin, T., & Robalino, R. (2025). Evaluación de la calidad física, química y microbiológica del agua en el sistema de riego Guangopud-Gatazo, provincia de Chimborazo, Ecuador. *Esprint Investigación*, 4(2), 94-110.
<https://doi.org/10.61347/ei.v4i2.147>

Recibido: 30 de mayo de 2025

Aceptado: 04 de julio de 2025

Publicado: 10 de julio de 2025

Resumen: Garantizar la calidad del agua utilizada en sistemas de riego es fundamental para preservar la productividad agrícola y la salud del suelo, especialmente en regiones rurales donde esta constituye un recurso vital para el desarrollo sostenible. El objetivo de este estudio fue evaluar de manera integral la calidad del agua del sistema de riego Gatazo en la provincia de Chimborazo, centrándose en sus características físicas, químicas y microbiológicas para determinar su idoneidad para uso agrícola. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo, mediante un muestreo sistemático en distintos puntos y estaciones. Los resultados evidenciaron que la mayoría de los parámetros analizados como el pH, la conductividad eléctrica, la relación de adsorción de sodio (RAS) y los indicadores microbiológicos cumplen con los estándares establecidos por la FAO y el MAATE. No obstante, se detectaron concentraciones elevadas de cloruros en ciertas zonas, lo que podría comprometer la salud del suelo a largo plazo. La evaluación incluyó el uso de índices especializados, como el RAS y el CSR, que confirmaron un bajo riesgo de sodicidad. Las recomendaciones se orientan a la adopción de tecnologías para el tratamiento del agua, el fortalecimiento de los protocolos de monitoreo y la promoción de una gobernanza participativa, a fin de mejorar la resiliencia del sistema de riego frente a los desafíos ambientales y socioeconómicos.

Palabras clave: Análisis fisicoquímico, calidad del agua, Chimborazo, sistema de riego, sostenibilidad agrícola.

Abstract: Ensuring the quality of water used in irrigation systems is essential to preserving agricultural productivity and soil health, especially in rural regions where it represents a vital resource for sustainable development. The objective of this study was to comprehensively assess the water quality of the Gatazo irrigation system in the province of Chimborazo, focusing on its physical, chemical, and microbiological characteristics to determine its suitability for agricultural use. A quantitative approach was employed, using systematic sampling at various points and during different seasons. The results showed that most of the parameters analyzed such as pH, electrical conductivity, sodium adsorption ratio (SAR), and microbiological indicators comply with the standards established by the FAO and MAATE. However, elevated chloride concentrations were detected in certain areas, which could compromise soil health in the long term. The evaluation included the use of specialized indices, such as SAR and CSR, which confirmed a low risk of sodicity. Recommendations focus on the adoption of water treatment technologies, the strengthening of monitoring protocols, and the promotion of participatory governance to enhance the resilience of the irrigation system in the face of environmental and socio-economic challenges.

Keywords: Agricultural sustainability, Chimborazo, irrigation system, physicochemical analysis, water quality.

Copyright: Derechos de autor 2025 Ana Belén Mejía-Pérez, Maritza Yolanda García García, Tatiana Abigail Lliguin Rodriguez, Ronny Fernando Robalino Silva.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0.

1. Introducción

La sostenibilidad de los suelos agrícolas depende en gran medida de la calidad del agua utilizada para el riego, particularmente de sus características físicas, químicas y biológicas, las cuales inciden directamente en la salud del suelo, el rendimiento de los cultivos y la viabilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas (Espinosa, 2020; Shyamala et al., 2021). La evaluación de esta calidad requiere un proceso sistemático de muestreo, acompañado del análisis de parámetros específicos establecidos por entidades reguladoras, como el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).

De esta manera, los marcos legales y normativos desempeñan un papel crucial en la evaluación de la calidad del agua, puesto que establecen los límites permitidos, los requisitos de monitoreo y los procedimientos para detectar contaminantes (Carrillo & Urgilés, 2016). El cumplimiento de estas regulaciones es esencial para proteger tanto la productividad agrícola como la salud pública. Las recomendaciones técnicas derivadas de estas evaluaciones suelen incluir medidas para reducir las cargas contaminantes, como la protección de las fuentes hídricas, la mejora de las prácticas de gestión y la implementación de iniciativas de monitoreo comunitario (Cantuña, 2017).

Para llevar a cabo estas evaluaciones y asegurar el cumplimiento normativo, es fundamental medir los principales indicadores de calidad del agua. Entre ellos se encuentran la conductividad eléctrica, el pH, los sólidos totales disueltos, los cationes y aniones principales, así como los parámetros biológicos (Cantuña, 2017). En complemento, existen índices que integran múltiples parámetros en una sola métrica, como el ICA-NSF, facilitando así una visión global del estado del recurso hídrico. Este índice no solo simplifica la interpretación de datos, sino que también permite comparar diferentes cuerpos de agua y priorizar intervenciones de gestión o conservación.

En cuanto a los parámetros físicos del agua, elementos como la temperatura, turbidez, color y conductividad eléctrica proporcionan una caracterización inicial fundamental. Particularmente, la conductividad eléctrica funciona como un indicador clave de la concentración total de sales disueltas. Una elevada conductividad suele asociarse con alta salinidad, la cual puede interferir en el crecimiento de las plantas y afectar la calidad del suelo. Por ejemplo, Behilil et al. (2024) observaron que el agua subterránea con valores elevados de conductividad eléctrica (CE) generalmente contiene cantidades significativas de sustancias inorgánicas disueltas, y que la CE tiende a aumentar a lo largo de la dirección del flujo del agua subterránea.

De igual manera, el análisis químico del agua de riego es crítico para la determinación de su uso. Los parámetros esenciales medidos en los estudios son: (a) pH, (b) sólidos totales disueltos, (c) la dureza, (d) concentraciones de cationes (como calcio, magnesio y sodio), (e) aniones (como cloruro, nitrato, fosfato y sulfato) y (f) la relación de adsorción de sodio (SAR). Este último permite determinar la capacidad del sodio para acumularse en el suelo; generalmente suelos con un $SAR < 10$ (clase S1) son considerados adecuados (Espinosa, 2020).

Un caso particular son los nitratos, los cuales, dependiendo de su nivel de concentración 50 mg/L es el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud pueden ser considerados como contaminantes o nutrientes, debido a que al presentarse en elevadas concentraciones tienen la capacidad de formar nitritos tóxicos. Por otro lado, la concentración de elementos como el cloro, sodio o fosfatos en grandes cantidades tienen la capacidad de deteriorar los cultivos. Por ejemplo, los fosfatos, aunque son esenciales para el crecimiento de la planta, en cantidades elevadas producen la eutrofización con la consecuente liberación de toxinas (Behilil et al., 2024).

Otro aspecto crítico en la calidad del agua de riego es el factor microbiológico, puesto que, este no solo supone un riesgo para los cultivos sino para la salud humana (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016). La detección de propiedades como los coliformes es indispensable para evitar que el agua utilizada se convierta en un vector de transmisión de enfermedades (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). Estos análisis se ven complementados con el monitoreo biológico e hidromorfológico, que destacan la condición de los cuerpos acuáticos y cómo las comunidades biológicas responden a cambios en su entorno. Además, el entrelazamiento en los datos hidromorfológicos con monitoreos biológicos permite que exista una evaluación más completa tanto de los impactos directos como indirectos en usos y prácticas de manejo del agua (Ortiz et al., 2024).

Dada la importancia para la agricultura de la zona y a la falta de información se evaluó el sistema de riego de Guangopud Gatazo. Este sistema está situado en la provincia de Chimborazo, una región caracterizada por una compleja interacción de factores geográficos y climáticos que influyen directamente en la disponibilidad y la calidad del agua para uso agrícola. La topografía de esta zona se define por su paisaje andino de gran altitud, con elevaciones que pueden alcanzar hasta 3400 metros sobre el nivel del mar. Se sabe que estos gradientes altitudinales determinan tanto el régimen hidrológico como la composición de la vegetación local.

Desde el punto de vista climático, la provincia experimenta una marcada estacionalidad, con períodos húmedos y secos bien diferenciados que influyen en el caudal de los ríos y la recarga de las aguas subterráneas. Las campañas de monitoreo en cuencas andinas comparables se han estructurado para captar las condiciones tanto del verano como del invierno, lo que refleja la necesidad de tener en cuenta la variabilidad estacional en las evaluaciones de la calidad del agua (Carrillo & Urgilés, 2016).

Estos procesos naturales, junto con influencias antropogénicas como la agricultura y la urbanización, determinan la composición química del agua de riego, lo que afecta a su idoneidad para la producción agrícola y la salud del suelo (Shyamala et al., 2021). La necesidad de una supervisión continua se ve reforzada por la posibilidad de que las fluctuaciones estacionales y los cambios en el uso del suelo alteren el perfil químico y microbiológico del agua de riego. Las medidas de gestión comunitaria y de protección de las fuentes se reconocen cada vez más como componentes esenciales para mantener la viabilidad a largo plazo de los sistemas de riego en estas regiones montañosas (de Oliveira et al., 2009).

Las prácticas agrícolas en el sistema de riego Guangopud Gatazo dependen de la disponibilidad y calidad del agua, así como de las necesidades hídricas de los cultivos. La presencia de altos niveles de cloruro influye en la selección de cultivos, ya que algunos son más tolerantes a la salinidad que otros: por ejemplo, cereales como el maíz y el trigo toleran moderadamente la sal, mientras que ciertas hortalizas y frutales son más sensibles (Valles-Aragón et al., 2017). Esto requiere una planificación cuidadosa y prácticas que eviten la salinización del suelo.

El número de usuarios asociados al sistema Guangopud Gatazo es considerable, lo que refleja su amplio impacto en la población local. Por ejemplo, sistemas de riego similares en la región dan servicio a miles de usuarios, como lo demuestra la Junta General de Riego de Tumbaco, que da soporte a casi 2800 usuarios distribuidos en múltiples comunidades (Cantuña, 2017). La gestión eficiente del agua en estos sistemas es fundamental para maximizar la producción agrícola y garantizar una distribución equitativa entre los usuarios. La mejora de la operación y el mantenimiento, junto con la participación de los usuarios, son esenciales para la sostenibilidad de los sistemas públicos de riego.

La hipótesis central de este estudio plantea que el sistema de riego Guangopud Gatazo, ubicado en la provincia de Chimborazo, cumple con los parámetros de calidad establecidos por las normativas de la FAO y el MAATE, según lo evidenciado en los análisis físicos, químicos y biológicos del agua. No obstante, se anticipan posibles excedencias localizadas en ciertos parámetros, como la concentración de cloruros, lo que podría representar un riesgo para la salud de los cultivos y la sostenibilidad del suelo si no se implementan medidas de gestión adecuadas.

Esta hipótesis se fundamenta en el reconocimiento de que la calidad del agua de riego es un factor clave tanto para la productividad de los cultivos como para la viabilidad a largo plazo del suelo. Las concentraciones excesivas de iones y sales pueden causar estrés fisiológico en cultivos sensibles y favorecer la salinización del suelo, lo que finalmente se traduce en pérdidas económicas para los productores (Mancilla-Villa et al., 2021).

La expectativa de que la mayoría de los parámetros medidos se mantengan dentro de los límites aceptables está respaldada por estudios previos en sistemas de riego andinos similares, donde, a pesar de las presiones antropogénicas, las fuentes de agua suelen conservar su aptitud para uso agrícola gracias a la implementación de prácticas regulares de monitoreo y gestión (Cantuña, 2017).

Además, la hipótesis sostiene que el monitoreo continuo y la adopción de medidas de conservación como la protección de las fuentes y la gestión comunitaria son fundamentales para preservar la calidad del agua y asegurar la sostenibilidad de la producción agrícola en la región. La importancia de estas acciones se enfatiza ante los desafíos que implica obtener evaluaciones objetivas y constantes de las condiciones del campo, dificultades que pueden superarse mediante la implementación de herramientas operativas y protocolos específicos para la evaluación de la calidad del agua (Carpio y Uguña, 2022).

El objetivo general de este estudio es evaluar de manera integral la calidad del agua del sistema de riego Gatazo en la provincia de Chimborazo, centrándose en sus características físicas, químicas y microbiológicas para determinar su idoneidad para uso agrícola. Esta evaluación resulta fundamental, puesto que la eficacia y sostenibilidad de los sistemas de riego dependen directamente de la calidad del agua suministrada a los cultivos, la cual influye notablemente en las respuestas fisiológicas de las plantas, el rendimiento agrícola y la salud del suelo (Mancilla-Villa et al., 2021).

La propuesta trasciende la simple verificación del cumplimiento normativo, buscando identificar los riesgos y limitaciones potenciales relacionados con la calidad actual del agua, y así proporcionar una base científica para el diseño de estrategias de gestión y conservación. Además, el estudio enfatiza la importancia del monitoreo continuo y la gestión adaptativa de los recursos hídricos. La evaluación periódica de los parámetros de calidad permite detectar tempranamente tendencias adversas, que pueden ser abordadas mediante intervenciones específicas, como la protección de las fuentes, el fortalecimiento de la gestión comunitaria y la adopción de mejores prácticas de riego (Soares et al., 2020).

Al combinar los análisis de laboratorio con las directrices establecidas y el contexto local, esta investigación busca fomentar prácticas agrícolas sostenibles y asegurar la viabilidad a largo plazo del sistema de riego Guangopud Gatazo, beneficiando así a la comunidad agrícola de la región.

2. Metodología

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo y un diseño exploratorio-descriptivo, con el objetivo de evaluar la calidad del agua en el sistema de riego Guangopud Gatazo, ubicado en la parroquia Cajabamba, cantón Colta (Ecuador). El estudio se centró en la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en distintos puntos del sistema de captación, almacenamiento y distribución.

Diseño y procedimientos de muestreo

La unidad de análisis fue el sistema de riego Guangopud Gatazo. Se efectuó una visita técnica inicial para georreferenciar y caracterizar 15 puntos distribuidos en el sistema: 3 de captación, 3 de almacenamiento y 9 de distribución. A través de análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias, se seleccionaron 8 puntos representativos (véase tabla 1), asegurando una cobertura adecuada sin redundancia de datos. Se aplicó un muestreo simple, con recolectas quincenales durante tres meses (marzo a mayo), correspondientes a la temporada lluviosa. En total, se realizaron 6 campañas de muestreo por punto, sumando 48 muestras fisicoquímicas y 48 microbiológicas.

Tabla 1

Puntos de muestreo del sistema de riego Guangopud Gatazo

N°	Código de identificación	Lugar	Coordenadas UTM	
			Latitud (X)	Longitud(Y)
1	A	Fuente 1	738587.135	9807280.47
2	B	Fuente 2	737080.935	9807627.83
3	C	Fuente 3	737204.806	9806991.45
4	D	Almacenamiento principal (Rumi Cruz)	750279.023	9811730.609
5	E	Gatazo La Rinconada	750856.813	9813182.681
6	F	Bellavista	748295.108	9814488.866
7	G	Gatazo Sambrano	751370.618	9815537.699
8	H	Pucara	749227.171	9813785.732

Procedimientos de recolección, preservación y transporte de muestras

Las muestras se recolectaron siguiendo la norma NTE INEN 2169:98 para agua de uso agrícola. Para los análisis fisicoquímicos se utilizaron envases plásticos de 1 L, mientras que para los microbiológicos se emplearon frascos estériles de 100 mL. Antes de llenarlos, cada envase fue enjuagado tres veces con el agua a analizar. En las muestras fisicoquímicas se evitó dejar espacio de aire, mientras que en las microbiológicas se reservó un pequeño volumen libre.

Cada muestra fue rotulada con código, fecha, hora, punto de recolección y nombres de los responsables. Estas muestras fueron transportadas en refrigeradores, manteniéndose entre 4 y 8 °C, protegiéndolas de la luz solar directa, con el fin de evitar alteraciones fisicoquímicas y microbiológicas durante su traslado al Laboratorio de Servicios Ambientales (LSA) de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Parámetros evaluados

Las técnicas analíticas empleadas se basaron en métodos de laboratorio estandarizados. A continuación, se describen los parámetros medidos, sus unidades correspondientes y la metodología aplicada para su determinación (tabla 2).

Tabla 2

Parámetros analizados, unidades y metodología utilizada para la evaluación de la calidad del agua del sistema de riego Guangopud Gatazo

Parámetro	Unidad	Metodología
Temperatura	°C	Medición in situ con potenciómetro digital directamente en los tanques del sistema de riego.
Conductividad Eléctrica	μS/cm	Medición con conductímetro; se sumerge la sonda en la muestra, se espera estabilización y se registra el valor.
pH	[H ⁺]	Uso de pHmetro Mettler; la sonda se limpia con agua destilada entre mediciones.
TDS	mg/L	Valor obtenido junto con la conductividad mediante el conductímetro; limpieza de sonda con agua destilada entre muestras.
Sulfatos	mg/L	Fotometría UV con reactivo Sulfaver 4; reposo por 5 minutos y lectura en espectrofotómetro.
Cloruros	mg/L	Titulación con nitrato de plata 0,01N usando indicador de cromato de potasio; viraje a color ladrillo.
Carbonatos	mg/L	Titulación con H ₂ SO ₄ 0,02N; se usa indicador fenolftaleína y naranja de metilo según el viraje observado.
Bicarbonatos	mg/L	Mismo procedimiento que carbonatos, con ajuste de viraje a naranja con indicador de naranja de metilo.
Nitratos	mg/L	Fotometría UV con reactivo Nitriver 5; agitación y reposo por 5 minutos antes de lectura.
Calcio	mg/L	Absorción atómica tras digestión con HNO ₃ al 65%, dilución y aforo; lectura a 422,7 nm.
Sodio	mg/L	Absorción atómica tras digestión con HNO ₃ al 65%, dilución y aforo; lectura a 589 nm.
Magnesio	mg/L	Absorción atómica tras digestión con HNO ₃ al 65%, dilución y aforo; lectura a 285,2 nm.
Potasio	mg/L	Absorción atómica tras digestión con HNO ₃ al 65%, dilución y aforo; lectura a 766,5 nm.
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Filtración al vacío con membrana, incubación en agar Endo a 36 °C por 24 h; conteo de colonias.

La tabla 3 presenta los equipos utilizados, sus modelos comerciales y una breve descripción de sus funciones dentro del proceso analítico del estudio.

Tabla 3

Equipos utilizados para el análisis de la calidad del agua en el sistema de riego Guangopud Gatazo

Equipo	Modelo	Descripción
Potenciómetro	Hanna Instruments HI5522	Medidor multiparamétrico de sobremesa; mide pH, temperatura, conductividad y TDS.
Espectrofotómetro UV-Vis	Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis	Espectrofotómetro de doble haz con rango UV-Visible (190–1100 nm).
Titulador volumétrico	Metrohm 877 Titrino Plus	Titulador automático digital para análisis volumétrico de alta precisión.
Absorción atómica	PerkinElmer AAnalyst 400	Espectrofotómetro de absorción atómica con llama; lectura automática de metales.
Sistema de filtración por membrana	Millipore Microfil®	Sistema de filtración con membranas de 0,45 µm para análisis microbiológico.
Incubadora	Memmert IN30	Estufa de incubación programable; mantiene 36 °C constantes por 24 horas.

Estimación del efecto del sodio

La estimación del RAS se realizó según la metodología utilizada por Rodríguez et al. (2022), empleando la Ecuación 1.

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

Donde:

- $[Na^+]$, $[Ca^{2+}]$ y $[Mg^{2+}]$ representan las concentraciones en miliequivalentes por litro (meq/L).

Carbonato sódico residual (CSR)

Se siguió la metodología utilizada por Camacho-Ballesteros et al. (2020) en el cálculo del CSR, realizándolo con la Ecuación 2.

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

Donde:

- $[CO_3^{2-}]$ y $[HCO_3^-]$ son las concentraciones de carbonato y bicarbonato, respectivamente.
- $[Ca^{2+}]$ y $[Mg^{2+}]$ son las concentraciones de calcio y magnesio.
- Las concentraciones se expresan en miliequivalentes por litro (meq/L).

3. Resultados

En relación con los parámetros físicos, las mediciones de temperatura realizadas en distintos puntos y momentos de muestreo mostraron una variabilidad tanto espacial como temporal. Los datos evidenciaron un aumento progresivo de la temperatura del agua desde las zonas aguas arriba hacia las aguas abajo, correlacionándose con el incremento de la temperatura ambiental a lo largo del día. El rango y la desviación estándar de los valores de temperatura reflejan la dinámica propia del sistema (tabla 4).

Tabla 4

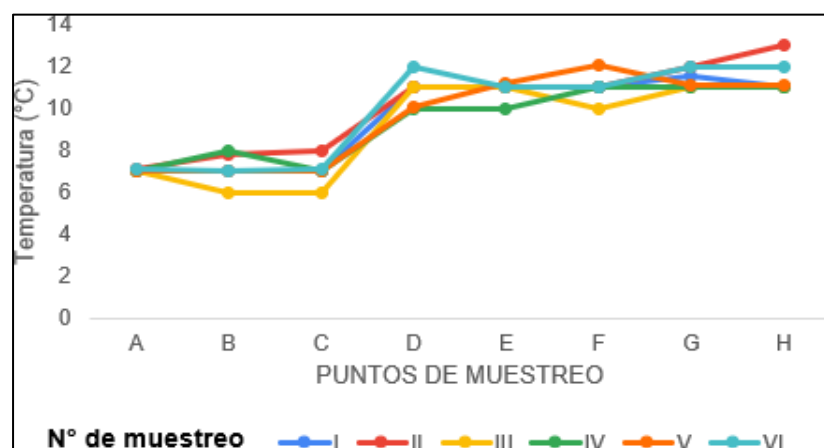
Parámetros físicoquímicos del agua en distintos puntos de muestreo del sistema de riego

Puntos de muestreo	Temperatura	pH	Conductividad	SDT	Sulfatos	Cloruros
A	7.03 ± 0.05 ^a	7.70 ± 0.05 ^{bc}	357.5 ± 26.38 ^d	181.48 ± 11.13 ^c	6.83 ± 1.60 ^b	8.88 ± 1.33 ^a
B	7.13 ± 0.71 ^a	7.45 ± 0.15 ^a	170.5 ± 26.17 ^a	87.92 ± 14.03 ^a	2.83 ± 2.70 ^a	8.40 ± 1.14 ^a
C	7.02 ± 0.63 ^a	7.72 ± 0.13 ^{bc}	198.30 ± 25.25 ^b	98.06 ± 12.32 ^a	4.42 ± 2.99 ^{ab}	8.40 ± 1.38 ^a
D	10.85 ± 0.73 ^b	7.62 ± 0.18 ^b	256.45 ± 22.79 ^c	123.60 ± 19.82 ^b	4.75 ± 4.03 ^{ab}	7.81 ± 1.62 ^a
E	10.87 ± 0.43 ^b	7.80 ± 0.11 ^c	251.78 ± 21.52 ^c	125.90 ± 10.71 ^b	3.08 ± 1.80 ^a	8.28 ± 1.47 ^a
F	11.02 ± 0.66 ^b	7.72 ± 0.15 ^{bc}	255.56 ± 20.66 ^c	127.76 ± 10.30 ^b	4.58 ± 2.76 ^{ab}	7.69 ± 0.94 ^a
G	11.43 ± 0.48 ^b	7.70 ± 0.14 ^{bc}	254.44 ± 22.29 ^c	127.20 ± 11.17 ^b	3.58 ± 1.28 ^a	7.34 ± 0.86 ^a
H	11.52 ± 0.83 ^b	7.74 ± 0.11 ^{bc}	256.56 ± 24.36 ^c	126.35 ± 13.71 ^b	2.75 ± 1.37 ^a	8.52 ± 1.49 ^a

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0001$) entre los puntos de muestreo respecto a la variable temperatura. Los puntos A, B y C conformaron un grupo homogéneo (figura 1) con temperaturas significativamente más bajas, mientras que los puntos D a H integraron un segundo grupo con temperaturas más elevadas.

Figura 1

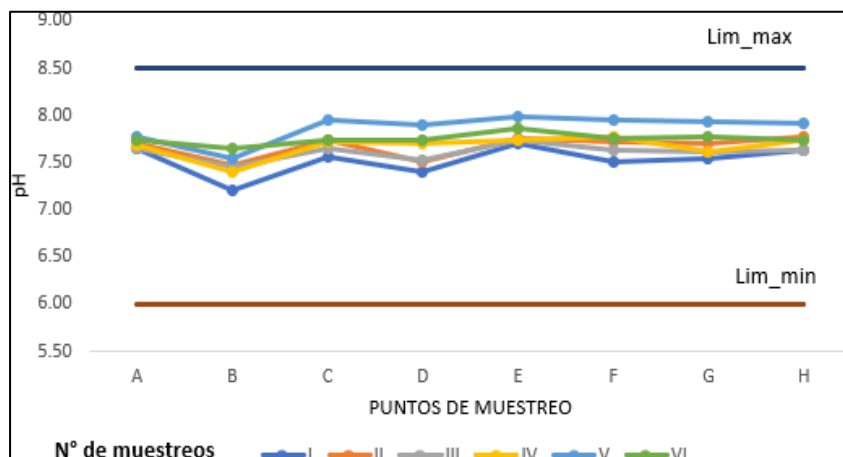
Temperatura en diferentes puntos de muestreo



Se midieron parámetros químicos como el pH, la conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de los principales iones. En general, los valores de pH se mantuvieron dentro del rango aceptable para agua de riego (figura 2), aunque se registraron pequeñas desviaciones en algunas muestras.

Figura 2

Niveles de pH en diferentes puntos de muestreo



El análisis estadístico del pH reveló una variabilidad significativa tanto entre los distintos muestreos (tabla 5) como entre los puntos de muestreo (tabla 4).

Tabla 5

Variación de parámetros fisicoquímicos del agua en seis muestreos secuenciales del sistema de riego

Muestreos	pH	Conductividad	SDT	Sulfatos	Cloruros
I	7.52 ± 0.16 ^a	254.38 ± 58.81 ^b	127.27 ± 29.28 ^b	2.75 ± 1.75 ^a	8.12 ± 1.05 ^a
II	7.67 ± 0.12 ^{bc}	227.07 ± 51.04 ^a	12.42 ± 31.99 ^a	8.00 ± 2.96 ^b	8.58 ± 1.29 ^a
III	7.61 ± 0.09 ^{ab}	221.13 ± 57.93 ^a	110.44 ± 28.95 ^a	3.44 ± 1.50 ^a	8.46 ± 1.14 ^a
IV	7.67 ± 0.11 ^{bc}	250.85 ± 45.52 ^b	127.14 ± 23.27 ^b	3.56 ± 2.16 ^a	7.89 ± 1.10 ^a
V	7.87 ± 0.15 ^d	270.62 ± 58.21 ^c	133.87 ± 26.90 ^b	3.25 ± 1.41 ^a	8.33 ± 1.42 ^a
VI	7.75 ± 0.06 ^c	276.79 ± 56.50 ^c	137.55 ± 29.34 ^b	3.63 ± 2.07 ^a	7.98 ± 1.26 ^a

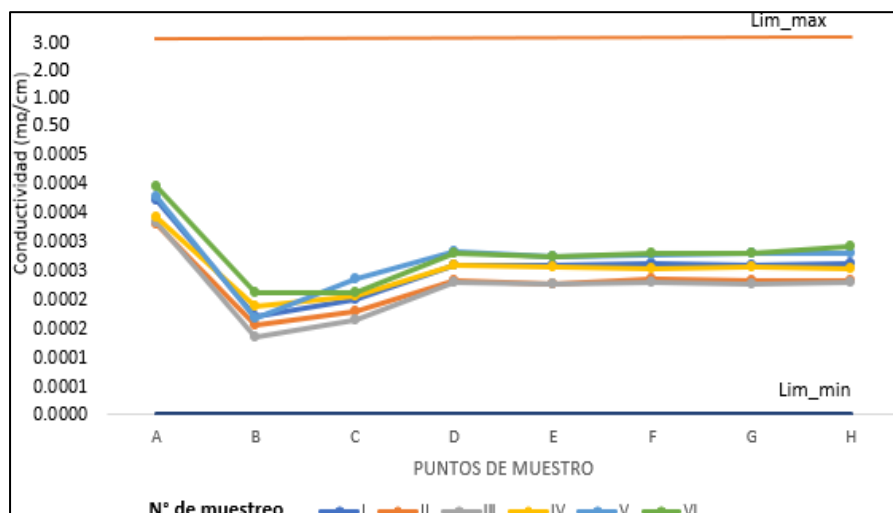
Los valores de conductividad eléctrica (figura 3) fueron analizados mediante el diagrama de Richards para evaluar el riesgo de salinización y sodificación. La mayoría de las muestras se ubicaron en categorías de riesgo bajo a moderado, lo que indica que el agua es generalmente apta para el riego. Además, el análisis estadístico reveló diferencias significativas en la conductividad eléctrica tanto entre los diferentes muestreos (tabla 5) como entre los puntos de muestreo (Tabla 4).

Los resultados del test de Tukey (tabla 5) indicaron que los muestreos V y VI presentaron los valores más altos de conductividad (270.62 y 276.79 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente), significativamente diferentes de los primeros tres muestreos. En cuanto a los puntos de muestreo (tabla 4), el punto A mostró la mayor

conductividad ($357.50 \mu\text{S/cm}$), lo cual representa una diferencia significativa respecto a los demás, especialmente frente al punto B ($170.50 \mu\text{S/cm}$), que tuvo el valor más bajo.

Figura 3

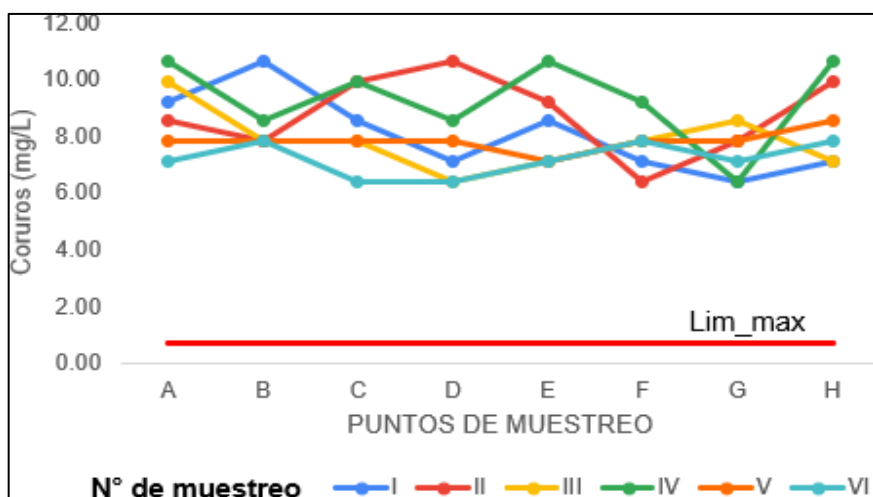
Niveles de conductividad eléctrica en diferentes puntos de muestreo



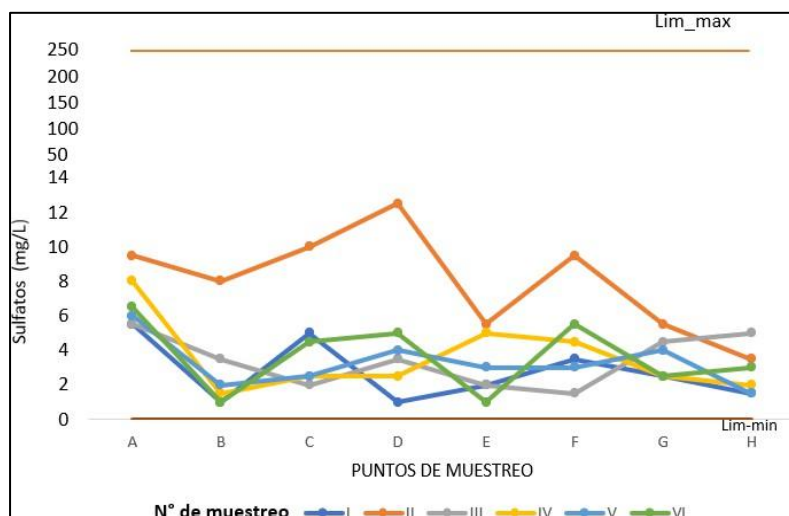
Se prestó especial cuidado a los cloruros, puesto que, los valores superaron los límites permisibles (figura 4). La concentración de cloruros en el sistema de riego mostró una variación moderada a lo largo de los seis muestreos, con valores que oscilaron entre $7.89 \pm 1.10 \text{ mg/L}$ (muestreo IV) y $8.58 \pm 1.29 \text{ mg/L}$ (muestreo II) (tabla 5). Estos valores se mantienen dentro de un rango relativamente estable, lo cual sugiere una baja influencia de fuentes externas de contaminación salina durante el período de evaluación.

Figura 4

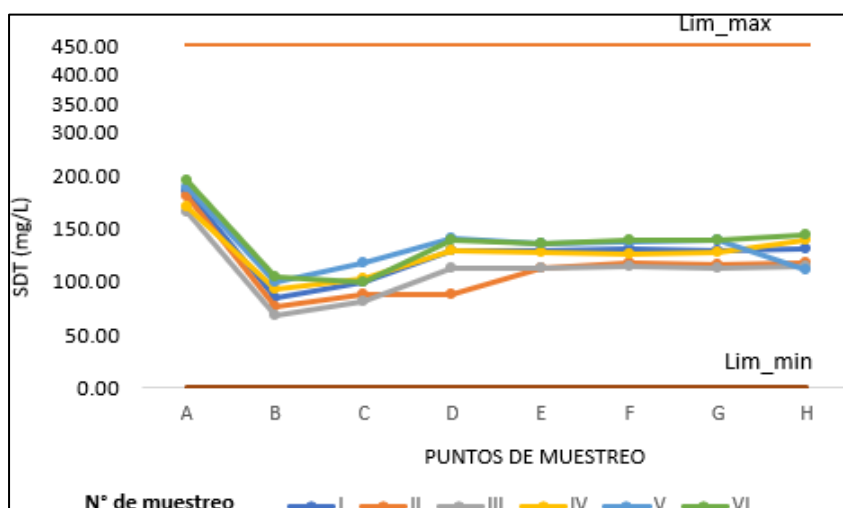
Niveles de cloruro en diferentes puntos de muestreo



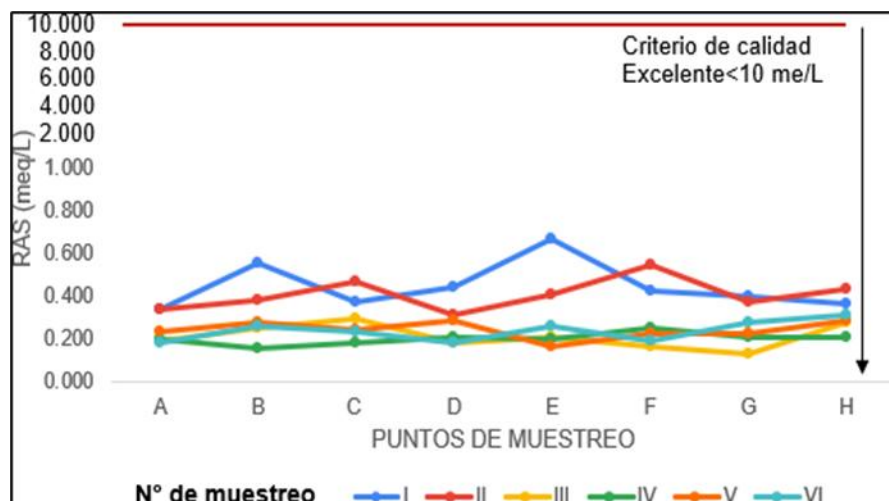
Por otro lado, los niveles de sulfatos (figura 5) en los seis muestreos del sistema de riego se mantuvieron relativamente bajos, con valores comprendidos entre $2.75 \pm 1.75 \text{ mg/L}$ (muestreo I) y $8.00 \pm 2.96 \text{ mg/L}$ (muestreo II) (tabla 5). Aunque se observa un ligero incremento puntual en el segundo muestreo, no se evidencian tendencias marcadas de acumulación. Estos resultados indican una baja presencia de compuestos azufrados en el sistema.

Figura 5*Niveles de sulfatos en diferentes puntos de muestreo*

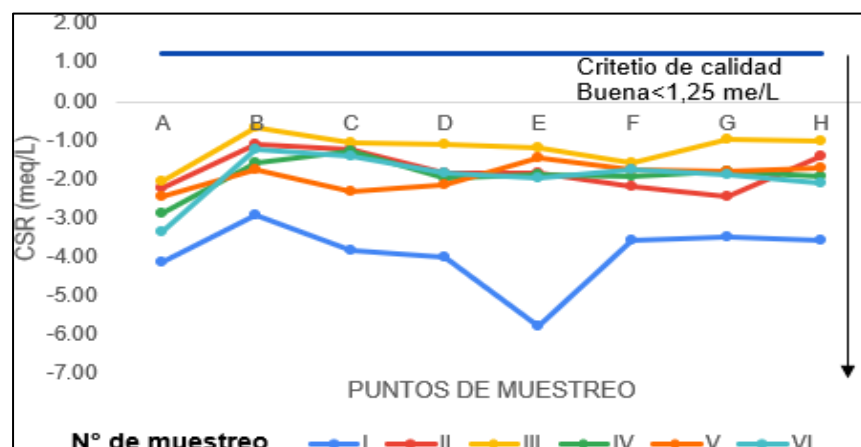
Continuando el análisis con la concentración de sólidos disueltos totales (SDT), se obtuvo que en los seis muestreos secuenciales se mostró una ligera variabilidad, con valores que fluctuaron entre 110.44 ± 28.95 mg/L (muestreo III) y 137.55 ± 29.34 mg/L (muestreo VI) (figura 6). Aunque se evidenciaron diferencias entre los muestreos, los niveles se mantienen dentro de un rango considerado bajo a moderado, sin superar los límites críticos para uso agrícola (tabla 5).

Figura 6*Niveles de sólidos disueltos totales en distintos puntos de muestreo*

Finalmente, el análisis estadístico del índice RAS (figura 7) reveló una variación significativa a lo largo del tiempo, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo ($p = 0.4439$). Los valores más altos de RAS se registraron en los muestreos I y II, con medias de 0.45 ± 0.11 y 0.41 ± 0.08 , respectivamente, indicando una mejor calidad en esos momentos. En contraste, los muestreos III a VI presentaron valores significativamente más bajos, con promedios entre 0.20 ± 0.03 y 0.25 ± 0.04 , lo que refleja un deterioro progresivo en las condiciones evaluadas (tabla 5).

Figura 7*Valores de la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en diferentes puntos de muestreo*

Por su parte, el índice CSR (figura 8) presentó diferencias significativas tanto entre los muestreos como entre los puntos de muestreo, lo cual evidencia una influencia combinada de factores temporales y espaciales. El muestreo I mostró el valor más negativo, con una media de -3.90 ± 0.84 , indicando condiciones ecológicas más deterioradas al inicio del periodo evaluado (tabla 5). En cuanto a los puntos de muestreo, el punto A registró el valor más bajo de CSR (-2.85 ± 0.78), mientras que el punto B mostró el valor más alto (-1.52 ± 0.77), sugiriendo que este último tiene una calidad ambiental relativamente mejor. Otros puntos, como C (-1.85 ± 1.07) y D (-2.13 ± 0.99), presentaron valores intermedios con solapamientos estadísticos, lo que indica una variabilidad considerable en la calidad ecológica entre distintas ubicaciones del área de estudio (tabla 4).

Figura 8*Carbonato de Sodio Residual (CSR) en distintos puntos de muestreo*

En cuanto a la calidad microbiológica del agua, los resultados de coliformes totales mostraron una marcada disminución en las concentraciones a lo largo de los seis muestreos. En el primer muestreo (I), se registraron las concentraciones más altas en todos los puntos, con valores de 16 UFC/100 mL en el punto B, 12 en C, 11 en A y E, y 10 en D, entre otros. Sin embargo, a partir del segundo muestreo (II) y hasta el sexto (VI), los valores disminuyen drásticamente, alcanzando 0 UFC/100 mL en la mayoría de los puntos durante los muestreos II y III, y manteniéndose entre 0 y 5 UFC/100 mL en los muestreos IV a VI (tabla 6).

Tabla 6*Recuento de coliformes totales (NMP/100 mL) en distintos puntos de muestreo*

Puntos de Muestreo	Numero de muestreo					
	I	II	III	IV	V	VI
A	11	0	0	5	2	4
B	16	0	0	1	0	1
C	12	0	0	0	0	1
D	10	0	0	3	1	1
E	11	0	0	2	2	0
F	8	0	0	12	2	0

4. Discusión

La hipótesis de esta investigación planteaba que la calidad del agua del sistema de riego Guangopud Gatazo, ubicado en la provincia de Chimborazo, es en general adecuada para uso agrícola, conforme a los análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos y en comparación con los estándares establecidos por la FAO y el MAATE. Los resultados obtenidos aportan evidencia sólida para evaluar y respaldar esta hipótesis.

Los análisis físicos y químicos mostraron que la mayoría de los parámetros evaluados, como el pH y los sólidos totales disueltos, se ubicaron dentro de los rangos aceptables para agua de riego, conforme a las directrices nacionales e internacionales. En particular, los valores de pH registrados en las muestras oscilaron entre 6 y 9, ajustándose a los límites recomendados para uso agrícola (Carpio & Uguña, 2022). Esto resulta relevante, ya que un pH fuera de este rango podría afectar la disponibilidad de nutrientes y la salud de los cultivos, por lo que es poco probable que el agua cause estrés relacionado con el pH en las plantas.

La evaluación química también consideró la concentración de iones como sodio y cloruro. Aunque los niveles de sodio se mantuvieron bajos, lo cual es beneficioso para prevenir la sodicidad del suelo y los problemas estructurales asociados, en algunas muestras se detectaron concentraciones elevadas de cloruro. Un exceso de cloruro representa un riesgo para cultivos sensibles, ya que puede causar quemaduras foliares y reducir el rendimiento si no se controla adecuadamente (Stavi et al., 2021).

Estudios recientes recomiendan que los niveles de cloruros no superen aproximadamente 10 meq/L (~355 mg/L) para evitar toxicidad foliar en cultivos de alto valor (Bauder et al., 2014). Asimismo, tanto la relación de adsorción de sodio (SAR) como la conductividad eléctrica (CE) se mantuvieron dentro de límites seguros para la mayoría de los cultivos. El SAR, un indicador clave para evaluar la estabilidad de los agregados del suelo y su permeabilidad, permaneció por debajo de 3, lo que señala un bajo riesgo de sodificación (Ushurhe et al., 2024).

Esta concordancia refuerza la idea de que el agua es generalmente adecuada para riego, aunque se recomienda precaución en el caso de cultivos sensibles al cloruro. Además, el Carbonato de Sodio Residual (RSC) calculado fue inferior a 0,5 meq/L, clasificándose como bajo y señalando un bajo riesgo de dispersión del suelo y formación de suelos alcalinos (Zhang, 2016).

En cuanto a la calidad microbiológica, los resultados de coliformes totales indican una condición generalmente aceptable. Los recuentos disminuyeron de valores elevados de 11–16 UFC/100 mL en el primer muestreo hasta 0 UFC/100 mL en los muestreos II y III, lo que sugiere un control efectivo o mejora en las fuentes contaminantes. Sin embargo, la detección residual de 1–12 UFC/100 mL en los muestreos IV a VI, en puntos como A y F, evidencia episodios puntuales de contaminación, posiblemente causados por escorrentía superficial o fallos menores en la infraestructura. Las directrices de Health Canada (2020) señalan que incluso estas detecciones puntuales requieren investigación, ya que reflejan vulnerabilidades en el sistema. Además, la aplicación de métodos modernos de detección, tanto basados en cultivo como moleculares, permite una monitorización más precisa y rápida, facilitando intervenciones oportunas (Tambi et al., 2023).

La detección de coliformes totales es un indicador ampliamente utilizado para evaluar la integridad de los sistemas de tratamiento y distribución de agua potable, ya que su presencia puede asociarse con riesgos patógenos potenciales (Health Canada, 2020). Según las Guías de Calidad del Agua de Canadá, el estándar máximo aceptable para las descargas de planta y para el agua subterránea no desinfectada es la ausencia total de detección por cada 100 mL. Además, cualquier detección en sistemas de distribución debe ser investigada, pues señala vulnerabilidades en el sistema. Estos hallazgos subrayan la importancia de mantener una vigilancia constante, implementando medidas específicas en puntos críticos para asegurar el cumplimiento normativo y proteger la salud de la población consumidora.

El estudio también resalta la importancia de la participación comunitaria y la protección de las fuentes como medidas clave de conservación. La implementación de estas estrategias contribuye a mantener la calidad del agua y a garantizar la sostenibilidad del sistema de riego, tal como se ha evidenciado en otros contextos donde la gestión comunitaria ha fortalecido la resiliencia de los sistemas de abastecimiento hídrico (Wang & Chen, 2021).

Las pruebas recopiladas a partir del análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, junto con la comparación con las normas de la FAO y MAATE, respaldan la hipótesis de la investigación de que el sistema de riego de Guangopud Gatazo proporciona agua que, en general, es apta para uso agrícola. Las excepciones observadas, en particular en lo que respecta al cloruro, ponen de relieve la necesidad de prácticas de gestión específicas y un seguimiento periódico para mantener la calidad del agua y la productividad agrícola a largo plazo (Rodríguez et al., 2022).

5. Conclusiones

La evaluación de la calidad del agua del sistema de riego de Guangopud Gatazo revela que, en general, el agua cumple con los estándares establecidos tanto por organismos internacionales como la FAO como por autoridades nacionales como el MAATE, lo que confirma su idoneidad general para uso agrícola. Los parámetros físicos y químicos, incluidos el pH, la conductividad eléctrica, la relación de adsorción de sodio y la mayoría de las concentraciones de iones, se encuentran dentro de los rangos aceptables, lo que respalda el riego sostenible de una variedad. Sin embargo, la detección de concentraciones elevadas de cloruro en determinados puntos de muestreo pone de relieve un problema localizado pero significativo que requiere una gestión específica para evitar efectos adversos en cultivos sensibles y en la salud del suelo a largo plazo.

La variabilidad espacial y temporal observada en la red de riego subraya la naturaleza dinámica de la calidad del agua, influida por factores geológicos naturales, cambios hidrológicos estacionales y actividades antropogénicas como la escorrentía agrícola y las modificaciones en el uso del suelo. Esta variabilidad requiere un seguimiento continuo y sistemático para detectar las fluctuaciones y los riesgos emergentes, lo que permite intervenir a tiempo.

Las evaluaciones microbiológicas indican niveles de contaminación generalmente bajos, lo que reduce la preocupación por la transmisión de patógenos a través del agua de riego, pero sigue siendo esencial mantener una vigilancia continua para salvaguardar tanto la seguridad de los cultivos como la salud pública.

La integración de índices especializados como el SAR y el RSC proporciona una comprensión matizada del potencial de sodicidad y salinización del suelo, con resultados que indican un riesgo bajo a moderado en las condiciones actuales. Estos hallazgos respaldan la implementación de estrategias de gestión adaptativa, incluida la selección de variedades de cultivos tolerantes a la sal, enmiendas del suelo y ajustes en la programación del riego para mitigar los riesgos de salinidad.

La importancia de la participación de la comunidad y la gobernanza participativa se perfila como un factor crítico para mantener la calidad del agua y garantizar una distribución equitativa de la misma. Empoderar a las asociaciones locales de usuarios de agua para que participen en el monitoreo, el mantenimiento y la toma de decisiones mejora la resiliencia y la sostenibilidad del sistema de riego.

Referencias

- Bauder, T., Waskom, R., Sutherland, P., & Davis, J. (2014). *Irrigation water quality criteria* (Fact Sheet No. 0.506). Colorado State University Extension. <https://extension.colostate.edu/docs/pubs/crops/00506.pdf>
- Behilil, A., Sergma, I., Mezaouli, K., Laroussi, I., & Lakhrif, A. (2024). Diagnosis of the physicochemical quality of groundwater in the Zaouiet Kounta Region. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(2), e70731. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n2-116>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016). *Calidad del agua*. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones. <https://acortar.link/boslka>
- Camacho-Ballesteros, A., Ortega-Escobar, H., Sánchez-Bernal, E., & Can-Chulim, Á. (2020). Quality indicators physical chemistry of wastewater of state Oaxaca, Mexico. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 361–375. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.610>
- Cantuña, K. (2017). *Caracterización físico, química y microbiológica de las aguas del canal principal de riego de Tumbaco* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19040>
- Carpio, D., & Uguña, R. (2022). *Determinación de la calidad de agua en las Juntas Administradoras de Agua Potable pertenecientes a la microcuenca del Burgay* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://acortar.link/E55Rap>
- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). *Determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. <https://acortar.link/gPUXI8>
- de Oliveira, A., Trezza, R., Holzapfel, E., Lorite, I., & Paz, V. (2009). Irrigation Water Management in Latin America. *Chilean journal of agricultural research*, 69(Supl. 1), 7-16. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392009000500002>
- Espinosa, G. (2020). *Diseño de un sistema de gestión de los afluentes del canal de riego Tabacundo de los cantones Cayambe y Pedro Moncayo con fines de optimización* [Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK]. <https://acortar.link/uv5q6R>
- Health Canada. (2020). *Guideline technical document: Total coliforms in Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*. Health Canada. <https://acortar.link/q2xCr0>

- Mancilla-Villa, O., Anzaldo-Cortes, B., Guevara-Gutiérrez, R., Hernández-Vargas, O., Palomera-García, C., Figueroa-González, Y., Ortega-Escobar, H., Flores-Magdaleno, H., Can-Chulim, Á., Cruz-Crespo, E., Sánchez-Bernal, E., Olguín-López, J., & Mendoza-Saldivar, I. (2021). Groundwater quality for agricultural use in Zacoalco de Torres and Autlan de Navarro, Mexico. *Revista Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.745>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua (Libro VI, Anexo 1)*. Registro Oficial No. 387. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Ortiz, R., Carmona, J., Temis, L., Caro, Á., & González, B. (2024). The hydromorphological quality of the basin of Mexico: A proposal of its indicator value of the ecological state in the riparian ecosystem. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40(3), 631–652. <https://doi.org/10.20937/RICA.54895>
- 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 Politécnica*, 49(2), 55–64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>
- Shyamala, G., Rajesh Kumar, K., Gobinath, R., & Saravanakumar, N. (2021). Suitability Evaluation of Groundwater Quality for the Intent of Irrigation. *Nature Environment & Pollution Technology*, 20(2), 793-799. [https://neptjournal.com/upload-images/\(41\)B-3702.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/(41)B-3702.pdf)
- Soares, A., Silva, R., Jesus, C., Santana, R., Lima, Á. Lima, S., & Marques, M. (2020). Water and health risk assessment in the Aracaju expansion zone–SE. *Ambiente & Sociedade*, 23, e0256. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20170256r1vu2020L4AO>
- Stavi, I., Thevs, N., & Priori, S. (2021). Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 712931. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>
- Tambi, A., Brighu, U., & Gupta, B. (2023). Methods for detection and enumeration of coliforms in drinking water: a review. *Water Supply*, 23(10), 4047–4064. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.247>
- Ushurhe, O., Ozabor, F., Onyeayana, W., Adekunle, O., Christabel, I., & Chike, D. (2024). Seasonal Sodium Percentage (%NA), Absorption Ratio (SAR) and Irrigation Water Quality Index (IWQI) Determination for Irrigation Purposes Along River Ethiope, Southern Nigeria. *Journal of Water Resource and Protection*, 16(7), 523–537. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2024.167029>
- Valles-Aragón, M., Ojeda-Barrios, D., Guerrero-Prieto, V., Prieto-Amparán, J., & Sánchez-Chávez, E. (2017). Calidad del agua para riego en una zona nogalera del estado de Chihuahua. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1), 85-97. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.08>
- Wang, R., & Chen, T. (2021). Integrating institutions with local contexts in community based irrigation governance: A qualitative systematic review of variables, combinations, and effects. *International Journal of the Commons*, 15(1), 320–337. <https://doi.org/10.5334/ijc.1108>
- Zhang, H. (2016). *Classification of irrigation water quality (PSS 2401)*. Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University. <https://acortar.link/250NtI>

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Ana Belén Mejía-Pérez: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, supervisión.

Maritza Yolanda García García: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos, supervisión.

Tatiana Abigail Lliguin Rodriguez: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento.

Ronny Fernando Robalino Silva: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.