

Calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Quality of water used for irrigation systems in the upper area of La Maná, Ecuador

Milary Reascos^{1,a}, Braulio Ortega^{1,b}, Ricardo Luna^{1,c}, Alex Salazar^{1,d,*}

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador.

^a Est., ✉ milary.reascos6511@utc.edu.ec,  <https://orcid.org/0009-0007-1056-4087>

^b Est., ✉ braulio.ortega7771@utc.edu.ec,  <https://orcid.org/0009-0009-8791-3200>

^c M.Sc., ✉ ricardo.luna@utc.edu.ec,  <https://orcid.org/0000-0002-9078-9302>

^d M.Sc., ✉ alex.salazar5584@utc.edu.ec,  <https://orcid.org/0009-0007-5334-4682>

* Autor de Correspondencia: alex.salazar5584@utc.edu.ec

<http://doi.org/10.25127/riagrop.20254.1128>

<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP>
revista.riagrop@untrm.edu.pe

Recepción: 04 de agosto 2025

Aprobación: 15 de septiembre 2025

Este trabajo tiene licencia de Creative Commons.
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0
International Public License – CC-BY-NC-SA 4.0



Resumen

El estudio evaluó la calidad del agua en dos sectores rurales. Guasaganda y Pucayacu. Cantón La Maná. Cotopaxi. esencial para la agricultura. seguridad alimentaria y viabilidad ecológica. Se analizaron cuatro fuentes de agua (estero. pozo. reservorio. río) en cada sector. utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2 sectores x 4 fuentes. 3 repeticiones. 24 muestras). Las variables medidas incluyeron cloruros. cloruro de sodio. conductividad eléctrica. dureza. magnesio. nitrógeno. fósforo. potasio. pH y relación de absorción de sodio (RAS). En Guasaganda. el pH del reservorio fue 7.31. y en Pucayacu. la conductividad eléctrica del estero alcanzó 82.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El cloruro de sodio fue 0.10 meq/L en ambos sectores. El RAS fue 9.00 (río. Guasaganda) y 9.10 meq/L (estero. Pucayacu). Guasaganda registró N 14.00. P 1.60. K 9.30 en pozo y río. La dureza en el río de Pucayacu fue 164.88 mg/L. con magnesio 34.00 meq/L y sodio 5.86 meq/L. Los cloruros alcanzaron 8.93 meq/L. Las fuentes de agua son aptas para riego. pero la ubicación puede alterar dureza y cloruros. destacando la importancia de monitorear la calidad del agua.

Palabras claves: Calidad de agua; fuentes de agua; muestras; sectores.

Abstract

The study evaluated water quality in two rural areas. Guasaganda and Pucayacu. in the La Maná district of Cotopaxi province, which is essential for agriculture, food security, and ecological viability. Four water sources (pond, well, reservoir, river) were analyzed in each sector, using a completely randomized design with a factorial arrangement (2 sectors x 4 sources, 3 replicates, 24 samples). The variables measured included chlorides, sodium chloride, electrical conductivity, hardness, magnesium, nitrogen, phosphorus, potassium, pH, and sodium absorption ratio (RAS). In Guasaganda, the pH of the reservoir was 7.31, and in Pucayacu, the electrical conductivity of the marsh reached 82.30 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sodium chloride was 0.10 meq/L in both sectors. The RAS was 9.00 (river, Guasaganda) and 9.10 meq/L (estuary, Pucayacu). Guasaganda recorded N 14.00, P 1.60, K 9.30 in the well and river. The hardness in the Pucayacu River was 164.88 mg/L, with magnesium at 34.00 meq/L and sodium at 5.86 meq/L. Chlorides reached 8.93 meq/L. The water sources are suitable for irrigation, but the location can alter hardness and chlorides, highlighting the importance of monitoring water quality.

Keywords: Water quality; water sources; samples; sectors.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua para riego es fundamental para la agricultura, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, pero actividades humanas como la minería, el uso de agroquímicos y la emisión de aguas residuales la afectan negativamente (Salazar, 2022). En Ecuador, la contaminación por sedimentos, fertilizantes y residuos industriales deteriora los recursos hídricos, dificultando su uso en sistemas de riego (Rodríguez et al., 2022). La calidad del agua para riego es vital para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, ya que afecta el suelo, los cultivos y el ecosistema. Agua inadecuada puede introducir sales, boro o sodio, alterando la estructura del suelo y favoreciendo microorganismos que dañan los cultivos (Bosch et al., 2012). Propiedades como salinidad, pH y relación de absorción de sodio (RAS) influyen en la productividad agrícola a largo plazo.

El agua para riego es esencial para el desarrollo de los cultivos, pero su disponibilidad y calidad disminuyen debido a la escasez de recursos hídricos. Parámetros como salinidad, acidez y contenido de sodio o boro son críticos, ya que niveles elevados pueden reducir los rendimientos agrícolas y causar pérdidas significativas (Hasang et al., 2022). Evaluar estas propiedades permite identificar riesgos y garantizar un uso sostenible del agua en la agricultura.

Evaluar parámetros como salinidad, conductividad eléctrica, pH, RAS, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y sodio es crucial para determinar la aptitud del agua para riego (Pérez-Carrera & Fernández, 2020). Estos factores afectan la salud del suelo y los cultivos, ya que niveles elevados de sales, boro o sodio pueden reducir el crecimiento vegetal y los rendimientos agrícolas (Buñay & Calderón, 2022). Conocer estas propiedades garantiza un suministro hídrico sostenible para la

agricultura. es de suma importancia conocer su calidad para poder brindar a la zona agrícola el mejor suministro (García, 2015).

Estudios recientes muestran que fuentes de agua para riego pueden contener residuos de plaguicidas, metales trazas y antibióticos, lo que cambia la química del suelo y afecta la salud vegetal (Malakar et al., 2019). Además, en regiones con floraciones algales, las microcistinas presentes en el agua de reservorios pueden bioacumularse en plantas usadas para consumo humano, lo que añade un riesgo adicional (Haida et al., 2024). Altos niveles de sales. boro o sodio pueden elevar el pH del suelo. reduciendo su fertilidad y el crecimiento vegetal (Véliz & Seni, 2022). Evaluar y clasificar las propiedades del agua es esencial para prevenir problemas agrícolas y garantizar un riego sostenible (Alsubih et al., 2022).

En la zona alta de La Maná. Cotopaxi. el desconocimiento de las propiedades del agua para riego representa un riesgo para los cultivos locales. Esta investigación analiza parámetros físico-químicos (pH. conductividad eléctrica.

RAS. NPK. cloruros. dureza) de cuatro fuentes hídricas en Guasaganda y Pucayacu. para determinar su idoneidad para riego agrícola y evaluar riesgos asociados a contaminantes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en Guasaganda con su ubicación geográfica 0°47'51"S 79°09'35"W y Pucayacu 0°42'45"S 79°06'49"W. catón La Maná. Cotopaxi. Ecuador. donde se evaluó cuatro fuentes de agua utilizadas para riego con fines agrario.

De acuerdo a los datos de precipitación mensual (Figura 1), con picos de 300-350 mm en febrero-marzo y mínimos de 50 mm en agosto-septiembre. El muestreo en marzo 2025, durante un pico de lluvia. En Guasaganda, suelos franco-arcillosos y pendientes moderadas (5-10 %) retienen agua, mientras que en Pucayacu, suelos arcillosos y pendientes suaves (2-5 %) favorecen infiltración, influyendo en la calidad del agua (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2025).

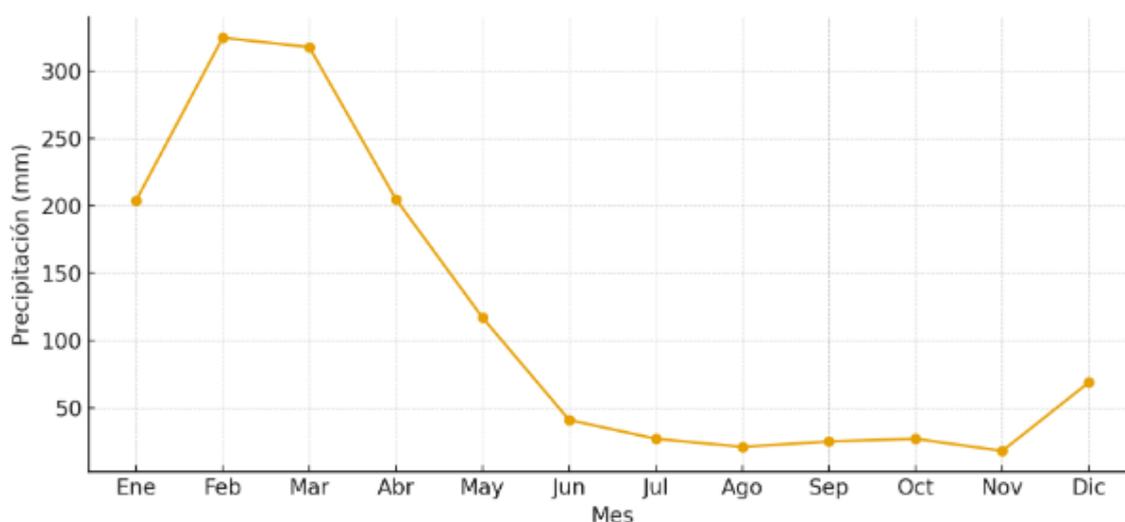


Figura 1: Compartimiento de lluvia en el área de estudio (Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2025).

2.2. Mapa

2.2.1. Guasaganda

Reservorio: localizado en una zona plana con pendiente suave (<5 %), rodeado de cultivos de cacao y plátano; presenta cobertura herbácea en los bordes. Pozo: excavado en un área agrícola de uso mixto (hortalizas y pastos), con suelos de textura franco-arcillosa y drenaje moderado. Estero: cauce estrecho con pendiente media de 8–10 %, rodeado de vegetación secundaria y áreas de cultivo, sujeto a arrastre de sólidos en época lluviosa (Saldarriaga *et al.*, 2025). Río: cuerpo de agua principal de la zona, con lecho pedregoso y márgenes de bosque ripario fragmentado, afectado por escorrentía superficial agrícola (Figura 2a).

2.2.2. Pucayacu:

Reservorio: construido en una planicie agrícola, utilizado principalmente para riego de maíz y pastos; presenta influencia de escorrentía por pendiente cercana de 6 %. Pozo: emplazado en una zona de uso ganadero, con suelos franco-limosos y escasa vegetación de protección. Estero: curso temporal con cauce irregular, rodeado de plantaciones de banano y zonas de pastoreo; alto aporte de materia orgánica durante lluvias. Río: principal drenaje del sector, con pendiente media-alta (12–15 %), cauce amplio con sedimentos finos, rodeado de cultivos y vegetación arbustiva dispersa (Saldarriaga *et al.*, 2025) (Figura 2b).

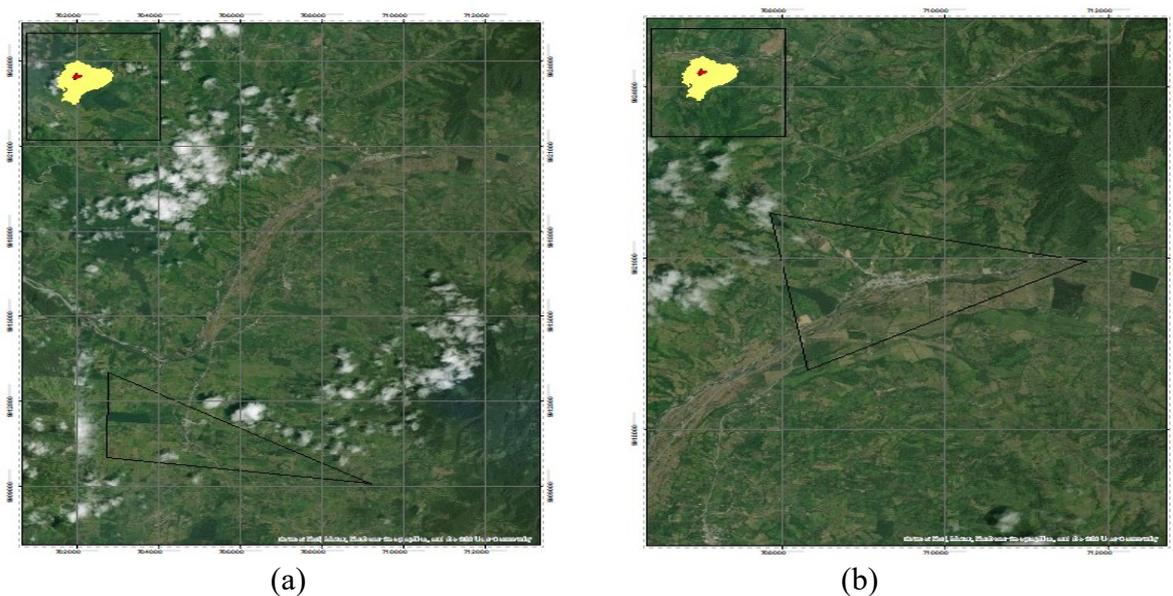


Figura 2: Descripción área en estudio, a) Guasaganda b) Pucayacu.

2.3. Análisis Estadístico

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial, considerando dos sectores (Guasaganda y Pucayacu) como factor A y cuatro fuentes hídricas (reservorio, pozo, estero, río) como factor B, con tres repeticiones

por tratamiento, totalizando 24 muestras. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) sobre los parámetros físico-químicos, detectando diferencias significativas ($p < 0.05$) mediante la prueba de Tukey. Los cálculos estadísticos se ejecutaron con el software InfoStat versión 2020.

Tabla1: *Detalle de los tratamientos*

Tratamiento	Sector	Fuente hídrica	Coordenadas UTM (X, Y) Zona 17S	Altitud (m s. n. m.)	Repeticiones
T1	Guasaganda	Reservorio	X = 712050 Y = 9924050	503	3
T2	Guasaganda	Pozo	X = 712120 Y = 9923980	505	3
T3	Guasaganda	Estero	X = 712080 Y = 9924100	500	3
T4	Guasaganda	Río	X = 712130 Y = 9923950	498	3
T5	Pucayacu	Reservorio	X = 712300 Y = 9924200	600	3
T6	Pucayacu	Pozo	X = 712350 Y = 9924150	602	3
T7	Pucayacu	Estero	X = 712320 Y = 9924250	598	3
T8	Pucayacu	Río	X = 712370 Y = 9924100	595	3

Se recolectaron las muestras en el cantón La Maná provincia de Cotopaxi; los sectores Guasaganda y Pucayacu durante la época lluviosa. en una campaña única diseñada para capturar las condiciones de máxima recarga hídrica. En cada sector se seleccionaron cuatro fuentes representativas (reservorio, pozo, estero y río) bajo criterios de uso efectivo para riego, accesibilidad y ausencia de descargas puntuales cercanas, completando un total de 24 muestras.

Las mediciones in situ de pH y conductividad se realizaron con un medidor multiparamétrico Milwaukee MW102 (N.º serie M0002030011). Complementada con los rangos críticos de la FAO (Ayers & Westcot., 1985) para salinidad, sodicidad y toxicidad específica. Asimismo, los resultados se contrastaron con la normativa ecuatoriana vigente (Ministerio del Ambiente del Ecuador., 2015). la cual establece los valores máximos permisibles de calidad de agua para riego agrícola. De esta manera, se garantizó una evaluación integral de la calidad del agua bajo estándares internacionales (FAO/ussl) y nacionales tulsma/Agrocalidad). fortaleciendo la pertinencia de los resultados para la realidad agroproductiva del cantón La Maná.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. pH

Los valores de pH (Tabla 2) variaron entre 6.36 (Pucayacu-río) y 7.37 (Guasaganda-reservorio), con un promedio de 6.87 ± 0.31 , todos dentro de los rangos aceptables de la FAO (6.5–8.4) y la normativa ecuatoriana tulsma (6.0–9.0). Las diferencias se relacionan con las condiciones locales: en Guasaganda, los reservorios y pozos mostraron valores cercanos a la neutralidad, en su naturaliza por procesos de sedimentación e interacción con materiales calcáreos propios de la zona montañosa de estribación; mientras que en Pucayacu, las aguas superficiales (río y estero) tendieron a valores más ácidos, influenciados por la lixiviación y mayor presencia de materia orgánica en descomposición durante la época lluviosa.

Desde el punto de vista agronómico, la calidad del agua es adecuada para cultivos representativos del cantón La Maná, como cacao, banano y maíz, que toleran rangos de pH de 5.5 a 7.5. Sin embargo, las fuentes más ácidas de Pucayacu podrían favorecer una progresiva acidificación de suelos de textura fina, afectando la disponibilidad de bases

intercambiables y la estabilidad estructural si no se aplican prácticas correctivas. En este sentido, aunque el pH no representa una limitación inmediata, sí constituye un factor a vigilar en zonas de alta pluviosidad y suelos con baja capacidad de amortiguamiento. Suárez (2023), menciona que el potencial hidrogeno puede verse afectado por la degradación de la materia orgánica que se encuentra presente en las cuencas hídricas, por lo que, al ser aplicadas a los cultivos pueden afectar en la estabilidad estructural del suelo.

Tabla 2. pH en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	pH
Guasaganda	Reservorio	7.37 ± 0.05 a
	Pozo	7.01 ± 0.04 a b
	Estero	6.97 ± 0.03 a b
	Río	6.85 ± 0.06 a b
Pucayacu	Reservorio	6.71 ± 0.05 b
	Pozo	6.67 ± 0.02 b
	Estero	6.40 ± 0.05 b
	Río	6.36 ± 0.04 b
CV (%)		3.10

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.2. Conductividad eléctrica - CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Una vez evaluadas las 24 muestras recolectadas en Guasaganda y Pucayacu durante la época lluviosa (enero 2025), el anova factorial detectó diferencias significativas entre fuentes hídricas ($p < 0.05$). Los valores de CE (Tabla 3) variaron de 23.86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Pucayacu-río) a (rango: 23.86–82.30; aptas según FAO c1 $< 700 \mu\text{S}/\text{cm}$ y Tulsma $\leq 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$). Estas bajas concentraciones reflejan dilución por precipitaciones intensas sin riesgo de salinización osmótica para cultivos.

Las variaciones se atribuyen al tipo de fuente y condiciones locales: en aguas superficiales (ríos y esteros), la CE elevada resulta del arrastre de sólidos suspendidos principalmente arcillas y limos de texturas franco-arcillosas (Guasaganda, pendientes 5–10%) y franco-limosas (Pucayacu, pendientes 2–15%), junto con materia orgánica disuelta y sales (Ca^{2+} , Mg^{2+}) liberadas por erosión y escorrentía en suelos ácidos. Estos sólidos se generan por degradación de vegetación secundaria, fertilizantes agrícolas y ganaderos en márgenes riparios, exacerbados en época húmeda (Carabalí et al. 2019). En contraste, reservorios y pozos mostraron CE inferior (24–37 $\mu\text{S}/\text{cm}$) por sedimentación natural y filtración en acuíferos aluviales-volcánicos, reduciendo partículas en suspensión (Escandón & Cáceres., 2022).

Tabla 3. Conductividad eléctrica en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Guasaganda	Reservorio	24.75 ± 0.62 d
	Pozo	33.97 ± 1.12 cd
	Estero	28.77 ± 0.95 cd
	Río	55.20 ± 1.45 b
Pucayacu	Reservorio	31.43 ± 1.20 cd
	Pozo	37.23 ± 0.88 c
	Estero	82.30 ± 2.10 a
	Río	23.86 ± 0.70 d
CV (%)		8.24

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.3. Cloruro de Sodio

El análisis de las 24 muestras reveló concentraciones de NaCl entre 0.00 meq/L (Pucayacu-río) y 0.10 meq/L (Guasaganda-estero y reservorio), aptas sin restricciones según FA=: $\text{Cl}^- < 4 \text{ meq}/\text{L}$ y $\text{Na} < 3 \text{ meq}/\text{L}$; tulsma: $\text{Cl} \leq 250 \text{ mg}/\text{L} \approx 4.5 \text{ meq}/\text{L}$ (Tabla 4). La prueba anova factorial no detectó diferencias

significativas entre sectores o fuentes. atribuible a la dilución por precipitaciones intensas y bajo contenido de sodio en suelos ácidos franco-arcillosos-limosos. que minimizan lixiviación de sales cloradas durante la época húmeda.

Estos valores bajos contrastan con pozos en zonas semiáridas. donde NaCl alcanza 5.14 meq/L por evaporación y aportes antrópicos (Sarabia et al., 2011). En Guasaganda (pendientes 5–10%). el NaCl ligeramente superior en superficiales (0.10 meq/L) refleja escorrentía leve de fertilizantes; en Pucayacu (pendientes 2–5%), el cero en río indica filtración natural en acuíferos aluviales. Agronómicamente. esta baja concentración evita toxicidad iónica en cultivos sensibles como cacao y banano (tolerancia Cl <4 meq/L; Na <5 meq/L). sin afectar absorción de agua ni inducir clorosis en suelos ácidos. Todas las fuentes son recomendables para riego en La Maná; priorizar ríos/pozos para hortalizas. con monitoreo anual para detectar aportes ganaderos (Ayers & Westcot., 1985)

Tabla 4. Cloruro de sodio en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	NaCl (meq/L)
Guasaganda	Reservorio	0.10 ± 0.62 a
	Pozo	0.10 ± 1.12 a
	Estero	0.10 ± 0.95 a
	Río	0.10 ± 1.45a
Pucayacu	Reservorio	0.10 ± 1.20 a
	Pozo	0.10 ± 0.88 a
	Estero	0.10 ± 2.10 a
	Río	0.00 ± 0.70b
CV (%)		5.56

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.4. Relación de absorción de sodio (RAS)

De acuerdo al anova factorial sobre las 24 muestras identificó diferencias significativas entre fuentes hídricas ($p < 0.05$. Tukey) (Tabla 5). pero no entre sectores ($p > 0.05$). con valores de Ras entre 6.00 meq/L (Pucayacu–río) y 9.10 meq/L (Pucayacu–estero). media global de 7.66 ± 0.81 meq/L (rango: 6.00–9.10; CV=1.06%; 25% baja restricción FAO $sar < 3$. 75% moderada 3–9). estas concentraciones moderadas indican riesgo potencial de sodicidad en suelos finos. pero aptas con manejo según tulsma ($sar \leq 9$ en texturas arcillosas).

Las diferencias por fuente se explican por el mayor arrastre de sodio (Na^+) en aguas superficiales (esteros y ríos: Ras 9.00–9.10 meq/L). derivado de erosión y escorrentía en pendientes pronunciadas (5–15% en Guasaganda. 2–15% en Pucayacu) durante la época lluviosa. que libera sodio de suelos ácidos franco-arcillosos/limosos y aportes agrícolas/ganaderos. En contraste. reservorios y pozos subterráneos muestran Ras inferiores por sedimentación de partículas y dilución en acuíferos aluviales volcánicos. reduciendo la proporción sodio/ (Calcio+Magnesio). La ausencia de diferencias entre sectores refleja condiciones edafoclimáticas similares en la zona alta de La Maná con relieve andino, vegetación secundaria. sin variaciones antrópicas marcadas (Buñay & Calderón., 2022).

Estos resultados contrastan con Ras medios de 3.6 meq/L en cuencas hidroeléctricas de Cotopaxi (Rodríguez et al., 2022). atribuibles a menor erosión en acequias canalizadas vs. ríos naturales aquí; alineados con valores moderados (6–9) en freáticas andinas (Ayers & Westcot., 1985). Agronómicamente. reservorios y pozos son ideales para cultivos sensibles como

cacao y banano con un RAS óptimo <6. sin dispersión en suelos ácidos.

Tabla 5. Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná. Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	RAS (meq/L)
Guasaganda	Reservorio	6.10 ± 0.15 e
	Pozo	7.10 ± 0.20 d
	Estero	7.50 ± 0.18c
	Río	9.00 ± 0.22 a
Pucayacu	Reservorio	8.10 ± 0.25 b
	Pozo	7.50 ± 0.19 c
	Estero	9.10 ± 0.27 a
	Río	6.00 ± 0.14 e
CV (%)		1.06

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.5. Contenido de Nitrógeno. Fósforo y Potasio en el agua analizada (NPK)

El anova factorial sobre las 24 muestras reveló diferencias significativas entre fuentes y sectores (Tabla 6). Estos niveles bajos-moderados reflejan dilución por lluvias. sin eutrofización en la zona.

En esteros superficiales. Guasaganda mostró N 10.00a ± 1.00 mg/l y P 1.00a ± 0.05 (mayores que Pucayacu: N 7.00b ± 0.70; P 0.80b ± 0.03). por mayor escorrentía de fertilizantes en pendientes 5–10% y suelos franco-arcillosos ácidos que retienen y liberan Nitrógeno/Fósforo por lixiviación; Potasio similar (7.70–9.40 mg/l ambos) indica aporte uniforme de descomposición orgánica riparia. En pozos subterráneos. Guasaganda presentó Nitrógeno

14.00a ± 1.40 y P 1.60a ± 0.06 en comparación con Pucayacu: N 4.00b ± 0.40; P 0.30b ± 0.02. atribuible a infiltración de agroquímicos en acuíferos cercanos a parcelas intensivas (cacao/plátano)

Pucayacu bajo por filtración en limosos con menor contaminación. Para reservorios. diferencias mínimas con Nitrógeno 9.00 mg/L ambos; Fósforo 0.82a Guasaganda en relación 0.50b Pucayacu, por sedimentación natural que retiene nutrientes similares en ambos sectores. En ríos. Guasaganda alto Nitrógeno 9.00a ± 0.22 y Potasio 9.30a ± 0.32 con Pucayacu: Nitrógeno 4.00b ± 0.16; Potasio 6.40b ± 0.19). por arrastre en cauces pedregosos en relación a la dilución en llanuras de Pucayacu.

Estos patrones contrastan con bajos Fósforo (0.028 mg/l) en embalses andinos. clasificado como mesoeutrófico por concentraciones mínimas. y Nitrógeno promedio de 4.43 mg/l dentro de rangos 2.0–15.0 mg/l aptos para riego (Cifuentes *et al.*, 2020). De igual modo. se alinean con N 5.88–14 mg/l y P 1.71–3.61 mg/l en ríos ecuatorianos como el Chone durante época lluviosa. atribuibles a fertilizantes y descomposición orgánica. con índices de calidad mejorados por dilución estacional (Véliz & Seni., 2022). Agronómicamente. potasio óptimo (>5 mg/l) beneficia cacao/banano (absorción esencial en suelos ácidos); Nitrógeno/fósforos moderados. (esteros/ríos Guasaganda) para evitar lixiviación y eutrofización futura (Ayers & Westcot. 1985).

Tabla 6. Contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en el agua analizada (NPK) en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	N (mg/l)	P(mg/l)	K(mg/l)
Guasaganda	Reservorio	9 ± 0.20 c	0.82 ± 0.05 d	6.30 ± 0.18 d
	Pozo	14 ± 0.30 a	1.60 ± 0.06 a	7.17 ± 0.25 c
	Estero	10 ± 0.28 b	1.00 ± 0.05 b	7.77 ± 0.30 c
	Río	9 ± 0.22 c	0.90 ± 0.04 c	9.30 ± 0.32 a
Pucayacu	Reservorio	6 ± 0.18 e	0.50 ± 0.03 f	8.43 ± 0.28 b
	Pozo	4 ± 0.15 f	0.30 ± 0.02 g	7.73 ± 0.20 c
	Estero	7 ± 0.20 d	0.80 ± 0.03 d	9.40 ± 0.30 a
	Río	4 ± 0.16 f	0.60 ± 0.02 e	6.40 ± 0.19d
CV (%)		0.59	2.40	2.70

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.6. Dureza total

El anova factorial sobre las 24 muestras mostró diferencias significativas entre fuentes ($p < 0.05$, Tukey) (Tabla 7), con valores de dureza total entre 65.36 mg/L Guasaganda–pozo y 164.88 mg/L Pucayacu–río, media global de 101.34 ± 28.75 mg/l, reflejo de la variabilidad en iones Ca^{2+} y Mg^{2+} por lixiviación de rocas volcánicas y calizas durante la época lluviosa (Inamhi, 2025).

Las diferencias por fuente se deben a mayor concentración en superficiales (esteros/ríos: 112.00–164.88 mg/L) por arrastre de minerales en pendientes 2–15%, frente a subterráneas (pozos/reservorios: 65.36–95.00 mg/L) donde sedimentación y filtración reducen iones. La similitud entre sectores (Guasaganda/Pucayacu) se atribuye a suelos franco-arcillosos/limosos ácidos (pH 4.5–5.5) con composición geológica uniforme depósitos aluviales-volcánicos. Las diferencias por fuente se deben a mayor concentración en esteros/ríos: 112.00–164.88 mg/L por arrastre de minerales en pendientes 2–15%, frente a subterráneos pozos/reservorios: 65.36–95.00 mg/l donde sedimentación y filtración reducen iones.

La similitud entre sectores (Guasaganda/Pucayacu) se atribuye a suelos franco-arcillosos/limosos ácidos pH 4.5–5.5. (Saldarriaga et al., 2025) con composición geológica uniforme depósitos aluviales-volcánicos. En ríos como Pucayacu, la dureza alta 164.88 mg/l refleja aportes de calizas disueltas; en pozos de Guasaganda, la baja 65.36 mg/l indica filtración en acuíferos menos mineralizados.

Estos valores contrastan con dureza de 50–150 mg/l en cuencas de Imbabura (Bravo et al. 2021), pero se alinean con hasta 200 mg/l en ríos altiplánicos por rocas sedimentarias (Salazar et al. 2019). Para riego, aguas moderadas/blandas son ideales para cacao/banano evitan incrustaciones en sistemas de goteo, mientras duras >150 mg/l requieren manejo oportuno en suelos ácidos para prevenir acumulación de carbonatos y reducir permeabilidad (FAO, 1985). En ríos como Pucayacu, la dureza alta (164.88 mg/L) refleja aportes de calizas disueltas; en pozos de Guasaganda, la baja (65.36 mg/L) indica filtración en acuíferos menos mineralizados.

Tabla 7. Dureza total en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	Dureza (mg/l)
Guasaganda	Reservorio	152.25 ± 3.5 b
	Pozo	101.43 ± 2.8 d
	Estero	101.33 ± 3.0 d
	Río	65.36 ± 2.2 g
Pucayacu	Reservorio	85.84 ± 2.5 f
	Pozo	133.04 ± 3.1 c
	Estero	95.20 ± 2.6 e
	Río	164.88 ± 4.0 a
CV (%)		2.02

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.7. Contenido de Magnesio y Sodio

Los contenidos de magnesio (Mg^{2+}) oscilaron entre 10.0 mg/L (Pucayacu–reservorio) y 34.0 mg/l (Pucayacu–río), con un promedio general de 19.5 ± 2.1 mg/L (Tabla 8). Los valores más elevados en ríos y esteros de Pucayacu se explican por la lixiviación de suelos franco-limosos y la erosión de materiales parentales durante la época lluviosa. procesos que favorecen la movilización de cationes divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+}) hacia las fuentes superficiales. En contraste, pozos y reservorios registraron menores concentraciones debido a la filtración natural y la sedimentación, que reducen la carga de sólidos disueltos.

Todos los valores se mantuvieron por debajo de los umbrales críticos establecidos por la FAO (50 mg/L; Ayers & Westcot, 1985) y la normativa

ecuatoriana tulsma (60 mg/L; Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). lo que descarta riesgos de toxicidad o desequilibrios catiónicos en suelos agrícolas. Investigaciones previas coinciden con estos hallazgos: Bonet *et al.* (2011) reportaron que valores excesivos de Mg^{2+} y Na^+ pueden afectar la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos. mientras que Carabalí *et al.* (2019) documentaron concentraciones moderadas de estos cationes en aguas de quebradas andinas. dentro de rangos aptos para riego. Esta condición resulta favorable para los cultivos permanentes del cantón La Maná. como cacao y banano. donde concentraciones moderadas de Mg^{2+} ayudan a conservar la estabilidad estructural del suelo y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

En cuanto al sodio Na^+ las concentraciones fluctuaron entre 3.91 mg/L (Guasaganda–reservorio) y 5.86 mg/l (Pucayacu–estero y río). con un promedio general de 4.9 ± 0.3 mg/L. Estos niveles son muy inferiores al límite máximo de 200 mg/L establecido por la tulsma y los parámetros internacionales de la FAO. lo que asegura que el agua no genera riesgos de sodicidad ni de dispersión de arcillas en los suelos de la zona. Las ligeras diferencias entre fuentes obedecen a factores hidrológicos: en ríos y esteros, la mayor presencia de Na^+ está asociada a la escorrentía agrícola y al arrastre de fertilizantes y sales solubles. mientras que en pozos y reservorios predominan la retención y los procesos de atenuación subterránea. que disminuyen su concentración.

Tabla 8. Contenido de Magnesio y Sodio (Mg^{2+} , Na^+) en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	Mg^{2+} (mg/L)	Na^+ (mg/L)
Guasaganda	Reservorio	30 ± 0.8 b	3.91 ± 0.15 e
	Pozo	16 ± 0.5 d	4.23 ± 0.12 d
	Estero	16 ± 0.4 d	4.88 ± 0.14 c
	Río	10 ± 0.3e	5.86 ± 0.18 a
Pucayacu	Reservorio	10 ± 0.3 e	5.21 ± 0.20 b
	Pozo	18 ± 0.5 c	4.88 ± 0.13c
	Estero	16 ± 0.6 d	5.86 ± 0.17 a
	Río	34 ± 1.0 a	4.23 ± 0.12 d
CV (%)		2.05	0.29

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.8. Cloruros

Los contenidos de cloruros (Cl^-) variaron entre 6.07 mg/L (Guasaganda–reservorio) y 8.93 mg/L (río y estero en ambos sectores). con un promedio general de 7.7 ± 0.3 mg/L. Las mayores concentraciones en fuentes superficiales se asocian al arrastre de fertilizantes y sales solubles por escorrentía en época lluviosa. mientras que en reservorios y pozos la retención y filtración subterránea favorecen valores más bajos. (Sarabia et al., 2011), Los niveles entre 3.3 y 10.7 mg/L en sistemas de abastecimiento agrícola, confirmando la influencia de factores hidrológicos y de manejo del suelo sobre la concentración de Cl^- en agua de riego

Desde la perspectiva normativa. los valores se ubican muy por debajo del límite máximo de 250 mg/L establecido por la tulsma (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015) y de los criterios de la FAO (Ayers & Westcot., 1985). que consideran riesgos de toxicidad para cultivos sensibles a partir de 140 mg/L. En consecuencia. el agua de Guasaganda y Pucayacu no representa restricciones para su uso en riego. incluso en cultivos de alta

importancia local como cacao. banano y hortalizas de ciclo corto. No obstante. se recomienda un monitoreo constante. dado que incrementos sostenidos de Cl^- podrían generar estrés osmótico y desequilibrios nutricionales en suelos de baja lixiviación. afectando la sostenibilidad del sistema agrícola en la zona alta del cantón La Maná.

Tabla 9. Cloruros en la calidad del agua utilizada para sistemas de riego en la zona alta de La Maná, Ecuador

Sectores	Fuentes de agua	Cloruros (mg/L)
Guasaganda	Reservorio	6.07 ± 0.20 d
	Pozo	7.07 ± 0.25 c
	Estero	7.50 ± 0.30 c
	Río	8.93 ± 0.28a
Pucayacu	Reservorio	8.03 ± 0.27 b
	Pozo	7.50 ± 0.24 c
	Estero	8.93 ± 0.29 a
	Río	6.50 ± 0.22 d
CV (%)		2.13

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

3.9. Demanda química de oxígeno (DQO)

En lo que respecta a la Demanda química de oxígeno (DQO), no hubo presencia, lo que significa que no existe la demanda química de

oxígeno en ninguna de las muestras evaluadas. por ende. no existen sustancias oxidables que se requieran descomponer.

4. CONCLUSIONES

La calidad del agua en los sectores de Guasaganda y Pucayacu se mantiene dentro de los rangos establecidos por la FAO y la normativa ecuatoriana Tulsma, lo que confirma su idoneidad para el riego agrícola y la sostenibilidad productiva regional. No obstante, se evidenció una marcada variabilidad según la fuente: ríos y esteros registraron mayores concentraciones de cloruros, magnesio, sodio y dureza, vinculadas a procesos de escorrentía y lixiviación en suelos franco-arcillosos y limosos; en contraste, pozos y reservorios mostraron niveles más bajos debido a la filtración y retención subterránea

Los parámetros evaluados se mantuvieron en niveles que no representan riesgos de salinidad ni sodicidad. lo cual favorece cultivos estratégicos de la zona. Sin embargo, el monitoreo periódico de fuentes superficiales es indispensable. ya que son más vulnerables a incrementos de sales derivados de la fertilización intensiva y de la variabilidad climática. lo que podría comprometer la sostenibilidad agroproductiva en la zona alta del cantón La Maná.

Declaración de intereses

Ninguna.

Referencias

Alsubih, M., Mallick, J., Islam, A.R.M., Almesfer, M. K., Kahla, N.B., Talukdar, S. & Ahmed, M. (2022). Assessing surface water quality for irrigation

purposes in some dams of Asir Region, Saudi Arabia using multi-statistical modeling approaches. *Water*, 14(9), 1439. <https://doi.org/10.3390/w14091439>

Agrocalidad. (2018). *Laboratorio de suelos. Foliare y aguas. Muestreo para análisis de aguas*. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua5.pdf>

Ayers. R.S. & Westcot. D.W. (1985). *Water quality for agriculture (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>

Bonet. C. Peña. M. & Calzadilla. R. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3). 45–52. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n3/rcta03311.pdf>

Bosch. M. Costa. J. & Aparicio. V. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de Na⁺ del suelo. *Ciencia del Suelo*, 30(2). 27–38.

Buñay. K. & Calderón. S. (2022). Evaluación de la calidad del agua freática para uso en riego mediante los índices RAS. Salinidad y de restricción de uso en la zona de San José de Poaló. *Revista Politécnica*, 48(2). 39–48. <https://www.redalyc.org/journal/6887/688772211006/html/>

Carabalí. J. Gómez. J. Solano. M. Llumiquinga. G. Burgos. C. & Carrera. D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. *Siembra*, 6(2). 79–92. <https://www.redalyc.org/journal/6538/653869484005/653869484005.pdf>

Cifuentes. G. Cárdenas. J. Lara. C. & Quibay. J. (2020). Estudios de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en aguas del embalse de la Copa. Toca – Boyacá. *Revista*, 4(2). 22–31.

García. A. (2002). *Caracterización físico-química y recomendaciones de sistemas de tratamiento de las aguas del canal de riego de Tumbaco*. Universidad Internacional SEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/469/1/Caracterizaci%C3%B3n%20f%C3%ADsico%20qu%C3%ADmica%20y%20recomendaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20tratamiento%20de%20las%20aguas%20del%20canal%20de%20riego%20de%20Tumbaco>

- García, Y. (2015). Calidad del agua con fines de riego. *Centro Universitario Manatí*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5362999>
- Haida, M., et al. (2024). Microcystin contamination in irrigation water and health risk. *Journal of Toxicology and Environmental Health, parte A*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38668621/>
- Hasang, E. Cobos, F. Lombeida, E. & Uvidia, M. (2022). Evaluación de la calidad de agua en el sistema de riego CEDEGE. Babahoyo. Ecuador. *Revista de Ciencia e Investigación*, 7(1), 45–56. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2744/2342>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2025). *Datos de precipitación mensual recolectados en campo en la Estación Meteorológica Hacienda San Juan, Cantón La Maná, Cotopaxi* [Datos no publicados]. <https://www.inamhi.gob.ec/estaciones-meteorologicas>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente – TULSMA*. Libro VI: De la calidad ambiental. Registro Oficial No. 316
- Malakar, A., Schaefer, R., Herrmann, L., Guell, A. & LaBarge, G. (2019). Irrigation Water Quality—A Contemporary Perspective. *Water*, 11(7), 1482. <https://doi.org/10.3390/w11071482>
- Pérez-Carrera, A. & Fernández, C. (2020). Assessing irrigation water quality in agricultural basins of South America. *Agricultural Water Management*, 242, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106393>
- Rodríguez, S. Jaramillo, S. Zurita, D. & Valdiviezo, A. (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*, 48(2), 50–62. <https://www.redalyc.org/journal/6887/688772211006/html/>
- Saldarriaga, V.A., Mecías, F.W., Cedeño, Á.F., Valdivieso, C.S. & García, D.J. (2025). Exploración de las características hidroquímicas del agua subterránea en la zona baja de la cuenca río Carrizal. *Revista Politécnica*, 55(2), 7–17. <https://doi.org/10.33333/rp.vol55n2.01>
- Salazar, C. (2022). *Efectos de calidad de agua para riego de áreas verdes en la urbanización La Primavera y cooperativa Las Pirámides del distrito de El Agustino*. Provincia de Lima en el año 2020. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/31304/Salazar%20Torres%20Carlos%20Francisco.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Sarabia, I. Cisneros, R. Aceves, J. Durán, H. & Castro, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí. México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 113–123. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200002
- Véliz, C. & Seni, O. (2022). Determinación de nitrógeno y fósforo en las aguas del río Chone. Ecuador. *Ciencias Técnicas y aplicadas*, 7(2), 1–10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9227626>