

Aptitud para el riego de cultivos agrícolas de aguas de la cuenca del río Javita

Suitability of water from the Javita River basin for irrigating agricultural crops



Carlos Balmaseda Espinosa¹

✉ <https://orcid.org/0000-0003-2436-7993>

¹Universidad Estatal Península de Santa Elena | La Libertad - Ecuador | CP 240204

✉ cbalmaseda@upse.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.26423/szw6tv78>

Páginas: 29- 37

Resumen

El estudio tuvo como objetivo valorar la aptitud del agua subterránea de la cuenca del río Javita, en Santa Elena, Ecuador, para el riego de cultivos agrícolas. Se realizaron tres campañas de muestreo (mayo, agosto y diciembre de 2024) en 25 pozos —20 en diciembre por estiaje—, con toma conforme a las normas NTE INEN 2176 y 2169, y análisis de pH, conductividad eléctrica, cationes y aniones mayores en laboratorio, calculándose además índices agronómicos como SAR, %Na y carbonato de sodio residual para valorar riesgos de salinidad y sodicidad. Los resultados mostraron una salinidad promedio moderada cercana a 2 dS/m en los tres períodos, pero con alta variabilidad espacial y pozos puntuales muy salinos (hasta 8,14 dS/m en mayo y 7 dS/m en diciembre), lo que significa que la calidad no es uniforme y debe manejarse pozo a pozo. El pH se mantuvo ligeramente alcalino (7,4–8,3) dentro del rango aceptable; la SAR fue siempre <10, el %Na <60% y el RSC negativo, por lo que el peligro dominante no es la sodificación ni la pérdida de infiltración, sino el estrés osmótico y la posible salinización del suelo en sitios concretos. La química estuvo dominada por Na, Ca, Mg, sulfatos y cloruros disueltos. Se concluye que, en general, el agua es apta para riego desde el punto de vista de sodicidad, pero requiere monitoreo continuo, selección de cultivos tolerantes y fracciones de lavado en los pozos más salinos.

Palabras clave: calidad del agua de riego, salinidad, sodicidad, Relación de Adsorción de Sodio, Carbonato de Sodio Residual.

Abstract

The study aimed to assess the suitability of groundwater from the Javita River basin, in Santa Elena, Ecuador, for irrigation of agricultural crops. Three sampling campaigns were carried out (May, August, and December 2024) in 25 wells—20 in December due to low-flow conditions—following NTE INEN 2176 and 2169 standards for sampling, and laboratory analyses were performed for pH, electrical conductivity, and major cations and anions; in addition, agronomic indices such as SAR, %Na, and residual sodium carbonate were calculated to evaluate risks of salinity and sodicity. The results showed a moderate average salinity close to 2 dS/m in the three periods, but with marked spatial variability and specific wells with very high salinity (up to 8.14 dS/m in May and 7 dS/m in December), indicating that water quality is not uniform and must be managed on a well-by-well basis. The pH remained slightly alkaline (7.4–8.3), within the acceptable range; SAR was always <10, %Na <60%, and RSC was negative, so the predominant hazard is not sodification or loss of infiltration but rather osmotic stress and potential soil salinization in particular sites. Water chemistry was dominated by dissolved Na, Ca, Mg, sulfates, and chlorides. It is concluded that, overall, the water is suitable for irrigation from the standpoint of sodicity, but it requires continuous monitoring, careful selection of salt-tolerant crops, and the application of leaching fractions in the most saline wells.

Keywords: irrigation water quality, salinity, sodicity, Sodium Adsorption Ratio, Residual Sodium Carbonate.

Recepción: 30/10/2025 | Aprobación: 19/11/2025 | Publicación: 26/12/2025

1. Introducción

La calidad del agua destinada al riego agrícola es un factor determinante en la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria. El aumento constante de la demanda hídrica para la agricultura —se estima que utiliza alrededor del 70% de la matriz de uso del agua a nivel mundial—, así como la disponibilidad limitada de recursos hídricos de calidad, obligan a evaluar rigurosamente las características físicoquímicas del agua usada en estas prácticas, dado el impacto directo que tiene sobre la productividad de los cultivos y la fertilidad del suelo [1, 2].

En zonas de escasez o estrés hídrico, la reutilización de fuentes alternativas, incluyendo aguas residuales, añade complejidad a la gestión de la calidad del agua para riego, potencialmente afectando la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental [3].

El concepto de calidad del agua para riego debe abordarse desde un enfoque holístico, que considera parámetros como la salinidad, sodicidad, alcalinidad y toxicidad iónica, los cuales afectan tanto la dinámica del suelo como la fisiología vegetal. La salinidad, comúnmente evaluada mediante la conductividad eléctrica (CE), regula la capacidad osmótica del agua, influyendo en la absorción hídrica por las plantas, esto puede traer consigo estrés osmótico cuando sus niveles exceden los límites tolerables para cada especie cultivada [1, 2].

La sodicidad, referida a la concentración relativa de sodio frente a otros cationes como calcio y magnesio, representa un riesgo de degradación que comienza con el deterioro de la estructura del suelo al promover la dispersión y compactación de las partículas, lo que reduce la permeabilidad y afecta la aireación [4].

Otro aspecto crítico radica en la toxicidad de ciertos iones como boro y cloruros, especialmente cuando se presentan en concentraciones elevadas, que pueden inducir deficiencias nutricionales, daños en tejidos vegetales y reducción en la tasa fotosintética, afectando directamente los rendimientos agrícolas [5].

En un contexto de cambio climático y creciente escasez de agua dulce, la dependencia de recursos hídricos de calidad marginal —incluyendo aguas salinas, salobres y residuales tratadas— se ha incrementado, lo que plantea la necesidad de desarrollar criterios más integrales de evaluación [6, 7].

La evaluación de la aptitud del agua para el riego de cultivos agrícolas se realiza a partir de diversos criterios e índices, algunos de ellos son: Sales Solubles Totales (TDS) [8]; Salinidad Potencial (PS) [9, 10]; Índice de Permeabilidad (PI) [9, 11, 12]; la Relación de Adsorción de Sodio (SAR) [9, 10, 12]; el Porcentaje de Sodio Soluble (SSP) [9, 10, 13]; Índice de Kelly (KI) [9, 10, 13]; Carbonato de Sodio Residual (RSC) [10]; Riesgo de Magnesio (MH) [9, 10]; Índice Cloro-Alcalino (CAI) [13]; Relación de Gibbs (GR) [14], entre otros. Todos estos indicadores contribuyen a la toma de decisiones en correspondencia con las condiciones específicas de cada zona y cultivo.

La problemática de la calidad del agua para riego se agrava con la intrusión marina en acuíferos costeros, problema

presente en cuencas de la provincia de Santa Elena, Ecuador [15, 16], y la contaminación por vertidos, factores exacerbados por el cambio climático y la intensificación de actividades antropogénicas [2, 3]. Por ello, la planificación hídrica agrícola debe integrarse con estrategias de monitoreo continuo, tecnologías de riego eficientes y prácticas sustentables que permitan prevenir la degradación de los recursos y edáficos, de manera que aseguren la sostenibilidad a largo plazo.

La cuenca del río Javita en la Península de Santa Elena, Ecuador, es una zona eminentemente agrícola, en la que se emplean pozos como fuentes de abasto para el riego de cultivos permanentes y de ciclo corto; sin embargo, no existen estudios recientes que demuestren la calidad de esas aguas para su uso en la agricultura, siendo el objetivo de este trabajo valorar la aptitud de dichas aguas para su utilización en el riego de cultivos agrícolas.

2. Materiales y Métodos

El área de estudio, como se puede apreciar en la Figura 1, está constituida por la cuenca del río Javita, ubicada en la parroquia Colonche, cantón Santa Elena, provincia del mismo nombre. Sus límites son: al norte la cuenca del río Viejo; al sur tiene las cuencas de los ríos Grande, Zapotal y Daular; al este se halla la cordillera Chongón Colonche; mientras que al oeste está el océano Pacífico.

La cuenca del río Javita tiene una superficie de 81297 hectáreas, que representan el 21.5% de la superficie total de la provincia de Santa Elena, en su interior se hallan 15 comunas y se caracteriza por su clima seco [17]. Es una cuenca de la franja costera, es decir, de la vertiente del Pacífico, su característica principal es que posee acuíferos pobres, aislados y de poca extensión. Pertenece al sistema hidrográfico Zapotal y su código de acuerdo con la División Hidrográfica del Ecuador es 1244.

El relieve es ondulado, de elevaciones de poca altura. En cuanto al clima, la zona de estudio se divide en dos: en la parte Este, cercano a la cordillera Chongón-Colonche, se clasifica como tropical mega térmico seco, mientras que la zona costera es tropical mega térmico semiárido.

Las coordenadas planas de los puntos que definen los extremos Sur-Oeste y Norte-Este de la cuenca del río Javita son: 525000, 9760000 y 580000, 9800000 respectivamente, según el sistema de proyección UTM, zona 17 sur, datum WGS 84.

El río Javita nace en la cordillera del Bosque Protector Chongón-Colonche y corre en sentido oeste-este, su corriente se clasifica como intermitente debido a que solo hay escurreimiento durante las épocas de lluvias. La vegetación original ha sufrido una tala indiscriminada principalmente para usar la madera en la elaboración de carbón vegetal.

Se realizaron tres muestreos en los meses de mayo, agosto y diciembre de 2024, a 25 pozos distribuidos en la zona media de la cuenca donde se concentran las principales áreas de cultivo, como puede observarse en los puntos azules de la Figura 1.

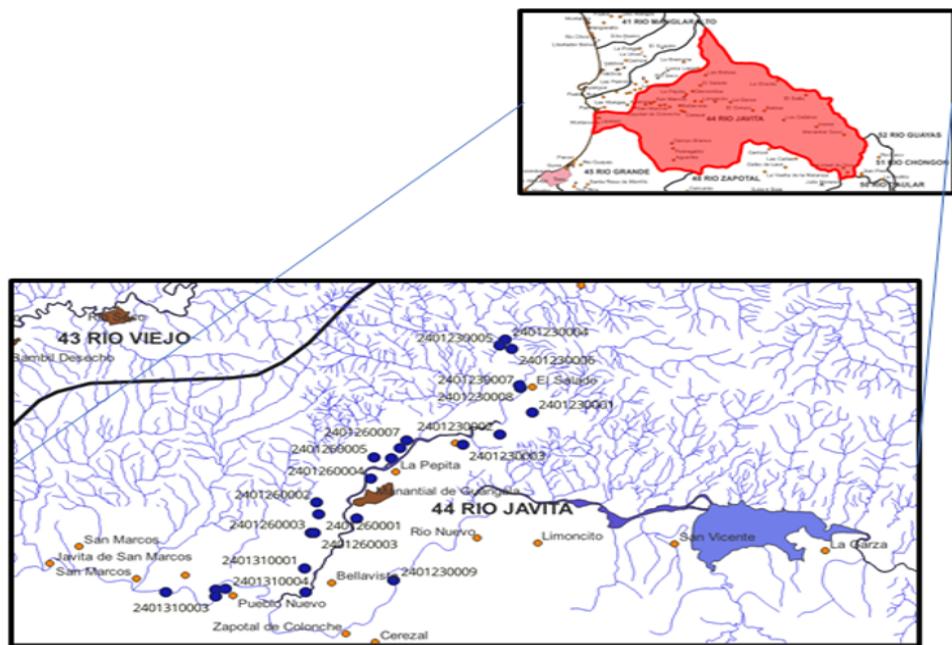


Figura 1: Ubicación de la cuenca del río Javita, área de interés del proyecto (elaborada por los autores).

La toma de muestra se realizó según el procedimiento planteado en la Norma Técnica Ecuatoriana 2176:2013 sobre técnicas de muestreo [18], se emplearon recipientes de vidrio de color ámbar, de un litro de capacidad. La manipulación y conservación de las muestras se hicieron

considerando la Norma Técnica Ecuatoriana 2169:2013 [19]. En el laboratorio se realizaron las determinaciones que se muestran en la Tabla 1, donde además se presentan las técnicas empleadas en cada caso.

Tabla 1: Procedimientos para el análisis químico de las aguas (elaborada por los autores).

Determinación	Técnica
pH	Potenciometría
Conductividad eléctrica (CE)	Conductimetría
Sodio (Na^+)	
Calcio (Ca^{2+})	Espectrofotometría de Absorción atómica
Magnesio (Mg^{2+})	
Sulfatos (SO_4^{2-})	Turbidimetría
Carbonatos (CO_3^{2-})	
Bicarbonatos (HCO_4^-)	Volumetría
Cloruros (Cl^-)	

Se calculó el error de balance iónico, como parte del control analítico, se considera aceptable el $\pm 5\%$ en estudios hidrogeoquímicos [20]. Todas las muestras de mayo y agosto fueron válidas y se obtuvieron valores de error de 2,37 %, 2,30 %, respectivamente, el muestreo de diciembre mostró 12 balances válidos (el resto sin balance por aniones faltantes), su error fue de -0,38 %.

Con el uso del paquete estadístico InfoStat [21] se determinaron parámetros estadísticos de los aniones y cationes de cada muestreo, entre ellos están la media, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos y la matriz de correlación.

La evaluación de aptitud de las aguas para el riego se realizó a partir de: la salinidad, a través de la conductividad eléctrica y el pH; la sodicidad, considerando la Relación de Adsorción de Sodio (SAR) y el Carbonato de Sodio Residual; así como de iones específicos como los cloruros y sulfatos.

3. Resultados y Discusión

1. Importancia agronómica de los parámetros analizados

La conductividad eléctrica del agua (CE) es un indicador directo de la concentración total de sales disueltas. La salinidad del agua de riego influye en la salinidad del suelo, y el incremento progresivo de la salinización del suelo reduce el crecimiento y el rendimiento de los cultivos al generar estrés osmótico e incluso degradar la estructura del suelo cuando las sales se acumulan en exceso. Estos procesos son una de las principales causas de pérdida de productividad en sistemas agrícolas irrigados en regiones semiáridas y áridas [22, 23].

El pH del agua de riego se evalúa como indicador rápido de posibles problemas de alcalinidad o acidez. En riego agrícola se considera “normal” un rango aproximado de 6.5 a 8.4; valores fuera de ese rango pueden favorecer corrosión de infraestructura, precipitación de carbonatos o desequilibrios nutricionales en el suelo [24].

El sodio intercambiable en exceso promueve la dispersión de arcillas, reduce la infiltración y la conductividad hidráulica del suelo, y puede sellar la superficie, sobre todo cuando hay lluvias posteriores al riego. El índice estándar para estimar ese riesgo es la Relación de Adsorción de Sodio (SAR, por sus siglas en inglés), valores de SAR menores a 10 se clasifican generalmente como “excelentes”, es decir, bajo riesgo de sodicidad para la mayoría de suelos agrícolas; entre 10 y 18 se considera “buena a moderada”, y por encima de 18 el agua presenta riesgo claro de problemas de permeabilidad del suelo [22, 23].

El Carbonato de Sodio Residual (RSC, por sus siglas en inglés) evalúa si el carbonato/bicarbonato del agua precipitará Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo, dejando Na^+ “libre” y, por tanto, aumentando la sodicidad. Se considera: que el RSC <1.25 meq/L el agua es clasificada como adecuada; para valores entre 1.25–2.5 meq/L la clasificación es marginal; cuando el RSC es mayor que 2.5 meq/L se considera que el agua es inadecuada. Valores altos de RSC se asocian con suelos que pierden estructura y capacidad productiva por acumulación de carbonato sódico [22].

El porcentaje de Sodio (%Na) es otro indicador de riesgo de sodicidad y pérdida de permeabilidad. Como referencia operacional, se recomienda que %Na no exceda el 60 % en aguas de riego [22].

Los aniones Cl^- y SO_4^{2-} contribuyen tanto a la salinidad total (aumentan CE) como a riesgos de toxicidad iónica específica en cultivos sensibles, sobre todo si se acumulan en el perfil del suelo y en tejidos foliares, y por eso se usan también en índices como la “salinidad potencial” ($PS = Cl^- + Cl^- \cdot Cl^- + \frac{1}{2} \cdot SO_4^{2-}$) para clasificar el agua de riego [22]. Con estos criterios se interpretaron los tres muestreos de manera individual y luego la evolución temporal conjunta.

2. Análisis por muestreo

En la Tabla 2 se muestran estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, mínimo, máximo y coeficiente de variación) en los tres muestreos realizados (mayo, agosto y diciembre de 2024) de las 10 variables fisicoquímicas del agua estudiadas, la Conductividad Eléctrica (CE en μ S/cm) y todas las especies iónicas en me/L.

Tabla 2: Estadísticas descriptivas de las variables estudiadas en los tres muestreos.

Muestreo	Estadig.	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	SO4	Cl
Mayo	n	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Media	2145,20	7,88	9,34	3,07	9,99	0,32	0,53	1,98	14,02	5,14
	D. E.	1695,06	0,22	5,69	2,42	10,49	0,16	0,28	0,66	11,62	4,72
	Min.	743,00	7,40	2,20	0,92	2,90	0,16	0,02	1,28	3,19	1,50
	Max.	8140,00	8,30	24,80	10,74	51,93	0,84	1,40	4,35	51,90	23,50
	C. V.	79 %	3 %	61 %	79 %	105 %	50 %	53 %	33 %	83 %	92 %
Agosto	n	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Media	1963,20	8,05	7,76	2,94	8,93	0,24	0,18	2,44	11,59	4,76
	D. E.	1125,28	0,29	4,37	1,96	6,37	0,09	0,08	0,62	8,86	2,83
	Min.	766,00	7,40	2,45	0,90	3,34	0,12	0,10	1,50	3,50	1,13
	Max.	4900,00	8,60	18,75	8,12	26,80	0,54	0,36	3,36	40,95	11,28
	C. V.	57 %	4 %	56 %	67 %	71 %	39 %	47 %	25 %	76 %	59 %
Diciembre	n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Media	1941,55	7,92	9,89	2,76	6,89	0,25	0,31	2,48	12,37	4,78
	D. E.	1568,88	0,32	4,28	1,83	7,23	0,15	0,23	1,04	11,71	3,27
	Min.	763,00	7,40	5,86	1,08	2,36	0,09	0,10	1,15	5,20	2,00
	Max.	7005,00	8,30	20,37	6,82	30,72	0,85	0,92	5,38	56,56	10,40
	C. V.	81 %	4 %	43 %	66 %	105 %	62 %	75 %	42 %	95 %	69 %

Muestreo de mayo

La CE media de 2145 μ S/cm (≈ 2.15 dS/m), con un rango 743–8140 μ S/cm, tiene la desviación estándar muy alta (1695 μ S/cm) y el coeficiente de variación (CV) de 79 %, lo que indica una salinidad muy heterogénea entre pozos. El pH medio 7.88 ± 0.22 (rango 7.40–8.30), es decir, agua ligeramente alcalina, el CV de 3 % indica que todas las fuentes son homogéneas en este parámetro.

Una CE promedio cercana a 2 dS/m se considera una salinidad moderada del agua de riego. A este nivel, cultivos moderadamente sensibles pueden empezar a mostrar reducción de crecimiento o disminución de su rendimiento potencial si no se maneja adecuadamente el lavado de sales (fracción de lixiviación) y el drenaje. Estudios de respuesta de cultivos forrajeros muestran que, al aumentar la salinidad del agua de riego de 2 a 4 dS/m, la producción de alfalfa disminuye si no se incrementa la lixiviación para arrastrar sales fuera de la zona radicular [22, 23, 25].

Un elemento a considerar es que, aunque el promedio está próximo a 2 dS/m, existe un pozo con 8.14 dS/m (P-03), lo que representa un riesgo alto de salinización puntual del suelo

y, por tanto, de pérdidas de rendimiento en cultivos sensibles en esos sitios específicos.

El pH medio (7.88) cae dentro del rango considerado normal para riego (6.5–8.4), lo que sugiere que no hay un problema químico inmediato de acidez extrema ni de alcalinidad excesiva que pudiera causar precipitación de carbonatos en tuberías o desequilibrios nutricionales severos [24].

La SAR con promedio de 4 está muy por debajo del umbral de riesgo (SAR <10) se clasifica como “excelente”, es decir, bajo peligro de dispersión de arcillas y sellado superficial en la mayoría de suelos agrícolas. Esto implica que, aun con salinidad moderada, la relación $Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ es adecuada y debería mantener la estructura del suelo relativamente estable bajo condiciones de riego normal. El Porcentaje de Sodio cercano a 44 %, bien por debajo del umbral operativo del 60 %, refuerza la idea de bajo riesgo de sodicidad [22].

El RSC medio calculado es negativo (-9.9 meq/L). Un RSC negativo significa que $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ superan a $(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$, de modo que no se espera precipitación de $CaCO_3$ que deje sodio “libre” y genere suelos sódicos.

En términos prácticos, valores <1.25 meq/L se consideran seguros [10].

En la Tabla 3 aparece la matriz de correlación de las variables, se puede apreciar que la CE muestra correlaciones muy altas con Mg^{2+} ($r=0.96$), Na^+ ($r=0.95$), SO_4^{2-} ($r=0.99$) y Cl^- ($r=0.93$). Esto indica que la salinidad total

(CE) está dominada por sales solubles de sodio, magnesio, sulfatos y cloruros, lo cual es típico en aguas subterráneas de uso agrícola donde la calidad del agua está definida por la composición iónica total [26]. Además, el pH se correlaciona positivamente con CO_3^{2-} CO_3^{2-} ($r=0.63$), resultado que es coherente si se considera que la alcalinidad (carbonatos/bicarbonatos) eleva el pH del agua de riego [24].

Tabla 3: Coeficientes de Correlación de Person (muestreo de mayo).

	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	SO4	Cl
CE	1,00									
pHa	-0,23	1,00								
Ca	0,74	0,62	1,00							
Mg	0,96	-0,40	0,84	1,00						
Na	0,95	-0,04	0,50	0,84	1,00					
K	0,68	0,14	0,27	0,62	0,75	1,00				
CO3	-0,21	0,63	-0,49	-0,37	-0,06	0,19	1,00			
HCO3	0,27	0,002	0,34	0,24	0,20	0,39	0,45	1,00		
SO4	0,99	-0,28	0,80	0,97	0,92	0,66	-0,22	0,33	1,00	
Cl	0,93	-0,36	0,69	0,91	0,89	0,56	-0,48	-0,03	0,90	1,00

En resumen, las aguas estudiadas presentan, en promedio, salinidad moderada y alcalinidad leve, no se aprecia un riesgo significativo de sodicidad (SAR bajo, RSC muy negativo). Sin embargo, algunos pozos individuales alcanzan salinidades altas o muy altas (4–8 dS/m), que sí requieren manejo específico, por ejemplo: selección de cultivos tolerantes y estrategias de lixiviación.

Muestreo de agosto

La CE promedio (Tabla 2) baja ligeramente respecto a mayo (1.96 vs 2.15 dS/m), y el máximo también baja (4.9 dS/m vs 8.14 dS/m). Esto sugiere una menor proporción de pozos extremadamente salinos en agosto, lo que en principio reduce el riesgo de salinización aguda en campo durante este período. Aun así, valores cercanos a 5 dS/m en algunos pozos siguen siendo suficientemente altos para reducir rendimiento en cultivos sensibles si no hay buen drenaje y lavado de sales [23].

El promedio de pH (8.05) sigue dentro del rango operativo aceptable (6.5–8.4), aunque se acerca al límite superior. Un pH ligeramente alcalino suele estar asociado a la presencia de bicarbonatos y carbonatos en el agua subterránea, que pueden

favorecer incrustaciones en sistemas de riego presurizado y alterar la disponibilidad de micronutrientes en el suelo [24].

La SAR ≈3.86 permanece claramente en la categoría “excelente” (<10), lo que indica bajo potencial de dispersión de arcillas y colapso de infiltración por sodio en la mayoría de suelos agrícolas. Esta afirmación es corroborada por el %Na con valor de 45 %, todavía muy por debajo del umbral operativo del 60 %.

El RSC medio es –8.08 meq/L, otra vez muy por debajo de 1.25 meq/L. Esto confirma que el agua, en términos de equilibrio carbonato/bicarbonato vs Ca^{2+} + Mg^{2+} , no presenta riesgo de sodificación alcalina del suelo.

En la Tabla 4 se puede observar que la CE se correlaciona fuertemente con Ca^{2+} ($r=0.91$), Mg^{2+} ($r=0.94$), Na^+ ($r=0.94$), SO_4^{2-} ($r=0.97$) y Cl^- ($r=0.83$). Es decir, el aumento de salinidad está acompañado por incrementos simultáneos de cationes (especialmente Na^+) y aniones mayores (SO_4^{2-} , Cl^-), lo que es característico de aguas donde la composición iónica total determina la calidad para riego, y por tanto la CE es un buen integrador de “carga salina total” [22].

Tabla 4: Coeficientes de Correlación de Person (muestreo de agosto).

	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	SO4	Cl
CE	1,00									
pHa	-0,23	1,00								
Ca	0,74	0,62	1,00							
Mg	0,96	-0,40	0,84	1,00						
Na	0,95	-0,04	0,50	0,84	1,00					
K	0,68	0,14	0,27	0,62	0,75	1,00				
CO3	-0,21	0,63	-0,49	-0,37	-0,06	0,19	1,00			
HCO3	0,27	0,002	0,34	0,24	0,20	0,39	0,45	1,00		
SO4	0,99	-0,28	0,80	0,97	0,92	0,66	-0,22	0,33	1,00	
Cl	0,93	-0,36	0,69	0,91	0,89	0,56	-0,48	-0,03	0,90	1,00

Comparando, respecto a mayo, la salinidad media baja ligeramente y la dispersión entre pozos disminuye, lo que sugiere una calidad algo más uniforme en agosto. El riesgo de sodicidad sigue siendo bajo (SAR bajo, RSC muy negativo). El pH está en el límite superior aceptable, lo cual sugiere vigilar incrustaciones y alcalinidad, pero no indica un problema crítico inmediato.

Muestreo de diciembre

El promedio de CE (1.94 dS/m) se mantiene en el mismo orden que agosto, lo que sugiere una salinidad “moderada promedio” (Tabla 2). Sin embargo, un pozo muestra valor 7 dS/m, comparables a los más altos de mayo, es de destacar que cinco pozos no fueron muestreados en esta fecha debido a que estaban secos como consecuencia del

estiaje. Esto implica que en diciembre reaparecen focos de agua fuertemente salina que, si se aplican sin manejo, pueden inducir salinización del suelo y caídas de rendimiento.

El pH (7.92) sigue dentro del rango operativo aceptable para riego (6.5–8.4), indicando una alcalinidad moderada pero no excesiva.

La SAR con valor promedio de 2.74 es incluso más bajo que en mayo y agosto, manteniéndose dentro de la categoría “excelente” (<10), es decir, bajo peligro de dispersión de arcillas y de colapso de infiltración por sodio. El %Na es 35 %, claramente por debajo del 60 %

recomendado para agua de riego. El índice RSC de -9.86 meq/L confirma que no existe riesgo de alcalinización sódica por exceso de carbonatos/bicarbonatos; sigue siendo estas aguas “adecuadas” según los criterios RSC <1.25 meq/L. Las correlaciones entre CE y Na^+ ($r=0.99$), CE y SO_4^{2-} ($r=0.98$), CE y Ca^{2+} ($r=0.92$), y CE y HCO_3^- ($r=0.94$) son extremadamente altas (Tabla 5). Esto sugiere que para diciembre la salinidad está fuertemente controlada por la carga total de sales (particularmente Na^+ , SO_4^{2-} y Ca^{2+}), y que cuando la salinidad sube, suben casi en bloque los principales iones en esos pozos. Ese patrón es típico de aguas subterráneas salinizadas donde el incremento en CE refleja un paquete completo de iones mayores disueltos.

Tabla 5: Coeficientes de Correlación de Person (muestreo de agosto).

	CE	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	SO4	Cl
CE	1,00									
pH	0,10	1,00								
Ca	0,92	0,31	1,00							
Mg	0,92	0,13	0,93	1,00						
Na	0,99	0,05	0,86	0,89	1,00					
K	0,92	0,23	0,87	0,77	0,88	1,00				
CO3	0,86	0,16	0,87	0,73	0,79	0,93	1,00			
HCO3	0,94	0,34	0,98	0,92	0,88	0,90	0,85	1,00		
SO4	0,98	0,08	0,88	0,84	0,97	0,95	0,90	0,90	1,00	
Cl	0,73	0,08	0,73	0,90	0,72	0,48	0,42	0,73	0,58	1,00

En promedio, la calidad química sigue siendo aceptable para riego en términos de pH, sodicidad y alcalinidad, pero persisten pozos puntuales con salinidad muy alta (Pozo 25 con CE = 7 dS/m), que representa un foco crítico de riesgo agronómico.

3. Análisis de la evolución temporal mayo – diciembre Salinidad (CE y pH)

Las medias estacionales de conductividad eléctrica son muy parecidas (aproximadamente 2 dS/m en los tres muestreos). Eso quiere decir que, en promedio, el agua de riego se mantiene en una clasificación de salinidad moderada. Sin embargo, el patrón espacial cambia con la estación:

- Mayo: hay pozos extremos hasta 8.14 dS/m (P-03).
- Agosto: el máximo baja (4.9 dS/m) y la variabilidad global cae, coeficiente de variación de la CE ≈ 57
- Diciembre: reaparecen pozos (P-25) con CE muy alta (7.0 dS/m) y la variabilidad vuelve a dispararse (CV CE ≈ 81 %).

Esto sugiere que ciertos pozos sufren episodios de concentración salina (probablemente relacionados con evaporación-estiaje, intrusión salina local o mezcla con aguas más minerales) y esos pozos no se “diluyen” de forma permanente. Tales focos representan riesgo agronómico real de salinización del suelo y pérdida de rendimiento si se riegan cultivos sensibles sin medidas de manejo (lavado, drenaje, rotación con cultivos tolerantes a la salinidad).

El pH promedio se mantiene siempre entre 7.88 y 8.05, es decir, ligeramente alcalino, pero dentro del rango aceptable (6.5–8.4). Eso indica que no se observan aguas fuertemente ácidas (riesgo de corrosión severa) ni fuertemente alcalinas (>8.4), que podrían favorecer incrustaciones carbonatadas extremas o alterar de forma importante la disponibilidad de micronutrientes.

Riesgo de sodicidad/infiltración (SAR, %Na, RSC)

La SAR desciende ligeramente a lo largo del año: 4.01 en mayo a 3.86 en agosto a 2.74 en diciembre. El %Na también baja en diciembre (35 % frente a 44–45 % en mayo/agosto). El RSC es siempre fuertemente negativo (-8 a -10 meq/L), indicando exceso de Ca^{2+} + Mg^{2+} frente a CO_3^{2-} + HCO_3^- , lo que limita la posibilidad de suelos sódicos por precipitación de Ca/Mg carbonatado. En conjunto, esto significa que, aunque algunas aguas son salinas, el “tipo” de sal es relativamente benigno desde el punto de vista de la estructura del suelo: hay suficiente Ca^{2+} y Mg^{2+} para contrarrestar el Na^+ , y la sodicidad potencial es baja. Eso es positivo porque el problema agronómico dominante sería la salinidad osmótica (estrés salino en el cultivo), no la degradación física del suelo por sodio (dispersión de arcillas y pérdida de infiltración).

Iones específicos (SO_4^{2-} , Cl^-)

Los iones SO_4^{2-} y Cl^- se mantienen en medias del orden de 11–14 meq/L y 4.7–5.1 meq/L, respectivamente, y muestran correlaciones muy altas con CE en todos los muestreos. Eso confirma que la salinidad del agua está dominada por sulfatos y cloruros de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Estas sales son las responsables directas del estrés osmótico en las plantas y, si se acumulan en el suelo, de la salinización secundaria descrita en la literatura como una de las amenazas más serias para la productividad agrícola en zonas irrigadas [13, 27].

Variabilidad espacial

En todos los muestreos, prácticamente todas las variables presentan coeficientes de variación altos, varias por encima de 50 %, y CE con valores entre 57 y 81 %. Esto implica que hablar de “la calidad del agua de la cuenca” como un promedio único puede ser engañoso: hay pozos buenos (poca salinidad, SAR bajo) y otros que representan un riesgo agronómico serio por su altísima conductividad eléctrica. La gestión del agua de riego debería, por tanto, ser por sitio específico (pozo a pozo).

4. Recomendaciones agronómicas basadas en los resultados

Monitoreo pozo a pozo

Dado que algunos pozos alcanzan valores de CE por encima de 7 dS/m en mayo y diciembre, es fundamental darle un seguimiento para usarlos únicamente en cultivos tolerantes a salinidad o en parcelas con drenaje profundo y capacidad de lixiviación controlada.

Manejo de la salinidad del suelo (lixiviación/drenaje)

Para aguas con CE alrededor de 2 dS/m, mantener una fracción de lavado adecuada, con una lámina de riego extra para arrastrar sales bajo la zona radicular y asegurar drenaje, de manera que contribuya a prevenir que la salinidad del suelo supere el umbral a partir del cual el rendimiento agrícola empieza a disminuir.

Bajo riesgo de sodicidad

Los valores sistemáticamente bajos de SAR y los negativos de RSC indican que, en principio, el riesgo de sellado superficial y pérdida de infiltración por sodio es bajo. Eso es un aspecto positivo de las aguas de la cuenca, donde el principal problema a tratar es la salinidad total (estrés osmótico), no la dispersión de las arcillas provocada por el sodio.

pH levemente alcalino

El pH está dentro del rango aceptable, de cualquier manera conviene vigilar posibles incrustaciones carbonatadas en sistemas de riego localizado y la disponibilidad de micronutrientes en suelos, especialmente hierro, zinc y manganeso, que pueden volverse menos disponibles en medios alcalinos.

4. Conclusiones

Las aguas tienen una salinidad moderada como promedio, aunque algunos pozos llegan a 5-8 dS/m en mayo y diciembre, constituyendo un riesgo local alto de salinización y caída de rendimiento si no hay manejo agronómico que se corresponda con esta situación.

El riesgo de sodicidad de los suelos o de disminución de la infiltración de éstos es bajo; el problema dominante es el exceso total de sales, no la dispersión del suelo provocada por el sodio.

La química iónica está dominada por Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} y cl^- , y explica casi toda la variación en CE, lo que confirma que la CE es una variable integradora que facilita la identificación de pozos con altos niveles de sales. La calidad media del agua es, en términos de sodicidad, aceptable para riego agrícola, pero existen focos de salinidad muy alta que requieren manejo específico y monitoreo continuo.

Financiamiento:

Este trabajo fue desarrollado en el Centro de Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en el marco del proyecto de investigación titulado “EVALUACIÓN Y MONITOREO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE RIEGO EN LA CUENCA DEL RÍO JAVITA”, código CUP 91870000.0000.388935. Se presenta como una contribución

al conocimiento y al uso sostenible de los recursos hídricos de la cuenca del río Javita.

Conflictos de intereses:

No existen conflictos de intereses para la elaboración de este manuscrito.

Contribución de autor/es:

La autoría de este artículo corresponde totalmente al autor: Carlos Balmaseda Espinosa.

5. Referencias

1. QUINTEROS CARABALÍ, JOFFRE, JAVIER GÓMEZ-GARCÍA, MICHELLE SOLANO, GABRIELA LLUMIQUINGA, CHRISTIAN BURGOS A DAVID CARRERA-VILLACRÉS. Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra* [online]. 2019, vol. 6, n.º 2, págs. 46-57. ISSN 2477-8850. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>.
2. TARTABULL PUÑALES, TANIA A CARMEN BETANCOURT AGUILAR. La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*. [Online]. 2016, vol. 4, n.º 1, págs. 46-61. ISSN 2415-2862.
3. VELÁZQUEZ-CHÁVEZ, LETICIA DE JESÚS, IXCHEL ABBY ORTIZ-SÁNCHEZ, JORGE ARMANDO CHÁVEZ-SIMENTAL, GERARDO ANTONIO PÁMANES-CARRASCO, ARTEMIO CARRILLO-PARRA A MARTÍN EMILIO PEREDA-SOLÍS. Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*. [Online]. 2022. ISSN 1405-888X. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>.
4. RODRÍGUEZ AYALA, SULY, SORAYA ABIGAIL JARAMILLO CASTRO, LORENA DOMINIC ZURITA CALLE, AMANDA GABRIELA VALDIVIEZO AGUILAR A CARLOS CHOLOQUINGA. 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*. [Online]. 2022, vol. 49, n.º 2, págs. 55-64. ISSN 2477-8990. Disponible en: <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n2.06>.

5. DRECHSEL, PAY, SARA MARJANI ZADEH A F. PEDRERO. Water quality in agriculture: risks and risk mitigation. *Rome: The Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Water Management Institute*. [Online]. 2023. ISBN 978-92-5-138072-7. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cc7340en>.
6. ANYANGO, GEOPHRY WASONGA, GOURAV DHAR BHOWMICK A NIHARIKA SAHOO BHATTACHARYA. A critical review of irrigation water quality index and water quality management practices in micro-irrigation for efficient policy making. *Desalination and Water Treatment*. [Online]. 2024, vol. 318, pág. 100304. ISSN 1944-3986. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304>.
7. QADIR, M., G. SPOSITO, C. J. SMITH A J. D. OSTER. Reassessing irrigation water quality guidelines for sodicity hazard. *Agricultural Water Management*. [Online]. 2021, vol. 255, pág. 107054. ISSN 0378-3774. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107054>.
8. WENDEMENEH, DEMELASH, MEKONEN AYANA, PARTAP SINGH A AMARE HAILESLASSIE. Effect of on-farm water management practices and irrigation water source on soil quality in Central Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. [Online]. 2020, vol. 16, n.º 11, págs. 1481-1495. ISSN 1991-637X. Disponible en: <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14707>.
9. FARAJI, HOSSEIN A ALI SHAHRYARI. Assessment of groundwater quality for drinking, irrigation, and industrial purposes using water quality indices and GIS technique in Gorgan aquifer. *Desalination and Water Treatment*. [Online]. 2024, vol. 320, pág. 100821. ISSN 1944-3986. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100821>.
10. ŞAHİN KIY, MAKBULE A HAKAN ARSLAN. Assessment of groundwater quality for irrigation and drinking using different quality indices and geostatistical methods in Çorum province (Turkey). *Irrigation and Drainage*. [Online]. 2021, vol. 70, n.º 4, págs. 871-886. ISSN 1531-0361. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ird.2593>.
11. IBRAHIM, HEKMAT, ZAHER MUNDHER YASEEN, MIKLAS SCHOLZ, MUMTAZ ALI, MOHAMED GAD, SALAH ELSAYED, MOSAAD KHADR, HEND HUSSEIN, HAZEM H. IBRAHIM, MOHAMED HAMDY EID, ATTILA KOVÁCS, SZÜCS PÉTER A MOATAZ M. KHALIFA. Evaluation and Prediction of Groundwater Quality for Irrigation Using an Integrated Water Quality Indices, Machine Learning Models and GIS Approaches: A Representative Case Study. *Water*. [Online]. 2023, vol. 15, n.º 4, pág. 694. ISSN 2073-4441. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w15040694>.
12. OUHAKKI, HICHAM, KAMAL EL FALLAH, ATMAN ADIBA, TAOUIL HAMID A NOUREDINE EL MEJDOUN. Assessing Groundwater Quality and its Impact on Agricultural Productivity in Morocco. *Journal of Ecological Engineering*. [Online]. 2024, vol. 25, n.º 9, págs. 81-91. ISSN 2299-8993. Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/190684>.
13. EGBUERI, JOHN BOSCO C., CHUKWUMA N. MGBENU, DANIEL C. DIGWO A CHIBUZO S. NNYIGIDE. A multi-criteria water quality evaluation for human consumption, irrigation and industrial purposes in Umunya area, southeastern Nigeria. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. [Online]. 2023, vol. 103, n.º 14, págs. 3351-3375. ISSN 0306-7319. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1907360>.
14. AHAMED, A. JAFAR, K. LOGANATHAN A R. JAYAKUMAR. Hydrochemical characteristics and quality assessment of groundwater in Amaravathi river basin of Karur district, Tamil Nadu, South India. *Sustainable Water Resources Management*. [Online]. 2015, vol. 1, n.º 3, págs. 273-291. ISSN 2363-5045. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0026-3>.
15. MERINO-ABAD, EMILIA CAROLINA. Evaluación de la intrusión salina en un acuífero costero y el impacto al suministro de agua potable en Manglaralto provincia de Santa Elena. Guayaquil, Ecuador. *Tesis de Grado. Escuela Politécnica del Litoral*. [Online]. 2014.
16. VALENCIA ROBLES, JUAN IGNACIO. ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO MANGLARALTO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SUS SISTEMAS ACUÍFEROS. *Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral*. [Online]. 2017. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/43891/1/D-CD70275.pdf>.
17. VELASCO ANDRADE, PABLO RAÚL A CHRISTIAN TAMAYO ORTIZ. Agua en territorios comunales: gestión del riego en el valle del río Javita, provincia de Santa Elena. *Siembra*. [Online]. 2020, vol. 7, n.º 1, págs. 027-042. ISSN 2477-8850, ISSN 1390-8928. Disponible en:

- [https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1865.](https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1865)
18. INEN. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. *Norma Técnica Ecuatoriana No. NTE INEN 2176:2013; Versión Primera revisión*. [Online]. 2013. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/>.2013>.
19. INEN. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS. *Norma Técnica Ecuatoriana No. NTE INEN 2169:2013; Versión Primera revisión*. [Online]. 2013.
20. WANG, MIN, WENXIU ZHANG, PENG YANG, JIANGUO FENG, RUILIN ZHANG, ZONGJUN GAO, HONGJIE JIN, XIAOYU SONG A XIAOBING GAO. Hydrogeochemical Characteristics, Water Quality, and Human Health Risks of Groundwater in Wulian, North China. *Water*. [Online]. 2023, vol. 15, n.º 2, pág. 359. ISSN 2073-4441. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w15020359>.
21. GRUPO INFOSTAT. InfoStat. *Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. [Online]. 2020. Disponible en: <https://www.infostat.com.ar/>.
22. PIVIĆ, RADMILA, JELENA MAKSIMOVIĆ, ZORAN DINIĆ, DARKO JARAMAZ, HELENA MAJSTOROVIĆ, DRAGANA VIDOJEVIĆ A ALEKSANDRA STANOJKOVIĆ SEBIĆ. Hydrochemical Assessment of Water Used for Agricultural Soil Irrigation in the Water Area of the Three Morava Rivers in the Republic of Serbia. *Agronomy*. [Online]. 2022, vol. 12, n.º 5, pág. 1177. ISSN 2073-4395. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051177>.
23. SUAREZ, DONALD L., JAMES D. WOOD A SCOTT M. LESCH. Infiltration into Cropped Soils: Effect of Rain and Sodium Adsorption Ratio-Impacted Irrigation Water. *Journal of Environmental Quality*. [Online]. 2008, vol. 37, n.º S5, S-169-S-179. ISSN 1537-2537.
24. JEONG, HANSEOK, HAKKWAN KIM A TAEIL JANG. Irrigation Water Quality Standards for Indirect Wastewater Reuse in Agriculture: A Contribution toward Sustainable Wastewater Reuse in South Korea. *Water*. [Online]. 2016, vol. 8, n.º 4, pág. 169. ISSN 2073-4441. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w8040169>.
25. HANSON, BLAINE, STEPHEN R. GRATTAN A ALLAN FULTON. Agricultural Salinity and Drainage. *Department of Land, Air and Water Resources*. [Online]. 2006, vol. 3375. Disponible en: <https://www.lawr.ucdavis.edu/agricultural-salinity-and-drainage>.
26. CAMACHO-BALLESTEROS, ADRIANA, HÉCTOR MANUEL ORTEGA-ESCOBAR, EDGAR IVÁN SÁNCHEZ-BERNAL, HÉCTOR FLORES-MAGDALENO, ABDUL KHALIL GARDEZI, ISABEL MENDOZA SALDIVAR, TEOBALDIS MERCADO FERNÁNDEZ A JUAN URIEL AVELAR ROBLERO. Hidroquímica y calidad del agua para riego de las RH 21 y 23 costa de Oaxaca y costa de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*. [Online]. 2023, pág. 42. ISSN 0187-5779. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v4i10.1600>.
27. MANCILLA-VILLA, OSCAR RAÚL, BLANCA NOEMY ANZALDO-CORTES, RUBÉN DARÍO GUEVARA GUTIÉRREZ, OMAR HERNÁNDEZ VARGAS, CARLOS PALOMERA-GARCÍA, YERENA FIGUEROA GONZÁLEZ, HÉCTOR MANUEL ORTEGA ESCOBAR, HÉCTOR FLORES-MAGDALENO, ÁLVARO CAN-CHULIM, ELIA CRUZ CRESPO, EDGAR IVÁN SÁNCHEZ BERNAL, JOSÉ LUIS OLGUÍN-LÓPEZ A ISABEL MENDOZA-SALDIVAR. Calidad del agua subterránea para uso agrícola en Zacoalco de Torres y Autlán de Navarro, México. *Terra Latinoamericana*. [Online]. 2021, pág. 39. ISSN 0187-5779. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.745>.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezclen, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.