

Riesgo de obstrucción de sistemas de riego localizado por aguas de riego

Risk of clogging in localized irrigation systems caused by irrigation water

✉ Carlos Balmaseda-Espinosa* and ✉ Nadia Quevedo-Pinos

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador. E-mail: nquevedo@upse.edu.ec

*Autor para correspondencia: Carlos Balmaseda Espinosa, e-mail: cbaumaseda@upse.edu.ec

RESUMEN: Se evaluó la calidad del agua subterránea proveniente de la cuenca del río Javita, en la provincia de Santa Elena (Ecuador), con énfasis en la dureza e Índice de Saturación de Langelier (LSI), parámetros determinantes en la formación de incrustaciones y en la obstrucción de emisores en sistemas de riego localizado. Se desarrollaron tres campañas de muestreo realizadas en 2024 a 25 pozos distribuidos en la zona agrícola de la cuenca, donde se recolectaron muestras de agua siguiendo las normas técnicas ecuatorianas, analizándose en laboratorio variables como pH, conductividad eléctrica, concentración de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) y aniones (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), a partir de los cuales se calcularon la dureza total y el LSI. Los resultados evidenciaron que más del 70 % de las fuentes presentan aguas clasificadas como duras o muy duras, con valores de dureza superiores a 500 mg/L de CaCO_3 en varios casos, mientras que los valores del LSI oscilaron entre 0,20 y 1,35, con un promedio de 0,60, lo que indica una sobresaturación de carbonato de calcio y una marcada tendencia a la incrustación. Se concluye que la combinación de aguas duras y LSI positivo representa un riesgo elevado de obstrucción de goteros y tuberías, reduciendo la eficiencia y uniformidad de riego, y comprometiendo la productividad agrícola. Se recomienda implementar medidas preventivas como la corrección de pH mediante inyección de ácidos, el uso de inhibidores de incrustaciones y el monitoreo sistemático de los parámetros fisicoquímicos para optimizar la sostenibilidad de los sistemas de riego localizado.

Palabras clave: Índice de Saturación de Langelier, Dureza del agua, sistemas de riego localizado, incrustaciones de carbonato de calcio, obstrucción de emisores.

ABSTRACT: This study aimed to assess the quality of groundwater from the Javita River basin in the province of Santa Elena (Ecuador), with an emphasis on hardness and the Langelier Saturation Index (LSI), which are determining parameters in the formation of scale and the obstruction of emitters in localized irrigation systems. The research was carried out through three sampling campaigns conducted in 2024 at 25 wells distributed throughout the agricultural area of the basin, where water samples were collected in accordance with Ecuadorian technical standards and analyzed in the laboratory for variables such as pH, electrical conductivity, cation concentration (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) and anions (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) were analyzed in the laboratory, from which the total hardness and LSI were calculated. The results showed that more than 70% of the sources have water classified as hard or very hard, with hardness values above 500 mg/L of CaCO_3 in several cases, while LSI values ranged from 0.20 to 1.35, with an average of 0.60, indicating calcium carbonate supersaturation and a marked tendency to scaling. It is concluded that the combination of hard water and positive LSI represents a high risk of clogging drippers. Preventive measures such as pH correction through acid injection, the use of scale inhibitors, and systematic monitoring of physicochemical parameters are recommended to optimize the sustainability of localized irrigation systems. and pipes, reducing irrigation efficiency and uniformity, and compromising agricultural productivity.

Keywords: Langelier Saturation Index, Water Hardness, Localized Irrigation Systems, Calcium Carbonate Scaling, Emitter Clogging.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua de riego condiciona la viabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola. En estado natural el agua contiene sales solubles, las cuales en niveles adecuados son esenciales para el desarrollo de los cultivos, sin embargo, su presencia en altas concentraciones puede resultar perjudicial para las plantas y la salud del suelo. Por lo que la gestión eficiente de los recursos hídricos considerando las fuentes superficiales y subterráneas es indispensable para su uso, sobre todo para el sector agrícola uno de los de mayor demanda.

En regiones semiáridas, donde la disponibilidad de agua superficial es limitada, el agua subterránea adquiere un papel fundamental para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos (Benmarce et al., 2024). Por lo que la evaluación de la aptitud del agua para uso agrícola es vital para la sostenibilidad de los sistemas. Entre los parámetros clave de aptitud se encuentran la salinidad, generalmente evaluada a partir de la Conductividad Eléctrica (CE), el riesgo de sodio, expresado a través de la Relación de Adsorción de Sodio (SAR), los carbonatos de sodio residuales (RSC) y la posible toxicidad de iones específicos,

Recibido: 05/06/2025

Aceptado: 28/10/2025

Conflicto de intereses: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Author contributions: Conceptualization: C. Balmaseda. Data curation: C. Balmaseda, N. Quevedo. Formal analysis: C. Balmaseda, N. Quevedo. Investigation: C. Balmaseda, N. Quevedo. Methodology: C. Balmaseda. Supervision: C. Balmaseda, N. Quevedo. Validation: C. Balmaseda, N. Quevedo. Roles/Writing, original draft: C. Balmaseda, N. Quevedo. Writing, review & editing: C. Balmaseda, N. Quevedo. La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



como los de cloro, boro y sodio (Jadhav et al., 2025). Además, se consideran otros indicadores esenciales como el pH, los Sólidos Disueltos Totales (TDS), la dureza, el Porcentaje de Sodio (%Na), la Relación de Adsorción de Magnesio (MAR), la Relación de Kelly (KR), la Salinidad Efectiva (ES), la Salinidad Potencial (PS) y el Índice de Saturación de Langelier (LSI, por sus siglas en inglés) (Anyango et al., 2024; Mirzabeygi et al., 2016; Ouhakki et al., 2024).

Este último, desarrollado por el Dr. Wilfred F. Langelier en la década de 1930 (Langelier, 1936), constituye una herramienta analítica esencial y complementaria, al evaluar el equilibrio de saturación del CaCO_3 en el agua.

La dureza del agua, definida por la concentración de iones divalentes de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) expresada en equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3), constituye un factor determinante en la formación de precipitados e incrustaciones. Por su parte, el Índice de Saturación de Langelier, representa una herramienta predictiva que evalúa la tendencia del agua a formar depósitos calcáreos o exhibir propiedades corrosivas (Barceló-Quintal et al., 2023; Shankar, 2014). En la Tabla 1 se puede observar la clasificación de la dureza de las aguas (Almeida, 2011).

Tabla 1. Clasificación de la dureza de las aguas

Contenido de CaCO_3 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Clasificación
< 70	Blanda
70 - 140	Moderadamente blanda
140 - 220	Levemente dura
220 - 320	Moderadamente dura
320 - 540	Dura
>540	Muy dura

El LSI se emplea para predecir problemas de incrustación o corrosión en la infraestructura de riego, tales como la obstrucción de emisores, especialmente en los sistemas de riego localizado, y la degradación de tuberías, debido a que proporciona una medida objetiva del equilibrio del agua con respecto a la saturación de carbonato de calcio, indicando si el agua tiende a ser corrosiva, se encuentra en equilibrio o es incrustante.

La obstrucción de los emisores es el principal desafío en el mantenimiento de los sistemas de riego localizado, siendo frecuentemente causada por la acumulación de depósitos químicos, en particular la precipitación de calcio y magnesio inducida por la evaporación (Dehghanianj et al., 2025). Se ha observado que valores elevados de pH y temperaturas ambientales altas favorecen la precipitación de carbonato de calcio, una sal de baja solubilidad que puede afectar gravemente la eficiencia y la durabilidad de los sistemas de riego (Lopes Muniz et al., 2023).

Los emisores de goteo, con sus secciones de flujo estrechas (aproximadamente 1 mm^2), son susceptibles a la formación de obstrucciones (Lopes Muniz et al., 2023). Un LSI positivo es un fuerte indicador de la probabilidad de sedimentación de carbonato de calcio y, por ende, de la obstrucción de los goteros (Mirzaei et al., 2011).

La obstrucción de emisores por precipitación de CaCO_3 no es un problema exclusivo del LSI; es el resultado de una interacción compleja de factores.

Un LSI positivo indica sobresaturación y, por ende, una tendencia a la formación de incrustaciones, mientras que un LSI negativo señala subsaturación y una tendencia a la corrosión. Un valor de 0.00 para el LSI representa un equilibrio perfecto, donde el agua no tiende a disolver ni a precipitar carbonato de calcio (Abbasnia et al., 2019; Almeida, 2011; Ayers & Westcot, 1985; Balkrishna et al., 2024; Faraji & Shahryari, 2024; Hasag Moran et al., 2022; Mirzabeygi et al., 2016).

Un LSI positivo se agrava por el pH elevado del agua y las altas temperaturas ambientales (Lopes Muniz et al., 2023). Además, la compatibilidad de los fertilizantes, específicamente los fosfatados, puede interactuar con el calcio en el agua para formar precipitados, exacerbando la obstrucción de los goteros en aguas con alto contenido de calcio (Mirzaei et al., 2011). Esto implica que el manejo efectivo del LSI en sistemas de riego por goteo requiere una estrategia integral que considere no solo la química del agua, sino también las condiciones climáticas y las prácticas agronómicas, como la elección del método de aplicación de fertilizantes.

El monitoreo del LSI permite una gestión proactiva que no solo protege la infraestructura de riego (tuberías, emisores) de daños permanentes y costosas reparaciones, sino que también garantiza la eficiencia operativa y la uniformidad en la aplicación del agua, aspectos críticos para la productividad del cultivo y la conservación del recurso hídrico.

La interpretación de los valores del LSI es crucial para la toma de decisiones en la gestión del agua (Benmarce et al., 2024):

- **LSI < 0 (Negativo):** Indica que el agua está subsaturada con carbonato de calcio y tiende a ser corrosiva. El agua corrosiva busca disolver materiales de las superficies con las que entra en contacto (tuberías, componentes del sistema), lo que puede llevar a daños estructurales permanentes, fugas y problemas de calidad del agua (Benmarce. Un LSI de -0,31 o inferior se considera agresivo.
- **LSI = 0 (Cero):** Representa un estado de equilibrio. El agua no tiene una tendencia significativa a disolver ni a precipitar carbonato de calcio, lo que la hace ideal para la mayoría de los sistemas de riego, respetando la integridad de los materiales.
- **LSI > 0 (Positivo):** Significa que el agua está sobresaturada con carbonato de calcio y tiende a formar incrustaciones. Estos depósitos minerales pueden acumularse en tuberías, emisores y otros componentes, causando obstrucciones graduales que reducen el flujo y la eficiencia del sistema, pudiendo incluso inutilizar una red de riego completa. Un LSI de +0,31 o superior indica una fuerte tendencia a la precipitación.

En términos de rangos aceptables, los valores de LSI cercanos a cero, específicamente entre -0,3 y +0,3, se consideran óptimos para el equilibrio del agua. Algunos expertos sugieren un rango ligeramente más amplio, como -0,3 a +0,5, inclinándose hacia una ligera incrustación. Esta preferencia por una ligera incrustación sobre la corrosión se basa en una estrategia de gestión de riesgos fundamental en la ingeniería de riego. La corrosión, al causar “daños permanentes e irreversibles” a la infraestructura, representa un costo de capital y una interrupción operativa mucho mayores que la incrustación, que es “tratable” y a menudo reversible (Orenda, 2022). Estos rangos orientan a los gestores del agua a priorizar la prevención de condiciones corrosivas, incluso si esto trae consigo tolerar un grado menor y manejable de formación de incrustaciones, optimizando así la vida útil y la fiabilidad del sistema de riego a largo plazo.

Los problemas de corrosión e incrustación, pronosticados a partir del LSI, tienen un impacto directo y crítico en la eficiencia operativa y la vida útil de los sistemas de riego. El agua corrosiva, indicada por un LSI negativo, puede provocar el deterioro, el daño y las fugas en las tuberías y la infraestructura de riego, comprometiendo la integridad del sistema y la calidad del agua aplicada. Por otro lado, la formación de incrustaciones, asociada a un LSI positivo, reduce significativamente la eficiencia de componentes y puede disminuir o bloquear completamente el flujo de agua a los emisores y accesorios.

Más allá del daño físico, la reducción del flujo o las fugas resultantes de estos problemas conllevan una distribución desigual del agua a los cultivos. Esta falta de uniformidad en la aplicación del agua afecta negativamente el rendimiento del cultivo, la eficiencia del uso del agua y puede llevar a la salinización localizada del suelo, lo que resalta la importancia del LSI para la productividad y la sostenibilidad agrícola.

El LSI se centra principalmente en la infraestructura de riego, sin embargo, la precipitación de CaCO_3 en el agua de riego puede tener consecuencias indirectas en la química del suelo. Esta precipitación puede reducir la concentración de calcio (Ca) en la solución del suelo y, consecuentemente, aumentar la relación de sodio intercambiable (Na) a calcio. Un aumento en la relación Na:Ca puede llevar a un drenaje deficiente y una aireación inadecuada en el medio de cultivo, afectando negativamente la estructura del suelo. La irrigación con aguas sódicas también puede aumentar el pH del suelo, la CE y el Na^+ soluble, mientras que disminuye o no altera los cationes solubles como Ca^{2+} y Mg^{2+} (Peker et al., 2024).

La capacidad de ajustar el pH del agua de riego mediante la inyección de ácido es una intervención directa que puede prevenir la formación de incrustaciones y la corrosión, lo que se traduce en una reducción significativa de los costos de mantenimiento y reparación, una mayor eficiencia del sistema de riego y una prolongación de su vida útil. Este enfoque preventivo es un aspecto fundamental en la gestión sostenible del agua en la agricultura.

Basados en los antecedentes mencionados, este trabajo tiene como objetivo valorar el riesgo de obstrucción de los sistemas de riego localizados que tienen como fuentes de abasto pozos ubicados en la cuenca del río Javita, en la provincia de Santa Elena, Ecuador.

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.



Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Javita, área de interés del proyecto.

La cuenca del río Javita tiene una superficie de 81 297 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 (Velasco Andrade & Tamayo Ortiz, 2020).

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 ([Rodríguez Ayala, 2014](#)). 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 escurrimiento 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 junio, 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 2.

La toma de muestra se realizó según el procedimiento planteado en la Norma Técnica Ecuatoriana 2176:2013 sobre técnicas de muestreo (INEN, 2013b), 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 (INEN, 2013a).

En el laboratorio se realizaron las determinaciones que se muestran en la Tabla 2, donde además se presentan las técnicas empleadas en cada caso.

Tabla 2. Procedimientos para el análisis químico de las aguas utilizados por laboratorio de INIAP

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_3^-)	Volumetría
Cloruros (Cl^-)	

La determinación de la dureza total de las aguas se realizó al sumar la dureza del calcio con la del magnesio, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$D = 2,5[\text{Ca}] + 4,1[\text{Mg}]$$

Donde:

D: es la dureza en mg.L^{-1}

[Ca]: es la concentración de calcio en mg.L^{-1}

[Mg]: es la concentración de magnesio en mg.L^{-1}

El Índice de Saturación de Langelier se determinó por el procedimiento sugerido por Ayers & Westcot (1985) en la Tabla 25, página 103, en el que se utilizan los valores de los contenidos de los iones de calcio, magnesio, sodio, carbonatos y bicarbonatos para el cálculo del pH de saturación, según la siguiente fórmula:

$$pH_S = (pK'_2 - pK'_S) + p(\text{Ca}^{2+}) + p(\text{Alk})$$

Donde:

$$(pK'_2 - pK'_S) = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} \text{ en meq/L.}$$

$$p(\text{Ca}^{2+}) = \text{Ca} \text{ en meq/L.}$$

$$p(\text{Alk}) = \text{CO}_3 + \text{HCO}_3 \text{ en meq/L.}$$

$$\text{Luego, } LSI = pH_A - pH_S$$

En la Tabla 3 aparecen los valores promedio de las variables que intervienen en el cálculo de la dureza y el Índice de Saturación de Langelier, obtenidos de los tres muestreos antes mencionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4 se presentan los valores de la dureza de las fuentes de agua estudiadas en la cuenca del río Javita de la Península de Santa Elena, Ecuador, así como su clasificación (Almeida, 2011).

En la Tabla 3 puede observarse que más del 70% de las fuentes estudiadas poseen aguas duras o muy duras, estos resultados coinciden con los planteados (Rodríguez Ayala, 2014) en su estudio de caracterización hidrogeológica de las cuencas de los ríos Javita y Zapotal. Esto podría estar asociado a que parte de la cuenca está sobre el Miembro Javita formado por restos calcáreos de la Formación San Eduardo, cuya litología consiste en calcarenitas de grano grueso, alternando con conglomerados o brechas (Cornejo Martínez, 2006) y depósitos aluviales constituidos por varios materiales entre los que predominan las areniscas (Instituto Espacial Ecuatoriano & Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2012).



Figura 2. Ubicación de los pozos muestreados.

Tabla 3. Características de las aguas estudiadas en la cuenca del río Javita, Santa Elena, Ecuador

Puntos muestreo	pHa	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃
		meq.L ⁻¹				
P-01	7,70	12,34	5,34	22,15	0,23	3,02
P-02	7,90	8,46	1,88	5,78	0,50	3,20
P-03	8,05	12,23	7,37	33,98	0,24	2,34
P-04	7,70	6,49	1,75	4,66	0,25	1,77
P-05	7,50	11,10	4,46	14,08	0,40	2,71
P-06	7,80	6,93	1,80	4,59	0,40	1,68
P-07	7,90	10,49	2,86	15,48	0,46	2,29
P-08	7,93	13,77	4,05	8,52	0,33	3,00
P-09	7,87	12,57	3,83	6,84	0,27	2,66
P-10	7,80	14,52	4,39	6,98	0,23	2,63
P-11	7,50	20,21	7,61	11,61	0,07	3,02
P-12	7,60	13,65	4,84	9,86	0,30	2,72
P-13	8,05	6,03	1,88	12,26	0,28	2,26
P-14	7,90	5,22	1,33	4,56	0,46	2,00
P-15	8,03	6,04	1,78	5,36	0,29	2,04
P-16	8,23	5,26	1,13	3,43	0,37	1,76
P-17	8,20	4,34	1,46	3,30	0,28	1,88
P-18	8,25	4,68	1,32	2,96	0,29	1,80
P-19	7,93	9,35	2,43	5,85	0,40	2,42
P-20	8,06	5,18	1,04	3,33	0,35	1,57
P-21	8,17	4,86	1,66	3,75	0,31	1,91
P-22	8,14	3,96	1,42	4,59	0,29	1,78
P-23	8,14	4,47	1,17	3,30	0,35	1,57
P-24	8,19	4,48	1,08	3,21	0,36	1,51
P-25	8,25	15,95	5,70	27,16	0,89	3,86

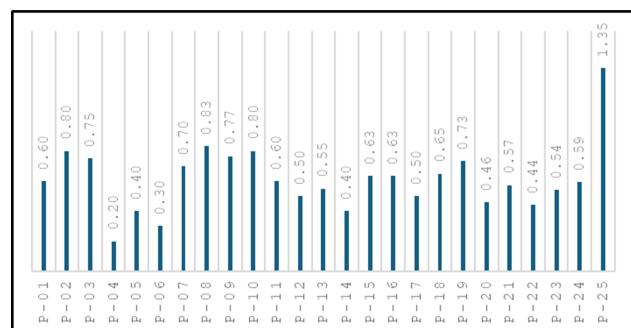
Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 4. Dureza de las aguas de 25 pozos en la cuenca del río Javita entre agosto a diciembre de 2024

Puntos muestreo	Dureza (mg.L ⁻¹)	Clasificación Dureza
P-01	884,53	Muy Dura
P-02	516,87	Dura
P-03	980,64	Muy Dura
P-04	412,06	Dura
P-05	778,79	Muy Dura
P-06	436,42	Dura
P-07	667,39	Muy Dura
P-08	892,86	Muy Dura
P-09	819,77	Muy Dura
P-10	945,89	Muy Dura
P-11	1308,18	Muy Dura
P-12	924,94	Muy Dura
P-13	395,16	Dura
P-14	327,33	Dura
P-15	391,31	Dura
P-16	319,56	Moderadamente Dura
P-17	290,51	Moderadamente Dura
P-18	299,52	Moderadamente Dura
P-19	589,11	Muy Dura
P-20	310,75	Moderadamente Dura
P-21	326,25	Dura
P-22	268,62	Moderadamente Dura
P-23	281,63	Moderadamente Dura
P-24	277,73	Moderadamente Dura
P-25	1082,97	Muy Dura

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados obtenidos en laboratorio y clasificación propuesta por Almeida (2011)

En la Figura 3 se presentan los valores del LSI. La variabilidad en los valores de LSI (desde 0,20 hasta 1,35) es esperable y ha sido observada en otras investigaciones. Esta variación puede deberse a diferencias en la profundidad del pozo, la heterogeneidad del acuífero, la tasa de recarga y la influencia local de infiltración. El valor atípicamente alto del P-25 (1,35) sugiere una zona de mayor interacción agua-roca o posiblemente una menor tasa de recarga, permitiendo una mayor concentración de minerales.

**Figura 3.** Valores del Índice de Saturación de Langelier de las aguas estudiadas.

Estas aguas están sobresaturadas con carbonato de calcio, siendo este un indicador de la potencialidad de incrustaciones en el sistema de riego, máxime cuando más del 90% de las fuentes tienen un LSI superior a +0,31 con una fuerte tendencia a la precipitación (Benmarce et al., 2024).

Estudios realizados en diversas regiones ecuatorianas han reportado LSI positivos en aguas de pozos, sobre todo en zonas costeras y de sustrato calcáreo, atribuyendo los valores elevados a la composición mineralógica del acuífero y a la escasa recarga por lluvias (De la Torre Ordoñez, 2018; Montenegro Rodríguez, 2013).

García-Ávila et al. (2018) estudiaron la red de suministro de agua en Azogues (Ecuador) y encontraron valores de LSI predominantemente negativos (desde -1,22 hasta -1,68), lo que indica una tendencia corrosiva en las aguas de esa ciudad, en contraste a esos resultados los pozos estudiados en la cuenca del río Javita muestran un patrón muy distinto: predominio de LSI positivo, por tanto, mayor riesgo de incrustación frente a la corrosión observada en Azogues. Esto sugiere diferencias importantes en propiedades químicas de las aguas (pH, dureza cálcica, alcalinidad, TDS) entre ambas zonas.

En el distrito de Tamil Nadu, el LSI varía frecuentemente por encima de cero, marcando tendencia a incrustaciones en acuíferos explotados para riego, correlacionando estos datos con la alta salinidad y alcalinidad (Anyango et al., 2024).

El informe del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) sobre la corrosividad de aguas subterráneas en ese país muestra que la situación varía espacialmente:

hay regiones con aguas tendientes a corrosión (LSI negativo) y otras con aguas neutras o con tendencia a incrustaciones (LSI positivo). A nivel de muestreo masivo, aproximadamente un tercio de las muestras fueron clasificadas como potencialmente corrosivas según LSI (Belitz et al., 2016). Sin embargo, los resultados del río Javita (LSI positivos) se alinean con las regiones y estudios que encuentran aguas duras/sobresaturadas, pero no con las zonas donde predominan LSI negativos. Esto indica que la cuenca Javita, tal como muestran los datos, tendría aguas con alcalinidad y/o durezas relativamente elevadas (favoreciendo la incrustación), como se analizó antes (Tabla 3).

Padilla González et al. (2022) caracterizaron depósitos de incrustación en una red y reportaron valores de LSI que iban desde levemente negativos hasta positivos (LSI desde -0.005 a 0.76 en uno de sus sistemas), y confirmaron por SEM/XRD (Scanning Electron Microscopy/X-Ray Diffraction) que muchas incrustaciones eran carbonatos de calcio. Esto coincide con la interpretación: LSI positivo y presencia de carbonatos se asocian a incrustaciones observables en tuberías.

En resumen, la combinación de agua dura con LSI positivo genera incrustaciones calcáreas que reducen el diámetro efectivo de tuberías, obstruyen emisores y afectan la uniformidad de distribución del agua, lo cual constituye un riesgo potencial en los sistemas de riego localizado de las áreas agrícolas de la cuenca del río Javita.

CONCLUSIONES

La relación entre la dureza del agua y el Índice de Saturación de Langelier constituye un elemento fundamental en la evaluación de la calidad del agua para riego. Esta interrelación, expresada matemáticamente en el cálculo del Índice de Saturación de Langelier y manifestada físicamente en la tendencia a la formación de incrustaciones o corrosión, determina en gran medida la viabilidad técnica y económica de los sistemas de riego.

La dureza del agua, como medida de la concentración de cationes divalentes, influye directamente en el pH de saturación y, consecuentemente, en el valor del Índice de Saturación de Langelier. Esta interdependencia requiere un enfoque holístico en el manejo de la calidad del agua, donde ambos parámetros deben ser considerados conjuntamente para optimizar el rendimiento de los sistemas de riego y garantizar la nutrición adecuada de los cultivos.

Los valores del Índice de Langelier medidos en los pozos de la cuenca del río Javita (todos positivos, con un promedio de 0.60) indican que el agua subterránea de esta área tiene una tendencia predominante a la incrustación.

En el contexto de la agricultura moderna, donde la eficiencia en el uso del agua es imperativa, el monitoreo y manejo adecuados de estos parámetros representan una herramienta indispensable para la sostenibilidad de los sistemas de regadío.

El diseño y manejo de los sistemas hidráulicos deben considerar el potencial incrustante para evitar bloqueos y reducir los costos de mantenimiento.

Se recomienda implementar medidas de control de incrustaciones (ablandamiento, inhibidores, control de pH), además de monitorear periódicamente los parámetros fisicoquímicos para detectar variaciones estacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASNIA, A., YOUSEFI, N., MAHVI, A. H., NABIZADEH, R., RADFARD, M., YOUSEFI, M., ALIMOHAMMADI, M.: Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 2019, 988-1005. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1458596>
- ALMEIDA, O. Á. DE.: *Qualidade da água de irrigação*. Embrapa Mandioca E Fruticultura Tropical, 2011.
- ANYANGO, G. W., BHOWMICK, G. D., SAHOO BHATTACHARYA, N.: A critical review of irrigation water quality index and water quality management practices in micro-irrigation for efficient policy making. *Desalination and Water Treatment*, 318, 100304, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304>
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. (with Food and Agriculture Organization of the United Nations).: *Water quality for agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.
- BALKRISHNA, A., GHOSH, S., NAGOSE, A., JOSHI, D., SINGH, S., KUMUD, SAXENA, A., TANEJA, S., ARYA, V.: *Evaluation of Suitability Analysis of Gangetic Water from Upper, Middle, And Lower Ganga Rivers* (p. 2024.02.28.582642). bioRxiv.,2024, <https://doi.org/10.1101/2024.02.28.582642>
- BARCELÓ-QUINTAL, I., ESPEJO-MONTES, F., GÓMEZ-NÚÑEZ, J., GÓMEZ-SALAZAR, S., SOLÍS-CORREA, H.: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LANGELIER DEL AGUA DEL ARROYO RÍO PUERTA GRANDE EN LA CDMX. *Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 27(3), 63-84. 2023.
- BELITZ, K., JURGENS, B. C., JOHNSON, T. D.: Potential corrosivity of untreated groundwater in the United States. En *Scientific Investigations Report* (Nos. 2016-5092). U.S. Geological Survey, 2016, <https://doi.org/10.3133/sir20165092>
- BENMARCE, K., ZIGHMI, K., HADJI, R., HAMED, Y., GENTILUCCI, M., BARBIERI, M., PAMBIANCHI, G.: Integration of GIS and Water-Quality Index for Preliminary Assessment of Groundwater Suitability for Human Consumption and Irrigation in Semi-Arid Region. *Hydrology*, 11(5),2024, 71. <https://doi.org/10.3390/hydrology11050071>
- CORNEJO-MARTÍNEZ, M.: *Polo de promoción minero ambiental en el contexto de la agenda local* 21:

- Península de Santa Elena (Ecuador). CETEM/MCT/ CNPq/UIA, 2006.
- DE LA TORRE-ORDOÑEZ, D. A.: *DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE MASA EN LECHOS DE CONTACTO DE CARBONATO DE CALCIO PARA LA ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE AGUAS CORROSIVAS* [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional], 2018 <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19447/1/CD-8841.pdf>
- DEHGHANISANJI, H., MIRLATIFI, S. M., EMAMI, S., RAJABZADEH, T.: Reducing the clogging of emitters in drip irrigation systems using acid washing and ultrasonic technology. *Scientific Reports*, 15(1), 12499, 2025, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95915-w>
- FARAJI, H., & SHAHRYARI, A.: Assessment of groundwater quality for drinking, irrigation, and industrial purposes using water quality indices and GIS technique in Gorgan aquifer. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100821, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100821>
- GARCÍA-ÁVILA, F., RAMOS-FERNÁNDEZ, L., ZHINDÓN-ARÉVALO, C.: Estimation of corrosive and scaling trend in drinking water systems in the city of Azogues, Ecuador. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(5), 1, 2018, <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2237>
- HASAG MORAN, E. S., COBOS MORA, F., LOMBEIDA GARCIA, E., UVIDIA, M.: Evaluación De La Calidad De Agua En El Sistema De Riego Cedeye, Babahoyo Ecuador. *Journal of Science and Research*, 7, 2022 (CININGEC II), Article CININGEC II.
- INEN: *Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras* (Norma Técnica Ecuatoriana No. Nte Inen 2169:2013; Versión Primera revisión), 2013a.
- INEN: *AGUA. Calidad Del Agua. Muestreo. Técnicas De Muestreo* (Norma Técnica Ecuatoriana No. NTE INEN 2176:2013; Versión Primera revisión), 2013b.
- Instituto Espacial Ecuatoriano, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca: *Memoria Técnica: Proyecto Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25000. Cantón Santa Elena* [Geopedología]. IEE-MAGAP, 2012.
- JADHAV, A. B., V.N.NALE, D.S.POTDAR: Consequences of Irrigation Water and Soil Quality: An Overview. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11(1), 435-453, 2025, <https://doi.org/10.9734/ajssp/2025/v11i1494>
- LANGELIER, W. F.: The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment. *Journal AWWA*, 28(10), 1500-152, 1936, <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1936.tb13785.x>
- LOPES-MUNIZ, G., GONÇALVES-OLIVEIRA, A. L., Benedito, M. G., Duarte Cano, N., Pires De Camargo, A., & Da Silva, A. J.: Risk Evaluation of Chemical Clogging of Irrigation Emitters via Geostatistics and Multivariate Analysis in the Northern Region of Minas Gerais, Brazil. *Water*, 15(4), 790, 2023, <https://doi.org/10.3390/w15040790>
- MIRZABEYGI, M., NAJI, M., YOUSEFI, N., SHAMS, M., BIGLARI, H., MAHVI, A. H.: Evaluation of corrosion and scaling tendency indices in water distribution system: A case study of Torbat Heydariye, Iran. *Desalination and Water Treatment*, 57(54), 25918-25926, 2016, <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1162206>
- MIRZAEI, F., ALIZADEH, H. A., TAHERI-GRAVAND, A.: Study of water Quality in Different Stations of Karkheh River based on Langelier and Ryzner Indices for Determining Potential Clogging of Droppers. *Research Journal of Applied ...*, 3(1), 61-66, 2011.
- MONTEMNEGRO-RODRÍGUEZ, D. G.: *Evaluación de los factores que afectan a la producción en el campo Iro A del Bloque 16* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador], 2013, <https://core.ac.uk/download/pdf/71900874.pdf>
- ORENDA: *Understanding LSI: The Langelier Saturation Index*, 2022, <https://blog.orendatech.com/langelier-saturation-index>
- OUHAKKI, H., EL FALLAH, K., ADIBA, A., HAMID, T., EL MEJDOUN, N.: Assessing Groundwater Quality and its Impact on Agricultural Productivity in Morocco. *Journal of Ecological Engineering*, 25(9), 81-91, 2024, <https://doi.org/10.12911/22998993/190684>
- PADILLA-GONZÁLEZ, P., BAUTISTA-CAPETILLO, C., RUIZ-CANALES, A., GONZÁLEZ-TRINIDAD, J., JÚNEZ-FERREIRA, H. E., CONTRERAS RODRÍGUEZ, A. R., ROBLES ROVELO, C. O.: Characterization of Scale Deposits in a Drinking Water Network in a Semi-Arid Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3257, 2022, <https://doi.org/10.3390/ijerph19063257>
- PEKER, A. E., ÖZTÜRK, H. S., & MAMEDOV, A. I.: The Effect of Sodic Water Type on the Chemical Properties of Calcareous Soil in Semi-Arid Irrigated Land. *Soil Systems*, 8(1), 10, 2024, <https://doi.org/10.3390/soilsystems8010010>
- RODRÍGUEZ-AYALA, C. M.: *Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los ríos Javita y Zapotal de la península de Santa Elena* [Ingeniero Geólogo, Universidad Central de Quito], 2014, T-UCE-0012-304.pdf. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2325>
- SHANKAR, D.: Determination of Scaling and corrosion tendencies of water through the use of Langelier and Ryznar Indices. *Scholars Journal of ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, 2(2), 123-127, 2014.
- VELASCO-ANDRADE, P. R., TAMAYO-ORTIZ, C.: Agua en territorios comunales: Gestión del riego en el valle del río Javita, provincia de Santa Elena. *Siembra*, 7(1), 027-042, 2020, <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1865>