

Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Yamanigüey para el riego agrícola

Preliminary evaluation of Yamanigüey River's water quality for agricultural irrigation

Pedro Luis Dunán-Avila^{1*}, Moraima Fernández-Rodríguez¹, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar¹, Pedro Rafael Bassas-Noa²

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

²Centro de Investigaciones del Níquel, Moa, Holguín, Cuba

*Autor para la correspondencia: pdunanavila@gmail.com

Resumen

La calidad del agua destinada al riego está determinada principalmente por el contenido y el tipo de sales presentes en ella. El propósito de esta investigación fue evaluar de modo preliminar la calidad para el riego de las aguas del río Yamanigüey en 12 muestras tomadas a lo largo de la cuenca. Se evaluó el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y se determinó la calidad del agua con base en los valores de la relación de adsorción de sodio, la conductividad eléctrica, el coeficiente de irrigación, la salinidad potencial y la salinidad efectiva. Se concluye que las aguas del río Yamanigüey tienen una calidad de buena a excelente y, según las normas de Riverside, son aptas para su utilización en el riego agrícola, excepto en suelos de muy baja permeabilidad para cultivos sensibles a la salinidad y al sodio.

Palabras clave: calidad del agua; agricultura; riego agrícola, Yamanigüey.

Abstract

The quality of water intended for irrigation is mainly determined by the content and type of salts present in it. The purpose of this research is to evaluate Yamanigüey River's water quality for agricultural irrigation in 12 samples taken throughout the basin in preliminarily way. Performance of physicochemical parameters was evaluated and water quality was determined based on the values of sodium adsorption ratio, electrical conductivity,

irrigation coefficient, potential salinity and effective salinity. It is concluded that waters on Yamanigüey River have a good to excellent quality and, according to Riverside standards, its water is suitable to use in agricultural irrigation, except in very low permeability soils for salinity and sodium sensitive crops.

Keywords: water quality; farming; agricultural irrigation, Yamanigüey.

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad en cantidad y calidad de fuentes de agua para varios propósitos es un factor clave para el desarrollo socioeconómico de una región (Choramin et al. 2015). Ante la incertidumbre climática que impacta la disponibilidad de agua para la producción agropecuaria, productores, legisladores, funcionarios públicos en diferentes órdenes de gobierno y la sociedad en su conjunto, requieren de métodos para evaluar la productividad de los recursos naturales suelo y agua, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a políticas y estrategias para su utilización de manera sostenible. El desarrollo económico asociado a un incremento acelerado de la población ha generado una mayor demanda de agua para diferentes usos; consumo humano, uso industrial y agrícola entre otros (Vasanthavigar et al. 2012).

En Cuba, en el último decenio, la calidad del agua para uso agrícola ha sido objeto de varios estudios (Palacio-Cabrera et al. 2010; Bonet & Ricardo 2011; Balmaseda & García 2013; Sánchez-González, Sánchez-Sánchez y Fernández-Rodríguez 2014; Puñales & Aguilar 2016; De Oliveira 2017; Herrera-Puebla et al. 2017; Betancourt-Aguilar et al. 2019) que han evaluado sus características físicas y químicas, así como su efecto sobre el rendimiento agrícola, la productividad y la sostenibilidad ambiental.

En el municipio de Moa (provincia de Holguín) donde se desarrolla el presente estudio, las investigaciones sobre la calidad del agua se han enfocado fundamentalmente desde el punto de vista ambiental y de la minería del níquel (Fernández-Rodríguez 2013; Céspedes-Hernández 2014; Valdés-Mariño 2015; Fernández-Rodríguez 2016; Batista & Cabrera 2017; Rubio-Caballero 2017; Córdova-Batista 2017; Borges-Terrero 2017; Fernández-Rodríguez et al. 2018; García-Breffé, Aldana-Aldana y Gamboa Rodríguez 2018; Crespo-Lambert 2018; Dunán-Avila 2019; Rodríguez-Hechavarría 2019; Jardínez-Ocampo 2019; Torres-Rivero 2019; Kamilonga-Nlandu 2019). Estas investigaciones abordan aspectos de calidad general en función de algunos índices internacionales, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, la aptitud para el consumo humano, entre otros;

sin embargo, no existen antecedentes de estudios relativos a la evaluación de la calidad del agua del río Yamanigüey para su uso en la agricultura.

La proyección en el territorio de planes de desarrollo agrícola para sustentar el programa alimentario conlleva la necesidad de examinar la calidad de las aguas destinadas a la irrigación de cultivos. La aptitud del agua para riego es un aspecto de vital importancia, tanto para el logro de alta productividad en los cultivos como para la adecuada conservación de los suelos, por ello la presente investigación tuvo el objetivo de realizar una evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Yamanigüey para su posible utilización en el riego agrícola.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el río Yamanigüey, ubicado en el poblado de igual nombre, dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, el cual pertenece al macizo montañoso Nipe-Sagua-Moa-Baracoa. Esta corriente fluvial constituye una de las reservas de aguas superficiales más importantes del municipio de Moa (Figura 1). En la zona de estudio las precipitaciones presentan un valor anual (periodo 2010-2019) que oscila entre 1469,9 mm – 3014,40 mm, por lo que se considera unas de las mayores pluviometrías del país. El comportamiento de las precipitaciones se obtuvo del pluviómetro ubicado en la localidad de Cañete, en las coordenadas X: 716,70 Y: 213,40 a una altura de 200 m sobre el nivel del mar. Orográficamente, el territorio tiene una alta complejidad, con predominio del relieve de montaña hacia la parte este y ondulado hacia el norte. La zona montañosa se caracteriza por valores de pendiente que sobrepasan los 450 m y valores máximos de isobasitas de 900 m en el segundo orden y 800 m en el tercero (Polanco-Almaguer 2012). Según datos del IGP (2011), las aguas del río Yamanigüey corren sobre cúmulos máficos y ultramáficos de edad Cretácico inferior y depósitos aluviales y palustres de edad Holoceno.

2.1. Muestreo y análisis fisicoquímico del agua

Se tomaron 12 muestras de agua a lo largo de la cuenca. Los análisis de propiedades fisicoquímicas se realizaron según las normas APHA (2012). Los puntos de toma de muestra se ubicaron en un mapa digital mediante el programa QGIS 3.10 (Tabla 1) (Figura 1).

La concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y Cl^- se determinó mediante el método volumétrico (Eaton *et al.* 1998). La concentración de Na^+ y K^+ fue determinada por espectrofotometría de adsorción atómica y el SO_4^{2-} por el método gravimétrico (Allison *et al.* 1990). El valor de pH se obtuvo con un

potenciómetro. La conductividad eléctrica, expresada en unidades $\mu\text{s}/\text{cm}$, a 25 °C, se consiguió mediante el método electrométrico.

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en la Unidad de Proyectos de Laboratorio del Centro de Investigaciones del Níquel (Moa) la cual cuenta con 14 ensayos acreditados por la norma cubana NC: ISO/IEC-17025 del 2006 (Requisitos generales para la competencia técnica de los laboratorios de ensayos y calibración), para el análisis de agua y aguas residuales.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos muestreados en el río Yamanigüey

Código	X	Y
Y-1	715731,0493	212803,4081
Y-2	715838,0613	213292,205
Y-3	712756,0353	213068,2707
Y-4	716136,6818	213723,4865
Y-5	716259,8901	213602,0533
Y-6	716930,0745	213517,4687
Y-7	717112,3961	213529,9602
Y-8	717446,8857	214097,0386
Y-9	717438,6786	214284,5244
Y-10	717568,2863	214566,0436
Y-11	718379,2409	215083,3173
Y-12	718122,9821	214383,4555

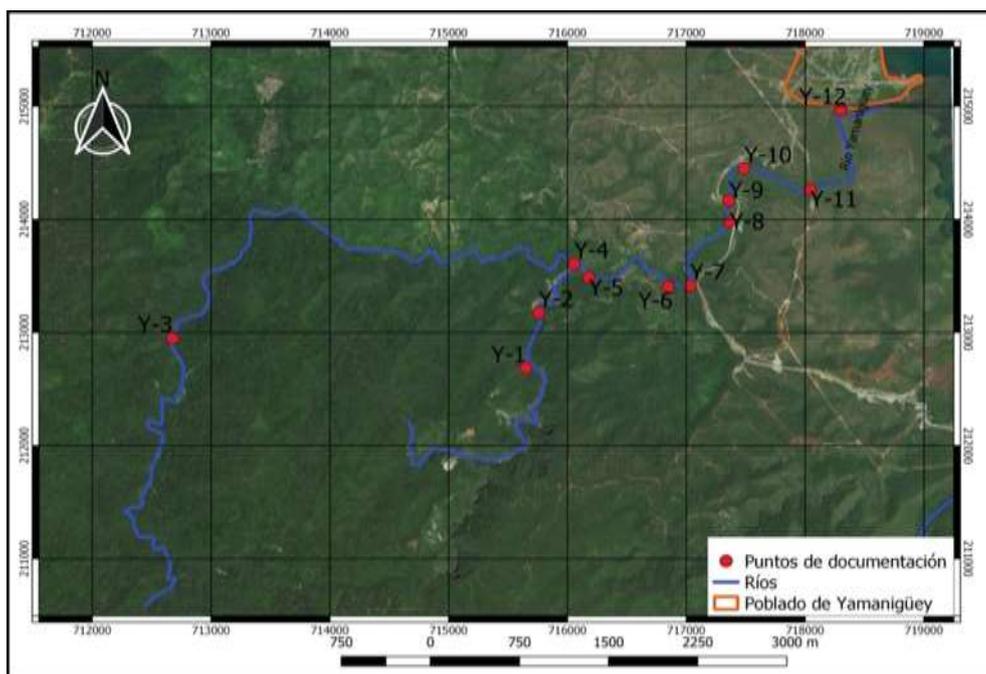


Figura 1. Representación de los puntos de muestreo sobre el mapa digital.

2.2. Metodología para determinar la calidad del agua para irrigación

El uso del agua en la agricultura dependerá de su calidad y del cultivo que se pretenda plantar. Varios autores (Ayers y Westcot 1987; Cortés-Jiménez *et al.* 2009; Lingaswamy y Saxena 2015) enuncian que las principales variables utilizadas para clasificar la calidad del agua desde una perspectiva agrícola son la relación de adsorción de sodio (RAS), el carbonato de sodio residual (CSR), el pH, la conductividad eléctrica (CE), el grado de acidez, porcentaje de sodio posible (PSP), salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), índice de permeabilidad (IP).

En la presente investigación se pretende realizar un estudio preliminar de la calidad del agua del río Yamanigüey para su uso en el riego agrícola. Para ello se empleó la relación de adsorción de sodio, la salinidad potencial y la salinidad efectiva, la conductividad eléctrica, el coeficiente de irrigación y las normas de Riverside.

2.2.1 Relación de adsorción del sodio (RAS)

Es un cálculo a partir de las concentraciones de sodio, magnesio y calcio que estima la tendencia del agua de propiciar la compactación y apelmazamiento del suelo. Mientras mayor sea el RAS, el agua es menos apta para riego. El RAS se expresa por la siguiente ecuación:

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

Donde:

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} son las concentraciones de los iones de sodio, calcio y magnesio, respectivamente, expresados en miligramos equivalentes por litro (meq/L).

Para evaluar la calidad del agua según su RAS (Tabla 2) se utilizaron los criterios de Richards (1954) y Cánovas (1986).

Tabla 2. Criterios de la calidad del agua a partir de los valores del RAS

Según Cánovas (1986)		Según Richards (1954)
RAS	Riesgo de sodicidad	Criterio de uso de calidad
<10	Bajo	Excelente
10-18	Medio	Buena
18-26	Alto	Dudosa
>26	Muy alto	No recomendable

2.2.2. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica indica el total de sales disueltas en el agua (Bhattacharya & Chakraborty 2012) y es el indicador que se usa para determinar el daño producido por la salinidad. La clasificación del agua para el riego según los valores del indicador CE resulta un tema muy discutido. Singh, Gupta y Ram (1996) señalan la necesidad de evaluar la CE crítica basado en la discriminación entre las diferentes condiciones de textura, precipitación y tolerancia de los cultivos a la salinidad. Otros autores (Arslan & Demir 2013; Lingaswamy & Saxena 2015) usan criterios diferentes (Tabla 3).

Tabla 3. Relación de los valores de la CE y la correspondiente clasificación de la salinidad

Valores de la CE, según Lingaswamy & Saxena 2015	Criterio sobre la calidad del agua
< 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Excelente
250 - 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Buena
750 - 2 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Aceptable
2 250 - 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dudosa
> 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	No aceptable

2.2.3. Salinidad potencial (SP) y salinidad efectiva (SE)

La salinidad potencial depende de las concentraciones en meq/L de los iones cloruro y sulfato. Su valor se determina según la siguiente ecuación:

$$SP = [Cl^-] + \frac{1}{2} [SO_4^{2-}] \quad (2)$$

La salinidad efectiva (SE) se calcula en dependencia del valor de las diferentes concentraciones de calcio, magnesio sulfato, carbonato y bicarbonato, todos expresados como meq/L.

a. Si el $Ca^{2+} > CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-}$ entonces:

$$SE = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) - CO_3^{2-} - HCO_3^- - SO_4^{2-} \quad (3)$$

b. Si el $Ca^{2+} < CO_3^{2-} + HCO_3^- + SO_4^{2-}$ pero $Ca^{2+} > CO_3^{2-} + HCO_3^-$ entonces:

$$SE = (Mg^{2+} + Na^+ + K^+) \quad (4)$$

c. Si el $Ca^{2+} < CO_3^{2-} + HCO_3^-$ pero $Ca^{2+} + Mg^{2+} > CO_3^{2-} + HCO_3^-$ entonces:

$$SE = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) - (CO_3^{2-} + HCO_3^-) \quad (5)$$

d. Si el $Ca^{2+} + Mg^{2+} < CO_3^{2-} + HCO_3^-$ entonces:

$$SE = Na^+ + K^+ \quad (6)$$

Tanto la salinidad efectiva como la potencial se clasifican de acuerdo a tres criterios de calidad. Buena calidad cuando los valores son < 3 , condicionada cuando los valores están en el intervalo entre 3 y 15 y no recomendable para valores > 15 . Para esta clasificación se consideró el criterio de Balmaseda-Espinosa *et al.* (2006).

2.2.4. Coeficiente de irrigación (Ci) según Stables

Para evaluar la calidad del agua por sus datos de análisis químicos es muy práctico utilizar el coeficiente de irrigación obtenido empíricamente, sobre la base de las observaciones, en elementos básicos y sus concentraciones máximas menos inofensivas para unos 40 cultivos agrícolas y sobre la relativa toxicidad de las sales de sodio. El Ci se refleja en la altura de la columna de agua en pulgadas. Esta columna de agua durante la evaporación da una cantidad de bases suficientes para que el suelo se convierta en agresivo hasta profundidades desde 1,2 m hasta 1,5 m para la mayoría de los cultivos (De Miguel-Fernández 2012). El cálculo del Ci para aguas de distintos tipos se ejecuta por fórmulas que responden a los siguientes casos:

1^{er}. Caso. El contenido del ion sodio (Na^+ en meq/L) es menor que el contenido del ion cloruro (Cl^- en meq/L), es decir, $Na^+ < Cl^-$. Está presente el cloruro de sodio.

$$Ci = \frac{288}{5Cl^-} \quad (7)$$

2^{do}. Caso. El contenido del ion sodio (Na^+ en meq/L) es mayor que el contenido del ion cloruro (Cl^- en meq/L), pero menor que el contenido total de ácidos fuertes, es decir, $Cl^- + SO_4^{2-} > Na^+ > Cl^-$. Está presente el cloruro y el sulfato de sodio.

$$Ci = \frac{288}{Na^+ + 4Cl^-} \quad (8)$$

3^{er}. Caso. El contenido del ion sodio (Na^+ en meq/L) es mayor que el contenido de los iones de ácidos fuertes, es decir: $Na^+ > Cl^- + SO_4^{2-}$. Está presente el cloruro, el sulfato y el carbonato de sodio.

$$Ci = \frac{288}{10Na^+ - (5Cl^- + SO_4^{2-})} \quad (9)$$

La determinación de la calidad del agua para fines de riego se determina según la clasificación que se expresa en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de las aguas por el coeficiente de irrigación Ci de Stables (tomado de De Miguel-Fernández 2012)

Coeficiente de irrigación (Ci)	Calidad del agua	Características del agua
> 18	Buena	El agua puede utilizarse durante largos periodos sin necesidad de tomar medidas especiales contra la acumulación de sales dañinas en el suelo.
18 - 6	Satisfactoria	La utilización de esta agua requiere de medidas especiales para evitar la acumulación paulatina de sales en el suelo, excepto en suelos friables con drenaje libre.
5.9 - 1.2	No satisfactoria	Para la utilización de esta agua en casi todos los casos se requiere de drenaje artificial.
< 1.2	Mala	Esta agua en la práctica no es apta para el riego.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Relación de absorción del sodio (RAS) y la conductividad eléctrica (CE)

El 100 % de las aguas del río Yamanigüey se clasifican según Richards (1954) Cánovas (1986) con bajo riesgo a la sodicidad y excelentes en cuanto al criterio de calidad, por lo que se pueden utilizar sin restricciones en el regadío.

Se evidencia una tendencia al incremento del RAS en las aguas desde el punto de muestreo Y-1 hasta el Y-12 (Figura 2a). Según Pizarro-Cabello (1985), en los climas húmedos son menos abundantes los suelos sódicos, pues la solución del suelo está normalmente más diluida, lo que es característico en los suelos de esta región. Al analizar el agua por las Normas de Riverside (Wilcox 1955) se puede apreciar que el 75% de las muestras se clasifican como C1S1 (baja salinidad y baja en sodio), mientras que el 25 % de estas se clasifican como aguas tipo C2S1 (salinidad media y baja en sodio) debiéndose esto a que los puntos están ubicados cercanos a la costa y existe un mayor intercambio iónico entre las aguas del río y las del mar (Figura 3).

Blasco y Rubia (1973) señalan que la irrigación con aguas de tipo C1 puede ocasionar problemas en suelos de baja permeabilidad, mientras que con las aguas tipo C2 pudiera requerirse el lavado de sales por lixiviación o el uso de cultivos tolerantes a la salinidad. Las aguas tipo S1 pueden generar inconvenientes en cultivos sensibles al sodio. El 75 % de las aguas del río Yamanigüey, por su conductividad se clasifican, según Lingaswamy & Saxena (2015), como aguas de calidad excelente (9 muestras, desde Y-1 a Y-9) y el 25 % como aguas de calidad buena (3 muestras, desde Y-10 a Y-12). Se visualiza una tendencia al incremento de la conductividad eléctrica (Figura 2b) desde el punto de muestreo Y-1 hasta Y-12, este último localizado próximo a la desembocadura; ello se debe a la intrusión marina existente en el área de estudio.

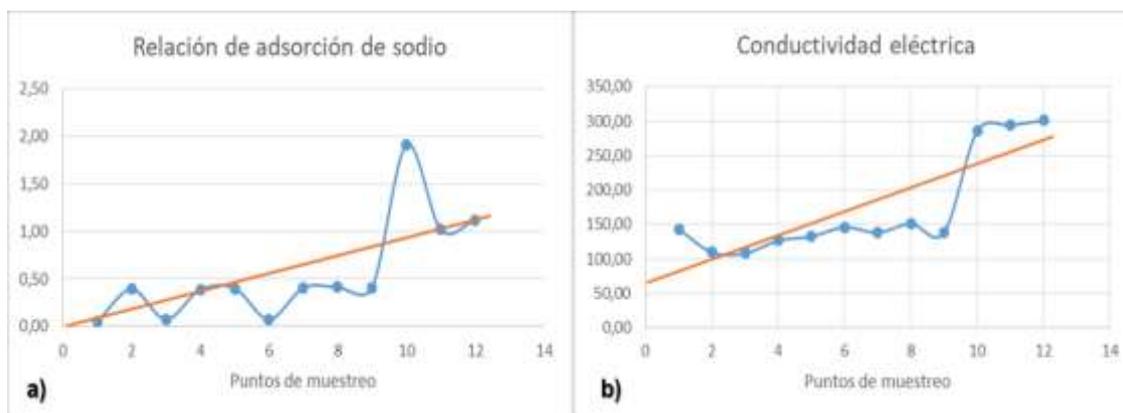


Figura 2. Comportamiento en las aguas del río Yamanigüey de la a) relación de adsorción del sodio y, b) conductividad eléctrica.

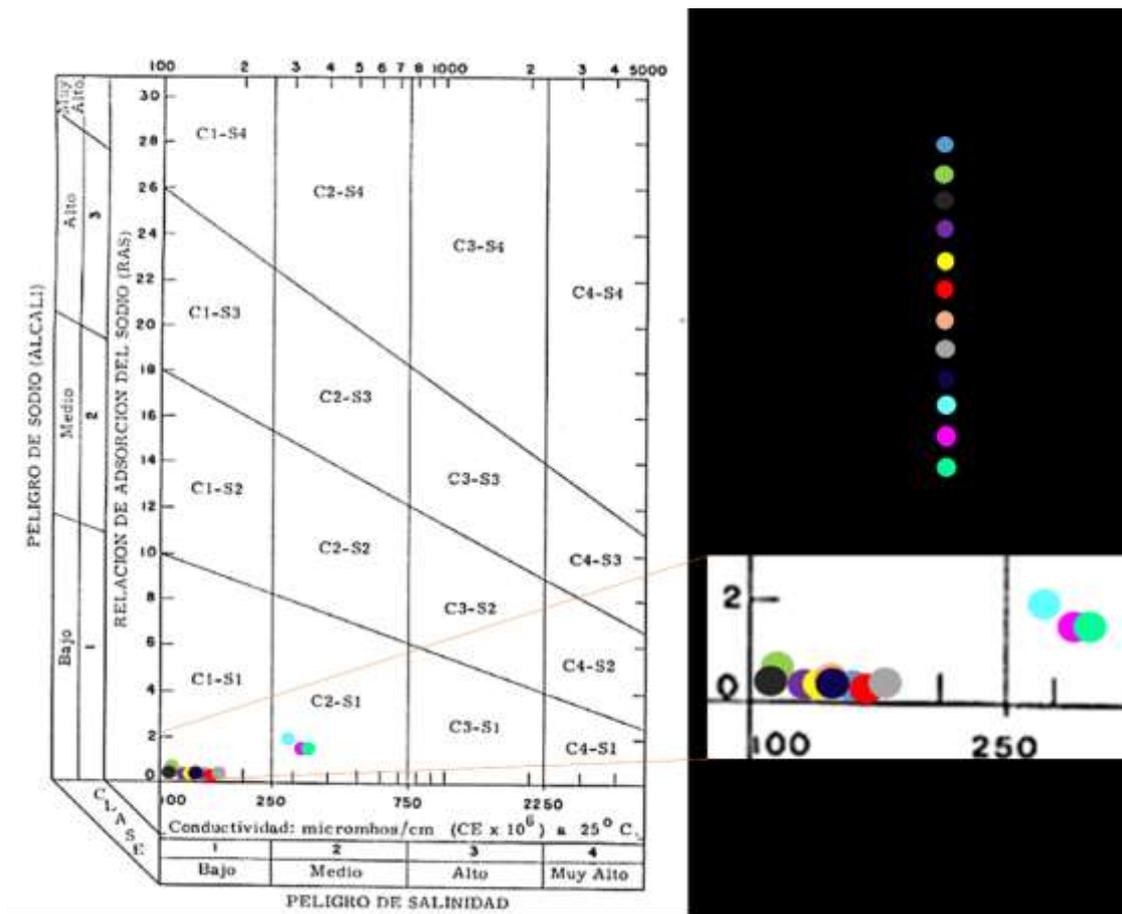


Figura 3. Calidad del agua del río Yamanigüey de acuerdo con las Normas de Riverside.

3.2. Salinidad potencial (SP) y salinidad efectiva (SE)

El 100 % de las muestras analizadas se clasifican como buenas para el riego por presentar valores de salinidad inferiores a 3. La SP osciló entre 0.28 - 2.80 meq/L (Figura 4a). El 83.3 % de las muestras analizadas para la SE se clasifican como aguas buenas para el riego (10 muestras desde la muestra Y-1 a Y-10) y solo el 16.67 % se clasifican como aguas condicionadas para el riego (2 muestras, Y-11, Y-12). Los valores de la SE oscilan entre 0.04 - 10.55 meq/L (Figura 4b). Se observa una tendencia al aumento de la SP y la SE en las aguas del río Yamanigüey debido a la intrusión marina existente en el área de estudio, además que la ubicación de los puntos de muestreo que tienen mayores valores de SP y SE están cerca de la costa lo que posibilita un mayor intercambio iónico entre las aguas del río y las del mar.

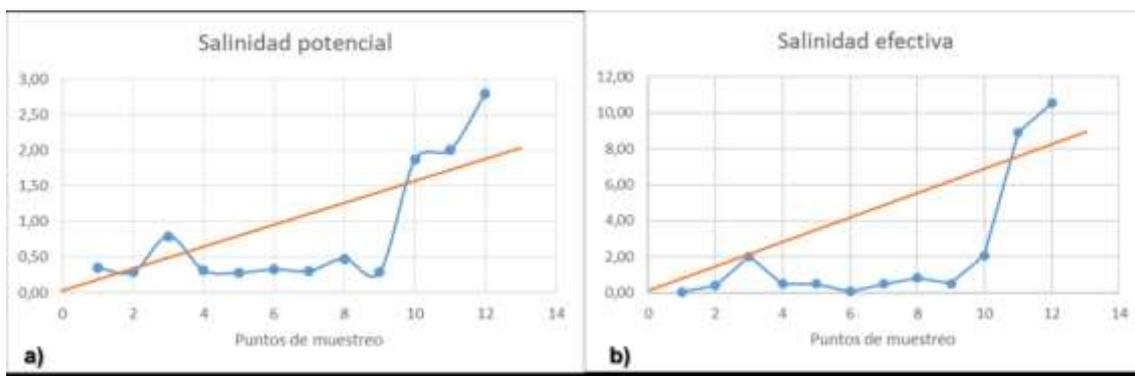


Figura 4. Valores de a) salinidad potencial y b) salinidad efectiva.

3.3. Coeficiente de irrigación (Ci)

Se obtuvo que el 100 % de las muestras clasifican como aguas de buena calidad para la irrigación, lo que se permite largos periodos sin necesidad de tomar medidas contra la acumulación de sales dañinas en el suelo. Se observa una tendencia al descenso del Ci en las muestras de aguas tomadas en el río Yamanigüey, pero, aun así, las aguas cumplen con la norma de Stables para su utilización en la agricultura (Figura 5). En general el efecto de la calidad del agua de riego sobre la estabilidad estructural de los suelos debe evaluarse con vistas a tener en cuenta el resultado combinado del efecto beneficioso de la salinidad (CE) y del efecto perjudicial de la sodicidad.



Figura 5. Comportamiento del coeficiente de irrigación en las aguas del río Yamanigüey.

4. CONCLUSIONES

- Las aguas del río Yamanigüey clasifican como buenas a excelentes para uso agrícola y según las Normas de Riverside, son aptas para el riego, con problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad (C1), para la siembra de cultivos sensibles a la salinidad (C2) y al sodio (S1).

- Según el coeficiente de irrigación, la salinidad potencial y el rango de adsorción del sodio el 100 % de las muestras clasifican como aguas de buena a excelente calidad para el riego.
- Por su conductividad eléctrica, el 75 % de las muestras clasifican como aguas de excelente calidad, mientras el 25 % son aguas de calidad buena.
- El 16.67 % de las muestras clasifican como aguas condicionada para el riego por su salinidad efectiva.

5. REFERENCIAS

- Allison, L.E., Brown, J.W., Hayward, H.E., Richards, L.A., Bernstein, L., Fireman, M., Pearson, G.A., Wilcox, L. V, Bower, C.A., Hatcher, J.T. y others, 1990: *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa, México, 172 p.
- APHA 2012: Standard methods for the examination of water and wastewater. [en línea]. 22st edition. Washington: american public health association, 2012. [consultado: 2015-05-02]. Disponible en: <https://www.standardmethods.org/>
- Arslan, H. & Demir, Y.: 2013: Impacts of seawater intrusion on soil salinity and alkalinity in bafra plain, turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (2) :1027-1040.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987: *La calidad del agua en la agricultura*. Manual 29, rev.1. FAO Ed. Roma, Italia, 174 p.
- Balmaseda-Espinosa, C., De León, D., Martín, N.J. Y Vargas, H., 2006: Compendio de suelo. Facultad De Agronomía, Departamento De Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo. Universidad Agraria de La Habana.
- Balmaseda-Espinosa, C. y García-Hidalgo, Y. 2013: Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas para el riego. *Cultivos Tropicales*, 34 (4) :68-73.
- Batista, Y. T. y Cabrera, M. R. 2017: La gestión ambiental en función del desarrollo local. Estudio de caso: municipio Moa, provincia Holguín. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 15 (5). ISSN: 2254-7630
- Betancourt-Aguilar, C., Tartabull, T., Labaut, Y. y Ferradaz, R. 2019: Principales procesos que impactan la calidad del agua para el riego en pozos costeros del centro sur cubano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35 (3) :541-552.
- Bhattacharya, T. y Chakraborty, S. 2012: Tuck neha, physico chemical characterization of ground water of Anand district, Gujarat, India. *Res. J. Environment Sci.*, 1 (1): 28-33.

- Blasco, F. y Rubia, J. 1973: Guía para clasificar las aguas en relación con su calidad para el riego. Instituto para la reforma y desarrollo agrario (IRYDA). Madrid, España.
- Bonet-Pérez, C. y Ricardo-Calzadilla, M.P., 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): 19-23.
- Cánovas, J. 1986: Calidad agronómica de las aguas de riego. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid, disponible: [recomencriteriosinterpretacionaguas.doc](#)
- Céspedes-Hernández, Y. 2014: Análisis de la degradación de los suelos en el municipio Moa. Yuri Almaguer Carmenates (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 79 p.
- Choramin, M., Safaei, A., Khajavi, S., Hamid, H. Y Abozari, S. 2015: Analyzing and studding chemical water quality parameters and its changes on the base of Schuler, Wilcox and Piper diagrams (project: Bahamanshir river). *Walia Journal*, 31 :22-27.
- Córdova-Batista, Y. 2017: Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Moa a partir del índice integrador ICA_SP. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 100p.
- Cortés-Jiménez, J. M.; Troyo-Diéguéz, E.; Murillo-Amador, B.; García-Hernández, J.L.; Garatuza-Payán, J. & Suh Lee, S. 2009: Índices de calidad del agua del acuífero del valle del Yaqui, Sonora. *Terra Latinoamericana*, 27(2):133-141.
- Crespo-Lambert, M. 2018: Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 103p.
- De Miguel-Fernández, C. 2012: *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. Unica. Moa, ISBN 978-959-16-139-5-0.
- De Oliveira, E., 2017: Calidad de las aguas utilizadas para regadío en el "valle del Yabú" Santa Clara. Maibia Tamayo Irzula (tutor). Tesis de grado. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. 82p.
- Dunán-Avila, P. L. 2019: Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Yamanigüey mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 118 p.
- Eaton, A.D., Greenberg, A.E. y Clescerl, S.L. 1998: *Standards methods for the examination of water and wastewater*. 20th edition. Washington: American Public Health Association Dc.

- Fernández-Rodríguez, M., Nfundiko-Christian, B., Guardado-Lacaba, R. y Almaguer-Carmenate, Y. 2018: Evaluación hidroquímica de las aguas del río Cayo Guam, Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 34 (3) :268-288.
- Fernández-Rodríguez, M. 2016: Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas del río Cabaña en la zona minera de Moa, Cuba. En: II Simposio Internacional Del Agua En Áreas Protegidas. Topes de Collantes, Cuba,
- Fernández-Rodríguez, M. 2013: Impacto ambiental por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en el municipio de Moa. En: Conferencia Internacional de Aprovechamiento de Recursos Minerales "Cinarem", Moa.
- García-Breffé, I.M., Aldana-Aldana, Y. y Gamboa-Rodríguez, R. 2018: Estrategia de educación ambiental para implementar la tarea vida en la comunidad de Moa. En: Congreso Internacional de Información Info'2018. La Habana, Cuba, 5-9 marzo.
- González-Robaina, F., Herrera Puebla, J., López Seijas, T. y Cid Lazo, G. 2014: Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4):21-27.
- Herrera-Puebla, J., López-Seijas, T., Díaz-Pérez, Y., Cisneros-Zayas, E. y Duarte-Díaz, C. 2017: Diagnóstico del recurso agua para la producción agrícola sostenible y compatible con el clima en el municipio Perico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(2): 3-12.
- IGP, 2011. Hoja cartográfica Moa (5277).
- Jardínez-Ocampo, A.S. 2019: Índices de calidad de agua del río Moa y su influencia en los costos para el tratamiento de potabilización. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 115p.
- Kamilonga-Nlandu, C., 2019: Perfeccionamiento del procedimiento para el diagnóstico ambiental en los yacimientos lateríticos. Yordanys Esteban Batista Legrá (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 89 p.
- Lingaswamy, M. & Saxena, P.R. 2015. Water Quality Of Fox Sagar Lake, Hyderabad, Telangana State, India, Its Suitability For Irrigation Purpose. *Int. J. Adv. Res. Sci. Technol*, 4(8) :490-494.
- Palacio, S.R., Olivera, R.R., Tablada, R.N. y Cruz, V.L. 2010.: Evaluación de la salinidad potencial de aguas para riego en la cuenca del Cauto. *Ciencias Holguín*, 16(2):2-5.
- Pizarro-Cabello, F. 1985: Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 1985. Madrid: Editorial Agrícola Española SA.
- Polanco-Almaguer, P.L. 2012: Influencia de los procesos geológicos en la morfología costera del municipio Moa. Yuri Almaguer Carmenate (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 69 p.

- Puñales, T.T. y Aguilar, C.B. 2016: La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1): 46-61.
- Richards, L.A., 1954: Us Salinity Laboratory Staff. Diagnosis And Improvement Of Saline And Alkali Soils. Usda Agr. Handbook, no. 60, pp. 160.
- Rodríguez-Hechavarría, Y. 2019: Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el índice de calidad de agua CCME_WQI. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 95 p.
- Rubio-Caballero, D. de la C. 2017: Evaluación de la calidad de las aguas en el poblado La Melba. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 88 p.
- Sánchez-González, D., Sánchez-Sánchez, Y. y Fernández-Rodríguez, M., 2014: Valoración hidroquímica de las aguas subterráneas del norte de Granma con fines de riego. *Minería y Geología*, 30(4) :38-54.
- Singh, C.S., Gupta, S.K. Y Ram, S. 1996: Assessment and management of poor quality waters for crop production: a simulation model (swam). *Agricultural Water Management*, 30(1): 25-40.
- Torres-Rivero, G. 2019: Calidad de las aguas de consumo humano en los repartos Coloradas Nuevas, Caribe, Atlántico y Miraflores del municipio Moa. Moraima Fernández Rodríguez (tutor). Tesis de grado. Universidad de Moa. 110 p.
- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Ganthi, R.R., Vijayaraghavan, K. Y Sarma, V.S., 2012: Characterisation and quality assessment of groundwater with a special emphasis on irrigation utility: Thirumanimuttar sub-basin, Tamil Nadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(2): 245-258.
- Wilcox, L. V, 1955: Classification and use of irrigation water (circular 969). Washington, DC, USA.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

PLDA: Idea de la investigación, revisión bibliográfica, análisis e interpretación de resultados, redacción y revisión del original, aprobación de la versión final. MFR: Análisis e interpretación de resultados, revisión de la versión original y aprobación de la versión final. ABRZ: Análisis

de datos, revisión de la versión original y aprobación de la versión final. PRBN: Realización de los análisis fisicoquímicos de laboratorio, revisión de la versión original y aprobación de la versión final.

ORCID

PLDA, <https://orcid.org/0000-0002-0022-6662>

MFR, <https://orcid.org/0000-0003-1211-3865>

ABTZ, <https://orcid.org/0000-0001-7155-5626>

PRBN, <https://orcid.org/0000-0002-6690-2539>

Recibido: 18/12/2020

Aceptado: 30/01/2022