

Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas del sector noroeste del Valle del Cauto, Holguín

Evaluation of the quality of groundwater in the northwest sector of Valle del Cauto, Holguín province

Yarisleydis Rodríguez Hechavarría yarisrh@nauta.cu ⁽¹⁾

Amalia Beatriz Riverón Zaldívar briveron@ismm.edu.cu ⁽²⁾

⁽¹⁾ Empresa de Investigaciones y Proyecto Hidráulico Holguín, Cuba

⁽²⁾ Universidad de Moa, Cuba

Resumen: Se evaluó la calidad de las aguas subterráneas del sector noroeste del Valle del Cauto mediante sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas para consumo humano. La clasificación se realizó según las normas cubanas NC 827:2017, NC 1021:2014 y la norma de la Organización Mundial de la Salud (2006). En las aguas analizadas predomina la clasificación química Hidrocarbonatadas-sódicas-tipo 3. Según la mineralización las aguas predominantes son poco salinizadas; por su pH las aguas que predominan son de tipo débilmente básicas y neutras; según la dureza la mayor parte de las aguas son muy duras; por el grado de contaminación salina se clasifican de aguas ligeramente contaminadas; y por el índice de salinidad marina los acuíferos son débilmente salinizados.

Palabras claves: contaminación acuífera, evaluación ambiental, recurso hídrico, salinización acuífera

Abstract: The quality of groundwater in the northwest sector of the Cauto Valley was evaluated through its physical, chemical and microbiological properties for human consumption. The classification was carried out according to Cuban standards NC 827:2017, NC 1021:2014 and World Health Organization (2006). In the waters analyzed, the chemical classification Hydrocarbonated-sodic-type 3 predominates. According to the mineralization, the predominant waters are slightly salinized; due to its pH, the predominant waters are weakly basic and neutral; according to the hardness, most of the waters are very hard; Due to the degree of saline contamination, they are classified as slightly contaminated waters; and due to the marine salinity index, the aquifers are weakly salinized.

Keywords: water pollution, environmental assessment, water resources, aquifer salinization

Introducción

El agua es esencial para mantener la vida y el equilibrio ecológico del planeta. Es indispensable en el mantenimiento de las funciones de los organismos y de los ecosistemas, se utiliza en la producción de alimentos, para cubrir las necesidades de agua potable de las poblaciones humanas, en la higiene personal y la producción industrial y pesquera. Por tal motivo la conservación y protección de los recursos hídricos se ha convertido en una prioridad a nivel mundial (Badii, Landeros & Cerna, 2007).

Su disponibilidad se ve afectada por el cambio climático, el crecimiento del uso, el nivel de degradación de su calidad, la contaminación y la salinización de los acuíferos. Esta situación ha traído una serie de impactos que afectan cada vez más a la sociedad (Castro & Rajadel, 2021).

Varios estudios analizan la calidad del agua y su uso en diferentes contextos internacionales y nacionales, destacando la necesidad de su conservación (Liu *et al.*, 2022; Ogarekpe *et al.*, 2023; Nsabimana & Li, 2023). La urgencia de la protección de las aguas subterráneas para la vida ha conllevado a investigaciones (López Velandia, 2022; Ríos, Colegial & Collazo, 2023; Iturbe *et al.*, 2023) que analizan la importancia de este recurso en diferentes sectores y desde diversos puntos de vista.

El sector noroeste del Valle del Cauto, ha sido afectado notablemente por la situación climatológica, presentando sequía extrema y severa, por lo que gran parte de sus habitantes carecen del preciado líquido. Evaluar el recurso agua subterránea y sus características, es vital para su correcta explotación y esencial para el desarrollo sostenible de los territorios que la componen.

Sánchez, De Miguel-Fernández & Rochenel (2013) caracterizaron desde el punto de vista hidrogeológico e hidroquímico, las aguas subterráneas del Valle del Cauto a partir de una base de datos de 225 pozos, perforados entre los años 1963 y 2006. Se obtuvo un catálogo de mapas digitales a escala 1:250 000, interpretados conjuntamente con otros mapas geológicos e hidrogeológicos de la provincia.

En esta misma zona se realizaron múltiples investigaciones de vulnerabilidad de acuíferos, de salinización de la cuenca, de cálculo de recursos y reservas y calidad de las aguas, las que contribuyeron a ampliar los conocimientos y a lograr una mayor definición de las características del área (Pérez Jara, 2015; Núñez, 2019; Rodríguez, 2020; Pino, 2020; Ivonnet & Pino, 2021).

El área de estudio se encuentra situada en la provincia Holguín, en los municipios Urbano Noris, Báguanos, Cacocum, Holguín y Calixto García (Figura 1).

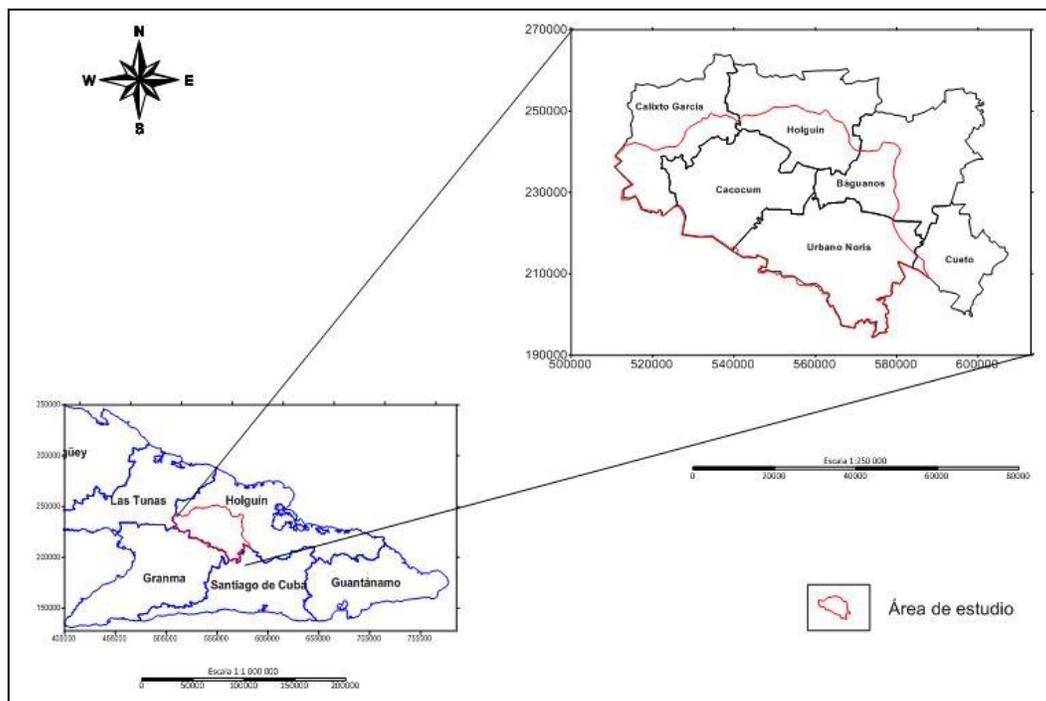


Figura 1. Ubicación geográfica del Valle del Cauto, Holguín.

En el territorio estudiado existen las siguientes formaciones:

Peridotitas serpentinizadas y serpentinitas; Gabroides; Granitoides (granodioritas, dioritas y granitos), Andesitas, Formación Crucero Contramaestre; Formación Lindero, Formación La Jíquima, Olistostroma Haticos (unidad informal), Formación Vigía, Formación Charco Redondo, Miembro Pedernales (Formación Camazán), Formación Camazán, Bloques de la Formación Camazán redepositados, Formación Río Jagüeyes, Formación Río Jagüeyes, Formación Cauto, Depósitos aluviales.

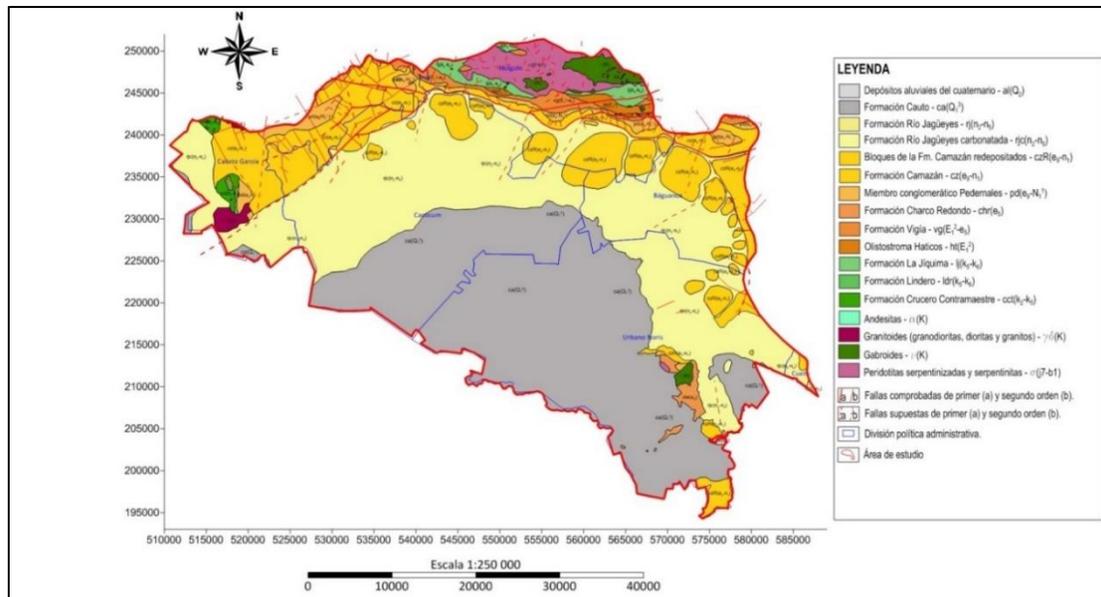


Figura 2. Esquema geológico del área de estudio. Escala 1:250 000 (Tomado de Mapa Hidrogeológico de Cuba. IGP, 2024).

Materiales y métodos

Se realizó el levantamiento hidrogeológico a escala 1:100 000. Se analizaron y muestrearon 345 puntos en el área de estudio.

Para la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas se emplearon las normas cubanas NC 827:(2017) y NC (1021):2014 y normas internacionales aprobadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006). Se emplearon las clasificaciones de autores en correspondencia con la composición química de las aguas y propiedades físicas de las mismas (Aliokin, 1970; Pasovox, 1975; De Miguel-Fernández, 2012).

La determinación de las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las muestras tomadas se realizaron en la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos, UEB Holguín. Los parámetros determinados se muestran en la Tabla 1.

Los resultados se expresan en miligramos por litros (mg/L), pH en unidades de pH, conductividad en micro Siemens por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$) y la turbidez en unidades nefelométricas, el color en UC y los coliformes en NMP/100 mL.

Tabla 1. Métodos analíticos empleados para la realización de los análisis

Parámetros	Método utilizado
pH	Potenciómetro
color	Método de comparación visual
Conductividad eléctrica	Potenciómetro
Turbidez	Turbidimétrico
NO ₃ ¹⁻	Espectrofotometría ultravioleta
NO ₂ ⁻	Colorimétrico
Sólidos totales	Método de cálculo
CO ₃ ²⁻	Valoración
HCO ₃ ¹⁻	Valoración
Cl ¹⁻	Método argentométrico (Valoración)
SO ₄ ²⁻	Espectrofotométrico
Ca ²⁺	Valoración con EDTA
Mg ²⁺	Método de cálculo
Na ⁺	Fotométrico de emisión con llama
K ⁺	Fotométrico de emisión con llama
Dureza total	Valoración con EDTA
Sólidos totales disueltos	Método de los sólidos totales secados a (103-105) °C
Sólidos solubles totales	Método de cálculo
Coliformes totales	Técnica de los tubos múltiples de fermentación
Coliformes termotolerantes	Técnica de los tubos múltiples de fermentación

Como resultados de la investigación se realizó la caracterización y clasificación de las aguas subterráneas del Valle del Cauto a partir de su quimismo, obteniéndose mapas hidroquímicos de su clasificación química, mineralización, ph, dureza, grado de contaminación salina e índice de salinidad marina.

Análisis de los resultados

-Clasificación de las aguas por su composición química según Aliokin (1970)

De acuerdo a la composición química de las muestras estudiadas y la relación entre los miligramos-equivalentes (mg-eq/L) de los aniones (HCO₃⁻ + CO₃⁻), (SO₄²⁻) y (Cl⁻) las aguas subterráneas del valle del Cauto son muy variadas. Teniendo en cuenta los cationes predominantes (Ca²⁺, Mg²⁺ y Na⁺), la principal clasificación obtenida fue la Hidrocarbonatada-Sódica (36 %) y la Hidrocarbonatada-Magnésica (28 %). El tipo de agua de mayor cantidad de muestras fue el 3 con la relación (HCO₃⁻ + SO₄²⁻) < (Ca²⁺ + Mg²⁺).

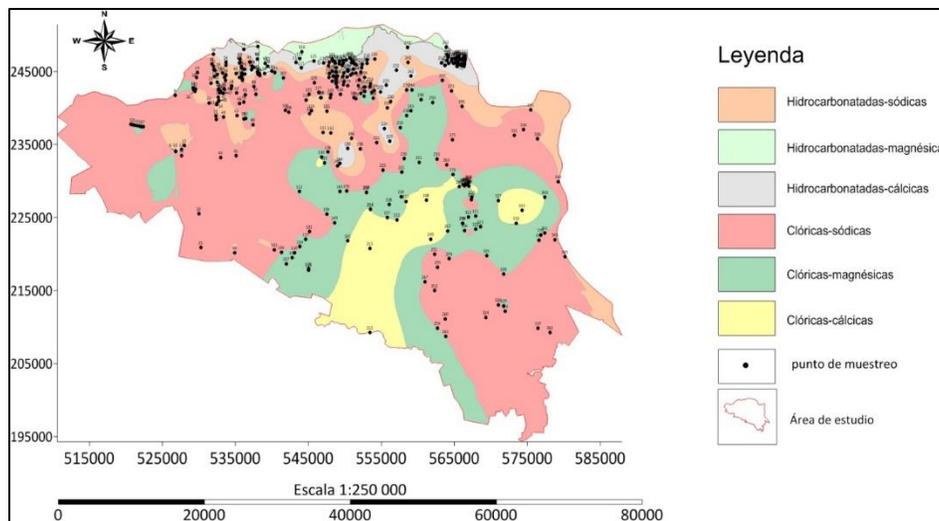


Figura 3. Mapa de quimismo.

-Clasificación de las aguas por su mineralización

Para determinar la clasificación de las aguas según su mineralización (Tabla 2) se utiliza la establecida por Aliokin(1970), mediante la fórmula que relaciona la fracción la sumatoria de los aniones y los cationes.

$$M = \frac{\sum A + C}{1000} (g / L)$$

El resultado del cálculo realizado se clasifica por la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las aguas por su mineralización

Mineralización	Denominación de las aguas
< 1	Aguas dulces
1 - 3	Aguas poco salinizadas
3 - 10	Aguas saladas
10 - 50	Muy saladas
> 50	Rasoles

En correspondencia con la mineralización y la clasificación de las aguas establecida por Aliokin, las muestras presentan valores de mineralización entre (0,5 y 9) g/L, clasificando desde aguas dulces hasta aguas saladas, con un predominio de las aguas poco salinizadas (61 %).

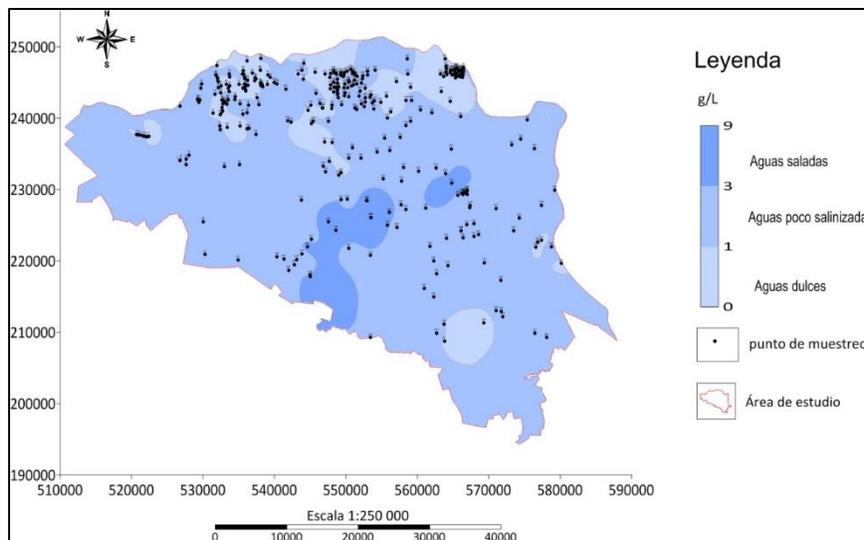


Figura 4. Mapa de mineralización.

-Clasificación de las aguas por el pH según Pasofox

La concentración de iones de hidrógeno (pH) en el agua determina el grado de acidez. Se expresa mediante la fórmula $pH = -\log (H^-)$. La clasificación de las aguas utilizada está basada en la de Pasovox (1975) (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación de las aguas por su pH

Valor del pH	Denominación de las aguas
< 3	Muy ácida
3 - 5	Ácidas
5 - 6.5	Débilmente ácida
6,5 - 7,5	Neutras
7,5 - 8,5	Débilmente básicas
8,5 - 9,5	Básicas
> 9,5	Muy básicas

De acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio, los valores de pH se encuentran en el rango desde de 6,6 a 8,5. Las aguas se clasifican de neutras (42 %) y débilmente básicas (58 %).

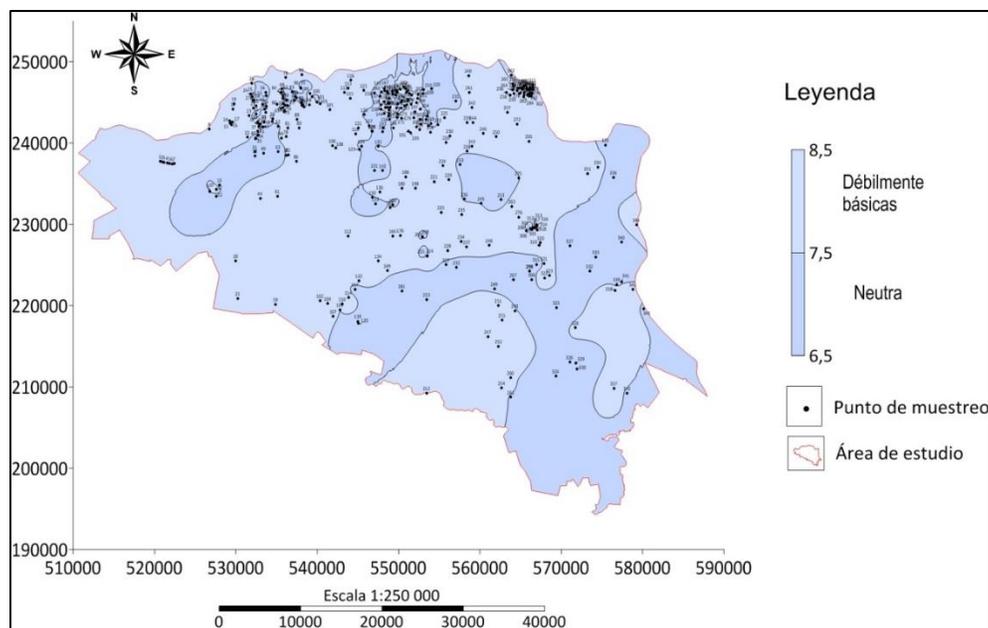


Figura 5. Mapa de Ph.

-Clasificación de las aguas por su dureza total

La dureza total se encuentra constituida por el contenido total en miligramos-equivalentes (mg-eq/L) de sales de calcio y magnesio, según la clasificación de las aguas por la dureza total establecida por Aliokin (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de las aguas por la dureza total

Dureza (mg-eq/L)	Denominación de las aguas
< 1,5	Muy blandas
1,5 - 3,0	Blandas
3,0 - 6,0	Algo duras
6,0 - 9,0	Duras
> 9,0	Muy duras

En el área estudiada la dureza se encuentra en el rango de valores de dureza desde 1 a 127 clasificando desde muy blandas hasta muy duras, con un predominio de las aguas muy duras (45 %) y aguas duras (32 %). La menor representatividad la tienen las aguas muy blandas (0,1 %).

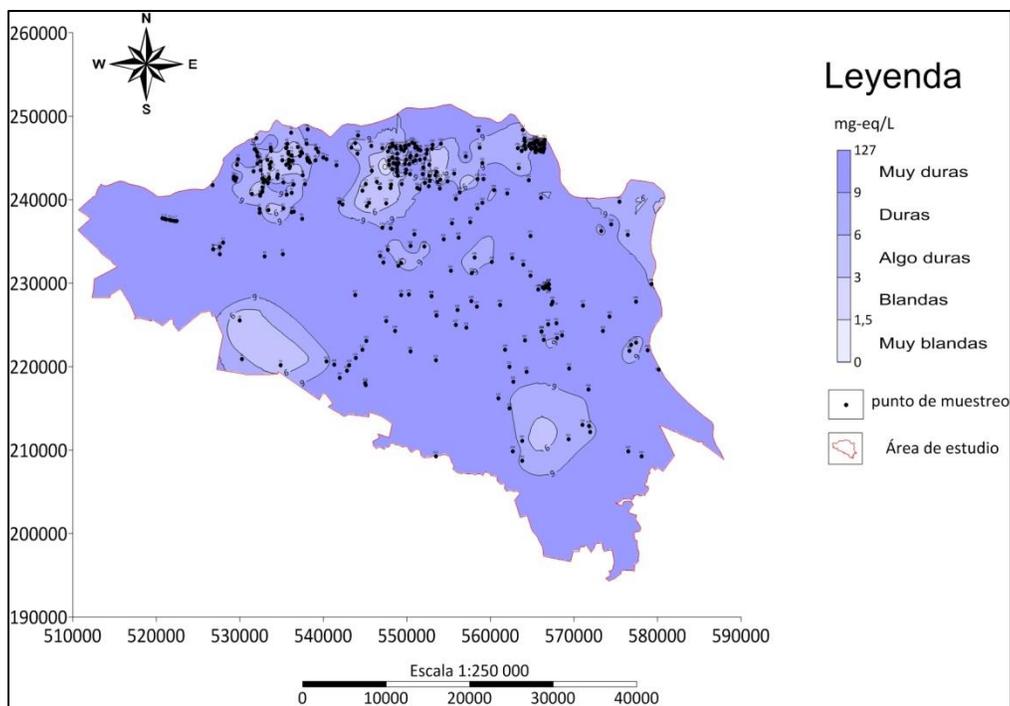


Figura 6. Mapa de dureza.

-Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina

Las aguas subterráneas y superficiales pueden presentar contaminación salina producto a su relación con mares o contenido de sales en las rocas. Para la determinación del grado de contaminación salina generalmente se utiliza la relación iónica de Simpson, determinada a través de la fórmula:

$$C.S. = \frac{Cl}{CO_3 + CO_3H}, m.eq/lL$$

El valor resultante de la aplicación de la fórmula se clasifica por la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de las aguas por su grado de contaminación salina

Resultados relación	Denominación del agua
< 0,5	Agua normal
0,5 - 1,8	Agua ligeramente contaminada
1,8 - 2,8	Agua moderadamente contaminada
2,8 - 6,6	Agua bastante contaminada
6,6 - 15,5	Agua altamente contaminada
> 15,5	Agua de mar

Los valores analizados para este caso de estudio arrojaron valores entre 0,1 y 15,1; su clasificación está en el rango desde agua normal hasta agua altamente contaminada, con predominio de las aguas ligeramente contaminadas (45%).

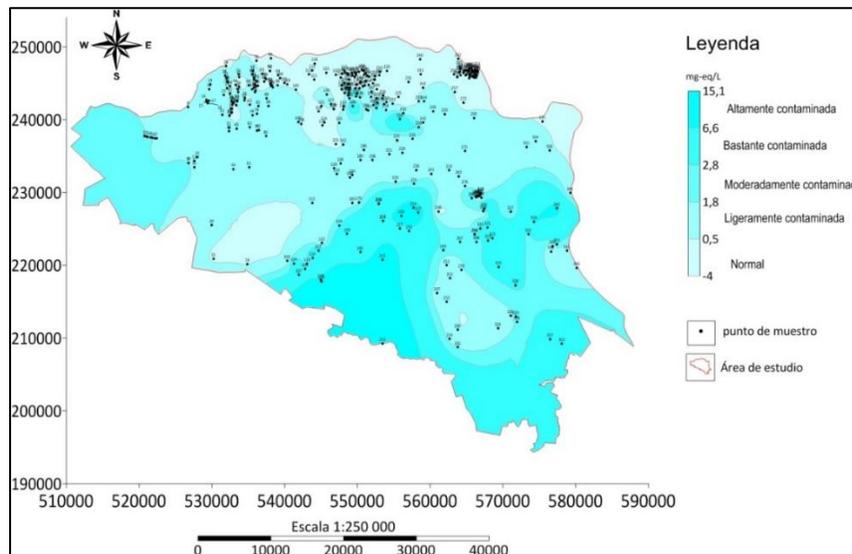


Figura 7. Mapa del grado de contaminación salina.

-Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM)

Para el cálculo del índice de salinidad marina se emplearon los contenidos de Cl^- , Na^+ , HCO_3^- , Ca^{2+} , expresados en por ciento equivalentes, mediante la siguiente expresión:

$$ISM = \frac{\%Cl + \%Na}{\%HCO_3 + \%Ca}$$

Donde el % Cl^- , % Na^+ , % HCO_3^- , % Ca^{2+} representan el por ciento equivalente de la suma total o parcial de aniones y cationes.

El resultado obtenido de cada muestra se clasifica mediante los rangos establecidos en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de las aguas por el Índice de Salinidad Marina (ISM)

Valor	Mineralización	Clasificación por ISM
< 1	< 0,8	Aguas o acuífero no salinizado
- 1,9	0,9 - 1,6	Aguas o acuífero débilmente salinizado
2 - 6,9	1,7 - 5,8	Aguas o acuífero salinizado
7 - 21	5,9 - 17,7	Aguas o acuífero muy salinizado
> 21	> 17,8	Aguas o acuífero hipersalinizado

Las aguas investigadas presentan valores resultantes entre 0,2 y 6,6 %, por lo que las aguas clasifican en los rangos desde acuífero no salinizado hasta acuífero salinizado, el mayor número de muestras se encuentran en la clasificación de acuífero débilmente salinizado (38 %), seguido del grupo de acuífero no salinizado (36 %).

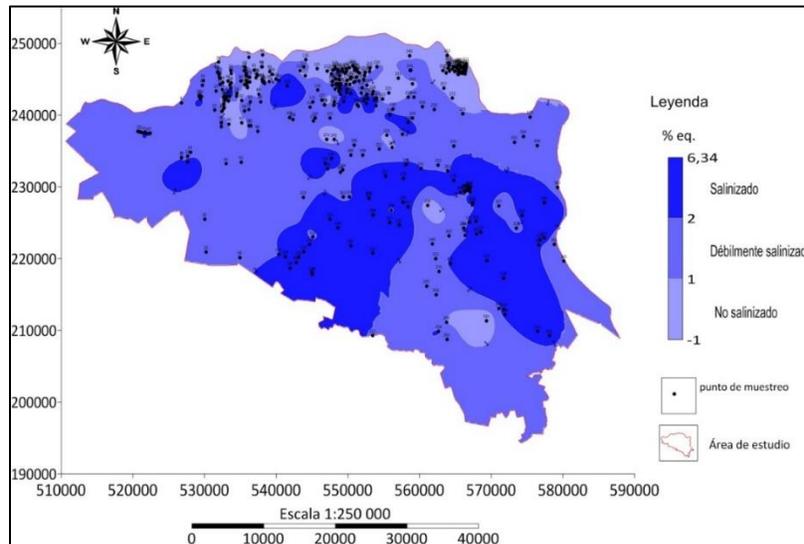


Figura 8. Mapa del Índice de salinidad marina.

Conclusiones

En las aguas subterráneas analizadas del sector noroeste del Valle del Cauto, predomina la clasificación química Hidrocarbonatadas-sódicas-tipo 3.

Según la mineralización las aguas predominantes son poco salinizadas; por su pH las aguas que predominan son de tipo débilmente básicas y neutras; según la dureza la mayor parte de las aguas son muy duras; por el grado de contaminación salina se clasifican de aguas ligeramente contaminadas; y por el índice de salinidad marina los acuíferos son débilmente salinizados.

Referencias bibliográficas

Aliokin, O. A. (1970). *Osnovy hidrokhimii. L. Hidrometeoizdat.*

Badii, M. H., Landeros, J. & Cerna, E. (2007). Papel de los Ecosistemas en la Sustentabilidad. *Cultura científica y tecnológica*, 4(21), 19-28.
<https://erevistas.uacj.mx/index.php/cultcyt/article/view/437>

- Castro, N. A., & Rajadel, O. N. (2021). Otra cara de la problemática del agua y el cambio climático; dos realidades sinérgicas yuxtapuestas. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 351-360. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/issue/view/67>
- De Miguel-Fernández, C. (2012). *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. Editorial Digital Universitaria Moa, Cuba. 374 p.
- IGP. (2024). *Mapa hidrogeológico de Cuba. Escala 1:100 000*. <https://www.minen.gob.cu/actividades/geologia/mapa-hidrogeológico-de-cuba>
- Iturbe, R., Castro, A., Mendoza, J.A., Flores, R.M. & Pérez, G. (2023). Propuesta metodológica para la evaluación de la sostenibilidad en acuíferos: caso de estudio, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 14(3), 199-249. <https://doi.org/10.24850/8-tyca-14-03-05>
- Ivonnet Borrero, H. & Pino Santiesteban, E. (2021). *Investigación Hidrogeológica Cálculo de Recursos y Reservas. Zona Hidrogeológica Los Arroyos. Etapa II*. Archivo técnico RAUDAL.
- Liu, L., Wu, J., He, S. & Wang, L. (2022). Occurrence and distribution of groundwater fluoride and manganese in the Weining Plain (China) and their probabilistic health risk quantification. *Exposure and health*, 14(2), 263-279. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-021-00434-4>.
- López Velandia, C. (2022). Evaluación hidroquímica e isotópica de la calidad del agua subterránea en el acuífero aluvial del valle del Rio Pavas, Colombia. *Revista EIA*, 20(39), 1-25. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1602>
- Nsabimana, A. & Li, P. (2023). Hydrogeochemical characterization and appraisal of groundwater quality for industrial purpose using a novel industrial water quality index (IndWQI) in the Guanzhong Basin, China. *Geochemistry*, 83(1), 125922. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009281922000629>.
- Núñez Revé, S. B. (2019). *Evaluación de las reservas de agua subterránea en el área La Ceiba-Certeneja de Güirabo, Holguín*. (Trabajo de diploma, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa). <https://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3720>

Oficina Nacional de Normalización. (2014). Norma Cubana. NC 1021:(2014). *Higiene comunal-Fuentes de abastecimiento de agua-Calidad y protección sanitaria*.

Oficina Nacional de Normalización. (2017). Norma Cubana. NC 827:(2017). *Agua potable. Requisitos sanitarios*.

Ogarekpe, N., Nnaji, C.C., Oyebode, O.J., Ekpenyong, M.G., Ofem, O.I., Tenebe, I.T., Asitok, A.D. (2023). Groundwater quality index and potential human health risk assessment of heavy metals in water: A case study of Calabar metropolis, Nigeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 19, 100780. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153223000041>.

OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Primer apéndice a la tercera edición. https://issuu.com/rsantamariacastel/docs/guias_para_la_calidad_del_agua_potable

Pasovox, E. (1975). Clasificación de las aguas según su PH. *Hidrogeología General*. San Petersburgo. Niedra

Pérez Jara, Y. (2015). *Investigación hidrogeológica del municipio Calixto García*. Archivo técnico RAUDAL.

Ríos, L.C., Colegial, J.D. & Collazo, M.P. (2023). Caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en la ciudad de Minas, departamento de Lavalleja, Uruguay. *Boletín de Geología*, 45(1), 103-117. <https://doi.org/10.18273/revbol.v45n1-2023005>

Rodríguez, Y. (2020). *Investigación Hidrogeológica. Cálculo de Recursos y Reservas. Zona Hidrogeológica. Cabezuela*. Archivo técnico RAUDAL.

Sánchez, Y., De Miguel-Fernández, C. & Rochenel, S. (2013). Caracterización hidrogeológica del Valle del Cauto, Cuba. *Minería y Geología*, 29(2), 16-34. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/544>