

Análisis hidroquímico con fines de riego de aguas subterráneas de la provincia de Granma

Danicer Sánchez-González
Yumisleidys Sánchez-Sánchez
Moraima Fernández-Rodríguez

Resumen

El propósito de la investigación fue evaluar en el norte de la provincia de Granma las características hidroquímicas de las aguas subterráneas para su utilización en el riego agrícola. A partir de una base de datos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, compuesta de 303 pozos, se generaron mediante el programa Surfer (vers. 9.0) y a escala 1:250 000 mapas hidroquímicos de mineralización, contenido de cloruro, clase química del agua, coeficiente de irrigación e índice de salinidad marina. El análisis integrado de estos mapas permitió zonificar la calidad hidroquímica de las aguas subterráneas, resultando las de mayor calidad para el uso en regadíos las pertenecientes a la zona sureste del área investigada.

Palabras clave: hidroquímica; aguas subterráneas; agricultura; riego; provincia de Granma.

Hydro-chemical analysis of underground water streams for irrigation purposes in the province of Granma

Abstract

The objective of the investigation was to analyze the hydro-chemical characteristics of the underground water streams from the northern area of the province of Granma for irrigation use in agriculture. Based on the database available at the National Institute of Hydraulic Resources consisting of 303 wells, it was possible to generate through the Surfer program (version 9.0) hydro-chemical maps on scale of 1:250 000. The maps represent the mineralization, the chloride content, the water chemical class, irrigation coefficient and the marine salinity index. An integral analysis of these maps allowed zoning the hydro-chemical quality of the underground water. The analysis indicates the water streams from the southeast to the area under investigation to be of a higher quality for irrigation purposes.

Keywords: hydro-chemical; underground waters; agriculture; irrigation; province of Granma.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios hidroquímicos son de gran importancia en el análisis de la composición química de las fuentes hídricas para cualquier fin que se decida usarlas. El presente estudio se enmarca en un área 2 371,35 km² del valle del Cauto (Figura 1), en la provincia de Granma y tuvo el propósito de evaluar la calidad hidroquímica de las aguas subterráneas para su uso en la agricultura. El Ministerio de la Agricultura establece normas para el uso de estas aguas con fines de riego. Según el tipo de cultivo, se deciden los requerimientos hidroquímicos del agua para riego.

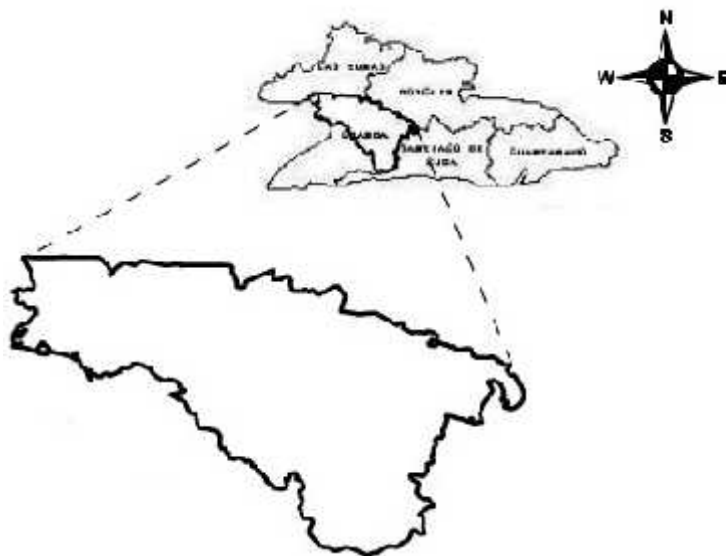


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

En Cuba importantes investigaciones hidroquímicas se han realizado en los últimos 30 años, en diferentes cuencas hidrográficas y se han evaluado sus implicaciones medioambientales en disímiles aspectos, incluyendo la salinización de aguas y suelos, estudios de contaminación, sistemas de drenajes, regionalización hidroquímica, entre otras (Satamaria 1979; Riesco & Aurelio-Mompié 1980; Brull-Puebla, Triana & González 1998; Sidimohamed 2002; Fernández-Rodríguez 2003; Díaz-Beltrán; Jiménez-Espinosa & Hidalgo-Estévez 2006; de Miguel & Vázquez 2006; Rochenel 2008; Castigo 2011). Este es el primer intento de abordar el estudio hidroquímico de las aguas subterráneas de la provincia usando software informáticos.

En la década de los ´80 se caracterizaron los diferentes complejos acuíferos que se encuentran en la cuenca del Cauto, conforme a sus condiciones de alimentación, descarga, tipos de regímenes que presentan, movimiento del agua subterránea e interrelación hidráulica con las aguas superficiales y su composición litológica (Riesco & Aurelio-Mompié 1980).

1.1. Contexto geológico del valle del Cauto

El valle del Cauto (Figura 2) está constituido por las siguientes formaciones geológicas (Brull-Puebla, Triana & González 1998):

Grupo El Cobre ($E_1-E_2^2$): tobas y lavas andesíticas;

Fm. Mícará ($K_2^2-E_1^1$): areniscas, arcillas y calizas;

Fm. Barrancas ($E_2^2-E_2^3$): tobas riolíticas-riodacíticas, cristalovitroclásticas y vitroclásticas; margas; areniscas y calizas biodetríticas;

Fm. San Luis ($E_2^2-E_2^3$): areniscas polimícticas, margas, arcillas, calizas biodetríticas;

Fm. Bitirí ($E_3^2-N_1^1$): calizas;

Fm. Río Macío (Q_2): gravas, arenas y arcillas;

Fm. Bayamo ($N_2^2-Q_1^1$): arenas de grano fino, con lentes de areniscas y conglomerados de guijarros;

Fm. Dátil ($Q_1^3-Q_1^1$): conglomerado polimíctico;

Fm. Yayal (N_1^2): arcillas calcáreas y margas carbonatadas;

Fm. Caney (E_2^2): tobas cineríticas, calcáreas y calizas tobáceas;

Fm. Puerto Boniato (E_2): calizas organodetríticas y margas;

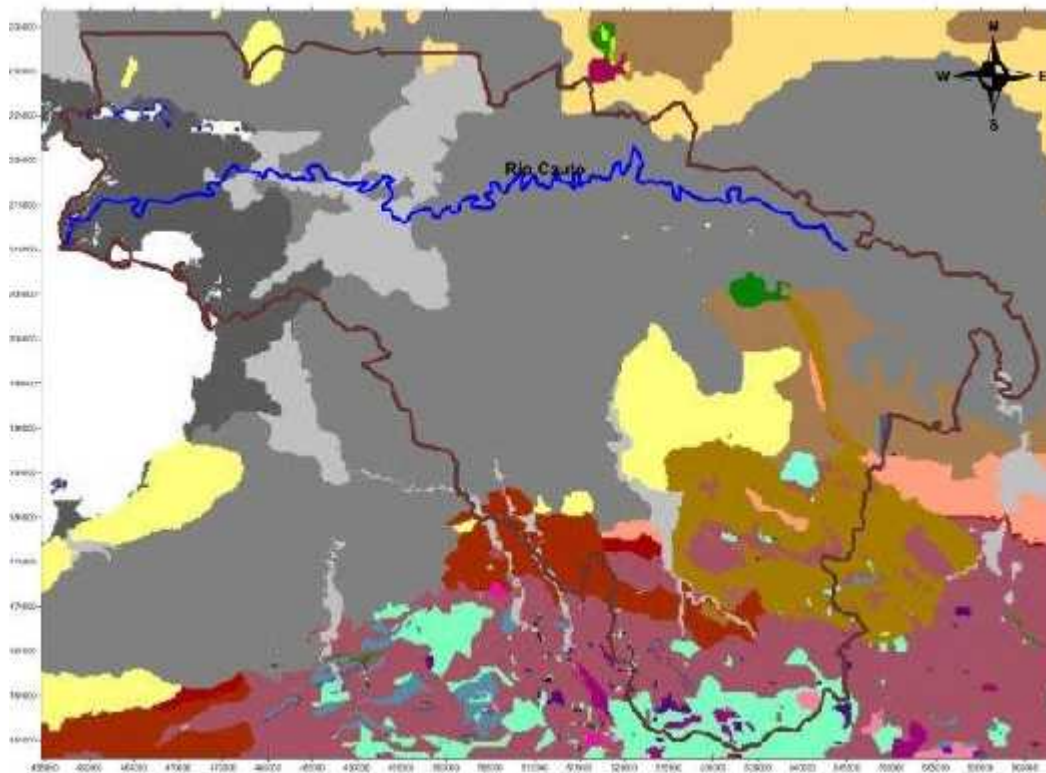
Depósitos palustres (pQ_4): sedimentos costeros;

Depósitos aluviales (alQ_4): arenas y arcillas arenosas;

Fm. Charco Redondo (E_2^2): calizas;

Fm. Camazán ($E_3-N_1^1$): calizas, calizas arcillosas, margas y facies arcillosas (N_1^2);

Fm. Cauto (Q_{2-3} m-al): arcillas, arenas arcillosas, guijarros con intercalaciones de limo y gravas.



Escala: 1:250 000

Legenda

cau	Fm. Cauto	chr	Fm. Charco Redondo
caz	Fm. Camazán	sl	Fm. San Luis
eco	Fm. Grupo El Cobre	dt	Fm. Dátil
bt	Fm. Bitiri	rio	Fm. Rio Macío
yay	Fm. Yayal	bs	Fm. Barrancas
by	Fm. Bayamo	pb	Fm. Puerto Boniato
mic	Fm. Micara	ecy	Fm. El Caicy
ls	Depósitos de Pantano		
pQ4	Depósitos palustres		
alQ4	Depósitos aluviales		
rig	Rocas ígneas		
	Límite del área de estudio		

Figura 2. Mapa geológico esquemático del valle del Cauto

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 3 representa el esquema metodológico seguido en esta investigación, en tres etapas.



Figura 3. Mapa conceptual de la metodología empleada en la investigación.

Con la información geológica e hidroquímica existente se generaron distintos mapas hidroquímicos: mineralización (Min), contenido de cloruro (Cl), clase química de las aguas, coeficiente de irrigación (Ci) e índice de salinidad marina (ISM). Estos mapas se obtuvieron mediante el programa Surfer (vers. 9) al procesar una base de datos de 303 pozos (Figura 4) por el método de interpolación del inverso cuadrado de la distancia. La representación se hizo a una escala de 1:250 000. Como material de referencia se consideraron los resultados de los mapas hidroquímicos derivados de investigaciones precedentes en la región de Holguín (Castigo 2011).

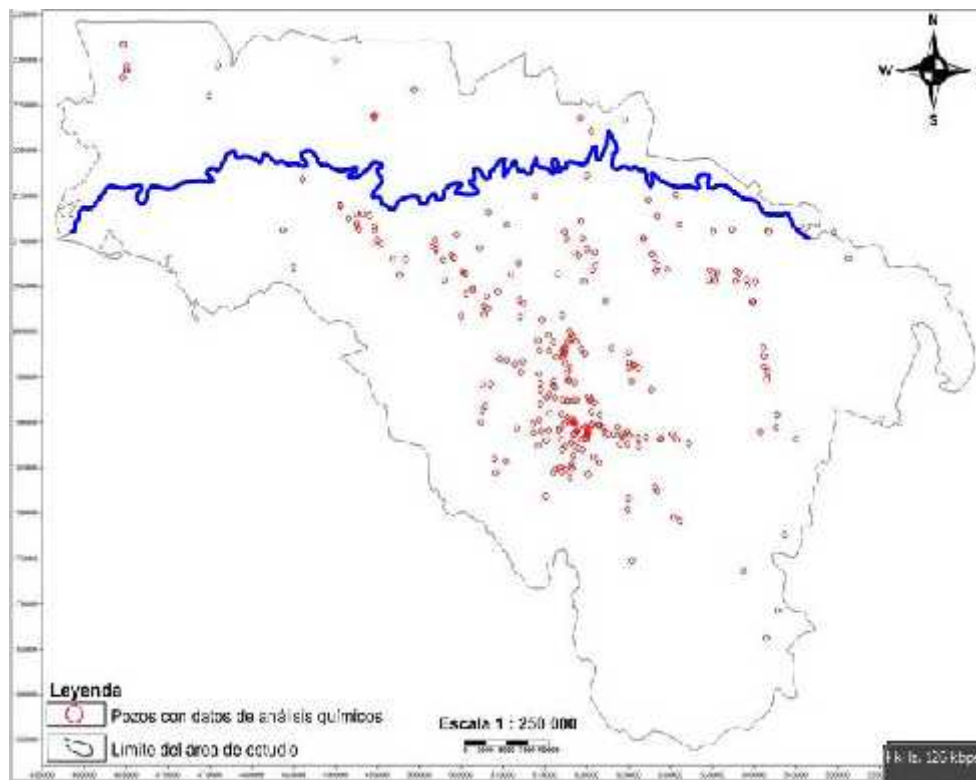


Figura 4. Representación de los pozos en el área de estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Mineralización

Los valores de mineralización, clasificados según Aliokin, aparecen reflejados en la Tabla 1 y en el mapa de mineralización de las aguas subterráneas del norte de Granma (Figura 5). Según NC-827-2010 las aguas con valores de mineralización por debajo de un miligramo por litro clasifican como dulces; en el área de estudio se localizan en la zona 1, coincidiendo con el relieve premontañoso.

Tabla 1. Clasificación de las aguas subterráneas por su mineralización

Cantidad de pozos	Mineralización (g/L)	Clasificación según Aliokin
137	<1	Aguas dulces
130	1,0-3,0	Aguas poco salinizadas
31	3,0-10,0	Aguas saladas
1	10,0-50,0	Muy saladas

Estas aguas se asocian a rocas calizas, vulcanógenas-sedimentarias y depósitos aluviales, asociadas a las formaciones del grupo El Cobre, Charco Redondo, Río Macío, Dátil, San Luis, Puerto Boniato y El Caney, localizadas en los municipios de Bayamo, Jiguaní y Guisa.

Las aguas de las zonas 2 y 2a requieren de tratamientos especiales para su uso en riego, por su nivel de mineralización (entre 1 y 3 g/L); se asocian a diferentes formaciones geológicas principalmente la Fm. Cauto.

En la zona 3 se encuentran las aguas con valores de mineralización mayores de 3 g/L. Se asocian fundamentalmente a las Fm. Cauto y Yayal, y depósitos recientes como los palustres y aluviales que coinciden con la zona de descarga del sector del río Cauto.

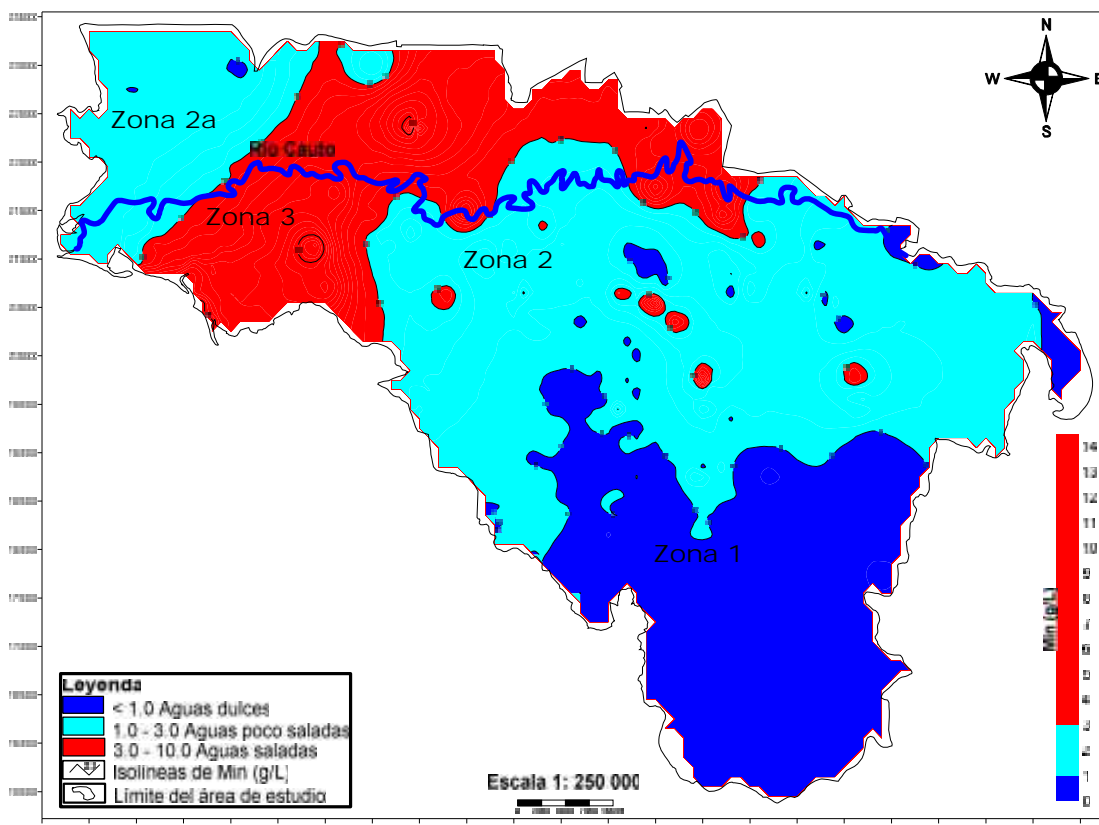


Figura 5. Zonación de la mineralización de las aguas subterráneas del norte de Granma.

3.2. Contenido del ión cloruro (Cl⁻)

Las altas concentraciones de este ión en las aguas de riego resultan perjudiciales para ciertos cultivos (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de las aguas subterráneas según contenido del ión cloruro

Cantidad de pozos	Contenido del ión Cl ⁻ (mg/L)	Denominación
135	< 140	Sin restricción
84	140-350	Restricción moderada
51	350-1 100	Estricto
31	>1 100	Inútil para riego

El mapa de concentración del ión (Figura 6) muestra que los valores más bajos de concentración ($\text{Cl}^- < 140 \text{ mg/L}$) se disponen hacia la zona 4, y aisladamente al noroeste, coincidiendo con los valores más bajos de mineralización ($< 1 \text{ g/L}$) hacia la zona montañosa ubicada al sur, siendo el área de alimentación de las aguas subterráneas que drenan hacia la cuenca hidrográfica del río Cauto; estas concentraciones no implican restricción alguna en las labores de riego.

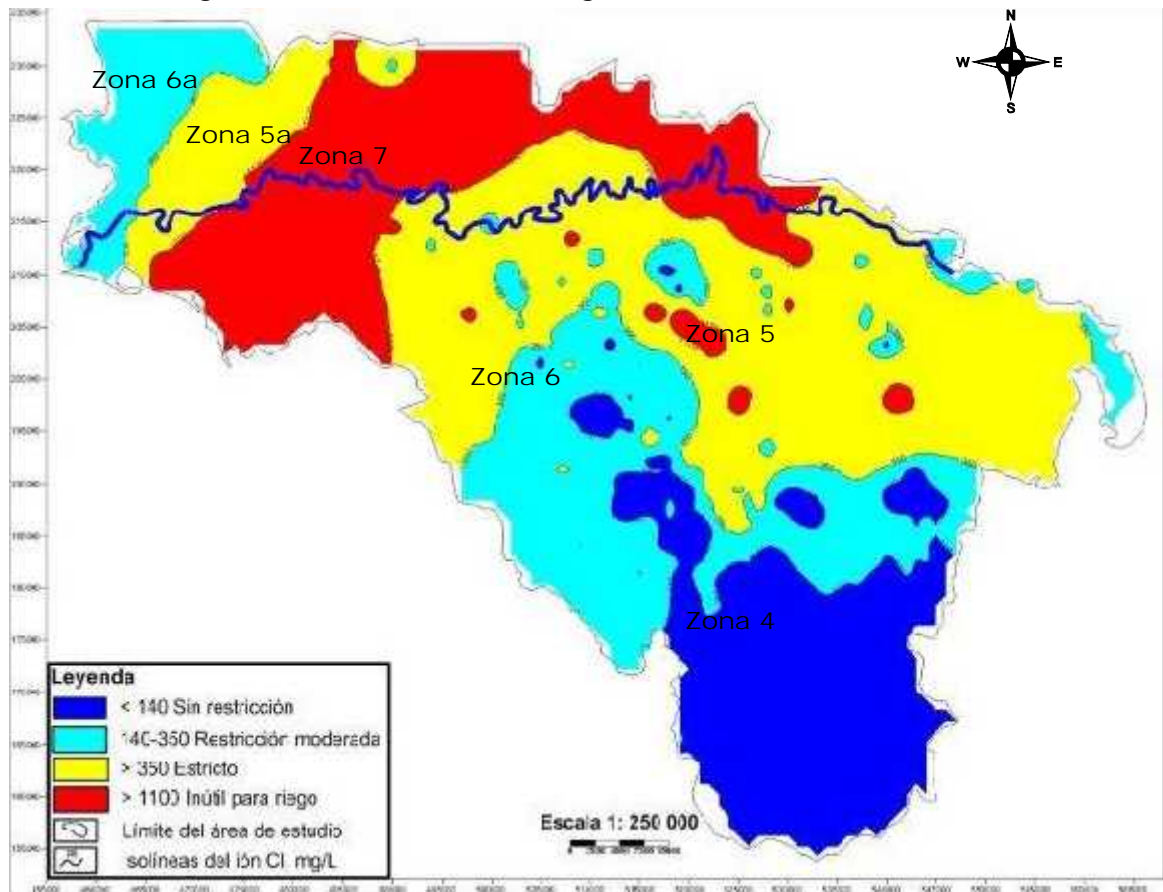


Figura 6. Mapa de concentración del ión cloruro (en mg/L).

En el resto del territorio hay un aumento en la concentración del ión cloruro que supera los 140 mg/L, alcanzando grados de restricción moderada hasta resultar inútiles para el riego. Las aguas que resultan con restricción moderada se ubican en la zona 6 y zona 6a. Las que requieren de cuidado estricto para el regadío de las plantaciones se concentran en la zona 5 y zona 5a.

En la zona 7 el agua presenta concentraciones muy altas del ión cloruro y no son útiles para su uso en riego.

La zona de descarga de las aguas subterráneas coincide con la zona de los valores máximos del ión cloruro que llegan a 7 730,50 mg/L, lo que demuestra que en la mineralización el ión cloruro es predominante

(Cl⁻ > 1 100 mg/L) y provocaría la salinización e infertilidad de la tierra. Los elevados índices de concentración de este ión se asocian a la composición litológica de las rocas, fundamentalmente areno- arcillosas, por las que fluyen las aguas subterráneas con altos contenidos de sales.

Al comparar los mapas de cloruro y de mineralización (Figuras 4 y 5), es notorio que en las zonas donde se existen los valores más bajos del cloruro (Cl⁻ < 140mg/L) se corresponden con las de bajas mineralizaciones (Min < 1g/L).

Los valores críticos evaluados de ambos parámetros (Min > 3 g/L y Cl⁻ > 1 100mg/L) coinciden en casi toda la extensión del área asociada a la zona de drenaje del valle del río Cauto, destinado a los sectores agrícola y ganadero.

3.3. Valoración de la clase química de las aguas subterráneas del norte de Granma

La composición química de las aguas subterráneas en la región varía en dependencia de la litología y la constitución mineralógica de las rocas. El mapa de quimismo del norte de Granma fue elaborado según la clasificación de Aliokin (Figura 5). Se aprecia el predominio de aguas cloruradas sódicas, principalmente desde la zona noroeste alargándose hasta el noreste, y como una franja estrecha en el centro de los límites del sector de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación química de las aguas subterráneas del norte de Granma y su distribución por área

#	Tipo de agua	No. Pozos
1	Clorurada sódica	87
2	Clorurada cálcica	15
3	Clorurada magnésica	5
4	Hidrocarbonatada sódica	121
5	Hidrocarbonatada cálcica	55
6	Hidrocarbonatada magnésica	14
7	Sulfatada sódica	4
8	Clorurada sulfatada sódica	3
9	Hidrocarbonatada cálcica magnésica	1
10	Hidrocarbonatada clorurada sódica	1

Las características de estas aguas están estrechamente relacionadas con las formaciones geológicas existentes (Fm. Cauto y depósitos aluviales), típicas de litologías areno-arcillosas, las que coinciden con las zonas

donde se reportan elevadas concentraciones de cloruro y mineralizaciones de las aguas subterráneas (Figuras 3 y 4).

Las aguas cloruradas magnésicas y sódicas se distribuyen de forma aislada y puntual en el noroeste, centro y noreste. En las cercanías del río Cauto hay cuatro pozos con valores anómalos de aguas sulfatadas sódicas, en dos de ellos las concentraciones exceden lo permisible, en los intervalos de calidad del sulfato (SO_4^{2-}) para uso en riego en los pozos 30 (coordenadas E492550, N212000) y 92 (coordenadas E499800, N214900).

Hacia el sureste, y en sectores muy puntuales al centro y noreste del territorio, se distribuyen las mejores aguas, las hidrocarbonatadas cálcicas e hidrocarbonatadas magnésicas, predominando las primeras que responden en su composición química al tipo de rocas que caracterizan estas áreas, asociadas a las formaciones: Charco Redondo, San Luis, Puerto Boniato, grupo El Cobre y depósitos aluviales recientes (Figura 2).

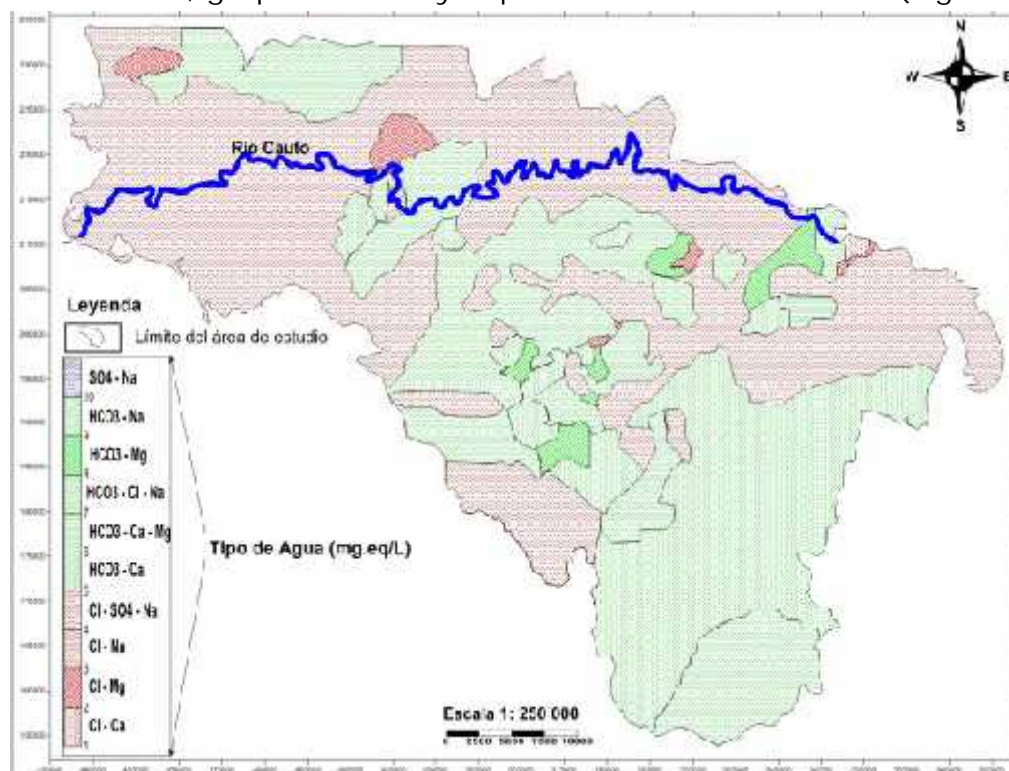


Figura 5. Mapa de clasificación química de las aguas del norte de Granma.

Atendiendo a su química las aguas de menor calidad para el riego, por la presencia de altas concentraciones de los iones cloruro y sodio, se ubican hacia los sectores de menor pendiente que se asocian a las zonas de descarga o drenaje de las aguas subterráneas que tributan al río Cauto; mientras que las de mejor calidad están distribuidas hacia las zonas de

alimentación ubicadas al sureste, siendo las áreas de mayores pendientes (Figuras 3, 4 y 5).

3.4. Valoración del coeficiente de irrigación (Ci)

El coeficiente de irrigación se define como la altura de la columna de agua en pulgadas. Esta columna de aguas durante la evaporación da una cantidad de bases suficientes para que el suelo se convierta en agresivo hasta profundidades de 1,2 m hasta 1,5 m para la mayoría de los cultivos. Es 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, según de Miguel (2008).

La calidad del agua de riego depende del contenido salino (sodio) y de los posibles elementos disueltos, particularmente tóxicos para las plantas, como los cloruros, boratos y otros.

La determinación y valoración del coeficiente de irrigación (Ci) permite representar la calidad de las aguas subterráneas para estos fines, por lo cual se generó el mapa de coeficiente de irrigación (Ci) del norte de Granma (Figura 6), según clasificación de Stables (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de las aguas por el coeficiente de irrigación (Ci)

Cantidad de pozos	Ci	Clasificación del agua según Stables
50	>18	Buena
109	6<Ci<18	Satisfactoria
121	1,2<Ci<5,9	No Satisfactoria
21	<1,2	Mala

Las aguas apropiadas para el riego, según los valores del coeficiente de irrigación ($Ci > 18$ mg.eq/L), se ubican en la zona 8 y puntualmente al centro y noreste del territorio investigado; sin embargo, resultan los sectores hacia donde va aumentando la topografía del terreno. Seguidas a estas se encuentran las aguas que resultan satisfactorias, presentes en la zona 9 y zona 9a, las cuales requieren de medidas especiales que eviten la acumulación de sales dañinas (Figura 6).

Las aguas no satisfactorias para efectuar el riego se concentran en la zona 10, muy vinculadas al valle del río Cauto de bajas pendientes, en la zona de descarga de las aguas subterráneas, que por sus características generalmente requieren de drenaje artificial. Dentro de esta zona se ubican puntualmente 21 pozos que reportan aguas que no son aptas para

regar cultivos, ya que las mismas no superan el $Ci=1,2$ mg.eq/L, demostrando su mala calidad.

De manera general, se observa un ligero predominio en el sector de estudio de las aguas, con calidad (buena y satisfactoria) para efectuar el regadío en la agricultura en el norte de Granma, con valores del coeficiente de irrigación que se corresponden con bajas y débiles mineralizaciones, poca o sin restricción por contenido de cloruro y quimismo adecuado (Figuras 3, 5 y 6).

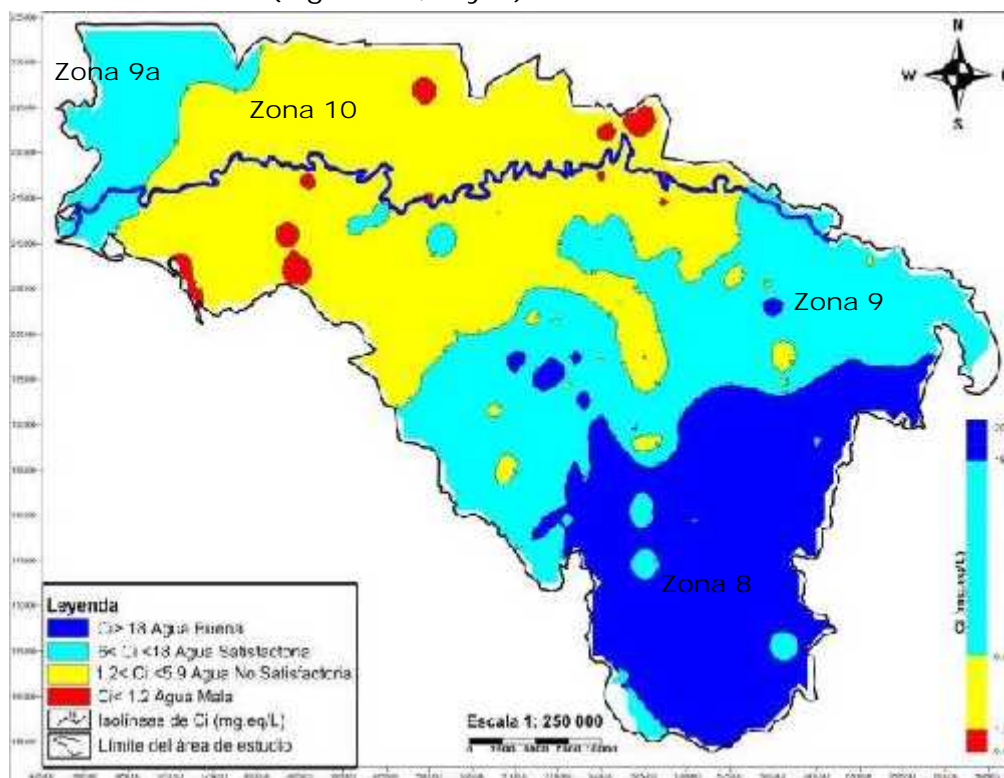


Figura 6. Mapa del coeficiente de irrigación del norte de Granma.

3.5. Valoración del índice de salinidad marina (ISM)

Este coeficiente permite definir la posibilidad del uso de las aguas en riego y como indicador para el lavado de los suelos salinizados, e incluso, diagnosticar la salinización de los suelos en territorios con determinadas concentraciones del ISM y su correlación con las profundidades de yacencia de esas aguas, litología y ascensos capilares de los sedimentos de la zona no saturada (Castigo 2011).

Tabla 5. Índice de salinidad marina en las aguas subterráneas del norte de Granma

Clasificación de las aguas por el ISM		
Cantidad de pozos	ISM	Tipo de agua según de Miguel (2008)
132	<1,0	No Salinizada
86	1,0 – 1,9	Débilmente Salinizada
70	2,0 – 6,9	Salinizada
14	7,0 – 21	Muy Salinizada
0	>21	Hipersalinizada

Como resultado, se obtuvo el mapa de índice de salinidad marina (Figura 7), donde se observa hacia la zona 11 los valores más bajos de este parámetro, caracterizando las aguas como dulces donde se origina la alimentación de las aguas subterráneas.

Las isolíneas de ISM muestran un incremento en la zona 12 y zona 12a donde resultan débilmente salinizadas, a medida que estas se aproximan a la zona de descarga (Figura 2).

Correlacionando los mapas geológicos e hidroquímicos (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7), se demuestra que las aguas subterráneas de mala calidad están sectorizadas de manera muy similar, según todos los parámetros hidroquímicos valorados (Min, Cl^- , quimismo, Ci e ISM) y que están asociadas a las zonas de descarga de estas aguas subterráneas, con bajas pendientes y litologías fundamentalmente areno-arcillosas (Fm. Cauto y depósitos aluviales), las cuales coinciden con las zonas 3, 7, 10 y 13 de los respectivos mapas hidroquímicos generados.

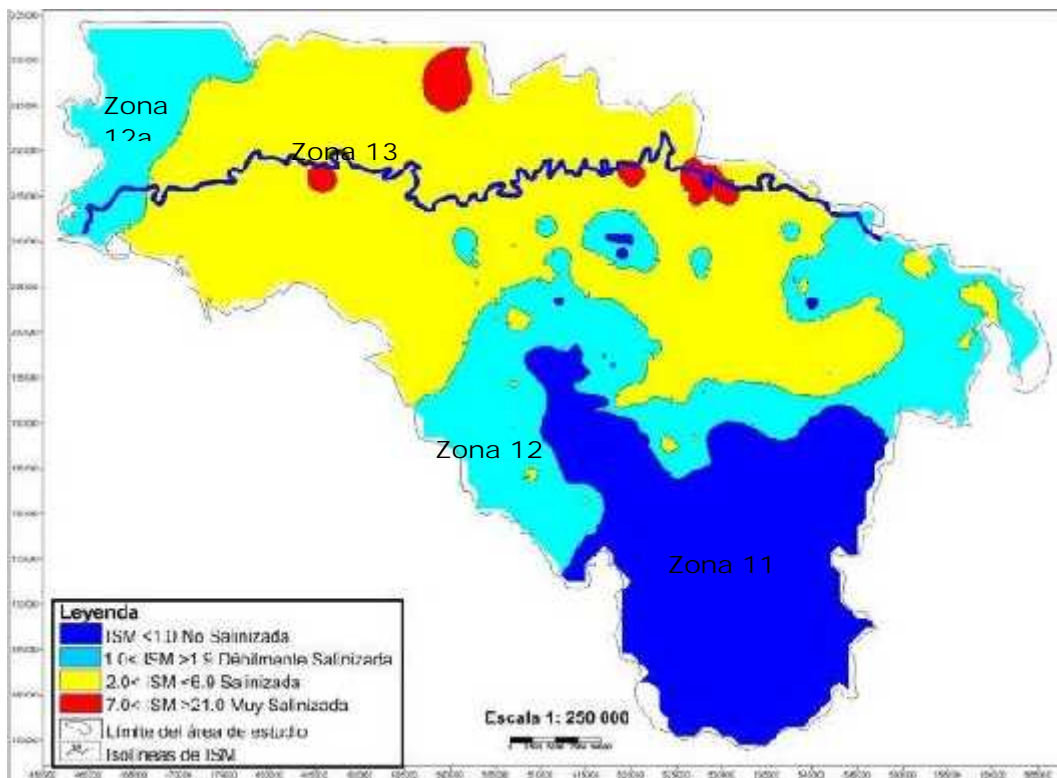


Figura 7. Mapa de salinidad marina del norte de Granma.

Regionalizando casi todo el valle del río se visualizan aguas que elevan su salinidad ($2 < ISM < 21$), las cuales ocupan aproximadamente la mitad del área investigada hacia la zona de descarga, asociadas a rocas de la Fm. Cauto.

Sin embargo, con las aguas de buena calidad se indican valores positivos de todos los parámetros procesados hacia la zona de alimentación, ubicados con preponderancia en las zonas 1, 4, 8 y 11 de los respectivos mapas hidroquímicos del área. En esta región se ubican litologías de composición mineralógica que le proporcionan a las aguas una composición química adecuada, definiendo el quimismo de las aguas como aceptables, de bajo coeficiente de irrigación y bajos índices de salinidad marina.

4. CONCLUSIONES

Los parámetros hidroquímicos valorados para fines de riego concuerdan en la distribución de la calidad de sus aguas. Las de mejor calidad predominan al sureste y, en menor medida, al centro y noreste del sector, correlacionando los mapas de mineralización, contenido de cloruro, quimismo, coeficiente de irrigación e índice de salinidad marina, lo que depende de la composición litológica y topografía del terreno, al coincidir con la zona de alimentación de las aguas subterráneas hacia el sur.

La calidad hidroquímica de las aguas subterráneas del territorio resulta desfavorable hacia la zona del valle del río, al valorar los altos valores de mineralización y contenidos de cloruro e índice de salinidad marina, bajos índices de coeficiente de irrigación y mala calidad según el quimismo, asociado a la formación geológica areno-arcillosas existentes, típicas de bajo drenaje, al norte-noroeste del sector, fundamentalmente.

5. AGRADECIMIENTOS

A los geólogos Oscar Rafael Sosa Simoneau y Joaquín Licea Fonseca por sus acertados consejos. Los resultados de la presente investigación contaron con la colaboración del INRH en Granma

6. REFERENCIAS

- ALIOKIN, O. A. (1970). Osnovy hidrokhimii. L.: Hidrometeoizdat, 437
- BRULL-PUEBLA, M.; TRIANA, A. & GONZÁLEZ, B. 1998: Características hidroquímicas de las aguas subterráneas del valle del Cauto y su vinculación con la salinidad de los suelos. Informe técnico. INRH-Granma.
- CASTIGO-NHAMBIRRE, A. 2011: Estudio hidroquímico de las aguas subterráneas del valle del Cauto, en la provincia de Holguín, con fines de abasto potable y riego. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 53 p.
- DE MIGUEL-FERNÁNDEZ, C. & VÁZQUEZ-TASET, Y. 2006: Origen de los nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología* 22(3): 10-19.
- DE MIGUEL-FERNÁNDEZ, C. 2008: Hidrogeología Aplicada. 2 ed. Félix Varela, La Habana, 73 p.
- DÍAZ-BELTRÁN, L.; JIMÉNEZ-ESPINOSA, R. & HIDALGO-ESTÉVEZ, C. 2006: Estudio hidroquímico y caracterización de los materiales acuíferos del aluvial del Guadalquivir en el sector Mengíbar-Marmolejo (provincia de Jaén), España. *Revista electrónica Ini Inv* 1:(a6) [en línea]. Consulta: 5 dic 2012. Disponible en: <http://www.sociedadgeologica.es>.
- FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, M. 2003: Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas de consumo en la zona urbana de la ciudad de Moa. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 54 p.
- NORMA CUBANA 827: 2010. Agua potable - Requisitos sanitarios.
- RIESCO, P. & AURELIO-MOMPIÉ, M. 1980: Evaluación de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca del Cauto en la provincia de Granma. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 75 p.
- ROCHENEL, S. 2008: Caracterización hidrogeológica de la cuenca del Cauto en Holguín (valle del Cauto). Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 49 p.
- SATAMARIA, G. 1979: Evaluación hidrogeológica del interfluvio Mabay-Buey. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 62 p.
- SIDIMOHAMED-JATRI, O. 2002: Caracterización hídrica e hidroquímica del

río Cayo Guam. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 48 p.

Danicer Sánchez-González direpc@capgrm.co.cu

Ingeniero geólogo. Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento Constructivo,
Granma. Cuba

Yumisleidys Sánchez-Sánchez ysanchezs@ismm.edu.cu

Máster en Geología. Departamento de Geología.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
Holguín. Cuba,

Moraima Fernández-Rodríguez mfernandez@ismm.edu.cu

Máster en Geología. Departamento de Geología.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
Holguín. Cuba,